

# Wer schneidet besser ab?

**Energiepflanzen** | Im EVA-Projekt wird inzwischen im zehnten Jahr an Entwicklung und Vergleich von effizienten und nachhaltig standortangepassten Anbausystemen für Energiepflanzen zur Biogasproduktion geforscht. Mit teilweise überraschenden Ergebnissen.

Das Energiepflanzen-Fruchtfolgeprojekt EVA, gefördert vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., startete 2005. Um die verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands einzubeziehen, fanden vielfältige Versuche an inzwischen 23 Standorten statt. Das Projekt untersucht Möglichkeiten der Einbindung unterschiedlicher Kulturpflanzenarten in Anbausysteme – mit dem Ziel der Diversifizierung im Energiepflanzenbau. Im Jahr 2008/09 startete die zweite Rotation des EVA-Projektes (Tabelle 1). Inzwischen begann die dritte Projektlaufzeit (2012/13). Dabei werden jeweils die festgelegten Fruchtfolgen an den Standorten ein Jahr zeitversetzt gestartet. Die anschließende Bewer-

tung erfolgt im Zusammenspiel mit acker- und pflanzenbaulicher sowie ökonomischer und ökologischer Begleitforschung.

## Fruchtfolgen am Standort Bernburg

Einer der Standorte ist an die Landesanstalt für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau Sachsen-Anhalt angegliedert. Bernburg-Strenzfeld am Südrand der Magdeburger Börde liegt ca. 80 m über dem Meeresspiegel und vertritt die trockenen Löß-Standorte mit Bodenwertzahlen über 90 mit schlechter bis mittlerer Wasserversorgung (511 mm Niederschlag im langjährigen Mittel 1981–2010, Jahresdurchschnittstemperatur 9,7 °C).

Die Verbundfruchtfolgen beinhalten viele Zweifruchtsysteme (C4-Pflanzen nach GPS-Getrei-

de), Sommerzwischenfrüchte und Ackerfutterpflanzen, die energetisch genutzt werden (Sudangras, einjähriges Weidelgras, Luzernegras) oder als Gründüngung auf dem Feld verbleiben (Phacelia, Senf). Die regionalen Fruchtfolgen in Bernburg prüfen den Daueranbau von Mais bzw. Futterhirse sowie die Kombination dieser Kulturen mit Grünschnittrögen als Winterzwischenfrucht. Die Nachwirkung aller Fruchtfolgen wird im vierten Jahr mit dem einheitlichen Fruchtfolgeglied Winterweizen (Kornnutzung) ermittelt.

## Ergebnisse der zweiten Rotation

Die Zusammenfassung wichtiger Ergebnisse der zweiten Rotation zu ackerbaulichen, ökonomischen, ökologischen und Effizienz-

enzparametern zeigt Tabelle 2 (Erläuterungen siehe Tabelle 3). Die **Fruchtfolge 1** (Wintergerste–Sudangras–Mais–Wintertriticale–Phacelia) erreicht den dritthöchsten Trockenmasse (TM)- und Methanhektar (CH<sub>4</sub>)-Ertrag und benötigt eine mittlere Pflanzenschutzbehandlungsintensität (BI). Sie besitzt den zweithöchsten Deckungsbeitrag unter den geprüften Fruchtfolgen. Bezüglich ökologischer Kriterien bewegt sie sich meist auf mittlerem Niveau, lediglich die Treibhausgas (THG)-Emissionen sind als hoch einzustufen. Andererseits ist die Energieeffizienz hoch, die THG-Emissionen je Kilowattstunde gering und das THG-Minderungspotenzial das beste aller Fruchtfolgen. Mit geringerem TM- und CH<sub>4</sub>-Ertrag durch die Marktf Frucht Triticale zeigt sich die **Fruchtfolge 2** (Futterhirse–Grünschnittrögen–Mais–Wintertriticale [Kornnutzung]) bei ähnlichem BI und geringerem Deckungsbeitrag. Sie weist zwar die zweithöchste Humusbilanz auf, schneidet jedoch im Vergleich der anderen ökologischen Parameter

