

Inhalt



1.1 Pflanzenbauliche Optimierung und Umsetzung eines integrativen Energiepflanzenbaus	2
1.1.1 Einleitung und Problembeschreibung	2
1.1.2 Methoden	3
1.1.3 Ergebnisse und Diskussion	8
1.1.4 Schlussfolgerungen für die Praxis	25
Literatur	27

1.1 Pflanzenbauliche Optimierung und Umsetzung eines integrativen Energiepflanzenbaus

1.1.1 Einleitung und Problembeschreibung

Wie aus vielen Studien hervorgeht, bietet der Energiepflanzenanbau auf dem Acker die größten Potenziale unter den biogenen Ressourcen. Bereits 2 Mio. ha Anbaufläche für Energiepflanzen, ein Wert, den wir bereits heute überschreiten (FNR 2013: 2,1 Mio. ha), liefern ca. 304 PJ Energie. Dieser Wert rangiert damit in der Größenordnung vor dem Waldrestholzpotenzial, dem Wirtschaftsdünger und anderen biogenen Reststoffen (nach Aretz und Hirschl, 2007).

Aus der Retrospektive betrachtet galt es dieses große Potenzial für die Bioenergienutzung zu erschließen, weshalb die Regierung das Erneuerbare Energien Gesetz (EEG) 2004 novellierte und die Konditionen für den Anbau von nachwachsenden Rohstoffen deutlich verbesserte. Hinzu kann, dass bis dato die Landwirtschaft durch Überproduktion geprägt war und 10 % der Flächen stillgelegt waren.

Angeregt durch das EEG 2004 stieg der Anbau von Energiepflanzen in wenigen Jahren von 0,7 Mio. ha (hauptsächlich Rapsanbau für Biodiesel) auf 2,1 Mio. ha (18 % der Ackerfläche). Der Anbau für Biogasnutzung beträgt allein heute bereits 962.000 ha (FNR 2013, Stand 2012).

Da die Landschaft und damit die Landwirtschaft als großer Landschaftsgestalter, über die Nahrungsmittel- und Energieproduktion hinaus vielfältige Nutzungsansprüche der Gesellschaft zu erfüllen hat, wie zum Beispiel den Erhalt der Biodiversität und das Naherholungsbedürfnis, führte der massive Anstieg der Bioenergienutzung mit der sehr einseitigen Ausdehnung des Maisanbaus zu signifikanten negativen Auswirkungen auf Ökosysteme und Biodiversität (Rode & Kanning 2010). Auch wird immer deutlicher, dass die Ackerfläche zum begrenzenden Faktor wird, wenn alle Nutzungsansprüche der Gesellschaft für den Nahrungs- und Futtermittelbedarf, der Bedarf für Bioenergie und Grundstoffe für die Industrie von der Fläche gedeckt werden sollen. Hannah et al. weisen bereits 1994 darauf hin, dass aufgrund der hohen Bevölkerungsdichte die landwirtschaftliche Nutzung und diverse ökologische Leistungen auf der gleichen Fläche vereinigt werden sollten.

Grundsätzlich hat jedoch Energiepflanzenanbau das Potenzial, die Fruchtfolgen zu bereichern und Landschaft diverser zu gestalten. Leider wird davon noch nicht

sehr viel Gebrauch gemacht. Eine von Karpenstein-Machan und Weber (2010) durchgeführte Befragung von Landwirten mit Biogasanlagen in Niedersachsen ergab, dass durch die Einbindung von Energiepflanzen bei 50 % der Betriebe die Anzahl von Kulturarten auf Betriebsebene von 3,5 auf 4 signifikant anstieg, jedoch bei 79 % der Betriebe der Humusreproduktionsbedarf um 91 kg C/ha/a zunahm. Besonders in Betrieben wo bereits ohne Energiepflanzen ein hoher Anteil humuszehrender Kulturen angebaut wird, besteht die Gefahr, dass durch zusätzlichen Maisanbau die Humusbilanz nicht mehr ausgeglichen ist (s. auch Kapitel 1.1.3).

Durch neue "Integrative Anbaukonzepte für Energiepflanzen" können negative Effekte der intensiven konventionellen Landwirtschaft auf Betriebs- und Landschaftsebene reduziert werden. Unsere Forschungsfrage lautete daher:

Wie können integrative Anbaukonzepte in die landwirtschaftliche Praxis so einfließen, dass die Biomasseproduktion gleichzeitig einen Beitrag zur Biodiversität und der Erhaltung der Ökosysteme leisten ohne die Nahrungsmittelproduktion qualitativ einzuschränken?

Da die Qualität der Fruchtfolge zugleich die Biodiversität und die ökologischen Leistungen maßgeblich beeinflusst, wird in Beispielbetrieben die Einbindung alternativer Energiepflanzen in die Fruchtfolge getestet.

1.1.2 Methoden

1.1.2.1 Konzept des „Integrativen Energiepflanzenbaus“

Auf Betriebs- und Landschaftsebene sollen integrative Energiepflanzenbaukonzepte (IEPK) zu einer nachhaltigen und vielfältigen Landschaft beitragen. Der integrative Energiepflanzenbau soll die Nutzung der Landschaft mit dem Schutz der Landschaft enger verkoppeln, so dass beide Zielstellungen nicht konträr verlaufen, sondern durch innovative Anbaukonzepte beide Ziele auf der gleichen Fläche verwirklicht werden können. Integrativer Energiepflanzenbau kann z. B. auf Gunststandorten hohe Biomasseerträge konventionell und umweltfreundlich mit Misch- und Zweikulturnutzung erzeugen und in Form von biozidfreien Blühstreifen am Ackerrand in artenarmen Landschaften zur Biodiversität beitragen und das Landschaftsbild verbessern. Ebenso kann der Anbau von mehrjährigen Wildkräutermischungen als Biogassubstrat einen Beitrag zum Naturschutz und zur Bioenergiegewinnung leisten (Vollrath et al. 2011). Abbildung 1 zeigt ein theoretisches Modell, wie IEPK auf Betrieb- oder Landschaftsebene den Anbau von einjährigen und mehrjährigen Kulturen sowie den Anbau von Nahrung, Futter und Energie kombiniert (s. auch Karpenstein-Machan 2002).

Die typischen Biogaspflanzen Mais, Triticale und Roggen rotieren mit Winterweizen, Zuckerrüben und Feldgrass. Die Anfälligkeit der Pflanzen für Krankheiten ist in solchen diversen Fruchtfolgen geringer und Pestizide können eingespart werden. Triticale und Roggen werden bereits zu Milchreife geerntet und zur Ganzpflanzensilage (GPS) verarbeitet, so dass auch hier weniger Pflanzenschutzmittel benötigt werden (Karpenstein-Machan 2000, 2002, Meissle et al. 2010). Durch die Integration von humusmehrenden Kulturen wie z. B. Ackergras, kann der Humusgehalt trotz Biomasseabfuhr von Energiepflanzen gehalten werden.

In dem theoretischen Beispiel sind die einjährigen Kulturen von herbizidfreien Blühstreifen umgeben. Diese können entweder mit der Biomasse zusammen geerntet werden, oder auf dem Feld über Winter verbleiben, um für Wildtiere einen Schutz zu bieten. Dauerkulturen tragen ebenfalls zum Winterhabitat für Vögel und Wildtiere bei, sie benötigen nach der Etablierungsphase keine Pflanzenschutzmittel mehr und tragen zur Humusmehrung, zum Erosionsschutz und zur Wasserretention (ausgleichende Wirkung bei Hochwasser) bei (Börjesson 1999, Power 2010, Don et al. 2012). Dauerkulturen sind besonders sinnvoll auf ökologisch sensiblen Standorten, die zu Nitratauswaschung, Humusabbau und Erosion neigen. An Flussläufen, Waldrändern und Straßengräben sind Dauerkulturen wie *Miscanthus*, *Silphium perfoliatum*, Wildpflanzenmischungen und Kurzumtriebsplantagen eine produktive und ökologische Alternative zu einjährigen Intensivkulturen. Sie bedecken den Boden das ganze Jahr über, speichern CO₂ durch das Unterlassen der Bodenbearbeitung und sie reduzieren Nährstoffauswaschungsprobleme (Börjesson 1999, Power 2010, Don et al. 2012).

Die Dauerkulturen können als Substrat für Biogasanlagen (Durchwachsene Silphie, Wildpflanzenmischungen, Grünlandschnitte) dienen, oder zur Wärmeproduktion genutzt werden (*Miscanthus*, Kurzumtriebsholz).

