Schlussbericht

zum Vorhaben

Thema:

Optimierte Energiepflanzen-Anbausysteme zur nachhaltigen Biogaserzeugung - Upscaling der FuE-Ergebnisse zu neuen Kulturen und deren Implementierung

Zuwendungsempfänger:

Universität Osnabrück - Fachbereich Kultur- und Geowissenschaften - Institut für Geographie

Hans-Jörg Brauckmann & Gabriele Broll

Förderkennzeichen:

22017511 bzw. **11NR175**

Laufzeit:

01.10.2011 bis 31.01.2015

Datum der Veröffentlichung: 18.03.2016

Gefördert durch:

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages mit Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) als Projektträger des BMEL für das Förderprogramm Nachwachsende Rohstoffe unterstützt. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

I. Ziele

1. Aufgabenstellung

In diesem On-farm Research-Projekt finden Untersuchungen zum Energiepflanzenanbau neuer Kulturen auf Praxisschlägen unter Verwendung von Precision Farming Technologien statt. Der Projektpartner Ruhe Agrar GmbH führt den Anbau der Kulturen durch. Die Substrate werden in den betriebseigenen Biogasanlagen verwendet.

Ziel des Projektes ist es, neue Kulturen zur Biogaserzeugung im Praxismaßstab anzubauen, die Erträge zu ermitteln, das Erntegut in Praxisbiogasanlagen einzusetzen und die Ergebnisse zu bewerten.

Folgende Fragestellungen wurden bearbeitet:

Wie sind die Erträge unter Praxisbedingungen?

Welchen Einfluss haben die Standortbedingungen?

Wie ist die Dünge- und Humusbilanz der neuen Kulturen im Vergleich zu Mais?

Wie beeinflussen mehrjährige Kulturen die Humusbilanz?

Mit welchem Aufwand ist die Ernte der neuen Kulturen verbunden?

Wie lassen sich die Silagen der neuen Kulturen in Praxisbiogasanlagen einsetzen?

iel des Projektes ist es, neue Kulturen zur Biogaserzeugung im Praxismaßstab anzubauen, die

2. Stand der Technik

Für die Bereitstellung von Substraten für Biogasanlagen ist eine hohe Flächeninanspruchnahme zu verzeichnen. In Deutschland tritt in vielen Regionen eine zunehmende Flächenkonkurrenz zwischen Marktfruchtanbau, Futteranbau und nachwachsenden Rohstoffen auf. Auf ca. 5,7 % der landwirtschaftlichen Fläche Deutschlands werden Pflanzen für den Biogasbetrieb angebaut (vgl. FNR 2012).

Diesbezüglich nimmt der Mais die dominierende Stellung bei der Bereitstellung von Substraten für die Biogasanlage ein. In Deutschland macht der massebezogene Einsatz von Maissilage einen Anteil von ca. 39 % bezogen auf den gesamten Substrateinsatz in der Biogasanlage aus (vgl. FNR 2012). Problematisch können bei steigendem Maisanbau eine geringe Biodiversität in Agrarökosystemen, die Zunahme von Schaderregern, eine hohe Wildschadenanfälligkeit aber auch eine fehlende Akzeptanz dieser Kultur als Biogassubstrat in der Bevölkerung sein.

Vor diesem Hintergrund können neue Kulturen bei der Bereitstellung von Substraten für Biogasanlagen eine Komponente darstellen, Fruchtfolgen aufzulockern und nachhaltiger zu gestalten.

Durch Integrativen Energiepflanzenanbau wird zum einen die Artenvielfalt auf dem Acker gefördert. Des Weiteren trägt dies zu einer Erweiterung der Fruchtfolgen und zu ausgeglichenen Humusbilanzen durch Kombination von nachwachsenden Rohstoffen und Marktfrüchten bei. Insbesondere Dauerkulturen können auf Niedermoorböden zu einer Stabilisierung des Humusgehaltes beitragen. Extensive Dauerkulturen können auf ökologisch sensiblen Standorten diverse Schutz- und Rückzugsmöglichkeiten bieten. Lange Nutzungsdauer und wegfallende Bodenbearbeitung schont den Boden und erhöht das Potential der CO_2-Sequestrierung. Blühende Kulturen fungieren als Bienen- und Insektenweide. Eine Erhöhung der Artenvielfalt und die Förderung der faunistischen Biodiversität können langfristig den Krankheitsdruck auf Kulturpflanzen und damit den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln reduzieren. Diese und andere Aspekte tragen zu einer steigenden Akzeptanz für nachhaltige Bioenergie bei (vgl. Karpenstein-Machan 2012).

3 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Der Praxispartner diese Projektes ist die Ruhe Agrar GmbH in Lüsche.

Kooperationen zur Nutzung der Versuchsflächen für weitergehende Untersuchungen:

Dr. Jens Dauber
Johann Heinrich von Thünen-Institut (TI)
- Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei -
Institut für Biodiversität

Prof. Dr. Stefan Schrader
Johann Heinrich von Thünen-Institut (TI)
- Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei -
Institut für Biodiversität

Dr. Michael Glemnitz
Leibniz-Centre for Landscape Research (ZALF)
Department for Land Use Systems

Dr. Manfred Klemisch
Bayerische Landesanstalt
für Weinbau und Gartenbau

II Ergebnisse

1. Erzielte Ergebnisse

Inhaltsverzeichnis

1.1 Material und Methoden 1

1.1.1 Standortskundliche Feinkartierung 2

1.1.2 Einrichtung der Versuchsflächen 3

1.1.3 Neue Energiepflanzen 4

1.1.4 Bewirtschaftung der Versuchsflächen 5

1.1.5 Ertragserfassung 6

1.1.6 Nährstoff- und Energiegehalte des Erntegutes 7

1.1.7 Vegetationsaufnahmen 7

1.1.8 Nährstoffbilanzierung 7

1.1.9 Ertragsanteile Wickroggen 7

1.1.10 Aufwand Ernte 8

1.1.11 Untersuchung der Regenwurmfauna 8

1.1.12 Erfassung des Biogasertrages in den Praxisbiogasanlagen 8

1.1.13 Statistische Auswertung 9

1.2 Ergebnisse der Upscaling-Versuche 11

1.2.1 Bestandesentwicklung und Erträge 11

1.2.2 Inhaltsstoffe des Erntegutes und theoretische Methanerträge 22

1.2.3 Einsatz der Silagen in Praxisbiogasanlagen 25

1.2.4 Nährstoffentzüge und Düngebilanz 27

1.2.5 Spezifischer Aufwand beim Anbau neuer Kulturen 30

1.2.6 Bodenökologische Untersuchungen 32

1.3 Zusammenfassende Bewertung der neuen Kulturen zur Biogaserzeugung 39

1.4 Literaturverzeichnis 42

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Jahresmittel der Temperatur und Niederschlagssummen 2

Tabelle 2: In den beiden Sortimenten angebaute Kulturen und deren Sorten bzw. Arten. 5

Tabelle 3: Mittlere Trockensubstanzgehalte - Darchau und Parmen. 11

Tabelle 4: Ertragsanteile des Roggens, der Wicken und der Beikräuter und Beigräser des Wickroggens auf den Versuchsflächen Darchau und Parmen 15

Tabelle 5: Mittlere Trockensubstanzgehalte - Fürstenhagen und Vehlow. 16

Tabelle 6: Liste der als Untersaat im Mais angesäten Wildpflanzen und deren mittlere Deckungsgrade 20

Tabelle 7: Liste der angesäten einjährigen und mehrjährigen Wildpflanzen und deren mittlere Deckungsgrade. 21

Tabelle 8: Inhaltsstoffe aus der Futtermittelanalyse und nach Baserga berechnete spezifische Biogaserträge Darchau und Parmen. 22

Tabelle 9: Inhaltsstoffe aus der Futtermittelanalyse und nach Baserga berechnete spezifische Biogaserträge in Fürstenhagen und Vehlow. 23

Tabelle 10: Ergebnisse der praktischen Gärversuche ausgewählter Silageproben. 24

Tabelle 11: Eingelagerte und ausgelagerte Silagemengen der neuen Kulturen zur Biogaserzeugung, Trockensubstanzgehalte sowie mittlere Biogaserträge in den Praxisanlagen. 26

Tabelle 12: Zur Düngung aufgebrachte Nährstoffmengen im Düngejahr 2014 27

Tabelle 13: Nährstoffentzüge im Erntejahr 2014 28

Tabelle 14: Nährstoffsalden im Erntejahr 2014 29

Tabelle 15: Mittlere Biomassen der Regenwürmer auf den Versuchsflächen Darchau und Parmen 34

Tabelle 16: Mittlere Biomassen der Regenwürmer auf der Versuchsfläche Fürstenhagen 35

Tabelle 17: Gehalte an organischem Kohlenstoff (C_{org}), Gesamtstickstoff (N_t) und C/N Verhältnis der Oberböden 38

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Lage der Versuchsstandorte und der Sortimente 1

Abbildung 2: Anbaupläne der Versuchsflächen 4

Abbildung 3: Trockenmasseerträge der untersuchten Kulturen - Darchau und Parmen. 12

Abbildung 4: Schlecht entwickelter Kleegrasbestand in der Sommergersten-Stoppel der Versuchsfläche Darchau 14

Abbildung 5: Trockenmasseerträge der untersuchten Kulturen - Fürstenhagen und Vehlow17

Abbildung 6: Silphie-Pflanzung mit einer vierreihigen Becherpflanzmaschine auf der Versuchsfläche Fürstenhagen (Foto FNR). 18

Abbildung 7: Ernte der Wildpflanzen im ersten Standjahr in Fürstenhagen 31

Abbildung 8: Zeitbedarf für das Häckseln 32

Abbildung 9: Entwicklung der Regenwurm-Abundanzen auf den Versuchsflächen. 33

Abbildung 10: Trockenmasse der Erntereste und der Streu 37

1.1 Material und Methoden

Der Versuch wurde in Großparzellen auf vier Standorten in Norddeutschland - Darchau (Niedersachsen), Fürstenhagen (Mecklenburg-Vorpommern), Parmen (Brandenburg) und Vehlow (Brandenburg) – auf insgesamt 400 ha Versuchsfläche angelegt (Abb. 1).

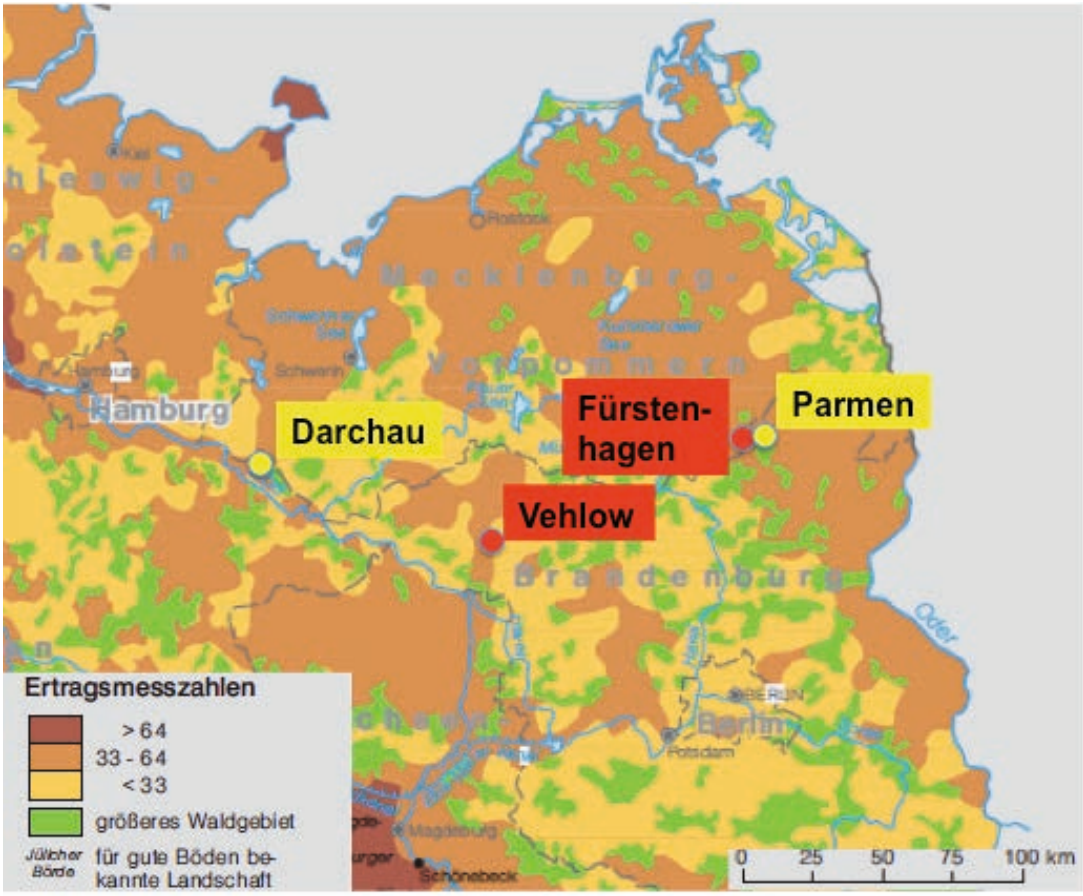

Abbildung 1: Lage der Versuchsstandorte und der Sortimente (gelb: Sortiment 1, rot: Sortiment 2) auf der Karte der „Bodengüte landwirtschaftlicher Nutzflächen“ (Liedke & Marschner 2003).

Die Versuchsfläche Darchau liegt in der Nähe des Ortsteils Sückau (Amt Neuhaus) im Nordosten des Landkreises Lüneburg. Sie grenzt an die Sude, einem Zufluss der Elbe. Der vorherrschende Bodentyp in der Talsandniederung ist Gley, der aus fluviatilen Sanden gebildet wurde und eine in der Mächtigkeit wechselnde Flugsanddecke aufweist. Kleinflächig treten im Unterboden mit Niedermoortorf gefüllte Rinnen auf, die mit Feinsand überdeckt sind. Die ebene Fläche mit Höhen um 10 m ü. N.N. wird durch die Neue Sude und deren Grabensystem entwässert. Die Vorflut liegt ca. 3 m unter der Geländeoberfläche. Die Versuchsfläche ist Teil eines Polders, der bei Elbhochwasser mit dem Wasser der Sude geflutet werden kann, um einen Rückstau bei deren Einmündung bei Boizenburg zu vermeiden. Die Ackerzahl liegt bei 25 bis 30.

Die Versuchsfläche Vehlow liegt bei Kyritz in der Prignitz (Brandenburg) westlich des in einer Schmelzwasserrinne liegenden Untersees auf einer Höhe von ca. 40 m ü. N.N. Die anstehende Grundmoräne ist größtenteils mit Flugsand bedeckt. Der vorherrschende

Bodentyp auf der ebenen Fläche ist Gley. Der Wasserhaushalt ist jedoch durch den tiefen Vorfluter (> 4 m u. GOF), der für die frühere Nutzung der Fläche zur Verrieselung von Abwässern aus der Stärkeproduktion angelegt worden ist, stark verändert. Die Ackerzahl liegt bei 25 – 30.

Die Versuchsflächen Fürstenhagen und Parmen liegen durch eine Straße getrennt im Ortsteil Weggun der Gemeinde Nordwestuckermark. Die Versuchsfläche Parmen liegt am Hang einer Grundmoränenkuppe (100 m ü. N.N.) und weist ein Gefälle von ca. 1,5 % auf. In der Versuchsfläche Parmen dominieren die Bodentypen Fahlerde und Pseudogley, die sich aus den stark lehmigen Sanden und Lehmen der Grundmoräne bzw. der Deckschichten entwickelt haben. Die Ackerzahl liegt bei 45.

Die östlich angrenzende Versuchsfläche Fürstenhagen ist zweigeteilt. Der westliche Teil stimmt geologisch und bodenkundlich mit der Versuchsfläche Parmen überein. Im östlichen Teil dominieren jedoch glazifluviatile Sande an der Oberfläche. Hier liegt die Ackerzahl bei 30. Meist handelt es sich um Mittelsande, kleinflächig stehen aber auch Grobsande und Kiese an. Getrennt werden beide Flächen durch eine Schmelzwasserrinne, die im Norden der Versuchsfläche einen verlandenden See bildet. In den Versuchsflächen Parmen und Fürstenhagen liegen Sölle, die bei der Anlage der Parzellen ausgeklammert wurden.

Der durchschnittliche jährliche Niederschlag ist mit 662 mm in Darchau deutlich höher als bei den kontinentaleren Standorten in Parmen und Fürstenhagen (620 mm) und Vehlow (574 mm). Die niedrigste mittlere Niederschlagssumme und die höchste mittlere Temperatur der Versuchsflächen ist in der Prignitz (Vehlow) zu verzeichnen (Tab. 1).

Tabelle 1: Jahresmittel der Temperatur und Niederschlagssummen, der der Versuchsfläche jeweils nächsten Klimastation (Quelle DWD 2014: Langjährige Mittel 1981-2010).

Standort	Mittlere Jahrestemperatur (°C)	Mittlere Niederschlags-summe (mm)	Wetterstation
Darchau	9,0	662	Boizenburg
Fürstenhagen	8,4	620	Feldberg (Mecklenburg)
Parmen	8,4	620	Feldberg (Mecklenburg)
Vehlow	9,2	574	Kyritz

1.1.1 Standortskundliche Feinkartierung

Zur Einrichtung der Versuchsflächen wurde eine strukturierte standortskundliche Feinkartierung durchgeführt. Im ersten Schritt erfolgte auf Basis der von digitalisierten Karten der Reichsbodenschätzung (Standorte Parmen und Fürstenhagen) bzw. einer EM 38 Kartierung (scheinbare elektrische Leitfähigkeit) durch die Firma Agricon (Standorte Darchau

und Vehlow) eine Aufteilung der Flächen in Untereinheiten. Diese Teilflächen wurden genutzt, um durch Bohrstocksondierungen und bodenkundliche Ansprache nach der KA5 (Ad Hoc AG Boden 2005) weitere Informationen zum Standort zu gewinnen. Zum Aggregieren der Daten zur Bodenart, zum Humusgehalt, zur Lagerungsdichte und zum Grobbodenanteil wurde nach der KA5 die nutzbare Feldkapazität in 2 m Bodentiefe (nFK 2 m) berechnet. Anhand der kartographischen Darstellung der nFK (2 m) sind die Versuchsflächen in Parzellen untergliedert worden. Diese wurden so ausgerichtet, dass sie zwar verschiedene Bodeneinheiten beinhalten, aber nicht ganze Parzellen in nur einer Einheit liegen.

Auf der Grundlage der Kartierung der scheinbaren elektrischen Leitfähigkeit (EM 38) bzw. der Auswertung der digitalisierten Bodenschätzungskarten wurden die Versuchsflächen in ca. drei Hektar große Teilflächen untergliedert. Innerhalb dieser Teilflächen wurden Oberbodenproben gezogen und auf die Hauptnährstoffe und die Acidität untersucht. Vor Anlage der Versuche sollten so mögliche Nährstoffdefizite erkannt und bei Bedarf teilflächenspezifisch ausgeglichen werden. Da sich die Oberböden jedoch als gut bis sehr gut mit Phosphat und Kalium versorgt erwiesen haben, musste keine Ausgleichsdüngung erfolgen. Dabei wurde nicht angestrebt, alle Teilflächen an diejenigen mit der höchsten Versorgungsstufe anzugleichen, so dass in den Versuchsflächen Teilflächen mit der Versorgungsstufe C und höher vertreten waren.