**Tabelle 1: Überblick über die EVA-Fruchtfolgen in Sachsen-Anhalt (Bernburg)**

Jahr		2009; 2010; 2013; 2014		2010; 2011; 2014; 2015		2011; 2012; 2015; 2016		2012; 2013; 2016; 2017		
FF	1	Wintergerste GP	Sudangras SoZWFr	Mais		Wintertriticale GP	Phacelia SoZWFr	Winterweizen		
	2	Futterhirse <sup>1</sup>		GS-Roggen WiZWFr	Mais Zweifrukt	Wintertriticale				
	3	Mais <sup>1</sup>		GS-Roggen WiZWFr	Futterhirse Zweifrukt	Wintertriticale GP	Weidelgras SoZWFr			
	4	Sommergerste <sup>2</sup>	Luzernegras	Luzernegras		Luzernegras	Mais <sup>3</sup> Zweifrukt			
	5	EVA II	Hafer GP		Wintertriticale GP		Winterraps			
		EVA III	Wickroggen GP	Weidelgras WiZWFr	Weidelgras WiZWFr	Mais Zweifrukt	Zuckerrübe Körper + Blatt			
	6	Mais		Mais		Mais				
	7	Gewässerschutz	GS-Roggen WiZWFr	Mais Zweifrukt	GS-Roggen WiZWFr	Mais Zweifrukt	GS-Roggen WiZWFr			Mais Zweifrukt
	8	Futterhirse		Futterhirse		Futterhirse				
	9	GS-Roggen WiZWFr	Futterhirse Zweifrukt	GS-Roggen WiZWFr	Futterhirse Zweifrukt	GS-Roggen WiZWFr	Futterhirse Zweifrukt			
12 <sup>3</sup> = FF3 um 25 % N-reduziert	Mais <sup>1</sup>		GS-Roggen WiZWFr	Futterhirse Zweifrukt	Wintertriticale GP	Weidelgras SoZWFr				

**fett:** Energiepflanzen; nicht fett: Marktf Frucht bzw. Zwischenfrucht zur Gründüngung; Sudangras = Sorghum bicolor x sudanense, Futterhirse = Sorghum bicolor;

<sup>1</sup> Vornutzung Senf als abfrierende Winterzwischenfrucht in dritter Projektlaufzeit; <sup>2</sup> Sommergerste nur in zweiter Projektlaufzeit; <sup>3</sup> nur in dritter Projektlaufzeit

sowie der Effizienzindikatoren schlechter ab.

Die dritte Variante der Kombination aus C3- und C4-Pflanzen (**Fruchtfolge 3**: Mais–Grünschnittroggen–Futterhirse–Wintertriticale–Weidelgras) erreicht einen guten TM- und CH<sub>4</sub>-Ertrag bei geringer Behandlungsintensität. Allerdings ist der Deckungsbeitrag sehr niedrig. Aus ökologischer Sicht ist sie im mittleren Bereich einzustufen. Durch den hohen Wasserverbrauch fällt die Sickerwassermenge niedriger aus.

Die extensive Ackerfütter**fruchtfolge 4** (Sommergerste–zwei Jahre Luzernegras) ist durch einen sehr geringen TM- und CH<sub>4</sub>-Ertrag bei mittlerem BI und Deckungsbeitrag charakterisiert, ermöglicht aber den stärksten Humusaufbau. Obwohl der Energieertrag relativ gering ausfällt, befinden sich Energiebilanz und -effizienz auf hohem bis sehr hohem Niveau – bedingt durch den geringsten Energieaufwand aller geprüften Fruchtfolgen. Gleiches gilt für die THG-Emissionen.

Der Anbau von Winterraps in der **Fruchtfolge 5** (Hafer–Wintertriticale–Winterraps [Kornnutzung]) führte zum geringsten TM- und

CH<sub>4</sub>-Ertrag aller Fruchtfolgen bei stark erhöhtem Pflanzenschutzmitteleinsatz. Der Deckungsbeitrag sowie die Humusbilanz fallen ebenfalls gering aus. Da innerhalb der Fruchtfolge nur drei Früchte angebaut werden, sind Energieaufwand und THG-Emissionen sehr niedrig. Aufgrund des geringen Methantrages sind Energieertrag, Energiebilanz sowie Effizienzindikatoren aber schlechter als bei den übrigen Fruchtfolgen zu bewerten.

Die Maisselbstfolge (**Fruchtfolge 6**) sowie das Zweifruchtsystem aus Grünschnittroggen und Mais (**Fruchtfolge 7**) liefern den höchsten TM- und CH<sub>4</sub>-Ertrag bei sehr geringem BI. Der Deckungsbeitrag der Maisselbstfolge ist mit Abstand der beste, mit Grünschnittroggen als Winterzwischenfrucht liegt er im mittleren Bereich. Beide Fruchtfolgen weisen verständlicherweise aber auch vergleichsweise geringe Humusbilanzen und hohe Energieaufwendungen sowie THG-Emissionen auf. Demgegenüber führt der sehr hohe Ertrag zu den (überwiegend) besten Energiebilanzen. Wie auch in Fruchtfolge 3 ist der Wasserverbrauch hoch und daraus resul-