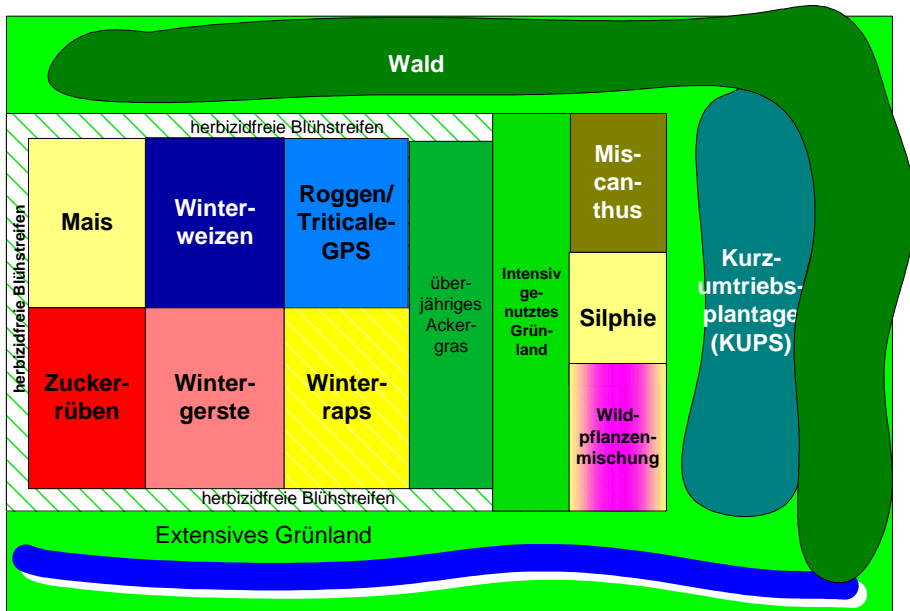


Abbildung 1: Model eines integrativen Anbaukonzeptes mit Nahrungsmittel-, Futtermittel- und Energiepflanzenanbau (verändert nach Karpenstein-Machan 2004)

1.1.2.2 "On farm Research"

Im Rahmen des Aktionsforschungsprojektes „Pflanzenbauliche Optimierung und Umsetzung eines integrativen Energiepflanzenbaus“ arbeiten wir mit drei Landkreisen und mit drei landwirtschaftlichen Betrieben zur Umsetzung des integrativen Energiepflanzenbaus zusammen. Die mit der Universität kooperierenden Landwirte testen vorgeschlagene neue Kulturen und Anbaukonzepte, die ihren Anbau ökologisch und ökonomisch optimieren sollen. Die Idee ist, dass ausgehend von diesen Betrieben neue wissenschaftliche Ansätze auf andere Betriebe übertragen werden. Um dies zu befördern, fanden regelmäßige Feldführungen auf den sogenannten Modellbetrieben statt.

1.1.2.3 Getestete Kulturen auf den Modellbetrieben

Auf den Modellbetrieben im Landkreis Goslar, Landkreis Wolfenbüttel und der Region Hannover wurden von 2009 bis 2013 Anbauversuche mit verschiedenen Kulturarten durchgeführt. Im nachfolgenden Kapitel sind diejenigen, von denen die Ergebnisse schon vorliegen, wiedergegeben.

1.1.2.3.1 *Zweikulturnutzung: Wintergetreide und nachfolgende Sommerung*

Als Erstkultur wurde ein Mischanbau bestehend aus Wintertriticale (*Triticosecale*) und Winterwicke (*Vicia villosa*) bzw. Winterroggen (*Secale cereale*)/Winterwicke getestet. Diese Mischungen werden bereits von Züchtern für die Praxis angeboten. Es werden standortübliche Saatstärken für das Getreide gewählt und die Winterwicke mit 10 kg/ha zugemischt. Die Winterung wird im Stadium Milch-/Teigreife geerntet (auf den Betrieben Anfang bis Mitte Juli – im Folgenden als Wintergetreide-GPS bezeichnet), so dass Zeit für eine Zweitfrucht gegeben ist. Verschiedene Zweitkulturen wurden getestet: Sonnenblumen (*Helianthus annuus* L.), Sudangras (*Sorghum bicolor* x *sudanens*), Amaranth (*Amaranthus* spp.), Ölrettich (*Raphanus sativus* L.), Buchweizen (*Fagopyrum esculentum*), Sommertriticale (*Triticosecale*), Sommerhafer (*Avena sativa*). Die Form der Zweikulturnutzung lässt sich idealerweise in die Fruchtfolge integrieren, trägt zur Diversifizierung der Rotationen bei und ist in der Summe im Ertrag dem Mais ebenbürtig (Stülpnagel et al. 2007). Nach Wintergetreide-GPS kann auch Ackergras folgen, welches dann einmal im Herbst und ein zweites Mal im Frühjahr als Energiepflanze oder Futter genutzt werden kann. Dies trägt stärker zur Humusmehrung bei als dikotyle Sommerzwischenfrüchte. Auch eine Einbindung des Wintergetreide-GPS in eine Rapsfruchtfolge ist möglich, da die frühe Ernte des Getreides zur Biogasnutzung eine zeitgerechte Rapsaussaat ermöglicht.

1.1.2.3.2 *Mais mit Untersaat*

Rotschwingel (*Festuca rubra* L.) und Weidelgras (*Lolium multiflorum* L.) wurden als Untersaaten unter Mais getestet. Rotschwingel wurde bereits mit der Bodenbearbeitung vor der Maisaussaat gesät, während Weidelgras aufgrund seiner höheren Konkurrenzkraft erst drei Wochen nach der Maisaussaat gesät wurde. Gut etablierte Untersaaten erhöhen den Humusgehalt des Bodens und sind besonders bei engen Maisfruchtfolgen unerlässlich. Sie tragen auch zum Erosionsschutz bei, da sie den Boden über Winter bedecken. Während Rotschwingel als Humusquelle und Erosionsschutz dient, kann das produktivere Weidelgras im Frühjahr noch einen lohnenswerten Biomasseschnitt für die Biogasanlage liefern.

1.1.2.3.3 *Blühstreifen um Mais*

Um die Akzeptanz für Energiepflanzen zu verbessern und gleichzeitig die Artenvielfalt mit spätblühenden Kulturen als Nektar für Bienen und Insekten zu erhöhen, wurden drei Meter breite Sonnenblumenstreifen bzw. einjährige Wildpflanzenblühstreifen (Zeller Saaten) um Maisfelder angelegt. Die Blühstreifen werden erst nach der Maisaussaat und der Herbizidbehandlung zu Mais Anfang bis Mitte Juni gesät. Zur Vorbereitung der Saat des Blühstreifens wird eine zweimalige Bodenbearbeitung durchgeführt, um aufgelaufene Unkräuter zu beseitigen und der Blühmischung optimale Startbedingungen zu geben.

1.1.2.3.4 *Dauerkulturen (Silphie und Wildpflanzenmischung)*

Als neue Dauerkultur, die in Deutschland zur Zeit auf ca. 25 ha auf Praxisbetrieben erprobt wird, wurde die Durchwachsene Silphie (*Silphium perfoliatum* L.) auf zwei Standorten (Lößlehm und einem flachgründigen Karstboden) ausgepflanzt. Die Silphie, auch Becherpflanze genannt, kann über 10 bis 15 Jahre genutzt werden (Conrad & Biertümpfel 2010). In ihren becherartigen Blättern kann sie Tau- und Regenwasser speichern und ist deshalb relativ trockenresistent. Ihre Heimat ist Nordamerika und sie ist an gemäßigtes Klima und auch moderate Höhenlagen angepasst.

In zwei der kooperierenden Betriebe wurde Silphie auf 0,5 bzw. 1,9 ha mit einer Gemüsepflanzmaschine im Juni 2010 bzw. 2011 ausgepflanzt. Die Pflanzstärke betrug vier Pflanzen/m². Silphie wurde zuvor gewerbsmäßig in einem Gewächshaus der Firma „Chrestesen Saaten“ angezogen und im 3-bis 4-Blattstadium an die Betriebe ausgeliefert. Die geringe Keimfähigkeit der Samen der Silphie führt bei Aussaat noch nicht zu einer befriedigenden Bestandesdichte. Erste erfolgreiche Tests mit chemisch behandeltem Saatgut machen jedoch Hoffnung auf eine baldige Verfügbarkeit von Saatgut mit guter Keimfähigkeit (Conrad & Biertümpfel 2013). Die Silphie wurde mit 20 m³ Gärrest/ha gedüngt und im 1. Jahr der Etablierung mehrmals manuell gehackt. Vorteil der Dauerkultur ist, dass ab dem 2. Jahr weder Unkrautkontrolle noch Bodenbearbeitung notwendig sind.

Auf einer anderen Fläche des Betriebes 2 wurde auf 0,7 ha im Mai 2011 eine mehrjährige Wildpflanzenmischung für Biogas der Firma „Zeller Saaten“, die in Zusammenarbeit mit dem Netzwerk „Lebensraum Brache“ entwickelt wurden, ausgesät. Diese Mischung besteht aus 24 Wildarten und wurde nach ökonomischen und ökologischen Gesichtspunkten zusammengestellt. Ein möglichst hoher Ertrag und eine lange Blühdauer des Bestandes sollen erreicht werden, um den Anbau sowohl für den Landwirt attraktiv zu machen, als auch als Bienen- und Insektenweide die

Landschaft ökologisch aufzuwerten. Die Mischung wurde mit 10 m³ Gärrest gedüngt.