1.1.2 Einrichtung der Versuchsflächen

Es wurden vier Versuchsflächen mit je 100 ha Größe angelegt. Jede Versuchsfläche besteht aus 20 Parzellen. Das Versuchsdesign entspricht einer Blockanlage mit je vier Blöcken zu je 20 ha. In jedem Block wurden fünf verschiedene Kulturen angebaut. Die Lang-Parzellen hatten eine durchschnittliche Größe von 5 ha. Die Breite richtete sich nach der auf den Betrieben üblichen Fahrspurbreite von 36 m. Je nach Geometrie des Ackerschlags betrug die Breite der einzelnen Parzellen 36, 72 oder 108 m. Die Abfolge der Streifen innerhalb eines Blockes war randomisiert. An jedem Standort wurden die 20 Versuchsstreifen so platziert, dass unterschiedliche Bodeneinheiten möglichst von allen Parzellen geschnitten werden, um die Erträge der einzelnen Kulturen miteinander vergleichen zu können. In Darchau wurde eine doppelte Lang-Parzelle mit Wickroggen von 10 ha Größe angelegt, da diese bereits im Herbst 2011 eingesät wurde und sich die Lage der übrigen Blöcke nach der Bodenkartierung verschoben hat. Zur Auswertung sind beide Parzellen separat behandelt worden.

Zur Anlage der Blöcke wurde die erste Fahrspur definiert und mittels des RTK referenzierten GPS des Schleppers aufgenommen. Die weiteren Spuren konnten entsprechend parallel zu dieser aufgenommen und bearbeitet werden. Soweit möglich, wurden rechteckige Parzellen angelegt. In Darchau musste eine Parzelle (Szarvasi im südwestlichen Block) als Trapez angelegt werden (Abb. 2). Die exakte Flächengröße wurde mittels GPS-Kartierung der Eckpunkte sowie der nicht bestellbaren Strukturen bestimmt und mittels Arc-GIS berechnet.

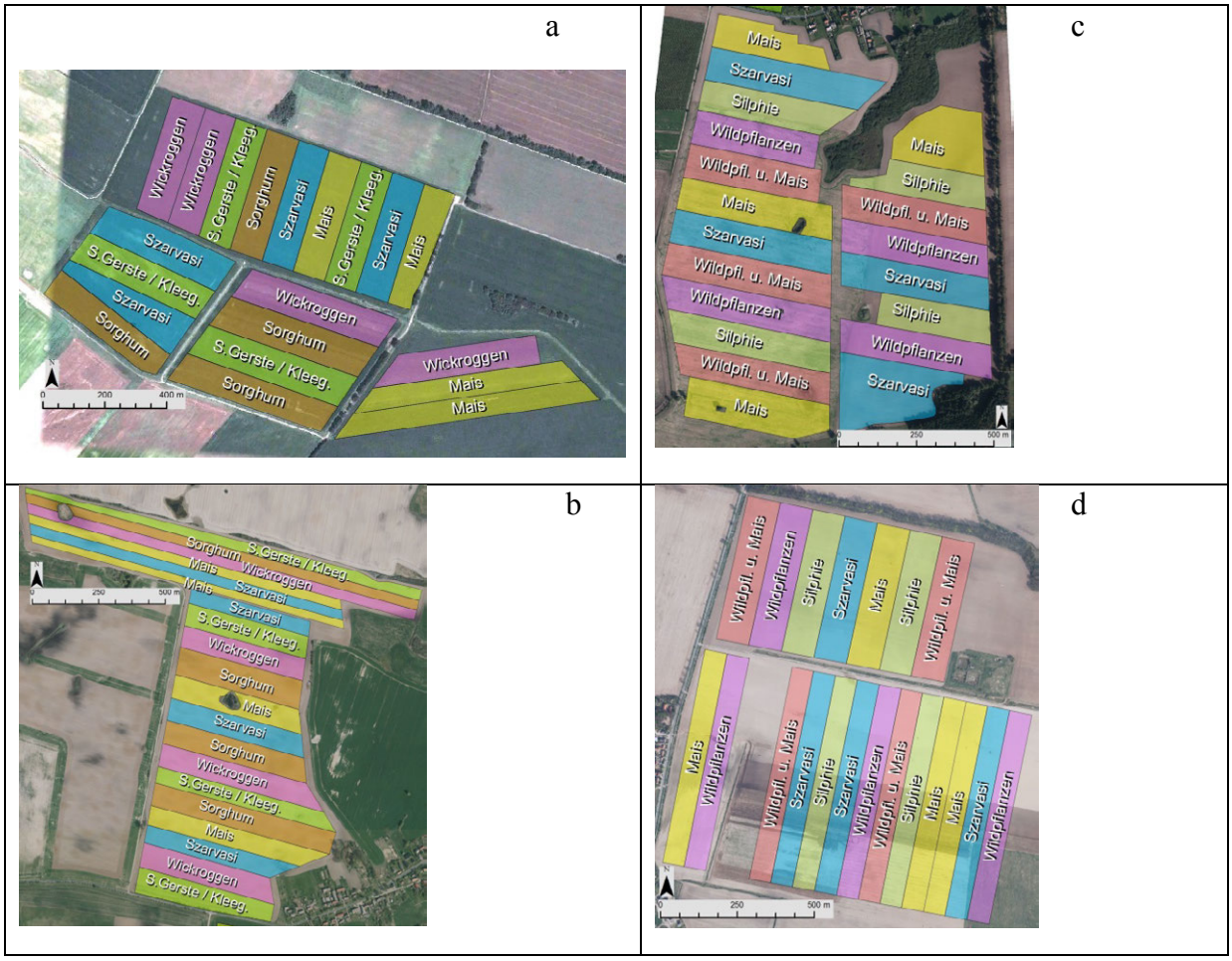

Abbildung 2: Anbaupläne der Versuchsflächen a) Darchau, b) Fürstenhagen, c) Parmen, d) Vehlow. (Luftbildquellen: a): Google Inc. 2013; b), c), d): LGB 2012).

1.1.3 Neue Energiepflanzen

Um eine hohe Anzahl von verschiedenen Kulturen für die Biogasproduktion untersuchen zu können, wurden zwei verschiedene Sortimente angebaut; Sortiment 1 in Darchau und Parmen, Sortiment 2 in Fürstenhagen und Vehlow (Tab. 2). In beiden Sortimenten wurde eine Biogas-Maissorte (KWS Atletas) und das Riesenweizengras (Szarvasi 1) als Referenz angebaut. Daneben sind sechs neue ein- oder mehrjährige Kulturen untersucht worden. Zu den einjährigen zählen Sorghum und Wickroggen. Die mehrjährigen Kulturen sind Durchwachsene Silphie, Wildpflanzenmischung in zwei Varianten und die Fruchtfolge Sommergerste (einjährig) gefolgt von zweijährigem Kleegras. Diese im EVA-Projekt getestete Fruchtfolge wurde zunächst an allen vier Standorten angelegt. Dabei wurde das Kleegras als Untersaat in der Sommergerste eingebracht. Aufgrund der starken Trockenheit im Frühjahr 2012, gelang die Etablierung der Untersaat auf allen vier Versuchsflächen nicht zufriedenstellend. Der Klee wuchs zwar mit ca. 6-8 Pflanzen je Quadratmeter, der Grasanteil fehlte jedoch fast vollständig. Daher wurden die Parzellen im August umgebrochen und in Darchau und Parmen mit einem Kleegrasgemenge neu eingesät. In Fürstenhagen und Vehlow

wurde stattdessen das Riesenweizengras nachgesät. Dieses stellt zusammen mit dem Mais die in beiden Sortimenten angebauten Referenzen dar, die einen Vergleich der Standorte erlauben.

Die Durchwachsene Silphie ist durch Pflanzung angelegt worden. Dabei wurden vorgezogene Jungpflanzen der Firma N.L. Chrestensen verwendet. Je Hektar wurden 40.000 Pflanzen eingebracht. Die Pflanzung erfolgte mit einer vierreihigen Becherpflanzmaschine. Insgesamt sind auf den 40 ha in Fürstenhagen und Parmen 1,6 Mio. Pflanzen benötigt worden.

Die Wildpflanzen („Biogas 1“ von Saaten-Zeller) wurden einerseits als Reinsaat mit den einjährigen und den mehrjährigen Arten, andererseits als Untersaat (nur mehrjährige Arten) im Mais („Ronaldinio“) etabliert. Dazu wurde eine früher abreifende Maissorte als die Referent-Maissorte gewählt, um die Wildpflanzen möglichst früh freizustellen. Dieser Deckfrucht-Mais wurde nur mit blattwirksamen Herbiziden behandelt, da bodenwirksame Mittel das Auflaufen der Wildpflanzen verhindert hätten.

Tabelle 2: In den beiden Sortimenten angebaute Kulturen und deren Sorten bzw. Arten.

Sortiment 1 Darchau, Parmen			
Bezeichnung	**Fruchtart bzw. Mischung**	**Sorte**	**Wissenschaftlicher Name**
Mais (Referenz)	Mais	„Atletas“	*Zea mays* L.
Szarvasi 1	Riesenweizengras	„Szarvasi 1“	*Thinopyrum ponticum* (Podp.) (Podp.) Barkworth & D. R. Dewey
Fruchtfolge EVA	Sommergerste	„Tam Tam“	*Hordeum vulgare* L. sensu lato
	Kleegras	„Country 2055“	
Sorghum	Sorghumhirse	„Zerberus“	*Sorghum bicolor* (L.) Moench
Wickroggen	Roggen 90 %	2012: „Welta“ & „Mephisto“; 2013, 2014: „Progas“	*Secale cereale* L.
	Wicken 10 %	„Dukato“	*Vicia villosa* Roth
Sortiment 2 Fürstenhagen, Vehlow			
Bezeichnung	**Fruchtart bzw. Mischung**	**Sorte**	**Wissenschaftlicher Name**
Mais (Referenz)	Mais	„Atletas“	*Zea mays* L.
Szarvasi 1	Riesenweizengras	„Szarvasi 1“	*Thinopyrum ponticum* (Podp.) (Podp.) Barkworth & D. R. Dewey
Silphie	Durchwachsene Silphie		*Silphium perfoliatum* L.
Wildpflanze u. Mais	Mais	„Ronaldinio“	*Zea mays* L.
	Wildpflanzen	„Biogas 1“ (mehrjährige)	(vgl. Tab. 6)
Wildpflanzen	Wildpflanzen	„Biogas 1“ (ein- & mehrjährige)	(vgl. Tab. 7)

1.1.4 Bewirtschaftung der Versuchsflächen

Bei der Bewirtschaftung der Versuchsflächen wurde das Ziel verfolgt, die Düngung und den Pflanzenschutz an den Energiepflanzenanbau anzupassen. Die Aussaat bzw. Pflanzung der Kulturen fand zu ortsüblichen Terminen statt. Dabei wurden die Empfehlungen der

Saatgutfirmen beachtet (Saatstärke, Saattiefe) und entsprechend der betrieblichen Ausstattung und der Nutzungsrichtung zur Energieproduktion modifiziert.

Entsprechend der Versorgung an Nährstoffen (P-, K-, Mg-Gehalt) der Versuchsflächen wurden im Vorfeld leichte Unterversorgungen durch Düngung ausgeglichen. Die Flächen sind entsprechend dem N-Entzug i.d.R. mit Gärresten gedüngt worden. Wenn notwendig, wurden Pflanzenschutzmaßnahmen mit der vorhandenen Betriebstechnik durchgeführt. Bei etablierten Kulturen werden zugelassene Mittel verwendet, bei neuen Kulturen (z.B. Durchwachsene Silphie) werden Genehmigungen für den Einzelfall beantragt. Die Wahl des Erntetermins orientiert sich am BBCH-Stadium bzw. dem Trockensubstanzgehalt (bei den Wildpflanzenvarianten und der Durchwachsene Silphie). Zur Ernte wurden Maschinen aus dem Praxisbetrieb eingesetzt. Die Feldhäcksler zeichnen georeferenzierte Ertragsdaten auf. Im ersten Erntejahr (2012) wurde ein Krone Feldhäcksler mit „KRONE CropControl System“ (Berechnung des Volumenstroms in m³) eingesetzt. Verwendung fand ein Maisgebiss (Easy Collect 7500) und ein Direktschneidwerk (XDisc 6200).

Ab dem zweiten Erntejahr (ab 2013) stand jedem Betrieb ein Claas-Feldhäcksler mit Durchflussmessung zur Verfügung. Gräser (Kleegras und Szarvasi) wurden mit dem Claas Butterfly (Disco 9100) gemäht, mit einem Pick-Up Vorsatz aufgenommen und gehäckselt. Die weiteren Kulturen sind mit einem Maisgebiss (ORBIS 900) bzw. einem Direktschneidwerk (Direct Disc 610) geerntet worden.

Um Fehlerquellen zu minimieren, wurden die „Vorgewende“ nicht in die Versuchsauswertung einbezogen. Deren Pflanzenbestände wurden vor Beginn der Ernte gehäckselt und die Eckpunkte der so freigestellten Ernteparzellen mittels GPS eingemessen und in das GIS übertragen, so dass die exakte Erntefläche berechnet werden konnte.

1.1.5 Ertragserfassung

Die Ernte der Versuchsflächen erfolgte mit der praxisüblichen Ausstattung der Betriebe. Die Frischmasseerträge des gehäckselten Erntegutes wurden mit einer geeichten Fahrzeugwaage ermittelt. Zur Bestimmung des Trockenmasseertrags ist bei der Ernte je Hänger eine Probe von ca. 800 - 1.000 g Frischmasse entnommen worden. Bei Kulturen mit geringem Ertrag wurden pro Hänger zwei Proben gezogen. Die Proben wurden in perforierte Beutel überführt, ausgewogen und im Trockenschrank bei 105°C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Bei längeren Ernteaktionen wurden die Proben in einem Trockenhänger bei 80°C vorgetrocknet und somit konserviert. Nach dem Rückwiegen ist der Trockensubstanzgehalt unter Einbeziehung der ausgemessenen exakten Flächengröße der Trockenmasseertrag berechnet worden.

1.1.6 Nährstoff- und Energiegehalte des Erntegutes

Je Standort und Kultur wurde eine Mischprobe erstellt und von der LUFA Nord-West in Oldenburg eine Analyse der Inhaltstoffe (Weender Futtermittelanalyse) und eine Berechnung der theoretischen Biogas- und Methanausbeute nach Baserga durchgeführt. Weiterhin wurden die Nährstoffgehalte dieser Mischproben gemessen. Über die Verrechnung mit den Trockenmasseerträgen sind die Nährstoffentzüge berechnet worden.

1.1.7 Vegetationsaufnahmen

In den Varianten „Wildpflanzen“ und „Wildpflanzen unter Mais“ werden ein bis zwei Wochen vor der Ernte verschiedene pflanzensoziologische Erhebungen durchgeführt. Dazu wurde eine repräsentative Fläche (ca. 5 x 5 m) mit homogener Vegetationsausprägung in zwei Wiederholungen je Parzelle untersucht. Der Gesamtdeckungsgrad der Wildpflanzen bzw. der spontan gekeimten Pflanzen wurde in Prozent angegeben. Der Deckungsgrad der einzelnen Pflanzenarten wird mit der erweiterten Braun-Blanquet-Schätzskala (Reichelt & Wilmanns 1973) dokumentiert. Bei jeder Kultur wird zum Erntetermin das phänologische Entwicklungsstadium nach dem BBCH-Code bestimmt.

1.1.8 Nährstoffbilanzierung

Bei der Nährstoffbilanzierung werden die Nährstoffe Stickstoff (N), Phosphor (P), Kalium (K), Calcium (Ca), Magnesium (Mg) und Schwefel berücksichtigt. Die Bilanz bezieht sich auf das jeweilige Nutzungsjahr. Als Zufuhrgrößen werden die organische bzw. mineralische Düngung und die N_2-Fixierung durch Leguminosen betrachtet. Die Nährstoffabfuhr entspricht dem Nährstoffentzug durch die Ernte. Unberücksichtigt bleiben atmosphärische Deposition, Nitrataustrag mit dem Sickerwasser, Stickstofffixierung durch frei lebende Bakterien und die N-Zufuhr mit dem Saatgut.

Die Einschätzung der N-Fixierung durch Leguminosen benötigt folgende Angaben: Fruchtart (Rotkleegras: 30/70), Bruttoertrag (Annahme 10% Ernteverlust) und N-Gehalt:

Rechnung (nach Kolbe 2008): N-Bindung = (1,19 x N-Entzug – 50) kg N/ha.

1.1.9 Ertragsanteile Wickroggen

Die Ertragsanteile vom Wickroggen werden direkt vor der Ernte bestimmt. Dazu wird je Parzelle eine Fläche von einem Quadratmeter in vierfacher Wiederholung abgeerntet. Das Erntegut wurde in die Fraktionen Roggen, Wicken und Sonstige sortiert. Die Trockenmasse der Fraktionen wurde nach einer Trocknung bei 105°C bestimmt.

1.1.10 Aufwand Ernte

Zur Ermittlung des Zeitbedarfs bei der Ernte wurde die Zeit zwischen Beginn und Ende des Häckselns einer Parzelle erfasst. Der Aufwand für Mähen und Schwaden wurde nicht separat dokumentiert worden.

1.1.11 Untersuchung der Regenwurmfauna

Zur Erfassung der Regenwurmfauna wurden im Herbst der Jahre 2012, 2013 und 2014 je Parzelle drei Extraktionen mit Senf-Suspension auf eine Fläche von 1/3 m^2 durchgeführt (Fründ & Jordan 2003). Anschließend ist innerhalb dieser Fläche ein Monolith von 1/30 m^2 Fläche spatentief entnommen und einer Handauslese unterzogen worden. Die gefangenen Regenwürmer wurden in Alkohol konserviert, im Labor einzeln gewogen und bestimmt. Die Nomenklatur richtet sich nach Sims & Gerard (1985). Die Anzahl und die Biomassen der Regenwürmer wurden mit dem Faktor drei für die Senf-Extraktion und den Faktor 30 für die Handauslese multipliziert und addiert.

1.1.12 Erfassung des Biogasertrages in den Praxisbiogasanlagen

Der Projektpartner, die Ruhe Agrar GmbH, betreibt vier größtenteils baugleiche 2,7 MW Biogasanlagen. Diese wurden im Jahr 2011 errichtet und in Betrieb genommen. Jede Anlage versorgt fünf Blockheizkraftwerke mit Biogas. Eines ist an der Anlage installiert, die vier weiteren werden jeweils in den angrenzenden Ortschaften betrieben und sind über eine Gasleitung mit der Biogasanlage verbunden. Die ausgelagerten Blockheizkraftwerke versorgen über Fernwärmeleitungen Haushalte und Betriebe mit Wärme. Jede Anlage verfügt über zwei Fermenter mit einem Fassungsvermögen von 5.000 m^3 und Gärrestlagern. Die Substratbeschickung erfolgt über zwei Bunker und einen eigens für die Versuche installierten Vertikalmischer. Die festen Substrate werden über Schnecken in sogenannte Kreisdissolver eingetragen, mit Gülle und Rezirkulat vermischt und durch schnell rotierende Messer mechanisch aufbereitet. Das Gemisch wird mehrmals in der Stunde in die Fermenter gepumpt. In der Anlagensteuerung kann die gewünschte Substratmischung und –menge vorgegeben werden. Die Verwiegung der Komponenten erfolgt über Wägefüße der Kreisdissolver. Beide Fermenter-Endlager-Stränge können getrennt beschickt werden, wobei sie Substrate aus beiden Bunkern und über die Pumpen beziehen können. Die Anlagen sind mit zahlreichen Messeinrichtungen bestückt. Neben den für den Betrieb der Motoren relevanten Parametern, werden die für die Beobachtung der Prozessbiologie relevanten Parameter Redoxpotential im Fermenterinhalt, Methan-, Sauerstoff- und Schwefelwasserstoffgehalt des Biogases sowie die Biogasmenge getrennt für die beiden Fermenter und die Nachgärer ermittelt.