1.1.2.3.5 Boden- und Pflanzenanalysen

Unter der Dauerkultur Silphie sowie unter einjährigen Referenzkulturen (Mais, Zuckerrüben) wurden seit 2011 in der Vegetationszeit Mai bis Oktober Bodenproben bis 30 cm Tiefe gezogen, um die Entwicklung des Humusgehaltes (C- und N-Gehalt in 0 -15, 15 – 30 cm) zu untersuchen. Die Beprobungspunkte wurden mit einem GPS-Gerät gespeichert, so dass immer wieder die gleichen Standorte für die Probenahme aufgesucht werden konnten. Zur Analyse des zeitlichen Wachstums und der Entwicklung der Silphie wurden monatlich Pflanzenproben im Silphiebestand (mit vierfacher Wiederholung) entnommen. Es wurden zwei Standorte beprobt (Betrieb 1: Karstboden, Betrieb 2: Lösslehm).

1.1.3 Ergebnisse und Diskussion

1.1.3.1 Charakterisierung der Betriebe

Tabelle 1 gibt einen Überblick über die Betriebsart, die klimatischen Bedingungen, die Bodeneigenschaften und Fruchtfolgen der drei Modellbetriebe. Die beiden Ackerbaubetriebe und der milchviehhaltende Betrieb wirtschaften unter unterschiedlichen Standort- und Klimabedingungen in Südniedersachsen. Alle drei Betriebe besitzen Biogasanlagen bzw. sind Teilhaber an einer Biogasanlage. Während sich jährliche Niederschläge und die Jahresdurchschnittstemperatur nur moderat auf den Standorten der Betriebe unterscheiden, wird die sehr unterschiedliche Ertragsfähigkeit der Böden anhand der Ackerzahlen der Betriebe und Bodenarten deutlich (s. Tabelle 1). Alle drei Betriebe weisen sehr enge Fruchtfolgen auf; die am häufigsten angebauten Kulturen sind Mais, Winterweizen und Zuckerrüben. Betrieb 1 produziert Marktfrüchte und Energiepflanzen auf Standorten mit geringer bis hoher Bodengüte (Ackerzahlen 35 bis 82). Ein großer Teil der Böden hat sich auf Karstgestein entwickelt, sie sind reich an Kalksteinen und sehr flachgründig. Daneben kommen noch tiefgründigere sandige Lehme und Lehmböden mit höherer Bodenfruchtbarkeit vor. Die Karststandorte gehören seit mehr als 10 Jahren zum Wasserschutzgebiet. Die wichtigste Kultur stellt für den Betrieb 1 der Mais dar, er wird auf 65 % der Fläche kultiviert. Daneben werden noch Zuckerrüben, Winterweizen und Winterroggen angebaut. Während Zuckerrüben mit Winterweizen und Winterroggen rotiert, wird Mais meistens auf den Karstböden in Monokultur angebaut.

Tabelle 1: Betriebsart, Klima, Bodenart und Fruchtfolgen der drei Modellbetriebe vor der Umstellung

	Betrieb 1	Betrieb 2	Betrieb 3
Betriebstyp	Ackerbaubetrieb mit Biogas;	Ackerbaubetrieb mit Biogas;	Milchfarm mit Biogas; Acker- und Grünland
Langjährige Klimadaten	8° C, 720 mm	9,0 ° C, 600 mm	9,2° C, 670 mm
Bodenarten	Sandiger Lehm, Lehm, flachgründige Karstböden	Lößlehm und organische Böden	Sandiger Lehm und Sand
Ackerzahl	32 – 82	50 – 100	30-50
Kulturarten in % des Ackerlandes	Silomais 65 % Z.Rüben 15 %; W.Roggen 13 %; W.Weizen 7 %	Wi.Weizen 53 %; Z.Rüben 28 %; Silomais 10 %; S.Weizen 6 %, W.Roggen 3%	Silomais 63 %; W.Triticale 20%; W.Weizen 17 %

Betrieb 2 produziert Marktfrüchte und Energiepflanzen auf sehr fruchtbaren Mineral- und Niedermoorböden. Seit 60 Jahren werden die Niedermoorböden ackerbaulich bewirtschaftet. Aus ehemals feuchtem Grünland wurde durch Drainierung und Pflügen Ackerland gewonnen. Diese Landnutzungsänderung geht einher mit hohen Mineralisationsraten, Humusabbau und hohen CO₂-Emissionen. Die auf den Niedermoorböden angebauten Kulturen sind aufgrund der hohen Mineralisationsraten mit Nährstoffen übersorgt (insbesondere Stickstoff), das begünstigt Pflanzenkrankheiten, Lager im Getreide und einen hohen Unkrautdruck und erfordert einen hohen Einsatz an Pflanzenschutzmitteln. Der Winterweizen wird auf Betrieb

2 auf 53 % der Fläche angebaut. Der Winterweizen (WW) rotiert auf den Mineralböden mit Zuckerrüben (WW-WW-ZR) und Mais wird auf den organischen Böden im Wechsel mit Sommerweizen (SW) angebaut (Mais-Mais- (Mais)-SW). Der Sommerweizen wird deshalb gewählt, da der Winterweizen auf den organischen Böden auswinterungsgefährdet ist. Der Milchviehbetrieb (3) produziert hauptsächlich Futter auf Grünland und Ackerland (Mais) und Energiepflanzen (Mais) auf Ackerland. Die Bodenarten variieren zwischen Sand- und lehmigen Sand. Große Teile der Anbauflächen liegen im Wasserschutzgebiet. Da der Betrieb sowohl für die Milchkühe als auch für die Biogasanlage Mais benötigt, wird ca. 63 % der Flächen für den Anbau von Mais verwendet. Zum Teil rotiert der Mais mit Wintertriticale und Winterweizen, auf anderen Flächen wird Mais in Monokultur angebaut.

1.1.3.2 Analyse der Problemlage der Betriebe

Fruchtfolgen und Produktionsweisen der Betriebe wurden durch Datenbereitstellung und Gespräche mit den Betriebsleitern ermittelt, um daraus mögliche Wirkungen des Landmanagements auf die Umwelt abzuleiten. Für die Fruchtfolgen der Betriebe wurden nach VDLUFA (2004) Humusbilanzen erstellt. Böden und Klima wurden gemäß ihrer Eigenschaften (Bodenwasserspeicherkapazität, Wasserdefizit im Sommer) und des Gefährdungspotenzials für Nitratauswaschungen und Bodenverdichtung nach dem Niedersächsischen Bodeninformationssystem (NIBIS) bewertet. Die Anzahl der angebauten Kulturen auf einen Standort ist ein wichtiger Indikator, um die Auswirkungen der landwirtschaftlichen Produktion auf die floristische und faunistische Biodiversität zu beurteilen. Je geringer die Anzahl der Kulturen in einer Rotation ist, desto größer sind die negativen Umwelteffekte (Wiehe et al. 2010, Power 2010).

Tabelle 2 zeigt, vor welchen Herausforderungen die Betriebe stehen. Durch die einseitigen Fruchtfolgen mit wenigen Kulturarten - auf manchen Standorten sind nur eine Kulturart und humuszehrenden Fruchtfolgen - können viele Probleme, wie Humusabbau, Bodenverdichtung und Nitratauswaschung erwachsen. Mit Mais und Zuckerrüben stehen in Betrieb 1 zwei humuszehrende Kulturen in einer Fruchtfolge. Um den in weiten Reihen stehenden Jungpflanzen keine Konkurrenz erwachsen zu lassen, werden wachstumsbeeinträchtigende Unkräuter durch Herbizide oder durch Hacken beseitigt. Der weitgehend unbedeckte Boden zu Beginn des Wachstums, die lange Vegetationszeit bis in den Herbst hinein sowie die geringen Mengen an Ernterückständen führen zu einem starken Humusabbau nach Mais- und Zuckerrübenanbau. Diese müssen in der Fruchtfolge durch humusmehrende Kulturen, bzw. in Ergänzung durch eine organische Düngung ausgeglichen werden. In Betrieb 2 führt der häufige Anbau von Mais auf den Niedermoorböden

zu sehr starkem Humusabbau und enormen Treibhausgasemissionen (Jungkunst et al. 2010, Elder and Lal 2008, Wegener et al. 2006).

Auf allen drei Betrieben treten Schädlinge und Krankheiten auf, die insbesondere durch die engen Fruchtfolgen bzw. die Monokulturen begünstigt werden (Meissle et al. 2010). Betrieb 1 und 2 haben Probleme mit dem Maiszünsler (*Ostrinia nubilalis*). Betrieb 2 hat aufgrund der engen Zuckerrübenfolgen Probleme mit Rübennematoden (*Heteroda schachtii*).

Zuckerrüben und Mais werden im Herbst mit schweren Maschinen geerntet, oft unter ungünstigen Wetterbedingungen, was zu Bodenverdichtungen führen kann. Die Lehm- und organischen Böden der Betriebe 1 und 2 neigen stärker zu Bodenverdichtungen und sind daher stärker gefährdet als Betrieb 3.