Das Erntegut der neuen Kulturen zur Biogaserzeugung wurde getrennt auf einer Siloplatte gelagert und unter Silofolie siliert. Der als Referenz oder als Deckfrucht für die mehrjährigen Wildpflanzen angebaute Mais und die spät geernteten Substrate aus dem Jahr 2014 wurden in die übrigen Silagen der Praxisflächen der Betriebe eingemischt.

Zum Einsatz der Test-Silagen in die Biogasanlagen wurden zunächst die beiden Fermentersträge gasseitig getrennt, um nur die im jeweiligen Fermenter bzw. im Fermenter und zugehörigem Gärrestlager gebildeten Biogasmengen erfassen zu können. In einer mindestens einwöchigen Vorlaufphase wurden beide Fermenter einer Anlage, wie normalerweise auch, gleich mit Substraten versorgt. Anschließend wurde der Vertikalmischer mit der Testsilage gefüllt und von dort mit täglich ca. 10 – 20 t in den Fermenter B gefüttert. Die übrigen Fütterungskomponenten blieben gleich. Die Fütterung des Fermenters A wurde nicht verändert. Falls das Testsubstrat eine deutlich vom Rest der Substrate abweichende Biogasmenge erzeugte, setzte eine automatische Steigerung oder Reduzierung der täglich zugeführten Substratmenge ein.

Zur Auswertung wurde zunächst der tägliche Biogasertrag je Tonne Frischmasse für den Fermenter A berechnet. Anschließend wurde der Anteil der Fütterungskomponenten ohne die Testsilage für Fermenter B berechnet. Diese Fütterungskomponenten stimmen exakt mit denen des Fermenters A überein. Der Biogasertrag dieser Komponenten wurde durch Multiplikation mit dem Wert des täglichen Biogasertrages je Tonne Frischmasse für den Fermenter A errechnet. Im folgenden Schritt ist dieser Wert von der in Fermenter B gebildeten Biogasmenge subtrahiert worden. Dieser Wert wiederum wurde durch die Menge der Testsilage dividiert.

Zur Überprüfung dieses Verfahrens wurde die gleiche Rechnung für die Vorlaufphase ohne Einsatz der Testsilage angewandt. Ergebnisse von Testläufen, bei denen es einen signifikanten Unterschied (T-Test 0,05) zwischen den für Fermenter B aus der Fütterung und dem Biogasertrag von Fermenter A gab, sind verworfen worden.

1.1.13 Statistische Auswertung

Für die Berechnung von Mittelwerten wurde zunächst der Mittelwert je Prüfglied aus den vier Wiederholungen berechnet, erst dann folgten weitere Aggregierungen.

Zur statistischen Auswertung der Trockenmasse-Erträge der einzelnen Kulturen werden die Ertragsdaten einer Varianzanalyse in SPSS Statistics 20 auf signifikante Unterschiede geprüft. Das Signifikanzniveau wurde auf 0,05 festgesetzt. Die Versuchsergebnisse werden auf Normalverteilung und Varianzhomogenität geprüft. Die statistische Auswertung erfolgt anhand einer Varianzanalyse mit Mittelwertvergleich (nach Scheffé).

Die Fehlerbalken entsprechen dem statistisch ermittelten Standardfehler bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5$ %. Auf auftretende signifikante Unterschiede in Abhängigkeit von Standort, Fruchtart und Teilfläche wird im Text eingegangen.

1.2 Ergebnisse der Upscaling-Versuche

Im Folgenden werden die Ergebnisse in Bezug auf die Bestandesentwicklung und die Erträge der einzelnen Kulturen dargestellt. Der als Referenz dienende Mais und das Szarvasi 1 wurden auf allen vier Versuchsflächen angebaut, die übrigen Kulturen auf jeweils zwei Flächen. Die Bodenbearbeitung, Bestellung, der Pflanzenschutz und die Ernte wurden von den Betrieben der Ruhe Agrar in Abstimmung mit der Forschungsstelle Nachhaltige Biogaserzeugung vorgenommen.

1.2.1 Bestandesentwicklung und Erträge

1.2.1.1 Sortiment 1: Versuchsflächen Darchau und Parmen

Das Sortiment 1 mit den Kulturen Mais, Szarvasi, Sommergerste mit Kleegrasuntersaat, Sorghum und Wickroggen wurde in Darchau und Parmen angebaut. Im Folgenden werden die Daten zur Bestandesentwicklung und zu den Trockenmasseerträgen der einzelnen Kulturen dargestellt (Tab. 3, Abb. 3).

Tabelle 3: Mittlere Trockensubstanzgehalte an der Frischmasse des Erntegutes auf den Versuchsflächen Darchau und Parmen.

Kultur	Jahr	Darchau	Parmen
		Trockensubstanzgehalte in % der Frischmasse	
Mais	2012	40,6	33,6
	2013	32,5	40,1
	2014	40,8	34,9
Szarvasi1	2012	keine Ernte	keine Ernte
	2013	28,7	28,4
	2014	29,5	31,3
S. Gerste	2012	38,4	41,7
Kleegras	2013	22,4	31,3
	2014	26,6	29,2
Sorghum	2012	23,5	25,3
	2013	26,0	31,9
	2014	27,3	24,8
Wickroggen	2012	37,0	37,4
	2013	29,1	30,7
	2014	35,2	30,7

Abbildung 3: Trockenmasseerträge der untersuchten Kulturen auf den Versuchsflächen Darchau und Parmen. Der Fehlerindikator zeigt die Standardabweichung (bei mehreren Schnitten ist die Standardabweichung für den Gesamtertrag dargestellt). Signifikanz nach Scheffé (Alpha = 0,05). Darchau 2013 Szarvasi1*, Wickroggen* = Noternte, Darchau 2014 Wickroggen* = Wicken-Weidelgras-Saatgut.

Mais

Auf allen vier Standorten wurde von 2012-2014 die Sorte Atletas (KWS) verwendet, die bei einer Siloreifezahl von S280 insbesondere für die Nutzungsrichtung Biogas geeignet ist. Trotz der hohen Siloreifezahl gelangte der Mais an beiden Standorten regelmäßig zur Abreife. Die mittleren Trockensubstanzgehalte sind in Tab. 3 dargestellt. Die Trockenmasseerträge im ersten Versuchsjahr lagen mit 15,1 t/ha in Darchau und 14,8 t/ha in Parmen auf gleicher Höhe. Die Vegetationsperiode 2013 war durch eine Sommertrockenheit geprägt, so dass der Trockenmasseertrag auf den sandigen Böden in Darchau nur bei 10,7 t/ha lag, der in Parmen jedoch mit 14,5 t/ha dem des Vorjahres glich. Im dritten Versuchsjahr, das durch eine gleichmäßige Niederschlagsverteilung gekennzeichnet war, wurden in Darchau 16,6 t/ha und in Parmen 14,1 t Trockenmasse/ha geerntet.

Die Maisbestände der Versuchsfläche Parmen waren in allen drei Jahren in geringem Ausmaß (<1 % der Pflanzen) vom Maiszünsler (*Ostrina nubilalis*) befallen. In Darchau trat der Maiszünsler nicht auf.

Szarvasi 1

Das Weizengras Szarvasi 1 wurde in Darchau und Parmen im Frühjahr 2012 gesät. Da das Saatgut bereits im Herbst 2011 geliefert wurde, erfolgte vor der Aussaat ein Keimtest im Labor. Dabei sind im Mittel 94 % der Samen gekeimt. Nach der Aussaat verlief die Bestandesentwicklung recht langsam. In Darchau erfolgte im Herbst auf zwei Parzellen ein Schröpfschnitt, die beiden übrigen Parzellen wurden von einer Schafherde beweidet. In Parmen unterblieb der geplante Schröpfschnitt, da zu dem Zeitpunkt eine Befahrung der Fläche aufgrund der hohen Wassergehalte nicht sinnvoll war.

Das zweite Standjahr erbrachte Trockenmasseerträge von 8,2 t /ha in Darchau und 10,8 t /ha in Parmen. In Darchau musste der Bestand jedoch bereits Anfang Juni ca. drei Wochen vor dem optimalen Zeitpunkt geerntet werden, da aufgrund des Hochwassers der Elbe eine Überstauung der Fläche geplant war. Diese war letztlich nicht notwendig. Im Erntejahr 2014 waren die Trockenmassenerträge mit 10,6 t/ha in Darchau und 11,6 t/ha in Parmen etwas höher als im trockenen Vorjahr. Auffällig ist, dass der zweite Schnitt in Darchau ca. ein Drittel, in Parmen jedoch weniger als ein Fünftel des Jahrestrockenmasseertrages erbrachte. Nach der Mahd im Juni war über einen Zeitraum von sechs bis acht Wochen keine Regeneration des Szarvasi 1-Bestandes festzustellen. Im ersten Erntejahr 2013 spiegelt die hohe Standardabweichung der Trockenmasseerträge in Parmen die auch im Gelände zu registrierende Heterogenität der Bestände wider. Verdichtete Teilflächen und staunasse Bereiche in den Parzellen zeichneten sich durch den geringeren Aufwuchs deutlich ab. Im folgenden Jahr waren die Bestände in Parmen weitaus homogener.

Sommergerste – Kleegras - Kleegras

Mit dem Ziel, an die Ergebnisse des EVA Verbundprojektes anknüpfen zu können, wurde die Fruchtfolge Sommergerste mit Kleegrasuntersaat – Kleegras – Kleegras angelegt. Das Kleegras wurde im Frühjahr 2012 als Untersaat in die Sommergerste eingebracht. Eine geplante Behandlung der Sommergerste war aufgrund des geringen Beikrautdruckes nicht notwendig. Die Sommergerste erbrachte Trockenmasseerträge in der ausgehenden Teigreife von 4,9 t/ha in Darchau und 4,15 t/ha in Parmen. Jedoch gelang die Etablierung des Kleegrases im Unterstand nicht. Die Grasbestandteile sind fast vollständig ausgefallen, und der Klee stand sehr lückig (Abb. 4). Daher wurde die Stoppel in beiden Versuchsflächen umgebrochen und erneut Kleegras ausgesät. Im Jahr 2013 war keine Ernte des Bestandes mehr möglich.

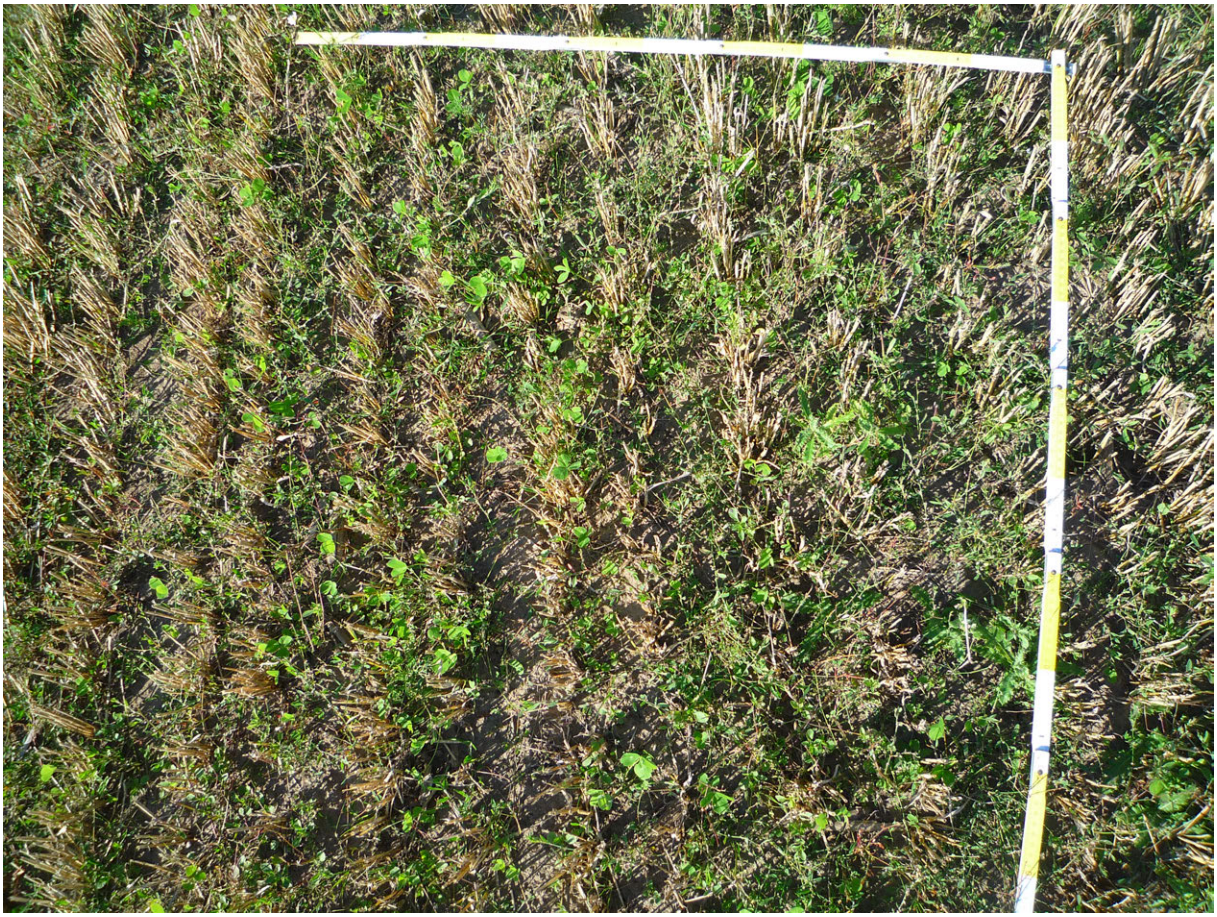

Abbildung 4: Schlecht entwickelter Kleegrasbestand in der Sommergersten-Stoppel der Versuchsfläche Darchau (August 2013).

Der Bestand des neu angelegten Kleegrases entwickelte sich in Darchau schneller als in Parmen, so dass die Trockenmasseerträge dort im Jahr 2013 mit 10,1 t/ha deutlich über denen in Parmen mit 5,9 t/ha lagen. Im Jahr 2014 war der Unterschied mit 11,9 t/ha in Darchau und 10,3 t/ha in Parmen deutlich geringer als im Vorjahr. Es wurden in der Regel drei Schnitte geerntet. Wie schon beim Szarvasi 1 fällt auf, dass die Regeneration der Bestände nach dem ersten Schnitt in Parmen deutlich schlechter verlief als in Darchau, daher war im Jahr 2013 kein dritter Schritt möglich.

Sorghum

Mit der Sorte KWS Zerberus (*Sorghum bicolor*) wurde eine Sorghum-Hirse für den Hauptfruchtanbau gewählt. Die Aussaat erfolgte jeweils ca. vier Wochen später als die des Maises. Im Frühjahr 2013 führte ein Starkniederschlag zu einer Verschlämmung der Bodenoberfläche in Darchau. Dies führte zu einem ungleichmäßigen Auflaufen des Sorghums. Die von der Verschlämmung betroffenen Bereiche liefen bis zu drei Wochen später auf. Ende Juli hatte sich der Bestand dann geschlossen und erschien gleichmäßig.

Das Sorghum wurde jeweils als letzte Kultur der Versuche im November geerntet. Die Abreife der Bestände war jedoch unzureichend, so dass die Trockenmassegehalte mit 24 - 27 % der Originalsubstanz (Tab. 3) deutlich unter dem für die verlustarme Silierung

angestrebten Wert von >32 % lagen. Nur das Sorghum in Parmen erreichte im Jahr 2013 diesen Zielwert, nachdem der Bestand durch Frost beeinflusst wurde. Die Erträge lagen durchweg um 8 Tonnen Trockenmasse je Hektar, in Darchau im Jahr 2014 bei 10,5 t/ha.

Wickroggen

Das Wicken-Roggengemenge als Hauptfrucht wurde zum ersten Mal bereits im Herbst 2011 ausgesät. Dazu wurde ein fertig gemischtes Saatgut mit der Zottelwicke Welta (*Vica villosa* Roth) und den Hybridroggen Mephisto und Dukato eingesetzt. In den Jahren 2012 und 2013 wurde eine auf den Biomasseertrag hin optimierte Roggensorte (KWS Progas) (150 kg/ha + 30 kg/ha Wicke) ausgesät.

Durch eine Fehllieferung wurde jedoch im Herbst 2013 (Erntejahr 2014) in Darchau statt der Wicken ein Wicken-Weidelgrasgemenge ausgesät. Die Ernte 2013 ist aufgrund der befürchteten Flutung der Versuchsfläche Darchau auf Anfang Juni vorgezogen worden. Die Kornfüllung des Roggens setzte zu dem Zeitpunkt erst ein, so dass der Ertrag deutlich unter dem Potential blieb. Somit kann in Darchau nur der Ertrag von 7,5 t Trockenmasse/ha aus dem Jahr 2012 im Rahmen dieser Untersuchung betrachtet werden. Dieser war höher als in Parmen (6,0 t/ha). Nach dem Wechsel zur Biogas-Roggensorte sind in Parmen Trockenmasseerträge von 12,9 t/ha im Erntejahr 2013 und 12,0 t/ha im Erntejahr 2014 erzielt worden. Der Ertragsanteil der Mischungskomponenten Wicke an der Trockenmasse variiert stark von 5-20 % (Tab. 4).

Tabelle 4: Ertragsanteile des Roggens, der Wicken und der Beikräuter und Beigräser des Wickroggens auf den Versuchsflächen Darchau und Parmen (Mittelwert aus 4 Aufnahmen je 4 m^2).

Versuchsfläche	Jahr	Roggen	Wicke	Beikräuter/-gräser
		Ertragsanteil in % der Trockenmasse		
Darchau	2012	77	15	8
	2013	wegen Noternte nicht beprobt		
	2014	52	20	28
Parmen	2012	84	14	2
	2013	92	8	0
	2014	94	5	1

Das Maximum der Wicken und der Beikräuter in Darchau (2014) ist auf die Verwendung des Wicken-Weidelgrasgemenges zurückzuführen. In Parmen liegen die Anteile der Wicke mit 15 % im ersten Jahr, in dem der Gesamttrockenmasseertrag mit 6 t/ha deutlich geringer war als in den beiden folgenden Jahren in denen die Biogas-Roggensorte (ca. 14 t/ha) angebaut wurde, deutlich über den Wicken-Anteilen der Folgejahre (Tab. 4). Auch im Gelände war erkennbar, dass die Wicke bei gut wüchsigen Getreidebeständen zurückgedrängt wurde und an Getreide-Fehlstellen stärker entwickelt war.