Die Gefahr der Nitratverlagerung ist auf den Karstböden des Betriebs 1 und auf den Sandböden des Betriebs 3 besonders hoch.

Alle Betriebe wirtschaften konventionell und setzen Pestizide vorbeugend und kurativ gegen Unkräuter, Schädlinge und Pflanzenkrankheiten ein. Auf den organischen Böden des Betriebs 2 ist ein hoher Einsatz an Pestiziden notwendig, da aufgrund einer sehr hohen Mineralisationsrate die Pflanzen mit Nährstoffen überversorgt sind (insbesondere Stickstoff) und daher sehr anfällig für Krankheiten und Schädlinge sind. Auch der Unkrautdruck ist auf diesen Niedermoorböden sehr stark.

Das Wasserdefizit im Sommer ist auf Betrieb 2 am höchsten, aber die fruchtbaren Lehm- und Niedermoorböden haben eine höhere Wasserspeicherkapazität im Vergleich zu den Sandböden des Betriebes 3. Betrieb 1 hat ein geringeres Wasserdefizit im Sommer, aber auf den Karstböden ist die Wasserspeicherkapazität auch sehr niedrig und Frühsommertrockenheit kann zu Ertragseinbußen führen.

Um die spezifischen Probleme in den kooperierenden Betrieben zu lösen, wurde eine Vielzahl von Kulturen, insbesondere als Alternativen zum Maisanbau auf Standorten der Betriebe getestet. Die Kulturen wurden so ausgewählt, dass sie die Fruchtfolgen erweitern, das Humusdefizit ausgleichen, die Bodenstruktur verbessern, Bienen und Insekten Nahrung im Spätsommer und Wildtieren über Winter Schutz bieten.

Tabelle 2: Analyse der wichtigsten ökologischen Probleme der drei Betriebe

Parameter	Bewertung		
	Betrieb 1	Betrieb 2	Betrieb 3
Fruchtfolge	2 bzw. 3 Kulturarten/Fruchtfolge	2 bzw. 1 Kulturart/Fruchtfolge	3 bzw. 1 Kulturart/Fruchtfolge
Humus	Humuszehrende Fruchtfolgen (-604 kg C/ha/a im Mittel der FF)	Humuszehrende Fruchtfolgen (-151 kg C/ha/a im Mittel der FF)	Humuszehrende Fruchtfolgen (-438 kg C/ha/a im Mittel der FF)
Krankheiten, Schädlinge	Maiszünsler (<i>Ostrinia nubilalis</i>) in Silomais	Rübennematode (<i>Heterodera schachtii</i>); hoher Unkraut- und Krankheitsdruck auf org. Böden	Maiszünsler (<i>Ostrinia nubilalis</i>) und <i>Fusarium</i> im Silomais
Bodenverdichtung	Mittlere bis hohe Gefahr	Hohe bis sehr hohe Gefahr	Geringe Gefahr
Nitratauswaschung	hohe Gefahr auf Karstböden	Geringe Gefahr	Hohe Gefahr auf Sandböden
Wasserdefizit im Sommer	-63 bis -5 mm	- 120 bis -180 mm	-130 bis - 84 mm
Bodenwasserspeicherkapazität	Gering bis mittel	Hoch	Gering bis mittel

1.1.3.3 Ergebnisse der Feldversuche

Als wichtigste Verbesserung der ökologischen Situation der Betriebe wird eine weitere Fruchtfolge mit erhöhter Artenzahl angesehen. Um dies zu erreichen, wurden Kulturarten getestet, die bisher nicht im Betrieb angebaut wurden und ebenfalls zur energetischen Nutzung geeignet sind.

1.1.3.3.1 Wintergetreidemischungen

Abbildung 2 zeigt die Erträge von Wintertriticale und Winterroggen im Reinanbau sowie der Mischungen Winterwicke/Wintertriticale und Winterwicke/Winterroggen auf den Betrieben 2 (Lösslehm) und 3 (Sand). Auf dem Lösslehm Boden in Wolfenbüttel werden signifikant höhere Erträge erzielt als auf dem Sandboden in der Region Hannover. Interessant ist, dass auf dem fruchtbaren Boden sowohl die Reinsaaten als auch die Mischungen nahezu den gleichen Ertrag erzielen. Die Winterwicken wurden durch das üppige Wachstum des Getreides in den Mischungsvarianten stark unterdrückt, so dass ihr Biomasseanteil am Gesamtertrag sehr gering war. Auf dem Sandboden zeigt sich ein anderes Bild. Die Mischungen sind ertraglich den Reinsaaten überlegen und die Winterroggen/Winterwicke-Mischung ist der Wintertriticale/Winterwicke-Mischung signifikant überlegen. Auf diesem Standort mit geringer Wasserspeicherkapazität war die Frühsommertrockenheit für Triticale ertragsbegrenzend. Winterroggen konnte aufgrund seiner höheren Trockenheitstoleranz den höheren Biomasseertrag erbringen. Offensichtlich ist das Getreide in der Mischung mit Winterwicke noch eher in der Lage, tiefere Bodenschichten zu erschließen bzw. negativ wirkende Umwelteffekte abzumildern und den Ertrag zu stabilisieren (Aufhammer 1999, Karpenstein-Machan & Finckh, 2002). Vergleicht man den durchschnittlichen Maisertrag im Jahre 2011 mit den Wintergetreidebiomasseerträgen (GPS), so lagen die Maiserträge im Betrieb 2 auf den fruchtbaren Böden ca. 20 % und in Betrieb 3 auf den Sandböden ca. 25 % über den Wintergetreide-GPS-Erträgen.

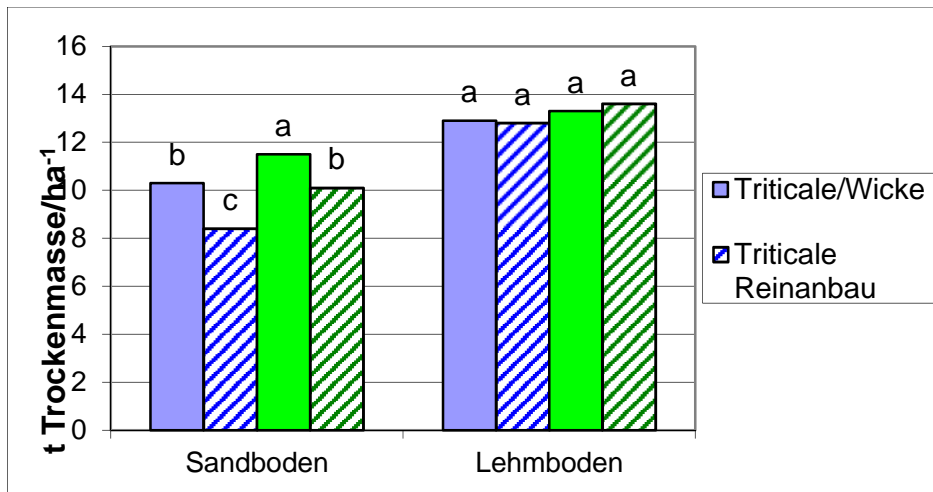


Abbildung 2: Biomasseertrag von Wintertriticale und Winterroggen in Reinsaat und in Mischung mit Winterwicke auf einem Sand- und einem Niedermoorboden im Mittel der Jahre 2011 und 2012. Verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede in den Erträgen (Tukey test $p < 0,05$).

1.1.3.3.2 Zweikulturnutzung

Zweikulturnutzung ist auf fruchtbaren Standorten eine ideale Möglichkeit, hohe Erträge mit hoher Biodiversität zu verbinden. Nach dem Anbau von Wintergetreide (zur Nutzung als Ganzpflanzensilage –GPS) das im Zeitraum Anfang bis Mitte Juli geerntet wird, kann eine zweite Kultur im gleichen Jahr angebaut werden, die ebenfalls noch als Biomassekultur im Herbst geerntet werden kann. Je nach Entwicklungsgeschwindigkeit der zweiten Kultur kann sie als Substrat für die Biogasanlage oder als Gründüngung zur Verbesserung der Humusgehaltes Verwendung finden.

Abbildung 3 zeigt die Trockenmasseerträge und die Trockenmassegehalte der getesteten Sommerkulturen, die um den 20. Juli kurz nach der Ernte der Winterungen (Wintergetreide-GPS) gesät und Mitte Oktober zusammen mit dem Mais geerntet wurden.

Die Erträge der Sommerungen liegen zwischen 5 t bei Hafer (ohne Fungizide) und 8 Tonnen Trockenmasse/ha bei Amaranth. Nur bei Hafer wurde ein Fungizid eingesetzt, da diese Kultur auf Niedermoorstandorten bei hoher N-Verfügbarkeit sehr unter Krankheiten leidet. Aus Umwelt- und Kostengründen sollten jedoch in den Zweitkulturen keine Pestizide eingesetzt werden und die weniger krankheitsanfälli-

gen Arten wie Buchweizen/Ölrettichmischungen als Zwischenfrüchte oder Sonnenblumen und Sorghum als Zweitfrüchte gewählt werden. Abbildung 3 zeigt auch die Trockensubstanzgehalte, die zwischen 10 % (Amaranth) und 23 % (Sorghum) liegen. Die Arten mit sehr niedrigen Trockensubstanzgehalten eignen sich als Gründüngung, sie liefern einen wichtigen Beitrag zur Humusreproduktion in den Betrieben. Sorghum weist die höchsten Trockensubstanzgehalte, hier käme auch eine Biomasseernte in Frage. Durch gemeinsames Einsilieren mit trockeneren Kulturen (z.B. Mais) sollten jedoch die Sickersaftverluste vermieden werden. Der Zweikulturanbau erweitert in den Betrieben die enge Maisfruchtfolge, erhöht die Artenvielfalt und bereichert im blütenarmen Spätsommer mit Blühkulturen wie Buchweizen, Ölrettich und Sonnenblumen die Landschaft.

Mit jeder neuen Kultur, die in die Fruchtfolge integriert wird, erhöht sich die floristische und faunistische Biodiversität (Murphy et al. 2006).

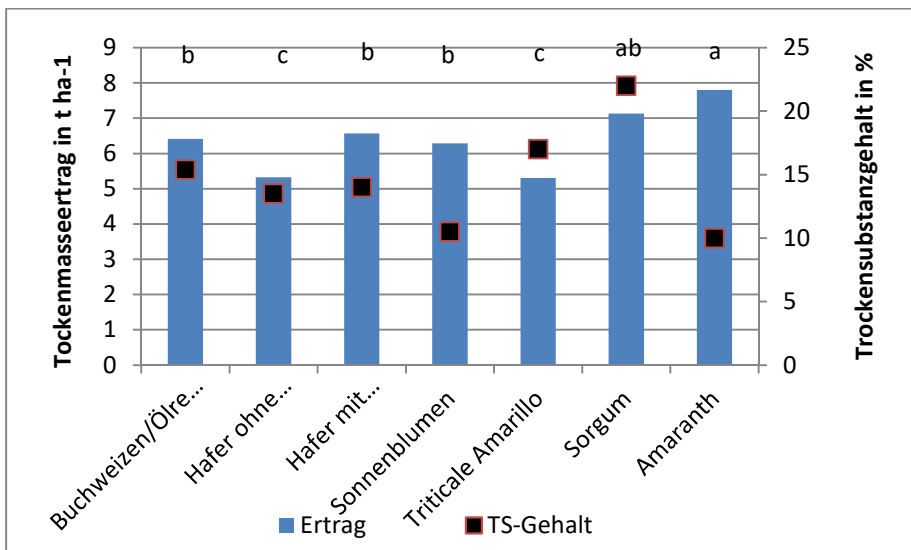


Abbildung 3: Trockenmasseerträge (Säulen) und Trockenmassegehalte in % (Punkte) von Sommerkulturen nach Wintergetreide-GPS auf einem Niedermoorstandort im Mittel der Jahre 2011 und 2012. Verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede in den Erträgen (Tukey test $p < 0,05$).

1.1.3.3.3 *Untersaaten im Mais*

Untersaaten im Mais verbessern die Humusbilanz in humuszehrenden Fruchtfolgen und schützen den Boden vor Bodenerosion. Abbildung 4 zeigt eine gelungene Untersaat im Mais mit Rotschwingel. Der Rotschwingel wächst sehr langsam unter dem Maisbestand und ist aufgrund seines zarten oberirdischen Wuchses keine Konkurrenz für den Mais. Sein üppiges Wurzelwachstum trägt zur Humusanreicherung bei. Nach der VdLUFA Humusbilanzierung (2004) beträgt die Humusreproduktionsleistung durch Untersaaten 200 bis 300 kg C/ha. Die Untersaat wächst nach der Maisernte weiter, bedeckt den Boden über Winter und schützt ihn vor Bodenerosion.



Abbildung 4: Rotschwingeluntersaat im Mais

1.1.3.3.4 *Silphium perfoliatum L.*

Erste Ergebnisse wurden erzielt zum Wachstum und den ökologischen Effekten der Dauerkultur Durchwachsene Silphie (*Silphium perfoliatum*). Nach der Auspflanzung im Mai/Juni bildet die Silphie im ersten Jahr lediglich eine Blattrosette, die Blätter sind allerdings dann schon so groß, dass der Boden vor dem Winter schon vollständig bedeckt ist. Abbildung 5 a zeigt eine Aufnahme der Silphie im Oktober, 5 Monate nach der Pflanzung. In diesem Entwicklungszustand geht sie in den Winter, die Blätter sterben ab und im Frühjahr des nächsten Jahres wachsen aus dem Vegetationstrieb neue Blätter, die mit dem Haupttrieb sehr schnell in die Höhe wachsen (Abbildung 5 b).

Mitte September fand auf beiden Betrieben die Ernte der Silphie statt. Abbildung 6 zeigt anhand von Zeiternten das Wachstum von Silphie von Mais bis September auf zwei Standorten. Auf dem Karstboden steht die Silphie im zweiten und auf dem Lösslehm Boden im dritten Vegetationsjahr nach der Pflanzung. Auf dem fruchtbareren Standort zeigt Silphie höhere Zeiternteerträge, auch zur Ernte wird mit 14 t Trockenmasse/ha ein höherer Ertrag erreicht als auf dem Karststandort, wo im ersten Erntejahr 10 t Trockenmasse/ha erzielt wurden. Auf dem Lösslehmstandort erreichte die Silphie im ersten Erntejahr mit 13,5 t Trockenmasse/ha einen etwas geringeren Biomasseertrag als im zweiten und dritten (jeweils 14 t/ha Trockenmasse) Erntejahr. Es bleibt abzuwarten, ob die Erträge auf dem Karststandort im zweiten Erntejahr noch ansteigen werden. Auch die Erträge auf dem fruchtbaren Lösslehmstandort bleiben etwas unter den Erwartungen. Nach Conrad et al. (2009) können auf fruchtbaren Standorten 20 t Trockenmasse/ha in Mitteldeutschland erreicht werden.

Die Durchwachsene Silphie blieb auf beiden Betrieben mit 20 bzw. 30 % unter den Maiserträgen. Sie muss jedoch nicht direkt mit Mais konkurrieren, da sie im Vergleich zum Mais einige Vorteile aufweist. Im Bestand der Silphie sind im Gegensatz zum Mais keine Wildschweinschäden aufgetreten und sie kann als Dauerkultur wesentlich extensiver bewirtschaftet werden. Nach der Etablierungsphase im ersten Jahr sind in beiden Betrieben keine Pflanzenschutzmittel mehr eingesetzt worden. Der Kohlenstoffgehalt wurde unter der Dauerkultur Silphie signifikant um 2,3 g C/1000 g Boden auf dem Lössstandort und um 1,2 g/1000 g Boden auf dem Karststandort im Vergleich zur Referenzkultur Mais erhöht (im Mittel der Jahre 2012 und 2013 in 0 – 30 cm Bodentiefe). Karpenstein-Machan 2013, unveröffentlicht.) Darüber hinaus erhöht die Silphie die Biodiversität des Betriebes und dient mit ihrer langanhaltenden Blüte bis in den Herbst hinein den Bienen als Nahrung. Besonders auf Niedermoorböden sind Dauerkulturen wie Silphie eine Alternative zum Maisanbau, da sie dem Humusabbau auf diesen ackerbaulich genutzten Böden durch Kohlenstoffakkumulation entgegenwirken können. Weitere Untersuchungen sind abzuwarten, ob die Etablierung der Silphie auf diesen Standorten mit ihrem hohen Stickstoffnachlieferungspotenzial langfristig möglich ist.