1.2.1.2 Sortiment 2: Versuchsflächen Fürstenhagen und Vehlow

Das Sortiment 2 mit den Kulturen Mais, Szarvasi, Sommergerste gefolgt von Szarvasi 1, der Durchwachsennen Silphie und zwei Wildpflanzen-Varianten wurde in Fürstenhagen in direkter Nachbarschaft zur Versuchsfläche Parmen und in Vehlow in der Prignitz angebaut. Im Folgenden werden die Daten zur Bestandesentwicklung und zu den Trockenmasseerträgen der einzelnen Kulturen dargestellt (Tab. 5, Abb. 5).

Tabelle 5: Mittlere Trockensubstanzgehalte an der Frischmasse des Erntegutes auf den Versuchsflächen Fürstenhagen und Vehlow.

Kultur	Jahr	Fürstenhagen	Vehlow
		Trockensubstanzgehalte in % der Frischmasse	
Mais	2012	32,2	40,4
	2013	38,9	28,5
	2014	32,3	36,1
S. Gerste	2012	44,3	40,4
Szarvasi1	2013	29,3	28,6
	2014	32,6	28,5
Silphie	2012	keine Ernte	keine Ernte
	2013	29,3	28,9
	2014	24,6	25,8
Mais	2012	26,4	43,0
Wildpfl. u Mais	2013	35,7	41,4
	2014	34,6	31,0
Wildpflanzen	2012	24,8	24,9
	2013	37,4	42,8
	2014	34,3	29,7

Mais

Wie in Darchau und Parmen wurde in Fürstenhagen und Vehlow die Maissorte Atletas als Referenz angebaut. Die Trockenmasseträge in Fürstenhagen liegen mit ca. 16 t/ha in den Jahren 2012 und 2014 deutlich über denen in Vehlow (12,9 und 12,8 t/ha). Im Trockenjahr 2013 ist der Bestand in Vehlow stark geschädigt worden, so dass nur 7,3 t Trockenmasse/ha geerntet wurden, während in Fürstenhagen 13,6 t/ha erzielt wurden. Diese deutlichen Unterschiede im Ertrag spiegeln die schlechteren Standortsbedingungen auf der Versuchsfläche Vehlow deutlich wider. Zusätzlich waren in allen drei Jahren 25-40 % der Maispflanzen in Vehlow vom Maiszünsler (*Ostrina nubilalis*) befallen. In Fürstenhagen waren weniger als 5 % der Pflanzen betroffen.

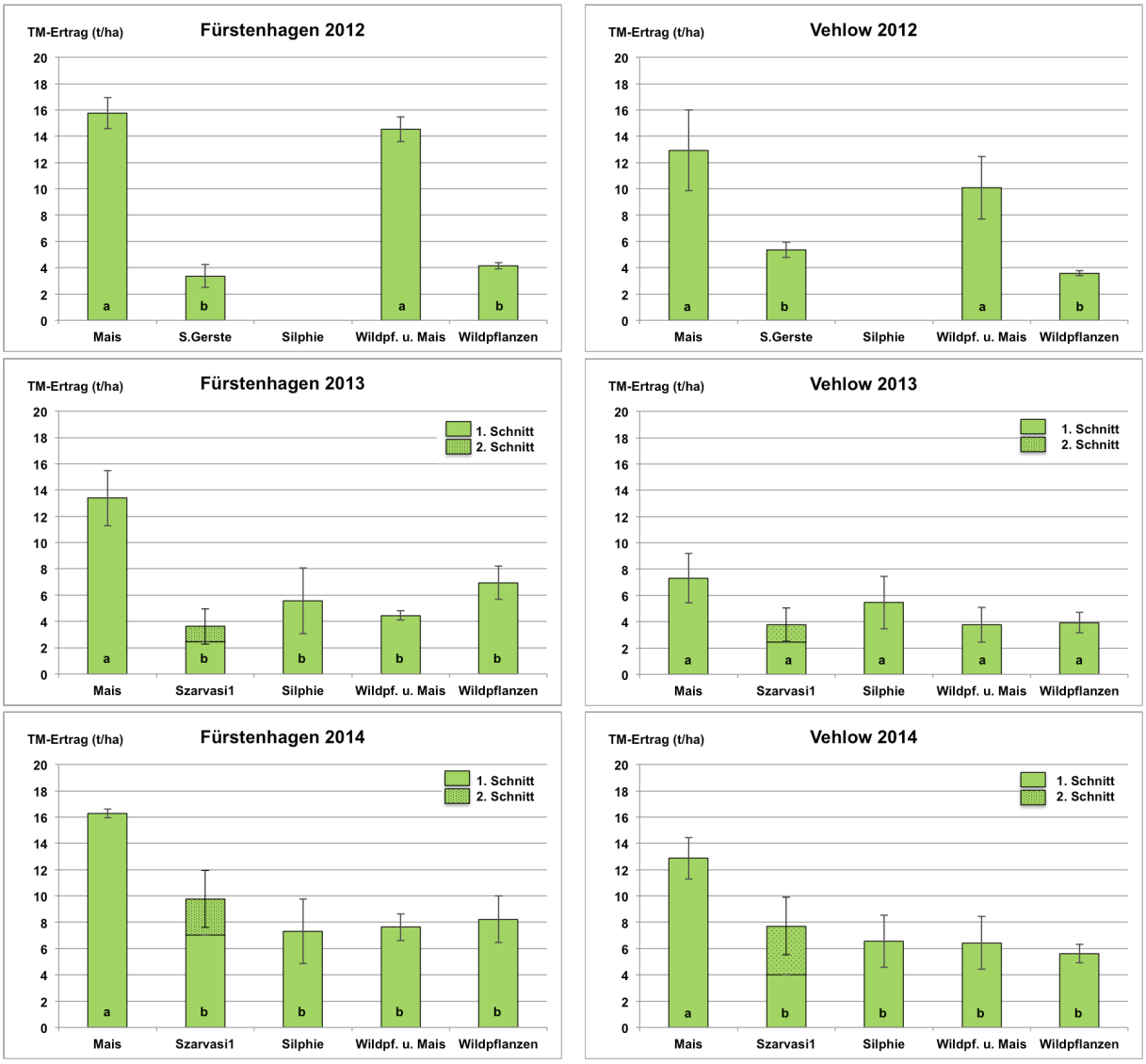

Abbildung 5: Trockenmasseerträge der untersuchten Kulturen auf den Versuchsflächen Fürstenhagen und Vehlow. Der Fehlerindikator zeigt die Standardabweichung (bei mehreren Schnitten ist die Standardabweichung für den Gesamtertrag dargestellt). Signifikanz nach Scheffé (Alpha = 0,05).

Sommergerste – Szarvasi 1 – Szarvasi 1

In Fürstenhagen und Vehlow war wie bei den beiden anderen Versuchsflächen eine Sommergerste – Kleegras – Kleegras Fruchtfolge geplant. Nach der Ernte der Sommergerste im Sommer 2012, die Trockenmasseerträge von 3,4 t/ha in Fürstenhagen und 5,4 t/ha in Vehlow erbrachte, zeigte sich, dass das als Untersaat eingebrachte Kleegras nur eine sehr geringe Deckung aufwies. Da nicht zu erwarten war, dass sich der Bestand schließt, wurde die Fläche gegrubbert und Ende August mit Szarvasi 1 bestellt. Aufgrund der Trockenheit entwickelte sich der Bestand bis zum Winter nur schwach. Im Spätwinter 2012/1013 setzte eine Kältephase ein, die bis zum April 2013 andauerte. Die Blätter des Szarvasi 1 Grases, die über die Schneedecke ragten, sind komplett abgefroren. Trotzdem kam es auch auf aperen Stellen nicht zum flächenhaften Ausfall. Dennoch war die Bestandesentwicklung stark verzögert und das Szarvasi 1 erbrachte 2013 nur Trockenmasseerträge von 3,6 t/ha in Fürstenhagen und 3,8 t/ha in Vehlow und damit weniger als die Hälfte des Ertrages der im

Frühjahr 2012 gesäten Bestände in Darchau und Parmen. Im Jahr 2014 haben sich die Erträge mit 9,8 t Trockenmasse/ha in Fürstenhagen und 7,7 t Trockenmasse/ha in Vehlow erhöht, erreichten aber nicht das Niveau von Darchau und Parmen (10,6 t/ha, 11,6 t/ha).

Durchwachsene Silphie

Auf den Versuchsflächen Fürstenhagen und Vehlow wurden jeweils 20 ha Durchwachsene Silphie gepflanzt. Die Pflanzdichte betrug 40.000 Pflanzen/ha, so dass insgesamt 1,6 Mio. Jungpflanzen gebraucht wurden. Die Pflanzung erfolgte mittels einer vierreihigen Becherpflanzmaschine (Perdu 4000) mit 45 cm Reihenabstand. Damit konnten ca. zwei Hektar Silphie pro Tag gepflanzt werden. Dazu war ein erheblicher Personalaufwand notwendig. Vier Mitarbeiter haben die Pflanzen in die Maschine eingelegt, ein Mitarbeiter hat den Traktor gefahren, ein weiterer Mitarbeiter war für das Wässern der Jungpflanzen und den Transport zum Feld zuständig (Abb. 6). Zusätzlich hat ein Mitarbeiter die Pflanzung

Abbildung 6: Silphie-Pflanzung mit einer vierreihigen Becherpflanzmaschine auf der Versuchsfläche Fürstenhagen (Foto FNR).

unterstützt und Fehlstellen per Hand nachgepflanzt. Die Pflanzung begann am 15.05.2012 in Fürstenhagen und dauerte insgesamt fünf Wochen. Da dieser Zeitraum in eine Trockenphase fiel, mussten die Pflanzen bewässert werden. In Vehlow war eine Beregnung möglich, es wurden ca. 20 mm vor der Pflanzung und 20 mm nach der Pflanzung gegeben. In Fürstenhagen waren keine Brunnen vorhanden, daher wurde der Bestand nach der Pflanzung mit Güllefässern über einen Zeitraum von vier Wochen bewässert. Trotz der schwierigen

Bedingungen sind nahezu alle korrekt in den Boden eingebrachten Silphie-Jungpflanzen angegangen. Nur solche Pflanzen, bei denen der Bodenkontakt nicht ausreichend hergestellt werden konnte, weil sich z.B. die Maschine über einen Stein verkantet hat, sind innerhalb weniger Tage vertrocknet. Bis zum Herbst des ersten Standjahres hatte sich ein ca. 40 cm hoher Silphie-Bestand mit ca. 80 % Deckungsgrad in Fürstenhagen und ca. 60 % Deckungsgrad in Vehlow entwickelt. Im zweiten Standjahr wurden bei einem Trockensubstanzgehalt von 29,3 % in Fürstenhagen und 28,9 % in Vehlow 5,7 bzw. 5,5 t Trockenmasse/ha geerntet. Im dritten Standjahr erhöhte sich der Trockenmasseertrag auf 7,6 t/ha in Fürstenhagen und 6,6 t/ha in Vehlow. Die Bereiche, in denen die Silphie im Trockenjahr 2013 geschädigt worden ist, wiesen im Frühjahr 2014 eine geringe Triebkraft und Deckung der Silphie auf, so dass sie stark verunkrauteten. Flächenmäßig dominierten aber geschlossene Silphie-Bestände.

Wildpflanzen unter Mais

In Fürstenhagen und Vehlow wurden Wildpflanzen-Mischungen zur Biogaserzeugung in zwei verschiedenen Varianten angebaut. Einerseits wurde eine Mischung aus einjährigen und mehrjährigen Arten (Wildpflanzen), andererseits eine Mischung von mehrjährigen Arten unter Mais als Deckfrucht gesät. Dazu wurde mit der Sorte Ronaldinio (KWS) im Vergleich zur Referenzmaissorte Atletas (S 280) eine, mit der Siloreifezahl S 240, früher abreifende Maissorte gewählt. Während beim Referenzmais praxisüblich auch bodenwirksame Herbizide eingesetzt wurden, ist der Deckfrucht-Mais nur mit blattwirksamen Mittel behandelt worden. Die Wildpflanzenuntersaat wurde vor dem Reihenschluss mittels pneumatischer Streuer eingebracht. Während sich der Mais in Fürstenhagen gleichmäßig entwickelt hat und der Trockenmasseertrag mit 14,5 t/ha nur wenig unter dem des Referenzmaises Atletas (16 t/ha) lag, führte das späte Auflaufen von Hirse zu einer stellenweise starken Verunkrautung des Deckfruchtmaises. Dieser erbrachte mit 10,1 t/ha einen geringeren Trockenmassetrag als der Referenzmais Atletas (12,9 t/ha). Nach der Maisernte zeigte sich, dass dessen starke Beschattung den Aufgang der Wildkräuter hemmte, da diese praktisch nur an den Rändern der Parzellen ähnliche Entwicklungsstadien und Dichten zeigten, wie in den mit ein- und mehrjährigen Wildpflanzen bestellten Parzellen. Bis zum Winter entwickelten sich weitere Jungpflanzen, so dass sich die Bestände anglichen.

Bei der Bodenbearbeitung zur Maisausaat im Frühjahr 2013 wurde eine Parzelle der Variante Wildpflanzen unter Mais versehentlich gegrubbert und dann aus dem Versuch genommen, so dass 2013 und 2014 nur drei Wiederholungen vorhanden sind. Im zweiten Standjahr dominierten der Rainfarn, der Beifuß und die Schwarze Flockenblume (Tab. 6) begleitet von zahlreichen weiteren Blütenpflanzen. Einige ertragsstarke Arten, wie der Eibisch, der Alant und der Fenchel sind nicht aufgegangen. Die Erträge der unter der Trockenheit des Jahres 2013 leidenden Bestände lagen bei 4,4 t/ha in Fürstenhagen und 3,8 t/ha in Vehlow. Damit lagen sie in Vehlow nur wenig, in Fürstenhagen jedoch ca. ein Drittel unter denen der ein- und mehrjährigen Wildpflanzenmischungen.

Im Jahr 2014 dominierte der Rainfarn vor dem Beifuß und der Schwarzen Flockenblume. Insbesondere in Fürstenhagen breiteten sich spontane Gräser auf bis zu 21 % Deckung aus, während auf den Parzellen der ein- und mehrjährigen Wildpflanzen der Gräser-Deckungsgrad niedrig blieb. Die Trockenmasseerträge lagen im Jahr 2014 mit 7,7 t/ha in Fürstenhagen und 6,5 t/ha in Vehlow deutlich höher als im Vorjahr.

Tabelle 6: Liste der als Untersaat im Mais angesäten Wildpflanzen und deren mittlere Deckungsgrade auf den Standorten Fürstenhagen und Vehlow (Mittelwerte aus je acht (in Vehlow sechs) Aufnahmen von 25 m^2).

Standort		**Fürsten-hagen**		**Vehlow**	
Jahr		**2013**	**2014**	**2013**	**2014**
		Deckungsgrad in %			
Deckungsgrad Wildpflanzen		68,0	75,4	68,6	79,8
Deckungsgrad Gesamt		74,8	91,0	83,8	91,7
Deckungsgrad spontane Gräser		3,0	21,0	10,9	14,7
Deckungsgrad spontane Kräuter		5,0	6,5	8,4	3,7
Wiss. Artname	Deutscher Artname				
Althaea officinalis	Echter Eibisch	0,1	-	-	-
Anthemis tinctoria	Färberkamille	1,3	1,3	1,5	0,7
Artemisia vulgaris	Gemeiner Beifuß	13,1	6,0	20,3	15,4
Centaurea nigra	Schw.Flockenblume	5,3	11,7	11,7	7,0
Cichorium intybus	Gemeine Wegwarte	1,1	0,7	0,1	0,3
Dipsacus sylvestris	Wilde Karde	0,1	0,4	-	-
Echium vulgare	Gew. Natternkopf	1,5	2,9	0,3	0,6
Foeniculum vulgare	Gemeiner Fenchel	-	-	-	-
Inula helenium	Echter Alant	-	-	-	-
Malva sylvestris	Wilde Malve	1,6	1,3	0,1	0,1
Medicago sativa	Luzerne	-	0,2	-	-
Melilotus albus	Weißer Steinklee	2,2	1,8	0,7	-
Melilotus officinalis	Echter Steinklee	1,0	0,8	0,1	-
Onobrychis viciifolia	Saat-Esparsette	-	-	-	-
Reseda luteola	Resede	2,1	0,4	-	-
Silene alba	Weiße Lichtnelke	3,2	4,2	3,7	6,8
Silene dioica	Rote Lichtnelke	1,6	1,2	0,7	0,6
Tanacetum vulgare	Rainfarn	10,3	25,2	32,3	32,9
Verbascum thapsus	Kleinbl.Königskerze	0,4	-	0,1	-

Wildpflanzen

In Fürstenhagen und Vehlow wurden einjährige und mehrjährige Wildpflanzen angesät. Im ersten Jahr sind die einjährigen Arten: Sonnenblumen mit zwei Sorten, Buchweizen sowie die Mauretanische und die Quirl-Malve bestandsbildend (Tab. 7). Die mehrjährigen Arten entwickeln meist nur Rosetten und gelangen nicht zur Blüte. Im Aussaatjahr 2012 stellte sich in Fürstenhagen ein geschlossener Bestand ein, bei dem die gesäten Wildpflanzen gegenüber den spontanen Kräutern und Gräsern deutlich dominierten. In Vehlow hingegen waren die Bestände stark verunkrautet, so dass die angesäten Wildpflanzen nur eine Deckung von ca. 40 % aufwiesen. Im zweiten und dritten Standjahr konnten die angesäten Wildpflanzen die spontanen Kräuter und Gräser unterdrücken und die Deckungsgrade auf ca. 89 % in Fürstenhagen und 85 % in Vehlow steigern.

Im ersten Versuchsjahr sind die Bestände mit einem Trockensubstanzgehalt von ca. 25 % geerntet worden. In dem Saatgut waren zwei Sonnenblumensorten vertreten, von denen sich eine mehrblütige Sorte (Herbstschönheit) langsam entwickelte und spät und anhaltend blühte, während die einköpfige Sorte (Peredovnick) früh abreifte und zum Erntezeitpunkt teilweise schon zusammengebrochen ist. Die Trockenmasseerträge lagen in Fürstenhagen bei 4,1 t/ha und in Vehlow bei 3,6 t/ha. Im folgenden Trockenjahr 2013 wurden in Fürstenhagen 7,0 t/ha und in Vehlow 3,9 t Trockenmasse pro Hektar geerntet. Bestandesbildend waren der Beifuß, die Schwarze Flockenblume und der Rainfarn, in Fürstenhagen zusätzlich der Weiße und der Echte Steinklee. Diese fielen im dritten Standjahr aus, so dass sich die Bestände in Fürstenhagen und Vehlow angleichen, wobei der Trockenmasseertrag in Fürstenhagen mit 8,2 t/ha deutlich über dem von Vehlow mit 5,6 t/ha lag.

Tabelle 7: Liste der angesäten einjährigen und mehrjährigen Wildpflanzen und deren mittlere Deckungsgrade auf den Standorten Fürstenhagen und Vehlow (Mittelwerte aus je acht Aufnahmen von 25 m^2).