Abbildung 5 a und b: Durchwachsene Silphie im Rosettenstadium im Herbst 2010, fünf Monate nach der Pflanzung (linkes Foto) und kurz vor der Ernte im September 2012 (rechtes Foto)

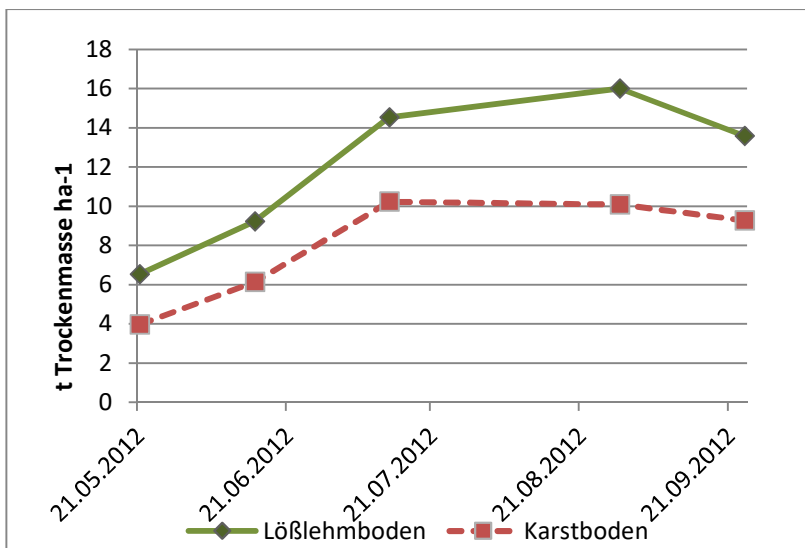


Abbildung 6: Trockenmasseentwicklung von der Durchwachsenen Silphie auf zwei Standorten in 2012

1.1.3.3.5 Wildpflanzenmischungen

Die mehrjährige Wildpflanzenmischung "Zeller Saaten" entwickelte sich nach der Saat Mitte Mai 2011 nach langer Trockenheit sehr zögerlich. Erst im Spätsommer wurde ein geschlossener Bestand erreicht. Bestandsbildend waren im ersten Jahr hauptsächlich Sonnenblumen und verschiedene Malvenarten.

Im zweiten Jahr kamen dann die zwei- und mehrjährigen Arten zum Tragen (s. Abbildung 7). Sehr positiv wahrgenommen wurde der blütenreiche Bestand durch Spaziergänger. Der Biomasseertrag lag im ersten Jahr bei 5,5 t und im zweiten Jahr bei 4,6 t und im dritten Jahr bei 3,1 t Trockenmasse/ha. Der Bestand wurde in 2011 und 2012 Mitte September und 2013 Ende September geerntet und erreichte mit ca. 28 % (2011 und 2012) bzw. 35 % Trockenmasse (2013) die Siloreife.

Die Mischung wurde gezüchtet, um ökologische und ökonomische Ziele in der Biogasproduktion zu vereinen (Vollrath et al. 2011). Die langanhaltende Blütedauer, hervorgerufen durch die Vielzahl der Arten in der Mischung mit unterschiedlichem Entwicklungsrhythmus, ist eine Bereicherung des Landschaftsbildes. Die Erträge liegen allerdings noch auf einem relativ geringen Niveau. Der extensive Anbau und die geringen Bewirtschaftungskosten (Saatgut ca. 330 Euro/ha) sowie die langjährige Nutzungsdauer (> 5 Jahre, Vollrath et al. 2011) machen beim derzeitigen Ertragsniveau die Mischung interessant für z.B. betriebsferne oder schwer zugängliche Standorte oder Flächen, die sich aufgrund der Bodenverhältnisse schwer bewirtschaften lassen oder ungünstig zugeschnitten sind. Auf dem Praxisbetrieb wurde die Mischung auf einer langgezogenen Dreiecksfläche angelegt, die direkt an einen stillgelegten Bahndamm anschloss. Dies ist ein gutes Beispiel für eine optimale Biotopvernetzung mit vorhandenen Flächen, auf denen keine Nutzung stattfindet.



Abbildung 7: Wildpflanzenmischung für Biogas „Zeller Saaten“ im August 2012 im zweiten Vegetationsjahr

Abbildung 8: Drei Meter breiter Blühstreifen mit Sonnenblumen entlang des Maisfeldes

1.1.3.3.6 Blühstreifen

Als ein zusätzliches Strukturelement in der Agrarlandschaft können Sonnenblumen- oder Wildpflanzenblühstreifen den Maisanbau bereichern (s. Abbildung 8). Die Sonnenblumen und die Wildpflanzen wurden auf den Betrieben zwei Wochen nach der Maisaussaat gesät, da sie empfindlich auf Maisherbizide reagieren. Sie wurden zusammen mit dem Mais im Oktober geerntet und lagen im Biomasseertrag ca. 20 % unter dem sehr hohen Maisertrag (19 t TM/ha). Die Wildpflanzenblühstreifen lagen mit 6 t Trockenmasse pro ha deutlich unter den Mais- und Sonnenblumenenerträgen. Blühstreifen können durch ihre schöne Blüte eine Brücke schlagen zwischen Biomasseproduktion und ästhetischen Aspekten der Landschaftsgestaltung.

1.1.3.4 Optimierung der Fruchtfolgen und ökonomische Bewertung

Allen drei Landwirten der Modellbetriebe wurden auf Basis der durchgeführten Versuche Vorschläge unterbreitet, wie sie ihre Fruchtfolgen pflanzenbaulich und naturschutzfachlich optimieren können, um die Ertragsfähigkeit ihrer Böden langfristig zu sichern. Bei der Optimierung wurde besonders auf eine ausgeglichene Humusbilanz und eine Diversifizierung des Anbaus geachtet sowie darauf, Naturschutzziele mit dem Anbau von Energiepflanzen zu verbinden. Auf ökologisch sensiblen Flächen, wie Karst- und Niedermoorstandorten wurden zum Teil Dauerkulturen als Ersatz für Mais vorgesehen.

Tabelle 3 zeigt beispielhaft für Betrieb 2 die Auswirkungen der Optimierung auf Kulturartenvielfalt, Humusbilanz, erzeugte Mengen und Kalorien und den Gesamtdeckungsbeitrag auf den Ackerflächen. In den neu vorgeschlagenen Fruchtfolgen ist die Artenzahl auf Betriebsebene von 4 auf 7 und innerhalb der Fruchtfolge von 2 auf 3 bzw. 4 Kulturarten angestiegen. Der Humusgehalt, der in den alten Fruchtfolgen zum C-Abbau im Boden führte, weist jetzt bilanziell eine deutliche C-Akkumulation in beiden neuen Fruchtfolgen auf. Die erzeugten Biomassemengen auf den Ackerflächen sind gestiegen (+ 16 %), während die erzeugten Nahrungsmittelmengen um den gleichen Prozentsatz zurückgegangen sind. Die auf der Betriebsfläche erzeugten Nahrungsmittelkalorien (in kcal) sind jedoch nahezu gleichgeblieben, während durch die höheren Biomasseerträge der Heizwert (hier ausgedrückt in kcal) der erzeugten Biomasse angestiegen ist. Der Gesamtdeckungsbeitrag ist durch die Umstellung der Fruchtfolgen um ca. 5 % abgesunken. Dies ist insbesondere darauf zurückzuführen, dass mit Winterweizen und Zuckerrüben zwei deckungsbeitragsstarke Kulturen im Anbauumfang deutlich reduziert wurden. Die Optimierung der Fruchtfolgen in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** wurde auf der Grundlage der klassischen Ackerbaulehre und als Ergebnis aus Gesprächen mit den Landwirten durchgeführt (s. auch Karpenstein-Machan et al. 2013).

Mit Hilfe eines linearen Programmierungsmodells (LP) wurde ebenfalls eine Optimierung der Fruchtfolgen vorgenommen. Dadurch kann eine Zielfunktion unter Berücksichtigung von Nebenbedingungen maximiert oder minimiert werden. So kann beispielsweise der Gesamtdeckungsbeitrag eines landwirtschaftlichen Betriebes maximiert werden, wobei ackerbauliche und betriebliche Vorgaben (nachfolgend „Restriktionen“ genannt) und fixe Produktionsfaktoren (z.B. Fläche, Arbeit) Berücksichtigung finden. Als Ergebnis der LP werden mögliche Kulturarten in ihren Anbauumfängen sowie in ihren Vorfrucht-Nachfruchtcombinationen ausgegeben. Fruchtfolgen kann man aus der LP nicht direkt ableiten, da es sich nur um ein einjähriges Modell handelt und die für die Vorfrucht-Nachfruchtcombinationen vorgesehenen Flächenumfänge oft sehr stark gesplittet werden. Neben dem Status quo wurden 3 Optimierungsstufen geprüft, in denen die jeweiligen Restriktionen der ökonomischen, der pflanzenbaulichen und der naturschutzfachliche Optimierung angewendet wurden (s. Tabelle 3, s. Karpenstein-Machan et al. 2013).

Tabelle 3: Auswirkungen der Optimierung der Fruchtfolgen des Betriebes 2 auf Anbaufläche der Kulturarten, Kulturartenvielfalt, Humusbilanz, erzeugte Erntemengen/Kalorien und Gesamtdeckungsbeitrag

Betrieb 2			
Alte Fruchtfolgen		Neue Fruchtfolgen	
1) Mais/Mais/Sommerweizen		1) W.Triticale-GPS-Ackergras/Mais/S.Weizen	
2) W.Weizen/W.Weizen/W.Weizen/Zuckerrüben		2) S.Hafer/W.Weizen/W.Weizen/Zuckerrüben	
		3) Silphie	
Anbaufläche	253 ha	Anbaufläche	253 ha
W.Weizen	134 ha	W.Triticale-GPS-Ackergras	13,3 ha
Zuckerrüben	71 ha	Mais	13,3 ha
Mais	25 ha	S.Weizen	13,3 ha
S.Weizen	15 ha	S.Hafer	50 ha
W.Roggen	8 ha	W.Weizen	100 ha
		Zuckerrüben	50 ha
		Silphie	13 ha
Kulturen auf Betriebsebene	4		7
Kulturen in der Fruchtfolge	2		3 and 4
Humus/Akkumulation/Degradation in kg C/ha/a			
Alte Fruchtfolgen		Neue Fruchtfolgen	
Fruchtfolge 1	-242	Fruchtfolge 1	268
Fruchtfolge 2	-60	Fruchtfolge 2	224
Erzeugte Erntemengen/Kalorien		Erzeugte Erntemengen/Kalorien	
erzeugte Biomassemenge in dt	14.884		17.325
erzeugte Nahrungsmittelmenge in dt	57.837		48.405
erzeugte Biomasse in kcal	6.039.510.474		7.328.910.144
erzeugte Nahrungsmittel in kcal	6.054.579.685		6.004.037.208
Gesamtdeckungsbeitrag in Euro			
	vor der Umstellung	nach der Umstellung	
W.Weizen	92.996	81.800	
Zuckerrüben	91.093	75.500	
S.Hafer	0	18.350	
Mais	15.050	8.738	
S.Weizen	13.515	12.196	
W.Triticale-GPS-Ackergras	0	5.493	
W.Roggen	4.032	0	
Silphie	0	3.296	
Summe	216.686	205.373	

Tabelle 4 zeigt die Ergebnisse des linearen Programmierungsmodells. Die Optimierungen liegen zwischen 1 bis 6 % über dem Status quo des Betriebsergebnisses. Die ökonomische Optimierung erreicht mit 6 % den höchsten Zuwachs. Durch die pflanzenbauliche Optimierung sinkt der Gesamtdeckungsbeitrag im Vergleich zur ökonomischen Optimierung um 1 %, durch die naturschutzfachliche Optimierung um 5 %. Die Ergebnisse der ökonomischen und pflanzenbaulichen Optimierungen liegen sehr eng beieinander. Da bei der ökonomischen Optimierung die EU-Cross Compliance Regularien (CC) konsequent angewandt wurden (z. B. dreigliedrige Fruchtfolge, Humusbilanzausgleich), ist der Unterschied zu der pflanzenbaulichen Optimierung nur gering.

Tabelle 4: Ergebnisse der Optimierung der Anbauumfänge des Betriebes 2 mithilfe eines Linearen Programmierungsmodells (LP)

<i>Optimierungsstufen</i>	<i>Gesamtdeckungsbeiträge in €</i>	<i>in %</i>	<i>Annahmen, Restriktionen</i>
<i>Status Quo des Betriebes</i>	274.438	100	<i>Grundlage Anbaujahre 2010/2011</i>
<i>Ökonomische Optimierung</i>	291.864	106	<i>CC- Regularien gelten, weitere Anbauumfänge nicht ein-geschränkt</i>
<i>Pflanzenbauliche Optimierung</i>	289.145	105	<i>CC- Regularien gelten, zusätzlich max. 50 % Winterweizenanbau, max. 25 % Kreuzblütler, minimal 30 % Sommerungen, 5 % Blühstreifen im Mais</i>
<i>Naturschutzfachliche Optimierung</i>	282.974	101	<i>CC- Regularien gelten, max. 50 % Winterweizenanbau, max. 25 % Kreuzblütler, minimal 30 % Sommerungen (kein Mais), 6 % Blühstreifen in allen Kulturen</i>

Pflanzenbaulich optimierte Lösungen kommen dem Betrieb zugute und können insbesondere vor dem Hintergrund des Klimawandels mittelfristig auch „rein“ ökonomischen Lösungen überlegen sein, da Selbstregulierungskraft durch diversifizierte Fruchtfolgen gestärkt und extreme Klimasituationen durch eine Vielfalt unterschiedlicher Arten besser überwunden werden können (v. Buttler et al. 2011). Für darüber hinausgehende Naturschutzmaßnahmen, wie z.B. für Blühstreifen sollte ein finanzieller Anreiz geschaffen werden, damit positive Effekte zur Erhö-

hung der faunistischen und floristischen Artenvielfalt, die dem landwirtschaftlichen Betrieb nur indirekt zugutekommen, nicht zu Lasten des ökonomischen Betriebsergebnisses erfolgen.

1.1.3.5 Aktionsforschung

Im Rahmen der Aktionsforschung wurden 14 Veranstaltungen (3 Feldführungen, 9 Workshops und 3 Exkursionen zu interessanten ‚Erneuerbaren Energie (EE) Kommunen‘ durchgeführt. Zu allen Veranstaltungen wurden diverse Akteure aus den betreuten Regionen eingeladen (Bürgermeister, Landkreisvertreter, EE-Akteure, Landwirte, landwirtschaftliche Berater, Anlagenbetreiber, Naturschutzverbände, Landvolk, Landwirtschaftskammer). Ziel der Aktionsforschung war es, die auf verschiedenen Ebenen der Region vorhandenen Akteure der Bioenergie zusammenzuführen und sowohl nachhaltige Anbaukonzepte des Energiepflanzenbaus zu befördern, als auch nachhaltige, partizipative Bürgerprojekte auf den Weg zu bringen. Als ein Beispiel des erfolgreichen Agierens ist die Ausschreibung eines Bioenergie-dorf Wettbewerbs durch die Landkreisverwaltung im LK Wolfenbüttel zu nennen. Zwei Dörfer im LK Wolfenbüttel werden auf dem Weg zu ‚Erneuerbaren-Energien-Kommunen‘ begleitet. Diese neu erarbeiteten Dorfkonzepte gehen über die Nutzung von Bioenergie hinaus und beziehen andere erneuerbare Energien (wie Solar- und Windenergie) mit ein.

1.1.4 Schlussfolgerungen für die Praxis

Viele landwirtschaftliche Betriebe weisen heute sehr enge Fruchtfolgen auf, und die Anzahl der kultivierten Kulturen auf Betriebsebene ist sehr gering. Diese eingeschränkte Kulturartenzahl sowohl in Marktfrucht- als auch in Biogasbetrieben (s. auch Karpenstein-Machan & Weber, 2010), ist die Hauptursache für die abnehmende biologische Vielfalt in der Landschaft und verursacht auf der Betriebsebene einen hohen Aufwand an Pflanzenschutz- und Düngemitteln, um das bisherige Ertragsniveau zu halten. Einseitige Fruchtfolgen und Monokulturen führen zu Ackerbau- und Umweltproblemen wie Fruchtfolgeerkrankungen, Bodenerosion, Bodenverdichtungen und Humusdegradation und hohem Energieeinsatz in der Landwirtschaft.

Eine Auflockerung der Fruchtfolgen und die Integration neuer, bisher nicht angebaute Kulturarten sowie die Herausnahme von ökologisch sensiblen Standorten aus der Fruchtfolge für den extensiven Anbau von Dauerkulturen sind die Grundlagen für einen „integrativen Energiepflanzenanbau“ (IEPB). Auf problematischen

Standorten eröffnen sie große Chancen, die negativen ökologischen Effekte einer intensiven Landwirtschaft auf die Biodiversität und die Landschaftsfunktionen abzumildern. Verminderung der Bodenerosion, C-Speicherung durch Humusaufbau, Reduktion des Austrages von Stickstoff und Pflanzenschutzmitteln in Grund- und Oberflächenwasser, Erhöhung der Wasserrückhaltefähigkeit der Flächen können durch gezielten Anbau von Energiepflanzen, insbesondere durch Dauerkulturen, erreicht werden.

Wie in den drei Beispielfarmen gezeigt werden konnte, ist die Integration von neuen Kulturarten auf Betriebsebene und in die Fruchtfolge möglich, ohne die Betriebsabläufe zu beeinträchtigen. Die vorgestellten Kulturen sind an unsere Klimabedingungen in Mitteleuropa angepasst und darüber hinaus sowohl auf Standorten mit hoher als auch auf Standorten mit geringerer Bodengüte ertragreich. Die Umstellung auf pflanzenbaulich optimierte Fruchtfolgen führt im Ergebnis zu einer Erhöhung der Kulturartenzahl, der Humusabbau wird zugunsten einer C-Speicherung im Boden gestoppt, die Biomasseerträge auf Betriebsebene werden gesteigert, ohne dass die kalorische Nahrungsmittelproduktion beeinträchtigt ist. Die Gesamtdeckungsbeiträge (GDB) der Betriebe wird durch die pflanzenbauliche Optimierung im Vergleich zum Status Quo im Mittel um 4 % reduziert (in einem Betrieb wird der GDB erhöht und in zwei Betrieben verringert). Die mit Hilfe des linearen Programmierungsmodells (LP) vorgenommene Optimierung der Fruchtfolgen zeigt auf, dass die Gesamtdeckungsbeiträge bei der über die ackerbauliche Optimierung hinausgehende naturschutzfachliche Optimierung lediglich 5 % unter der ökonomischen Optimierung liegt. Durch entsprechende Naturschutzprogramme oder die 2. Säule der Agrarförderung können die finanziellen Einbußen der Betriebe gedeckt werden, wenn sie im Rahmen ihrer Fruchtfolgen einen Beitrag zum Naturschutz leisten.