Versuchsfläche		**Fürstenhagen**			**Vehlow**		
Jahr		**2012**	**2013**	**2014**	**2012**	**2013**	**2014**
		Deckungsgrad in %					
Deckungsgrad Wildpflanzen		76,4	94,4	89,3	40,3	61,0	84,9
Deckungsgrad Gesamt		90,3	95,8	93,3	75,5	80,5	91,3
Deckungsgrad spontane Gräser		1,9	1,0	5,1	2,1	8,3	10,1
Deckungsgrad spontane Kräuter		22,0	2,3	3,6	46,0	15,0	4,6
Wiss. Artname	Deutscher Artname						
Althaea officinalis	Echter Eibisch	0,1	-	-	0,1	-	-
Anthemis tinctoria	Färberkamille	0,5	1,7	5,0	0,5	1,5	1,2
Artemisia vulgaris	Gemeiner Beifuß	1,3	31,4	15,1	1,0	15,3	13,3
Centaurea nigra	Schw. Flockenblume	0,7	8,8	18,2	1,0	12,4	10,3
Cichorium intybus	Gemeine Wegwarte	0,6	1,9	0,6	0,3	1,1	0,2
Dipsacus sylvestris	Wilde Karde	0,7	0,3	0,5	0,6	0,3	0,1
Echium vulgare	Gew. Natternkopf	0,7	0,9	0,7	0,6	1,8	1,3
Fagopyron esculentum	Echter Buchweizen	2,7	-	-	1,3	-	-
Foeniculum vulgare	Gemeiner Fenchel	0,3	-	-	0,5	0,1	-
Helianthus annuus	Sonnenblume (Herbst.)	13,1	-	-	9,6	-	-
Helianthus annuus	Sonnenblume (Pere.)	9,6	-	-	6,8	0,3	-
Inula helenium	Echter Alant	0,1	-	-	0,1	-	-
Malva mauritanica	Mauretanische Malve	4,5	-	-	2,4	-	-
Malva sylvestris	Wilde Malve	2,7	2,4	0,9	2,4	0,9	0,6
Malva verticillata	Quirl-Malve	2,7	-	-	1,9	-	-
Medicago sativa	Luzerne	1,0	0,1	6,2	0,7	-	-
Melilotus albus	Weißer Steinklee	2,1	15,9	-	1,6	1,3	-
Melilotus officinalis	Echter Steinklee	1,0	11,0	-	1,6	0,3	-
Onobrychis viciifolia	Saat-Esparsette	0,6	-	0,1	0,4	-	-
Reseda luteola	Resede	0,6	0,3	0,2	0,6	0,8	0,1
Silene alba	Weiße Lichtnelke	0,3	2,4	6,6	0,3	2,1	6,8
Silene dioica	Rote Lichtnelke	0,3	1,2	1,8	0,3	0,1	1,2
Tanacetum vulgare	Rainfarn	1,0	6,3	13,8	0,7	8,9	23,0
Verbascum thapsus	Kleinbl. Königskerze	0,1	-	-	0,1	0,1	-

1.2.2 Inhaltsstoffe des Erntegutes und theoretische Methanerträge

Als erster Anhaltspunkt zur Biogas- und Methanausbeute von pflanzlichem Material kann die Analyse der Inhaltsstoffe nach der Weender-Futtermittel-Analyse und die Berechnung nach Baserga herangezogen werden. Für viele als Futtermittel genutzte Erntegüter könnte die Berechnung der Biogaserträge nach Weißbach realistischer Biogaserträge liefern, jedoch fehlen für die neuen Kulturen Kenntnisse zur Verdaulichkeit. Für die Beurteilung des theoretischen Biogasertrages wurden Mischproben des getrockneten Häckselgutes von allen vier Parzellen einer Versuchsfläche erstellt und analysiert. Die Ergebnisse der Kulturen Kleegras und Szavasi 1, bei denen zwei bzw. drei Ernten pro Jahr erfolgten, werden in Form der gewichteten Mittel in Tab. 8 und 9 dargestellt.

Tabelle 8: Inhaltsstoffe aus der Futtermittelanalyse und nach Baserga berechnete spezifische Biogaserträge sowie Methangehalte und Methanhektarerträge der untersuchten Kulturen in Darchau und Parmen (NFE = Stickstofffreie Extraktstoffe).

Versuchsfläche	Kultur	Jahr	Inhaltsstoffe					Berechnung nach Baserga		
			Roh-asche	Roh-protein	Roh-fett a	Roh-faser	NFE	Bio-gas	CH_4	CH_4-Hektar-ertrag
			kg/t TM	kg/t TM	kg/t TM	kg/t TM	kg/t TM	l_N/kg oTS	Vol. %	m^3/ha
Darchau	Mais	2012	33	61	18	229	659	560	52	4223
		2013	37	61	25	203	674	561	52	2998
		2014	28	55	28	215	674	563	52	4705
	Szarvasi1	2012	keine Ernte							
		2013	68	76	16	385	454	564	52	2239
		2014	61	74	17	349	499	473	52	2328
	S.Gerste	2012	71	110	21	228	569	556	53	1350
	Kleegras	2013	104	138	20	271	466	555	53	2683
		2014	105	157	18	303	417	553	54	3147
	Sorghum	2012	46	80	12	348	513	561	52	2049
		2013	49	55	12	333	552	563	51	2276
		2014	49	47	12	334	559	564	51	2863
	Wick-roggen	2012	54	107	19	287	533	558	53	2070
		2013	78	104	18	363	437	561	53	1382
		2014	54	76	12	359	498	588	52	2284
Parmen	Mais	2012	35	57	19	232	657	561	52	4119
		2013	41	65	26	233	636	562	52	4046
		2014	41	70	30	198	661	562	52	4051
	Szarvasi1	2012	keine Ernte							
		2013	69	88	16	404	423	563	52	2956
		2014	77	82	13	384	445	551	52	2984
	S.Gerste	2012	64	83	18	232	604	558	52	1127
	Kleegras	2013	88	111	24	316	461	561	53	1700
		2014	101	124	22	293	460	557	53	2816
	Sorghum	2012	57	72	9	356	505	561	52	2503
		2013	48	59	9	351	533	562	51	2124
		2014	54	69	12	336	529	561	52	2160
	Wick-roggen	2012	47	83	18	294	558	560	52	1678
		2013	47	82	14	285	572	559	52	3583
		2014	52	75	13	347	513	562	52	3299

Tabelle 9: Inhaltsstoffe aus der Futtermittelanalyse und nach Baserga berechnete spezifische Biogaserträge sowie Methangehalte und Methanhektarerträge der untersuchten Kulturen in Fürstenhagen und Vehlow (NFE = Stickstofffreie Extraktstoffe).

Versuchsfläche	Kultur	Jahr	Inhaltsstoffe					Berechnung nach Baserga		
			Roh-asche	Roh-protein	Roh-fett a	Roh-faser	NFE	Bio-gas	CH_4	CH_4-Hektar-ertrag
			kg/t TM	kg/t TM	kg/t TM	kg/t TM	kg/t TM	l_N/kg oTS	Vol. %	m^3/ha
Fürstenhagen	Mais	2012	35	58	22	249	636	562	52	4471
		2013	36	61	22	252	629	562	52	3810
		2014	39	59	28	223	651	563	52	4554
	S.Gerste	2012	47	74	18	245	616	560	52	929
	Szarvasi1	2013	78	119	23	327	453	560	53	983
		2014	65	94	17	338	486	561	52	2685
	Silphie	2012	keine Ernte							
		2013	99	57	23	344	478	567	52	1506
		2014	94	57	22	267	561	564	52	2019
	Mais	2012	42	65	22	253	618	562	52	4031
	Wildpfl. u. Mais	2013	72	86	26	397	420	567	52	1222
		2014	67	46	16	376	495	567	51	2088
	Wild-pflanzen	2012	107	76	28	322	467	566	52	1088
		2013	73	83	21	375	448	565	52	1896
		2014	72	75	17	344	493	563	52	2216
Vehlow	Mais	2012	39	58	18	255	629	562	52	3596
		2013	39	84	24	212	642	559	52	2042
		2014	31	56	20	213	679	561	52	3597
	S.Gerste	2012	54	94	18	243	590	558	52	1477
	Szarvasi1	2013	86	114	19	330	451	559	53	1014
		2014	61	99	22	323	495	561	52	2131
	Silphie	2012	keine Ernte							
		2013	94	59	23	303	522	565	52	1452
		2014	97	57	27	311	508	567	52	1749
	Mais	2012	39	59	28	251	622	564	52	2834
	Wildpfl. u. Mais	2013	69	63	21	382	465	567	52	1039
		2014	64	61	17	381	477	566	52	1768
	Wild-pflanzen	2012	85	99	37	318	461	566	53	980
		2013	70	71	21	398	440	567	52	1074
		2014	70	76	19	330	504	563	52	1534

Der theoretische spezifische Biogasertrag berechnet nach Baserga liegt zwischen ca. 550 und 567 Normlitern Biogas pro kg organischer Trockensubstanz (l_N/kg oTS). Der Wert von 473 l_N/kg oTS des Szarvasi 1 in Darchau stellt einen Ausreißer dar. Die höchsten Werte von 567 l_N/kg oTS wurden bei der Silphie und den Wildpflanzenmischungen gemessen, jedoch schwanken die Werte stärker als beim Mais, für den im Mittel 563 l_N/kg oTS errechnet wurden. Die errechneten Methangehalte des Biogases lagen bei 51 – 54 Vol. %, wobei das Sorghum die geringsten und das Kleegras die höchsten Methangehalte aufwies. Da die spezifischen Biogaserträge nach der Berechnung nach Baserga der verschiedenen Kulturen nur geringe Unterschiede aufwiesen, ist für die weitere Verrechnung vor allem der Rohaschegehalt von Bedeutung. Dieser liegt zwischen 28 und 107 kg/t Trockenmasse, wobei

die niedrigsten Werte beim Mais, die höchsten beim Kleegras, bei dem eine Verunreinigung mit Bodenmaterial bei der Ernte erfolgte, gemessen wurden. Dies ist auch bei der Probe der Wildpflanzen in Fürstenhagen aus dem Jahr 2012 anzunehmen, die den höchsten gemessenen Wert von 107 kg/t Trockenmasse aufwies, da die Rohaschegehalte der übrigen Wildpflanzen-Proben um 70 kg/t Trockenmasse liegen. Nach der Verrechnung der spezifischen Biogaserträge mit dem Methangehalt des Biogases, dem Gehalt an Rohasche und dem Trockenmasseertrag ist der theoretische Methanhektarertrag errechnet worden. Dieser wird vor allem vom Ertrag der Kultur beeinflusst. So wurden durchweg die höchsten Methanhektarerträge mit dem als Referenz dienende Mais erzielt. Auch der Wickroggen in Parmen erreicht mit fast 3600 Normkubikmetern Methan pro Hektar sehr hohe Werte. Die geringeren Werte für den Wickroggen in Darchau sind in einem Jahr auf die Noternte und im anderen Jahr auf ein fehlerhaftes Saatgut zurückzuführen. Die Methanhektarerträge des Sorghums liegen fast die Hälfte unter dem des Maises. Bei den Dauerkulturen Kleegras, Szarvasi 1, Silphie und den beiden Wildpflanzenvarianten wurden im dritten Standjahr 2014 deutlich höhere Methanhektarerträge ermittelt als im Vorjahr. Neben den Auswirkungen der Trockenheit im Jahr 2013 spielt hier eine bessere Etablierung der Bestände eine Rolle.

Während für die Silagen von Mais, Ganzpflanzensilage und Gras hinreichende Kenntnisse zum Biogasertrag vorliegen (z.B. KTBL Biogasrechner), ist die Datenlage zu den neuen Kulturen noch unzureichend. Daher wurden einige Proben im praktischen Gärtest nach VDI-Richtlinie 4630 – Abschnitt 7 bei der LUFA Nord-West untersucht (Tab. 10). Die Durchwachsene Silphie aus Fürstenhagen erbrachte mit 429 Normlitern Biogas je Kilogramm organischer Trockensubstanz einen deutlich unter der Berechnung nach Baserga liegenden Wert. Eine weitere Silphie-Probe aus Vehlow wurde vom ATB Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V. untersucht und erbrachte einen spezifischen Biogasertrag in gleicher Größenordnung.

Tabelle 10: Ergebnisse der praktischen Gärversuche nach VDI-Richtlinie 4630 – Abschnitt 7 ausgewählter Silageproben (TS=Trockensubstanz, oTS=organische Trockensubstanz).

Versuchsfläche	**Kultur**	**Jahr**	TS	oTS	Biogas	CH_4 Gehalt
			%	%	l_N/kg oTS	Vol. %
Fürstenhagen	Silphie	2013	24,7	21,9	429	53,1
Fürstenhagen	Wildpflanzen	2012	23,9	20,3	444	52,3
Fürstenhagen	Wildpflanzen	2013	37,4	35,2	353	49,2
Vehlow	Wildpflanzen	2013	38,5	36,0	343	49,9
Parmen	Szarvasi1	2013	26,5	25,1	481	51,3
Darchau	Szarvasi1	2013	25,5	23,3	612	50,7

Die Wildpflanzen-Silage im ersten Standjahr, in der die Sonnenblumen dominieren, erbrachte mit 444 l_N/kg oTS einen deutlich höheren Biogasertrag als im folgenden Jahr mit

353 l_N/kg oTS in Fürstenhagen und 343 l_N/kg oTS in Vehlow. Beim Szarvasi1 aus dem Jahr 2013 zeigt sich deutlich der Effekt der Abreife im Biogasertrag. Der Bestand in Darchau ist aufgrund der geplanten Flutung des Polders bereits Anfang Juni geerntet worden und erbrachte mit 612 l_N/kg oTS einen deutlich höheren spezifischen Biogasertrag als der in der Blüte geerntete Bestand in Parmen mit 481 l_N/kg oTS.

1.2.3 Einsatz der Silagen in Praxisbiogasanlagen

Die Testsilagen wurden in den Praxis-Biogasanlagen der Ruhe Agrar GmbH in Darchau, Parmen, Fürstenhagen und Vehlow eingesetzt. Die 2,7 MW Biogasanlagen werden mit nachwachsenden Rohstoffen wie Maissilage, frischen oder silierten Zuckerrüben, Getreide-Ganzpflanzensilage, Sorghum, zeitweise mit Getreideschrot sowie mit Gülle betrieben.

Die Versuchsläufe dauerten je nach Erntemenge der Kultur eine bis drei Wochen. Verteilt auf beide Fermenter werden täglich zwischen 125 und 150 Tonnen Feststoffe gefüttert. Zwischen 10 und 20 t der Testsubstrate wurden in Fermenter B eingesetzt, im Mittel betrug der Anteil 20 % der festen Biomasse. Der Einsatz der Silagen der neuen Kulturen war in der Regel unproblematisch. Die mit ca. 30 % TS recht trockene Wildpflanzensilage in Fürstenhagen (Erntejahr 2013) zeigte die Neigung zum Aufschwimmen im Anmischbehälter, so dass das Material nicht zerkleinert wurde, was das Abpumpen erschwerte. Bei anfänglich zu hoher Dosierung der Gräser sind Schnecken verstopft, dies ließ sich durch Einstellungen am Vertikalmischer beheben.

In Tab. 11 sind die eingelagerten und ausgelagerten Erntegutmengen, der Trockensubstanzgehalt des Erntegutes und der Silage sowie die in den Praxisbiogasanlagen ermittelten Biogaserträge verzeichnet. Es sind nur die Testdurchläufe dargestellt, bei denen der Test belegt hat, dass in der Vorlaufphase bei gleicher Fütterung beider Fermenter keine signifikanten Unterschiede zwischen den für Fermenter B errechneten und den gemessenen Gasmengen auftraten. Das war jedoch in zahlreichen Fällen so und hatte verschiedene Ursachen. So konnten die vorhergehenden Fütterungsmengen beider Fermenter unterschiedlich gewesen sein. Dies konnte z.B. auf Wartungs- und Reparaturzeiten zurückgeführt werden. Bei der Fütterung mit Getreideschrot, das gemeinsam mit den Silagen in die Bunker eingebracht wurde, kam es zu unterschiedlichen Gasproduktionen, die sich auf geringfügig unterschiedliche Anteile an Getreide in der Fütterung zurückführen lassen.

Die Menge ausgelagerter Silagen liegt in der Regel unter der der eingelagerten Mengen. In den Fällen, wo der Wert darüber liegt, ist möglicherweise der Vertikalmischer nicht ganz entleert gewesen. Daher wurden in diesen Fällen die ersten drei Versuchstage verworfen. Auch deutlich geringere ausgelagerte als eingelagerte Menge wie z.B. beim Sorghum in Darchau sind nur teilweise auf echte Silageverluste zurückzuführen. Die hier dargestellte Menge ist durch die Verwiegung bei der Fütterung ermittelt worden. Durch die Mitarbeiter der Biogasanlagen wurde sorgfältig gutes Material in den Vertikalmischer gegeben.

Tabelle 11: Eingelagerte und ausgelagerte Silagemengen der neuen Kulturen zur Biogaserzeugung, Trockensubstanzgehalte des Erntegutes und der Silage sowie aus Tagesmittel errechnete mittlere Biogaserträge in den Praxisanlagen sowie deren Standardabweichung.

Standort	Kultur	Jahr	Ein-gelagert	Aus-gelagert	TS Ernte-gut	TS Silage	Biogas	Stabw.
			t FM	t FM	%	%	Nm^3/t FM	
Darchau	Kleegras	2013	850	905	22,4	25,1	120	76
	Sorghum	2013	614	441	26,0	28,1	232	92
	Wickroggen	2013	349	272	29,1	27,8	208	82
	Wickroggen	2014	438	501	35,2	34,1	203	68
Fürsten-hagen	Sommergerste	2012	169	189	44,3	42,0	221	108
	Szarvasi1	2013	268	252	29,3	29,5	120	56
	Silphie	2013	369	206	27,9	26,2	111	80
	Wildpflanzen	2012	341	211	24,8	27,1	124	34
	Wildpf. u. Mais	2013	244	195	35,7	36,1	142	217
	Wildpflanzen	2013	390	351	37,4	36,0	72	178
Parmen	Szarvasi1 Ges.	2013	575	533	28,4	29,4	169	77
	Sorghum	2013	502	491	31,9	30,4	152	86
Vehlow	Sommergerste	2012	261	249	40,4	39,7	201	60
	Silphie	2013	361	330	28,9	27,3	195	60
	Wildpf. u. Mais + Wildpflanzen	2013	323	299	41,4	40,1	206	84
	Wildpf. u. Mais + Wildpflanzen	2014	685	630	30,7	32,5	148	68

Randbereiche wurden verworfen und nach Abschluss der Versuchsläufe mit den anderen Substraten über die Bunker zudosiert. Die Trockensubstanzgehalte der Silagen sind in der Regel etwas geringer als die des frischen Erntegutes. Die Biogaserträge sind in Nm^3 allerdings feuchtes Biogas je Tonne Frischmasse der Testsilage angegeben. Es sind die Mittel der Tageswerte aus dem Versuchslauf und deren Standardabweichung dargestellt. Diese sind sehr hoch, so dass die Werte der Biogaserträge nur einen Anhaltspunkt darstellen können. Da dazu zwei Anlagen betrachtet werden, addieren sich mögliche Fehlerquellen, von den möglichen Wägefehlern der über 100 Anmischungen pro Tag, die Messung der Gasmenge bis hin zu unterschiedlichen biologischen Zuständen in den Fermentern, die über die regelmäßig überprüften Parameter hinausgehen. Die errechneten Biogaserträge der Testsilagen liegen

unter Berücksichtigung der Streuung durchweg im erwarteten Bereich. Hohe Werte zeigen der Wickroggen und das Sorghum, sehr niedrige die durch Trockenheit im Jahr 2013 schon stark abgereiften Wildpflanzen, etwas höhere die früher geernteten des Folgejahres. Die vorliegenden Werte zeigen trotz aller Unsicherheit, dass die Silagen gut in den Praxisbiogasanlagen einsetzbar sind.

1.2.4 Nährstoffentzüge und Düngebilanz

Die Berechnung der Düngebilanz erfolgt für das dritte Standjahr 2014, da die Dauerkulturen sich etabliert hatten und im Trockenjahr 2013 einzelne Kulturen stark geschädigt waren und daher geringe Entzüge zu verzeichnen waren. Nach der Ernte 2013 wurden die Dauerkulturen Silphie, Wildpflanzen und unter Mais etablierte Wildpflanzen, Kleegras und Szarvasi 1 sowie der Wickroggen mit Gärresten gedüngt (Tab. 12). Diese Herbstdüngung wurde dem Düngejahr 2014 hinzugerechnet. Die nach der letzten Ernte im Jahr 2014 aufgebrachten Düngermengen sind nicht berücksichtigt worden.

Tabelle 12: Zur Düngung aufgebrachte Nährstoffmengen im Düngejahr 2014 (N anr.= N anrechenbar = Gesamtstickstoff x 70 %).

Düngejahr 2014							
Kultur	Versuchsfläche	N anr.	P	K	Ca	Mg	S
		kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha
Mais	Darchau	110	18	95	28	11	10
	Fürstenhagen	111	20	88	26	11	10
	Parmen	255	29	88	26	11	10
	Vehlow	120	22	95	28	11	10
Szarvasi 1	Darchau	138	23	119	35	14	13
	Fürstenhagen	120	22	95	28	11	10
	Parmen	75	13	60	18	7	6
	Vehlow	152	27	121	36	15	13
Kleegras	Darchau	124	20	107	32	13	12
	Parmen	75	13	60	18	7	6
Wickroggen	Darchau	143	24	124	36	15	13
	Parmen	130	23	107	32	13	12
Silphie	Fürstenhagen	141	24	119	35	14	13
	Vehlow	120	22	95	28	11	10
Sorghum	Darchau	116	19	100	29	12	11
	Parmen	111	20	88	26	11	10
Wildpfl. u. Mais	Fürstenhagen	114	19	95	28	11	10
	Vehlow	120	22	95	28	11	10
Wildpflanzen	Fürstenhagen	114	19	95	28	11	10
	Vehlow	120	22	95	28	11	10

Der Mais und das Sorghum wurden im strip-till-Verfahren mit Gärrestinjektion vor der Aussaat gedüngt. In der Tab. 10 sind die im Düngejahr 2014 aufgebrachten Nährstoffmengen verzeichnet. Im Düngejahr 2014 wurden die Versuchsflächen fast ausschließlich mit

Gärresten versorgt. In Parmen wurde der Mais zusätzlich mit einer NP-Unterfußdüngung sowie mit 270 kg Harnstoff gedüngt. Der in den Gärresten enthaltene Stickstoff wurde mit einer Verfügbarkeit von 70 % des Gesamtstickstoffs angesetzt (N anrechenbar). So wurde beispielsweise der Mais in Darchau mit 110 kg anrechenbarem Stickstoff je Hektar gedüngt; das entspricht 157 kg Gesamtstickstoff je Hektar. Bei den meisten Kulturen wurde eine Stickstoffdüngung von ca. 120 kg/ha angestrebt. Gewisse Abweichungen zum Zielwert ergeben sich dadurch, dass Gärrestanalysen zu Beginn der Düngesaison und zur Düngung gezogen und die jeweils aktuellsten Werte zur Berechnung der Düngemenge herangezogen wurden. Der Mais in Parmen übertrifft diese Marke durch die Harnstoffdüngung deutlich. Das Kleegras in Darchau weist mit 300 kg/ha die höchsten Stickstoffentzüge der untersuchten Kulturen auf. Auch die Kalium-Entzüge durch das Kleegras waren mit 357 und 319 kg/ha die höchsten, gefolgt von Szarvasi und dem Mais. Die Silphie, das Sorghum und die beiden Wildpflanzenvarianten weisen die geringsten Stickstoffentzüge auf. Aus Düngung und Entzügen lassen sich die Nährstoffsalden berechnen (Tab. 12, 13, 14).

Tabelle 13: Nährstoffentzüge im Erntejahr 2014 (N anr.= N anrechenbar = Gesamtstickstoff x 70 %).

Erntejahr 2014							
Kultur	Versuchsfläche	N anr.	P	K	Ca	Mg	S
		kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha
Mais	Darchau	146	34	154	27	22	25
	Fürstenhagen	154	44	204	38	30	16
	Parmen	162	36	155	34	23	14
	Vehlow	115	26	134	22	15	10
Szarvasi 1	Darchau	125	25	226	32	13	17
	Fürstenhagen	133	24	213	37	12	15
	Parmen	121	25	221	35	10	13
	Vehlow	122	21	167	29	12	13
Kleegras	Darchau	300	37	357	128	38	17
	Parmen	198	33	319	66	20	16
Wickroggen	Darchau	96	17	120	36	11	9
	Parmen	145	30	193	41	13	18
Silphie	Fürstenhagen	69	18	159	115	20	6
	Vehlow	61	21	172	116	24	6
Sorghum	Darchau	78	21	133	26	21	9
	Parmen	88	17	109	27	18	8
Wildpfl. u. Mais	Fürstenhagen	56	16	152	57	11	7
	Vehlow	64	17	148	45	11	6
Wildpflanzen	Fürstenhagen	98	20	206	78	17	9
	Vehlow	69	18	141	45	12	8

Hier fallen zunächst die mit -176 und -123 Stickstoff pro Hektar stark negativen Salden des Kleegrases auf. Beide Bestände wiesen hohe Klee-Anteile auf, die in Darchau sogar dominierten, so dass die N-Fixierung durch Leguminosen zu berücksichtigen ist. Für das Jahr 2014 errechnet sich nach dem Stickstoff-Saldo-Rechner für Leguminosen-Gras Gemenge

(Reckling et al. 2013) für das Kleegras in Parmen eine N-Fixierung von 105 kg N/ha und für Darchau 228 kg N/ha.

Auch die Maisbestände in Darchau und Fürstenhagen wiesen negative Stickstoffsalden auf. In den Beständen ließ sich aber kein Stickstoffmangel erkennen, so dass davon auszugehen ist, dass Reststickstoff im Frühjahr und die Nachlieferung aus dem Boden zur Versorgung der Pflanzen war. In Parmen ist mit 93 kg/ha der höchste Stickstoff-Überschuss zu verzeichnen, der auf die zusätzliche Harnstoffdüngung zurückzuführen ist.

Der Stickstoffentzug der Silphie und der beiden Wildpflanzen-Varianten war relativ gering, so dass positive Salden von über 50 kg/ha verblieben. Da diese Kulturen aber nach der Ernte wieder aufwachsen und dabei Nährstoffe in ihre Triebe und Speicherorgane einbauen, ist nicht unbedingt mit erhöhten Nitratauswaschungen zu rechnen.

Tabelle 14: Nährstoffsalden im Erntejahr 2014 (N anr.= N anrechenbar = Gesamtstickstoff x 70 %).

Salden 2014							
Kultur	Versuchsfläche	N anr.	P	K	Ca	Mg	S
		kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha
Mais	Darchau	-36	-16	-59	1	-10	-15
	Fürstenhagen	-43	-24	-116	-13	-19	-6
	Parmen	93	-7	-67	-8	-13	-4
	Vehlow	4	-5	-39	6	-4	1
Szarvasi 1	Darchau	13	-3	-107	4	2	-4
	Fürstenhagen	-13	-2	-117	-9	0	-5
	Parmen	-46	-12	-162	-18	-3	-7
	Vehlow	31	7	-45	6	3	0
Kleegras	Darchau	-176	-16	-250	-96	-25	-5
	Parmen	-123	-20	-260	-49	-13	-10
Wickroggen	Darchau	47	7	3	0	4	4
	Parmen	-15	-7	-86	-10	0	-6
Silphie	Fürstenhagen	72	6	-40	-80	-5	7
	Vehlow	59	1	-77	-88	-13	5
Sorghum	Darchau	37	-2	-33	4	-9	2
	Parmen	23	3	-21	-2	-8	1
Wildpfl. u. Mais	Fürstenhagen	58	4	-57	-29	0	3
	Vehlow	56	5	-52	-17	0	4
Wildpflanzen	Fürstenhagen	16	0	-111	-50	-6	1
	Vehlow	51	3	-45	-17	0	2

Die Phosphatsalden waren meist leicht negativ, insbesondere beim Mais in Darchau und in Fürstenhagen sowie beim Kleegras. Bei der Silphie, den beiden Wildpflanzenvarianten und dem Sorghum waren die Phosphatdüngung und der Entzug weitgehend ausgeglichen. Starke Defizite ergaben sich jedoch in Bezug auf die Kalium-Salden. Dort wurden mit dem Kleegras 250 bzw. 260 kg/ha mehr abgefahren als gedüngt wurden. Die Kalium-Salden waren auch beim Szarvasi 1 und beim Mais stark negativ.

Die Silphie hat sowohl auf den zum Teil kalkhaltigen Böden in Fürstenhagen, als auch auf den schwach sauren Sanden in Vehlow jeweils ca. 115 kg/ha Calcium und ca. 20kg/ha Magnesium entzogen. Da die Böden der Versuchsflächen gut mit Phosphat und Kalium versorgt waren, bedeuten die negativen Salden nicht unbedingt eine Beeinträchtigung der Bestandesentwicklung. Jedoch besteht bei der nach der Stickstoffzufuhr begrenzten Gärrestdüngung ein deutlicher Bedarf an Mineraldünger.

1.2.5 Spezifischer Aufwand beim Anbau neuer Kulturen

Ziel des Projektes war es, die neuen Kulturen zur Biogaserzeugung im Praxismaßstab mit der auf den Betrieben der Ruhe Agrar vorhandenen Technik anzubauen und zu ernten. Dies war für den Referenzmais, den Wickroggen, das Sorghum und die Grasbestände (Szarvasi 1 und Kleegras) problemlos möglich. Eine besondere Herausforderung stellte die Pflanzung der Silphie dar. Gemüsepflanztechnik war auf den Betrieben nicht vorhanden. Grundsätzlich ist es bei kleineren Pflanzmengen problemlos möglich, eine geeignete Pflanzmaschine auszuleihen. Die Kosten belaufen sich auf ca. 100 € pro Hektar zuzüglich der Transportkosten. Aufgrund der mit 40 ha großen Fläche und dem dafür benötigten Zeitraum zur Pflanzung von fast fünf Wochen, die in die Saison der Gemüsepflanzung fiel, war es im Fall dieses Projektes nicht möglich, eine Maschine zu mieten. Daher hat die Ruhe Agrar eine gebrauchte Pflanzmaschine beschafft. Der teilweise steinige oder lockere Boden der Praxisschläge beanspruchte die Technik stark. Da das Pflanzmodul durch eine Walze angetrieben wurde, bereitete trockener lockerer Boden, der sich aufstaute, die größten Probleme. Dennoch konnte die geplante Leistung von zwei Hektar pro Tag erreicht werden. Durch die Pflanzung war die Arbeitskraft von sechs Mitarbeitern über fünf Wochen gebunden. Nach der Pflanzung ist eine Anwässerung unbedingt einzuplanen. In Vehlow war das durch eine Beregnung, die durch ein externes Unternehmen durchgeführt wurde, möglich. In Fürstenhagen gab es diese Möglichkeit nicht, so dass das Anwässern und das spätere Bewässern mittels Güllefass erfolgen musste. Im Durchschnitt konnte ein halber Hektar mit einem Fass Wasser mit ca. 4 l/m^2 versorgt werden. Aufgrund der breiten Verteilung über einen Prallteller war eine häufige Überfahrt der Fläche notwendig.

Die Aussaat der Wildpflanzen auf die Bodenoberfläche war problemlos möglich. Auch das Einbringen der als Untersaat im Mais ausgesäten Wildpflanzen war mittels pneumatischer Streuer unproblematisch. Bei der Ernte der von Sonnenblumen dominierten Wildpflanzenbestände des ersten Jahres bereiteten diese an sehr wüchsigen Stellen Probleme beim Einzug in den Häcksler (Abb. 7), die sich aber bei angepasster Fahrweise weitgehend vermeiden ließen. In den folgenden Jahren waren die dann niedrigwüchsigeren Wildpflanzenbestände ohne Probleme zu ernten.

Abbildung 7: Ernte der Wildpflanzen im ersten Standjahr in Fürstenhagen (Foto Krell)

Als einfaches reproduzierbares Maß für den Ernteaufwand wurde der mittlere Zeitbedarf für das Häckseln berechnet. Diese Zeitbedarfe schwanken stark, so dass die Unterschiede zwischen den Kulturen nicht signifikant sind. Der Mais, das Sorghum und die Silphie wurden mit dem Maisgebiss geschnitten. Der Zeitbedarf ohne Rüstzeiten, aber mit Wartungs- und kurzen Reparaturzeiten betrug im Mittel 17 bis 20 Minuten pro Hektar. Das Kleegras und das Szarvasi 1 wurde mit dem Pick Up aufgenommen, hier summieren sich die drei bzw. zwei Schnitte zu einem Zeitbedarf von im Mittel 22 Minuten pro Hektar. Der Wickroggen und die beiden Wildpflanzen-Varianten wurden mit einem Direktschneidwerk geerntet. Entsprechend dem höheren Ertrag war der Zeitbedarf beim Wickroggen deutlich höher als bei den unter Mais etablierten Wildpflanzen.

Beim Wickroggen kam es stellenweise zum Lager, so dass sich der Ernteaufwand erhöhte. In den stehenden Beständen bereitete die Wicke, die die Roggenhalme verflochten hat, jedoch keinen größeren Aufwand. Ein Seitschneidwerk war nicht notwendig.

Bei einer detaillierten betriebswirtschaftlichen Betrachtung ist jedoch der Zeitbedarf bezogen auf die geerntete Tonnage zu berücksichtigen. Werden die Erträge mit berücksichtigt, gibt es eine deutliche Differenz zwischen dem Mais und den neuen Kulturen.

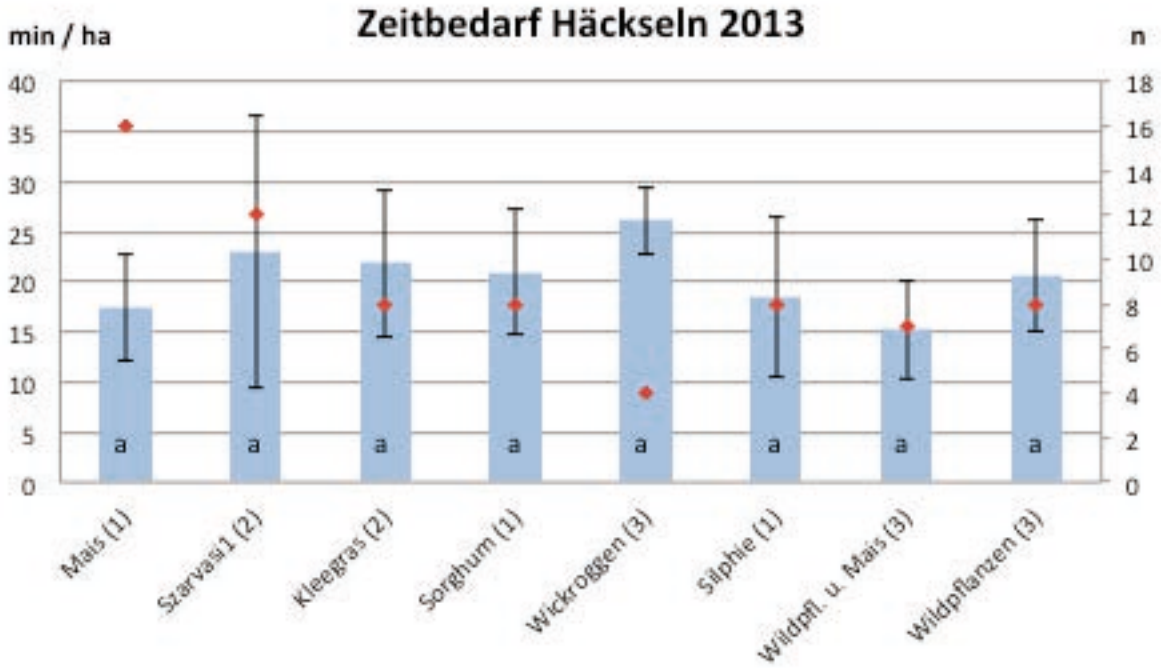

Abbildung 8: Zeitbedarf für das Häckseln: Zeit ab Feld (ohne Rüstzeiten), inklusive Reparaturzeiten. Bei mehreren Schnitten wurden diese aufsummiert ausgewertet. Der Fehlerindikator zeigt die Standardabweichung (bei mehreren Schnitten ist die Standardabweichung für den Gesamtbedarf dargestellt). Signifikanz nach Scheffé (Alpha = 0,05). Erntetechnik: Claas (1) Maisgebiss, (2) Pick Up, (3) Direktschneidwerk.

1.2.6 Bodenökologische Untersuchungen

Mit dem Ziel, die Auswirkungen der neuen Energiepflanzen auf relevante bodenökologische Parameter zu erfassen, wurde die Regenwurmfauna, die aufgrund der Bioturbation gerade beim pfluglosen Ackerbau von großer Bedeutung ist, erfasst. Weiterhin wurde der Humushaushalt durch die Untersuchung der Streumengen und der Humusgehalte im Oberboden betrachtet.