Im integrativen Energiepflanzenbau (IEPB) sollten z. B. Niedermoorböden, die unter ackerbaulicher Nutzung kontinuierlich Humus verlieren, oder auswaschunggefährdete Karststandorte für Dauerkulturen vorgesehen werden. Hier ist insbesondere die Silphie eine interessante Alternative zum annuellen Maisanbau, da sie ein hohes Ertragspotenzial mit extensivem Anbau verbindet. In unseren Praxisversuchen lag die Durchwachsene Silphie im Biomasseertrag deutlich über der Wildpflanzenmischung für Biogas, deren Saatgut ebenfalls für den Daueranbau geeignet ist.

Aber auch generell können Ackerbaustandorte von einem IEPB profitieren, da für den Biomasseanbau andere, als die bisher angebauten Kulturarten interessant

werden, die Anbaukonzepte artenreicher gestaltet werden können und letztendlich auch vor dem Hintergrund des Klimawandels integrative Schutz- und Nutzungskonzepte zukunftsfähiger sind als herkömmliche, relativ artenarme Anbaustrategien.

Literatur

- Aretz, A. & Hirschl, B. (2007). Biomassepotenziale in Deutschland –Übersicht maßgeblicher Studienergebnisse und Gegenüberstellung der Methoden. Dendrom-Diskussionspapier Nr. 1. Studie im Rahmen des Verbundprojektes DENDROM – Zukunftsrohstoff Dendromasse. 15. S. http://www.nachhaltige-waldwirtschaft.de/fileadmin/Dokumente/Infos_Verbuende/Diskussionspapier_Potenzialanalyse_IOEW.pdf, gesichtet am 19.11.2013
- Börjesson, P. (1999). Environmental effects of energy crop cultivation in Sweden I: Identification and quantification. *Biomass and Bioenergy* 16, 137-154.
- Conrad, M, Biertümpfel, A. (2010). Optimierung des Anbauverfahrens für Durchwachsende Silphie (*Silphium perfoliatum* L.) als Kofermentpflanze in Biogasanlagen sowie Überführung in die landwirtschaftliche Praxis. *Abschlußbericht*. <http://www.tll.de/ainfo/pdf/silp0111.pdf>, gesichtet am 18.11.2013
- Conrad, M., Biertümpfel, A., Vetter, A. (2009). Durchwachsende Silphie (*Silphium perfoliatum* L.) – von der Futterpflanze zum Koferment in (Hrsg.) Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), *Gülzower Fachgespräche*, 2. Symposium Energiepflanzen 2009, 34, 281-289.
- Don, A., Osborne, B., Hastings, A., Skiba, U., Carter, M. S., Drewer, J., Flessa, H., Freibauer, A., Hyvönen, N., Jones, M. B., Lanigan, G. J., Mander, Ü., Monti, A., Djomo, S. N., Valentine, J., Walter, K., Zegadalarau, W., Zenone, T. (2012). Land-use change to bioenergy production in Europe: implications for the greenhouse gas balance and soil carbon. *GCB Bioenergy* 4, 372–391.
- Elder, J.W. & Lal, R., (2008). Tillage effects on gaseous emissions from an intensively farmed organic soil in North Central Ohio. *Soil and Tillage Research* 98 (1), 45-55.

- FNR (2012). Nachwachsende Rohstoffe im Überblick <http://www.fnr.de/basisinfo-nachwachsende-rohstoffe/ueberblick/>, gesichtet am 19.11.2013
- Hannah, I., Carr, J. L., Lankerani, A. (1994). Human disturbance and natural habitat: level analysis of a global data set. *Biodiversity and Conservation*, 4, 128-155.
- Jungkunst, H.F., Freibauer, A., Neufeldt, H., Bareth, G. (2006). Nitrous oxide emissions from agricultural land use in Germany – a synthesis of available annual field data. *Journal of plant nutrition and soil science*, 169 (3), 341–351.
- Karpenstein-Machan, M. (1997). *Konzepte für den Energiepflanzenbau*; DLG-Verlags-GmbH, Frankfurt, ISBN -3-7690-0546-5.
- (2001). Sustainable cultivation concepts for domestic energy production from biomass. *Critical Reviews of Plant Science, Special Issue on Bioenergy 20; New York/1*, 1 – 14.
 - (2002). Low Input Energy Crop Rotations without Herbicides. *Pflanzenbauwissenschaften*, 6 (1), 36 – 46.
 - (2004). Neue Perspektiven für den Naturschutz durch einen ökologisch ausgerichteten Energiepflanzenbau. *Naturschutz und Landschaftsplanung*, 2/36, 58 -64.
 - (2005). *Energiepflanzenbau für Biogasanlagenbetreiber*, DLG -Verlags-GmbH, Frankfurt, ISBN 3- 7690-0651-8.
 - (2009). Bioenergie und Naturschutz im Kontext Nachhaltiger Entwicklung: Energiepflanzenbau nach ökologischen Leitlinien. In Europarc Deutschland e.V. (Hrsg.), *Bioenergie - Fluch oder Segen für nationale Naturlandschaften?* 26-31. (<http://www.europarc-deutschland.de/broschueren>)
 - (2011). Implementation of integrative energy crop cultivation concepts on biogas farms. International Nordic Bioenergy 2011. Book of Proceedings. Editor Mia Savolainen, *Finbio publication 51*, ISBN 978-952-5135-51-0. Page 127 – 133.
 - (2012): Es geht auch mit anderen Kulturen. *Land und Forst* 13, 32 – 34.
 - (2013): Integrativer Energiepflanzenbau als Baustein der regionalen Energiewende. *Ländlicher Raum Agrarsoziale Gesellschaft*, 3, 26 - 28.

- Karpenstein-Machan, M. & Finckh, M. R. (2002). Crop diversity for pest management. *Dekker Encyclopedia of Pest Management*, Ed. D. Pimentel, New York, Encyclopedia Entry | Print Published: 02/26/2002 | Online Published: 02/07/2002 Pages: 162 - 165 | DOI: 10.1081/E-EPM-100000390
- Karpenstein-Machan, M. & Weber (2010). Energiepflanzenanbau für Biogasanlagen: Veränderung der Fruchtfolgen und der Bewirtschaftung von Ackerflächen in Niedersachsen. *Naturschutz und Landschaftsplanung* 42 (10), 313 – 320.
- Karpenstein-Machan, M., Zimmermann, T., Musshoff, O. (2013). Ökonomische und pflanzenbauliche Optimierung des Anbaus von Nahrungs-, Futter- und Energiepflanzen mit Unterstützung eines Linearen Programmierungsmodells. *Berichte über Landwirtschaft* 91, Heft 1, 1 -16.
- Rode, M. & Kanning, H. (Eds.) (2010). *Natur- und raumverträglicher Ausbau energetischer Biomassepfade*. Ibidem-Verlag, Stuttgart.
- Meissle, M., Mouron, P., Musa, T., Bigler, F., Pons, X., Vasileiadis, V. P., Otto, S., Antichi, D., Kiss, J., Palinkas, Z., Dorner, Z., van der Weide, R., Groten, J., Czembor, E., Adamczyk, J., Thibord, J.-B., Melander, B., Cordsen Nielsen, G., Poulsen, R. T., Zimmermann, O., Verschwele, A., Oldenburg, E. (2010). Pests, pesticide use and alternative options in European maize production: current status and future prospects. *J. Appl. Entomol.* 134, 357-375.
- Murphy, S. D., Clements, D. R., Belaoussoff, S., Kevan, P. G., Swanton, C. J. (2006). Promotion of weed species diversity and reduction of weed seedbanks with conservation tillage and crop rotation. *Weed Science* 54, 69–77.
- Power, A. G. (2010). Ecosystem services and agriculture: tradeoffs and synergies. *Phil. Trans. R. Soc.* 365, 2959-2971.
- Stülpnagel, R., v. Buttlar, C., Heuser, F., Wagner, D., Wachendorf, M. (2007). Standortvergleiche zum Zweikultur-Nutzungssystem. *Schriftenreihe Nachwachsende Rohstoffe* 31, 78 – 96.
- VdLUFA (2004). Humusbilanzierung – Methode zur Beurteilung und Bemessung der Humusversorgung von Ackerland. *Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten. Standpunktpapier*. VDLUFA Selbstverlag.

- Vollrath, B., W. Kuhn, A. Werner, M. Degenberg (April 2011). Was können Wildpflanzen als Biogassubstrat leisten? Paper presented at „*Fachtagung Energie aus Wildpflanzen*“, Berlin 12. 4. 2011.
- Wegener, J. W., Lücke, W., Heinzemann, J. (2006). Analyse und Bewertung landwirtschaftlicher Treibhausgas-Emissionen in Deutschland. *Agrartechnische Forschung* 12, 103-114.