Regenwürmer

Die Untersuchungen der Regenwurmfauna erfolgte jeweils im Herbst der Jahre 2012, 2013 und 2014. In Vehlow erbrachten zwölf Extraktionen im Herbst 2012 keinen Nachweis von Regenwürmern. Daher wurde die Fangaktion abgebrochen und sollte im Herbst 2014 mit der dreifachen Anzahl von Wiederholungen je Parzelle stattfinden. Doch auch nach drei Versuchsjahren konnten selbst in den Dauerkulturen praktisch keine Regenwürmer nachgewiesen werden, so dass der extrem trockene Standort aus diesem Teil der Untersuchung ausgeschlossen wurde. In den Böden der Versuchsflächen Darchau, Parmen

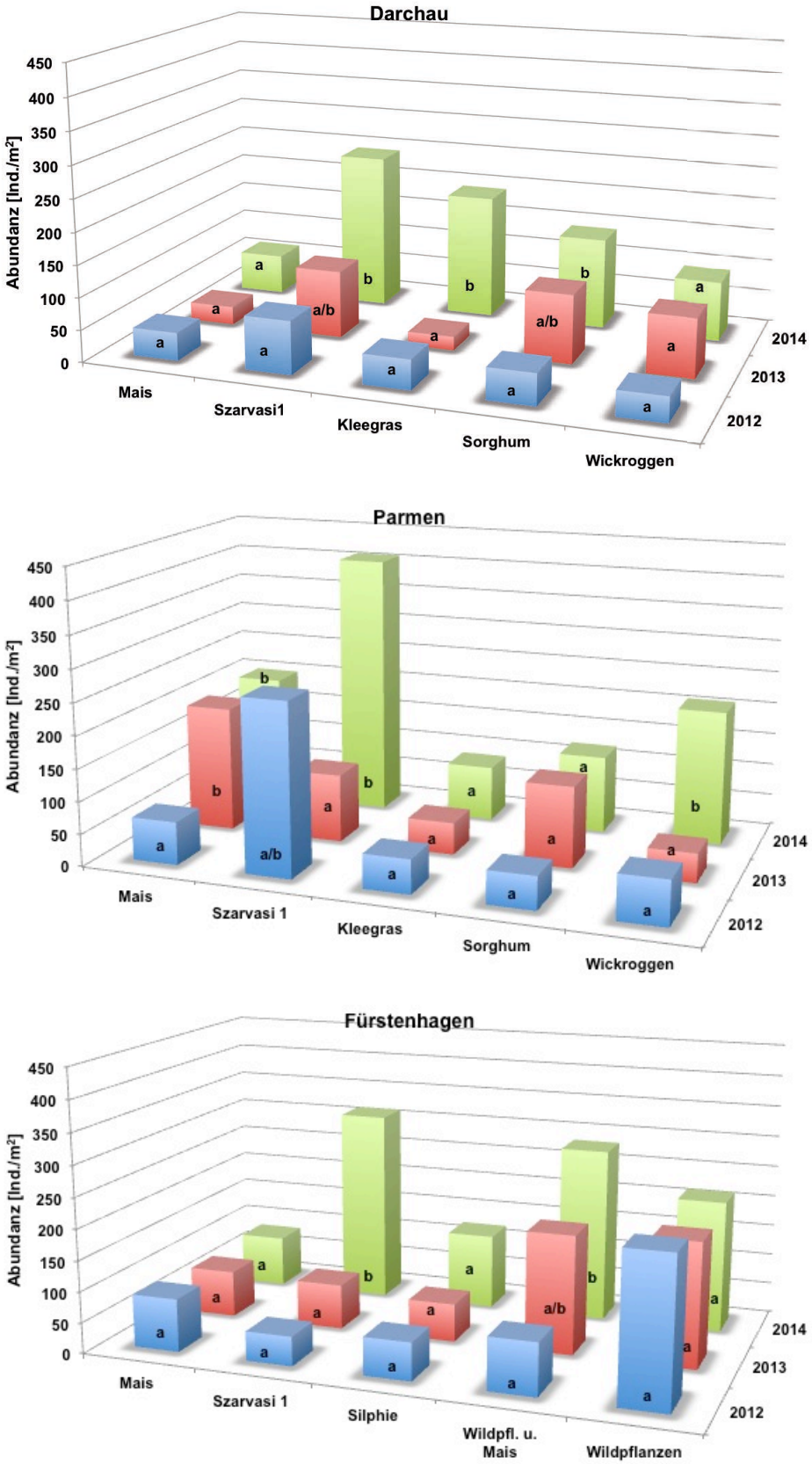

Abbildung 9: Entwicklung der Regenwurm-Abundanzen auf den Versuchsflächen. Mittelwerte aus je 12 Extraktionen. Homogene Subsets zwischen den Untersuchungsjahren nach Scheffé (Alpha = 0,05).

und Fürstenhagen wurden insgesamt elf Regenwurmarten nachgewiesen (Tab. 15, 16). *Aporrectodea caliginosa* ist die Art mit der höchsten Stetigkeit, die in allen Kulturen der drei Versuchsflächen mit zum Teil hohen Abundanzen und Biomassen auftrat. Auch *Lumbricus terrestris* und *Aporrectodea chlorotica* konnten mit hohen Stetigkeiten nachgewiesen werden.

Tabelle 15: Mittlere Biomassen der Regenwürmer auf den Versuchsflächen Darchau und Parmen. Biomasse als Frischmasse in Alkohol konservierter Regenwürmer. Mittel aus jeweils 12 Wiederholungen.

Versuchs-fläche	Kultur	Jahr	*Dendrodrilus rubidus*	*Dendrobaena octaedra*	*Aporrectodea caliginosa*	*Aporrectodea chloritica*	*Aporrectodea limicola*	*Aporrectodea longa*	*Aporrectodea rosea*	*Lumbricus terrestris*	*Lumbricus castaneus*	*Lumbricus rubellus*	*Octolasion tyrtaeum*	Juvenile
			Mittlere Biomasse g/m^2											
Darchau	Mais	2012	-	-	3,2	-	-	-	-	7,1	-	-	-	9,4
		2013	-	-	5,8	1,0	-	-	-	21,7	-	-	-	2,2
		2014	-	-	1,4	0,2	-	-	-	1,7	-	-	-	5,9
	Szarvasi 1	2012	-	-	17,2	0,1	-	7,3	0,9	5,2	-	-	-	10,3
		2013	-	-	7,5	-	-	0,1	-	9,4	-	-	-	11,3
		2014	0,3	-	16,2	1,0	-	-	-	14,2	-	0,4	-	48,2
	S.-Gerste	2012	0,0	-	5,4	1,4	-	-	-	11,9	-	-	-	3,0
	Kleegras	2013	0,0	0,0	3,9	0,3	-	-	-	-	-	0,4	-	4,1
		2014	0,5	-	23,2	3,3	-	-	0,0	34,5	-	5,3	0,1	20,3
	Sorghum	2012	-	-	7,2	1,7	-	-	-	10,8	-	-	-	4,4
		2013	0,0	-	2,7	3,5	-	-	-	4,8	-	0,4	-	8,8
		2014	-	-	11,4	0,6	-	0,2	-	8,7	0,3	0,3	-	13,6
	Wickroggen	2012	-	-	5,2	0,4	-	-	-	5,7	-	-	-	7,5
		2013	-	-	5,1	-	-	-	-	15,9	-	-	-	9,8
		2014	0,4	-	12,7	0,8	0,1	1,9	-	2,3	0,3	-	-	13,1
Parmen	Mais	2012	-	-	4,7	-	0,1	-	0,6	-	-	-	-	4,4
		2013	-	-	13,9	3,2	-	-	-	2,6	-	-	-	16,6
		2014	-	-	15,6	2,5	-	-	-	1,1	-	-	-	19,0
	Szarvasi 1	2012	-	-	24,1	1,9	-	-	0,7	1,2	-	-	-	20,5
		2013	-	-	1,5	0,4	-	-	0,8	-	-	-	-	13,8
		2014	-	-	25,2	1,3	-	-	1,0	1,7	-	-	-	28,5
	S. Gerste	2012	-	-	-	0,3	1,0	-	-	1,4	-	-	-	5,7
	Kleegras	2013	-	-	4,4	1,1	-	-	0,5	-	-	-	-	3,6
		2014	-	-	11,0	4,2	-	-	-	0,7	-	-	-	7,5
	Sorghum	2012	-	-	3,8	1,1	-	-	-	1,2	-	-	-	4,1
		2013	-	-	21,8	2,0	-	-	-	17,0	-	-	-	9,1
		2014	-	-	5,3	1,3	-	-	-	7,9	-	-	-	23,1
	Wick-roggen	2012	-	-	8,5	0,8	0,1	0,1	-	0,7	-	-	-	5,6
		2013	-	-	8,3	1,1	-	-	-	13,1	-	-	-	12,7
		2014	-	-	19,1	3,0	-	-	-	15,5	-	-	-	18,1

Zusammen dominierten diese drei Arten Abundanz und Biomasse in allen Kulturen der drei Versuchsflächen zu mehr als 90 %. Die übrigen Arten traten sporadisch auf.

Die Entwicklung der Abundanzen der Regenwürmer vom ersten zum dritten Versuchsjahr ist in Abb. 9 dargestellt. Die Abundanz der Regenwürmer zeigte auf den Maisflächen in Darchau und Fürstenhagen keine signifikanten Änderungen und verblieb im zweiten und dritten Versuchsjahr auf dem niedrigen Ausgangsniveau. In Parmen fand eine signifikante Steigerung von 66 Individuen/m^2 im Herbst 2012 auf 194 Individuen/m^2 im Jahr 2013 und 200 Individuen/m^2 im Jahr 2014 statt. In Darchau führte der Anbau der Dauerkulturen Szarvasi 1 und Kleegras aber auch von Sorghum zu einer signifikanten Steigerung der Abundanzen bis 2014. Das Gleiche gilt in Parmen für das Szarvasi 1 und den Wickroggen und in Fürstenhagen für das Szarvasi 1 und die unter Mais angesäten Wildpflanzen im dritten Standjahr.

Tabelle 16: Mittlere Biomassen der Regenwürmer auf der Versuchsfläche Fürstenhagen. Biomasse als Frischmasse in Alkohol konservierter Regenwürmer. Mittel aus jeweils 12 Wiederholungen.

Versuchs-fläche	Kultur	Jahr	*Dendrodrilus rubidus*	*Dendrobaena octaedra*	*Aporrectodea caliginosa*	*Aporrectodea chloritica*	*Aporrectodea limicola*	*Aporrectodea longa*	*Aporrectodea rosea*	*Lumbricus terrestris*	*Lumbricus castaneus*	*Lumbricus rubellus*	*Octolasion tyrtaeum*	Juvenile
			Mittlere Biomasse g/m^2											
Fürsten-hagen	Mais	2012	-	-	6,3	1,7	-	-	0,6	12,5	-	-	-	18,7
		2013	-	-	6,6	-	-	-	-	1,0	-	-	-	10,3
		2014	-	-	8,6	0,6	-	-	0,1	1,7	-	-	-	10,1
	S.Gerste	2012	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,5
	Szarvasi 1	2013	-	-	7,0	-	-	0,3	-	2,1	-	-	-	12,0
		2014	-	-	39,6	0,8	-	-	-	19,3	-	-	-	48,0
	Silphie	2012	-	-	4,3	0,9	-	-	-	3,5	-	-	-	7,1
		2013	-	-	3,1	0,1	0,1	0,1	-	-	-	-	-	9,1
		2014	-	-	11,6	1,1	-	0,3	-	10,5	-	-	-	20,8
	Wildpfl. u. Mais	2012	-	-	9,5	0,1	-	-	-	12,0	-	-	-	7,1
		2013	-	-	9,7	2,5	-	-	0,1	2,6	-	-	-	15,3
		2014	-	-	27,5	0,0	-	-	0,1	30,9	-	-	-	49,2
	Wild-pflanzen	2012	-	-	22,5	-	-	-	-	7,1	-	-	-	34,2
		2013	-	-	11,8	-	-	-	-	2,6	-	-	-	41,6
		2014	-	-	26,9	-	-	1,3	0,1	16,0	-	-	-	35,9

Der deutlichste und höchste Anstieg der Abundanzen und der Biomassen ist für das Szarvasi 1 in allen drei Versuchsflächen zu verzeichnen, wobei es in Fürstenhagen zu einer Steigerung der Abundanz um das Siebenfache kam. Dabei ist zu berücksichtigen, dass das Szarvasi 1 dort erst im Spätsommer nach Umbruch der Sommergersten-Stoppel angesät wurde. Diese Bodenbearbeitung ist mit hoher Wahrscheinlichkeit die Ursache für die gegenüber allen

anderen Kulturen stark erniedrigte Regenwurm-Abundanz. Das Gleiche gilt für die Kleegrasbestände in Darchau und Parmen.

Bei den Kulturen, bei denen eine Erhöhung der Abundanzen und Biomassen der Regenwürmer festzustellen war, wurde diese vor allem durch die Veränderungen bei den Juvenilen hervorgerufen. In einigen Fällen spiegeln sich die Änderungen auch bei den dominanten Arten wider.

Humushaushalt

Die neuen Kulturen zur Biogaserzeugung modifizieren die Faktoren des Humushaushaltes im Vergleich zur vorhergehenden Bewirtschaftung. Bei den Kulturen Mais, Sorghum und Wickroggen fand eine regelmäßige nicht wendende Bodenbearbeitung statt. Die Gärreste wurden entweder in den Boden injiziert oder direkt eingearbeitet. Bei den übrigen Kulturen fand nach der Einsaat keine weitere Bodenbearbeitung statt. Organische Substanz wurde durch die Düngung mit Gärresten auf allen Varianten in etwa der gleichen Menge ausgebracht. Eine weitere Quelle organischer Substanz stellen die Erntereste und die Streu der Bestände dar. Diese wurden zum Ende der Vegetationszeit erfasst – die während der Vegetationszeit anfallende und zersetzte Streu sowie die unterirdisch absterbende Phytomasse konnten im Rahmen dieser Untersuchung nicht berücksichtigt werden.

Zum Ende der Vegetationsperiode im Dezember 2013 hatten die Mais-Parzellen die niedrigsten Erntereste und Streumengen der untersuchten Kulturen auf den Maisflächen (Abb. 10). Dabei handelte es sich fast vollständig um die Maisstoppeln. Die Masse der Erntereste der Sorghumbestände war etwas höher als die der Maisflächen. Dies ist vor allem auf die höhere Anzahl von Stängeln und die stärkere Verunkrautung zurückzuführen. Im Vergleich dazu waren die Ernterest- und Streumengen der grasigen Bestände Szarvasi 1 und Kleegras deutlich höher, gegenüber dem Mais um das Dreifache. Hier hatte sich zusätzlich zu den Ernteresten noch nach dem Häckseln Phytomasse gebildet. Auch die Silphie ist nach der Mahd im Spätsommer erneut ausgetrieben, und die Blätter bilden zusammen mit den Ernteresten eine Menge von ca. 4 t Trockenmasse je Hektar, die doppelt so hoch ist wie die beim Mais. Auch die Wildpflanzen auf beiden Varianten sind nach der Ernte wieder ausgetrieben, so dass Stoppeln und absterbende Blätter eine Trockenmasse von mehr als vier Tonnen pro Hektar bilden.

Mit dem Ziel, Veränderungen im Humusgehalt zu erfassen, wurden nach der Ernte des dritten Versuchsjahres Proben des Oberbodens (0-10 cm) genommen und auf den organischen Kohlenstoffgehalt (C_{org}) und den Gesamtstickstoffgehalt (N_t) untersucht. Die Gehalte an organischem Kohlenstoff waren in Darchau standortsbedingt höher als in den Oberböden der anderen Versuchsflächen. Zwischen den einzelnen Kulturen sind aber keine Unterschiede signifikant. Das C/N-Verhältnis der Maisflächen war mit 12 signifikant weiter als die der übrigen Kulturen, die bei 11 lagen.

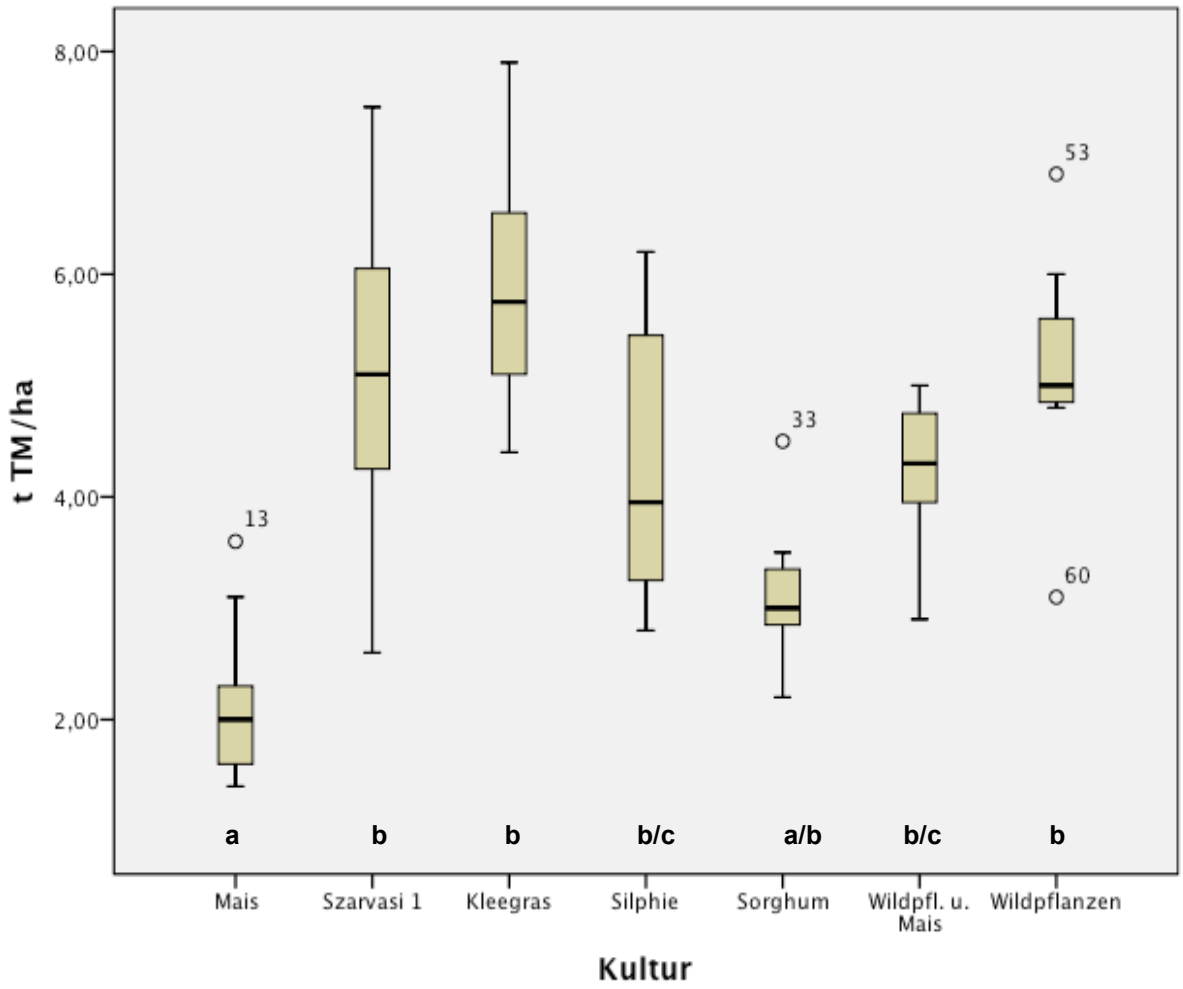

Abbildung 10: Trockenmasse der Erntereste und der Streu auf den verschiedenen Kulturen der Versuchsflächen zum Ende der Vegetationsperiode (Dezember 2013) zusammengefasst aus den Beprobungen aller Versuchsflächen. Die Parzellen mit Wickroggen waren bearbeitet und sind nicht beprobt worden. Signifikanz nach Scheffé (Alpha = 0,05).

In Parmen und Fürstenhagen lagen die organischen Kohlenstoffgehalte der Szarvasi 1 Flächen signifikant über denen der Maisflächen. In Fürstenhagen waren die Szarvasi 1-Parzellen durch einen um ca. 0,3 %-Punkte höheren Gehalt an organischem Kohlenstoff von allen übrigen Kulturen mit Ausnahme der Wildpflanzen signifikant unterschieden. Auch in Vehlow ist der C_{org}-Gehalt der Szarvasi 1-Parzellen deutlich aber nicht signifikant höher als bei den anderen Kulturen. Bei der Probenahme zeigte sich, dass bei den Dauerkulturen stellenweise eine dünne Lage von faserigen Bestandteilen der Gärreste der Bodenoberfläche auflag. Diese wurde bei der Bodenprobennahme entfernt, um den Mineralboden zu erfassen. Möglicherweise ist es durch die starke Durchwurzelung der Szarvasi 1- Bestände, aber auch des Kleegrases und die Bioturbation durch die hohen Regenwurmbestände zu einer Einarbeitung und zur Humifizierung der Streu- und Gärrestbestandteile gekommen.

Tabelle 17: Gehalte an organischem Kohlenstoff (C_{org}), Gesamtstickstoff (N_t) und C/N Verhältnis der Oberböden (0-10cm) der Versuchsflächen im dritten Versuchsjahr (2014). Mittelwerte aus 12 Wiederholungen, Standardabweichung und Kennzeichnung der homogenen Subsets (Scheffé < 0,05).

Versuchs-fläche	Kultur	C_{org} 0-10 cm			N_t 0-10 cm			C/N 0-10 cm		
		Mittel	Stab w.	Sub-sets	Mittel	Stab w.	Sub-sets	Mittel	Stab w.	Sub-sets
		%			%					
Darchau	Mais	1,96	0,99	a	0,16	0,08	a	12	1,08	a
	Szarvasi 1	1,89	0,52	a	0,17	0,04	a	11	0,61	b
	Kleegras	1,97	0,93	a	0,17	0,08	a	11	0,43	a/b
	Sorghum	1,63	0,38	a	0,14	0,04	a	11	0,54	a/b
	Wickroggen	1,67	0,37	a	0,15	0,03	a	11	0,75	a/b
Parmen	Mais	1,01	0,13	a	0,10	0,01	a	10	0,60	a
	Szarvasi 1	1,22	0,18	b	0,11	0,02	a	11	0,31	a
	Kleegras	1,21	0,20	a/b	0,11	0,02	a	11	0,61	a
	Sorghum	1,15	0,15	a/b	0,11	0,01	a	11	1,15	a
	Wickroggen	1,19	0,09	a/b	0,12	0,01	a	10	0,77	a
Fürsten-hagen	Mais	1,01	0,10	a	0,11	0,02	a	11	0,83	a
	Szarvasi 1	1,32	0,19	b	0,11	0,01	a	12	0,79	a
	Silphie	1,05	0,14	a	0,09	0,02	a	11	1,32	a
	Wildpfl. u. Mais	1,09	0,15	a	0,09	0,02	a	12	1,02	a
	Wildpflanzen	1,19	0,13	a/b	0,10	0,02	a	12	1,65	a
Vehlow	Mais	1,24	0,21	a	0,10	0,01	a	12	0,97	a
	Szarvasi 1	1,46	0,61	a	0,12	0,05	a	12	0,62	a
	Silphie	1,24	0,19	a	0,10	0,02	a	12	0,69	a
	Wildpfl. u. Mais	1,23	0,18	a	0,09	0,02	a	13	0,77	a
	Wildpflanzen	1,34	0,43	a	0,11	0,04	a	12	0,94	a

1.3 Zusammenfassende Bewertung der neuen Kulturen zur Biogaserzeugung

Die Ergebnisse zum Anbau und zur Nutzung der Neuen Kulturen zur Biogaserzeugung im Praxismaßstab müssen in den Kontext der zahlreichen weiteren Arbeiten zu diesen Kulturen gestellt werden. Dabei muss berücksichtigt werden, dass aufgrund der Versuchsanstellung mit nur einem Ansaatjahr die Ergebnisse im Vergleich zu denen anderer Versuche insbesondere bei den Dauerkulturen nicht nur auf den Upscaling-Effekt von dem kleinflächigen auf den großflächigen Versuch, sondern auch von singulären Effekten vor allem des Witterungsverlaufs abhängig sind.

Szarvasi 1

Das Hohe Weizengras Szarvasi 1 wird bereits großflächig zur Biogaserzeugung angebaut. Auf den Versuchsflächen Darchau und Parmen wurde es im Frühjahr, in den beiden übrigen Varianten im Spätsommer gesät. Das Ertragsniveau von über 18 t Trockenmasse je Hektar von dem Geißendörfer (2013) berichtet, wurde in beiden Varianten nicht annähernd erreicht. Ursächlich sind hierfür einerseits die Trockenheit zur Aussaatjahr, andererseits wechselnde Bodenbedingungen. So erwies sich das Gras als sehr empfindlich gegenüber Verdichtungen. Die Ernte und Silagebereitung stellten sich unproblematisch dar. Die im Labor gemessenen Biogaserträge lagen nur bei einer Probe, der aufgrund der drohenden Überflutung ca. drei Wochen zu früh geernteten Fläche, mit 612 l_n/kg oTS in der von Geißendörfer (3013) gemessenen Größenordnung. Die zur Blüte geerntete Probe erbrachte mit nur 481 l_n/kg oTS einen deutlich geringeren Ertrag, der auch in den Praxisbiogasanlagen festgestellt wurde. Durch den positiven Effekt auf den Humushaushalt und die Regenwürmer bietet sich der Anbau von Szarvasi 1 und anderen mehrjährigen Gräsern in Biogasfruchtfolgen als Maßnahme zur Regeneration der Böden an.

Sommergerste-Kleegras-Kleegras

Die Fruchtfolge aus Sommergerste mit Kleegrasuntersaat soll eine Verbindung zum EVA-Verbundprojekt darstellen (Eckner et al. 2014). Wie auch in den meisten Varianten dieser Fruchtfolge im EVA-Projekt, konnte die Etablierung der Untersaat nicht gelingen und es musste im Sommer nachgesät werden. Die Erträge sind mit denen der EVA-Standorte vergleichbar (Eckner et al. 2014). Dabei konnte eine Steigerung vom zweiten zum dritten Standjahr festgestellt werden Die Erträge lagen in der gleichen Größenordnung wie beim Szarvasi 1. Im Gegensatz zu diesem kann das Kleegras mit hohen Rohproteingehalten (bis 157 kg/t TM) auch zur Fütterung eingesetzt werden. Die regenerierende Funktion auf den Humushaushalt und den Boden ist vergleichbar. Ernte, Silierung und Einsatz in den Biogasanlagen waren mit entsprechend kurz gehäckseltem Material unproblematisch.

Sorghum

Die Sorghum-Erträge lagen mit zwischen 8 und 10 t TM/ha zwar unter denen der EVA-Standorte (Eckner et al. 2014), jedoch sind die Abweichungen um ca. 20 % (mit Ausnahme

von Bernburg und Lindenhof) durch den Unterschied zwischen Praxis- und Exaktversuch zu erklären. Deutlicher als bei den EVA-Standorten fällt jedoch der Unterschied zum Mais aus. Die Abundanz und Biomasse der Regenwürmer stieg im Laufe der drei Jahre an und lag deutlich über der des Mais. Da der Anbau- und Ernteaufwand im Prinzip gleich sind und die Biogaserträge sich auch nicht unterscheiden, stellt der Anbau von Sorghum in dieser Region keine Alternative dar. Die Bestände gelangten nicht zur Abreife und waren heterogener als beim Mais, da das Sorghum auf leichte Staunässe, Oberbodenverschlämmung und Verdichtung empfindlicher reagierte als der Mais. Hier besteht noch in großer Bedarf der züchterischen Weiterentwicklung (Snowdon 2013).

Wickroggen

Die Mischung von Wicken und Roggen stellt eine sehr ertragsstarke Kultur dar, die sich gut in Biogas-Fruchtfolgen intergieren lässt. Durch den Einsatz einer biomassereichen Roggensorte in den Jahren 2013 und 2014 konnten Erträge (nur Parmen auswertbar) von über 12 t TM/ha erzielt werden. Diese liegen in der Größenordnung der Erträge der Triticale im EVA-Verbund (Eckner et al. 2014) und sind vergleichbar mit dem Mais am Standort Parmen. Die Ernte mit dem Direktschneidwerk war im Vergleich zur Maisernte etwas aufwändiger, funktionierte aber reibungslos. Das Erntegut ließ sich gut silieren und in der Biogasanlage einsetzen. Durch die langanhaltende Blüte der Wicken kam es zu einer intensiven Nutzung der Flächen durch Blütenbesucher. Auch ästhetisch stellten die Flächen eine Bereicherung der Landschaft dar. Inwieweit die Erträge sich von denen einer Reinkultur des Roggens unterscheiden, wurde in diesem Versuch nicht ermittelt. Deiglmayer et al. (2011) stellten nur sehr geringe und uneinheitliche Unterschiede fest. In den Praxisversuchen zeigte sich ein kompensatorisches Wachstum der Wicke an Fehlstellen des Roggens. Neben den Blütenbesuchern profitieren auch die Regenwürmer von dem Wickroggen. Der Wickroggen lässt sich gut als Vorfrucht für anspruchsvolle Kulturen, wie z. B. Zuckerrüben in die Biogasfruchtfolgen einbinden. Durch die winterliche Bodenbedeckung und Nährstoffaufnahme wird sowohl der Nährstoffhaushalt positiv beeinflusst als auch ein Schutz vor Winderosion gewährleisten.

Silphie

Mit 40 Hektar Anbaufläche im Rahmen dieser Untersuchung wurde die mit Abstand größte Silphie-Anpflanzung in Deutschland realisiert. Im Durchschnitt wurden zwei Hektar pro Tag gepflanzt. Die Kosten für das Pflanzgut und die Pflanzung können sich erst nach einer vieljährigen ertragreichen Ernte amortisieren. Die Erträge in Parzellenversuchen lagen regelmäßig über 15, teilweise über 20 t/ha (Conrad et al. 2010). Diese Ertragserwartung konnte in Fürstenhagen und Parmen nicht annähernd erreicht werden. Obwohl trotz des trockenen Pflanzjahres fast alle Pflanzen angingen und einen geschlossenen Bestand bildeten, lagen die Erträge im dritten Standjahr mehr als die Hälfte unter denen des Maises. Die Frühjahrstrockenheit im ersten und die Sommertrockenheit im zweiten Standjahr führten zu

einer starken Schwächung der Silphie. Dadurch konnte die Silphie den Bestand nur teilweise schließen und das Unkraut unterdrücken. Die Ernte mit dem Häcksler verlief problemlos. Das Material silierte befriedigend, der Biogasertrag der Silage lag jedoch deutlich unter dem von Mais. Bei der Silphie ist der Unterschied zwischen der Ertragserwartung aus den Parzellenversuchen und der Praxis im Großversuch von allen untersuchten Kulturen am stärksten ausgebildet. Die Vorteile der Dauerkultur liegen eindeutig in der dauerhaften Bodenbedeckung, dem Blütenangebot und der Diversität in der Landschaft. Eine Alternative zu etablierten Kulturen zur Biogaserzeugung im großflächigen Anbau ist die Silphie derzeit nicht. Die Rolle ist eher im kleinflächigen Anbau zur Erfüllung bestimmter ökosystemarer Funktionen, z.B. als Pufferstreifen zu Kleingewässern und Gräben vor Pflanzenschutzmitteleinträgen, zu suchen.

Wildpflanzen

Die Wildpflanzenbestände stellen eine wichtige Bereicherung der Agrarlandschaft dar. Sie ließen sich sowohl unter einjährigen Wildpflanzen als auch unter Mais etablieren. Die Mais-Untersaat war zwar im zweiten Standjahr weniger dicht, aber zum dritten Jahr glichen sich die Erträge an. Jedoch blieben die Erträge mit maximal acht Tonnen Trockenmasse pro Hektar weit unter den Erwartungen (s. Degenbeck 2013) zurück. Ursächlich war neben der Trockenheit zur Aussaat ein hoher Unkrautdruck im zweiten und dritten Standjahr. Einige in Süddeutschland besonders ertragsstarke Arten haben sich nicht etablieren können. Die Ernte und Silierung verliefen befriedigend. Die Biogaserträge waren sehr gering. Für den großflächigen Anbau sind die untersuchten Mischungen keine Alternative zu konventionellen Kulturen. Sie können jedoch eine wichtige Rolle als Puffer zu empfindlichen Ökosystemen und zur Untergliederung großer Maisflächen einnehmen.

1.4 Literaturverzeichnis

Conrad, M., Biertüpfel, A., Vetter, A. (2010): Optimierung des Anbauverfahrens für Duchwachsenen Silphie (Silphium perfoliatum) als Kofermentpflanze in Biogasanlagen sowie Überführung in die landwirtschaftliche Praxis. TLL.

Degenbeck, M. (2013): Energetische Verwendung von kräuterreichen Ansaaten in der Agrarlandschaft. Gülzower Fachgespräche 45. 173-190.

Deiglmayr, K., Heimler, F., Fritz, M. (2011): Wickroggen zur Biogasnutzung. https://mediathek.fnr.de/symposium-energiepflanzen-2011.html (zuletzt abgerufen 25.04.2015).

Eckner, J.; Strauß, C.; Nehring, A.; Vetter, A. (2014): Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter den verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands (EVA II).

Geißendörfer , H. (2013): Anbau von Energiegräsern zur Biogaserzeugung. Gülzower Fachgespräche 45. 118-136.

Google Inc. (2013): Google Earth. Version 7.0.3.8542. Mountain View. Available online at http://www.google.de/intl/de/earth/index.html, checked on 28/05/2013.

Fründ H.-J., Jordan, B. (2003): Regenwurmerfassung mit Senf oder Formalin? Versuche zur Eignung verschiedener Senfzubereitungen für die Austreibung von Regenwürmern. In: Osnabrücker Naturwissenschaftliche Mitteilungen, 29: 97-102.

FNR (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.) (2012): Nachwachsende Rohstoffe. Available online at: http://www.fnr.de/basisinfo-nachwachsende-rohstoffe, checked on 04/02/2014.

Karpenstein-Machan M. (2012): Pflanzenbauliche Optimierung und Umsetzung eines integrativen Energiepflanzenbaus in 3 niedersächsischen Landkreisen. Fachtagung: Chancen und Risiken der Bioenergie im Kontext einer nachhaltigen Entwicklung. Göttingen 24./25. Januar 2012.

Kolbe H. (2008): Verfahren zur Berechnung der N-Bindung von Leguminosen im Ökolandbau. Arbeitspapier, FB Pflanzliche Erzeugung, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Leipzig.

Körschens M., Rogasik J., Schulz E. (2004): Humusbilanzierung, Methode zur Beurteilung und Bemessung der Humusversorgung von Ackerland. Verband Deutscher landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA).

LGB (Landesvermessung und Geobasisinformation Brandenburg) (2012): Geobasisdaten: © GeoBasis-DE/LGB <2012>.

Liedtke, H., Marschner, B. (2003): Bodengüte der landwirtschaftlichen Nutzflächen. In: Institut für Länderkunde (Hrsg.): Nationalatlas Deutschland, Band 2: Relief, Boden und Wasser, Spektrum Verlag, Heidelberg, 104-105.

Reckling M., Stein-Bachinger, K. & J. Bachinger (2013): Stickstoff-Saldo-Rechner - Berechnung von N-Salden im ökologischen Feldfutterbau. In: Stein-Bachinger K, Reckling M, Hufnagel J, Granstedt A (Hrsg.): Kreislauforientierte Ökologische Landwirtschaft Bd. I Pflanzenbau und Tierhaltung. Medialis Offsetdruck, Berlin.

Roßberg D., V. Michel, R. Graf & R. Neukampf (2007): Definition von Boden-Klima-Räumen für die Bundesrepublik Deutschland. Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes 59 (7): 155-161.

Sims, R.W., Gerard, R. (1985). Earthworms. Brill/Backkuys, London

Snowdon, R. (2013): Züchtung zur Anpassung für Deutschland neuer Energiepflanzen am Beispiel von Sorghum. Gülzower Fachgespräche 45. 146-156.

2. Verwertung

Das Projekt **Optimierte Energiepflanzen-Anbausysteme zur nachhaltigen Biogaserzeugung - Upscaling der FuE-Ergebnisse zu neuen Kulturen und deren Implementierung** knüpfte an Parzellenversuche zu neuen Energiepflanzen an. Die Erkenntnisse aus den Praxisversuchen zeigen weitere Forschungsfragen auf, die wiederum in Parzellenversuchen zu klären sind. Ein wichtiges Moment ist die Identifizierung sicher wirkender Pflanzenschutzmittel zur Etablierung der Dauerkulturen. Im Zuge dessen sind die tolerierbaren Beikrautdichten zu ermitteln, um insbesondere bei den Wildpflanzenmischungen und der Durchwachsenen Silphie die Anzahl der Pflanzenschutzanwendungen möglichst gering zu halten. Die naturschutzfachliche Bewertung der Durchwachsenen Silphie und der Wildpflanzen erfolgt in Zusammenarbeit mit dem Institut für Biodiversität des Johann Heinrich von Thünen-Institut (TI) und dem Leibniz-Centre for Landscape Research (ZALF). Diese werden publiziert.

Durch zwei Feldtage in den Jahren 2012 und 2013 mit jeweils über 120 Teilnehmern sowie zahlreichen Führungen auf den Versuchsflächen ist es gelungen, alternative Energiepflanzen einer Fachöffentlichkeit zu präsentieren. Aufgrund zahlreicher Anfragen von interessierten Landwirten vor allem zu den Wildpflanzen und der Durchwachsenen Silphie sind Beratungsgespräche und Feldbesichtigungen durch Mitarbeiter der Forschungsstelle Nachhaltige Biogaserzeugung erfolgt. Diese Aktivitäten werden fortgeführt und intensiviert. Die Versuche starteten unter den Bedingungen des Erneuerbare Energien-Gesetztes vom 01.01.2012, die eine zusätzliche Vergütung für bestimmte Einsatzstoffe z.B. der Silphie vorsah. Aufgrund des geringen Zubaus von Biogasanlagen im Zeitraum von 2012-2014, betrifft diese Reglung weniger als 10 % der in Betrieb befindlichen Anlagen. Daher ist für die Einführung neuer Kulturen in Zukunft verstärkt auf die Vernetzung von Jägern, Imkern und Landwirten zum umweltgerechten Anbau von Energiepflanzen zu setzen.

3. Erkenntnisse von Dritten

Während des Projektes gab es einen intensiven Austausch mit Bearbeitern weiterer laufender Projekte, z.B. zur Silphie und zu den Wildpflanzen. Bei beiden Kulturen wurde eine Beziehung von Beikrautdruck zum Ertrag deutlich. Die Auslegung eines weiteren Pflanzenschutzes in den Entwicklungsstadien der Kulturen war aber noch nicht geklärt.

4. Veröffentlichungen

Brauckmann, H.-J.; Krell, K.; Broll, G. ; Ruhe, K. (2013): Energy on Farm – Optimierte Energiepflanzen-Anbausysteme zur nachhaltigen Biogaserzeugung. Gülzower Fachgespräche Bd. 45, 303-320

Geplante Veröffentlichungen

1. Erträge und Bestandesentwickung
2. Bodenökologische Untersuchungen
3. Messtechnik an Biogasanlagen
4. Ökologische Bewertung