tierend die Sickerwassermenge als niedrig einzustufen. Die **Fruchtfolgen 8 und 9** (Futterhirseselbstfolge bzw. Zweifruchtsystem aus Grünschnittroggen und Futterhirse) besitzen einen mittleren TM- und CH<sub>4</sub>-Ertrag, sind aber bis jetzt in der dritten Rotation den Fruchtfolgen 6 und 7 deutlich überlegen. Sie benötigen ebenfalls sehr wenig Pflanzenschutzmittel. Die Futterhirseselbstfolge hat einen mittleren, die Fruchtfolge 9 dagegen einen negativen Deckungsbeitrag. Die ökologischen Parameter sind überwiegend im mittleren Bereich. Hervorzuheben ist der vergleichsweise sehr geringe Wasserverbrauch, der höhere Sickerwassermengen ermöglicht. Während die Futterhirseselbstfolge bezüglich der Effizienzindikatoren positiv einzuschätzen ist, gestaltet sich das Zweifruchtsystem Grünschnittroggen–Futterhirse als sehr ineffizient im Vergleich aller geprüften Fruchtfolgen.

### Fazit und Ausblick

Eine Gesamtbewertung der Fruchtfolgen ist aufgrund der Vielfalt der Bewertungskriterien schwierig. Hinsichtlich der TM-

Erträge sind die Fruchtfolgen mit hohem Mais-, Futterhirse- und Getreideanteil zu präferieren, was sich auch in der ökonomischen Betrachtung widerspiegelt. Bezüglich der ökologischen Wirkungen weist die Ackerfütterfruchtfolge (FF 4: Sommergerste–zwei Jahre Luzernegras) die beste Einstufung auf. Ertragsstarke Fruchtfolgen schneiden hier schlechter ab. Lediglich im Hinblick auf die Effizienzparameter erzielen die Mais- und Futterhirseselbstfolgen gute Ergebnisse. Die Kombination von Wintergetreide (z.B. Wintertriticale, Grünschnittroggen), C4-Pflanzen (Mais) und Zwischenfrüchten (Senf, Phacelia) ist in der Gesamtheit aller aufgeführten Indikatoren (Ertrag, Ökologie, Ökonomie) die beste Variante. Die 2012/2013 gestartete dritte Projektphase widmet sich vermehrt der ökologischen Bewertung der Fruchtfolgen durch Einbeziehung von biodiversitäts- oder gewässerschutzorientierten Fruchtfolgen sowie der Prüfung reduzierter Stickstoffdüngung. Die vorliegenden, vorläufigen Ergebnisse zeigen deutliche Einsparungspotenziale ohne Ertragsverluste. (ha)

Inga Bormann



**Tabelle 2: Gesamtbewertung der Fruchtfolgen am Standort Bernburg anhand ackerbaulicher, ökonomischer, ökologischer und Effizienzindikatoren**

Ergebnisse der zweiten Projektlaufzeit 2008 bis 2013	FF1	FF2	FF3	FF4	FF5	FF6	FF7	FF8	FF9
	C3- und C4-Pfl. Var. 1	C3- und C4-Pfl. Var. 2	C3- und C4-Pfl. Var. 3	S-Gerste – Luzernegras	Energie- und Marktfrüchte	Mais – Mono	Grünschnittgras – Mais	Futterhirse – Mono	Grünschnittgras – Futterhirse
<b>Ackerbauliche Indikatoren</b>	(flächenbezogen)								
<b>Trockenmasseertrag</b> (dt/ha)	658	579	568	364	356	701	682	602	568
<b>Methanhektarertrag</b> (Nm <sup>3</sup> /ha)	19.971	11.976	17.499	9.872	7.772	22.560	22.327	17.172	17.042
<b>Pflanzenschutzbehandlungsindex</b> (BI)	1,7	1,8	1,3	1,7	3,8	1,0	1,1	1,0	0,9
<b>Ökonomische Indikatoren<sup>1</sup></b>	(flächenbezogen)								
<b>Deckungsbeitrag</b> [€/ha und a)]	354	276	147	308	226	735	211	273	-259
<b>Ökologische Indikatoren<sup>1</sup></b>	(flächenbezogen)								
<b>Humusbilanz</b> [kg Humus-C/(ha und a)]	162	305	183	675	192	70	127	261	232
<b>Energieaufwand</b> (MWh/ha)	77	57	72	39	40	78	88	64	76
<b>Energieertrag</b> (Strom- und Wärmenutzung) (MWh/ha)	153	91	132	76	60	175	169	134	122
<b>Energiebilanz</b> (Strom- und Wärmenutzung) (MWh/ha)	76	35	60	37	20	97	80	70	46
<b>Energieertrag</b> (Stromnutzung) (MWh/ha)	56	34	49	28	22	65	62	49	45
<b>Energiebilanz</b> (Stromnutzung) (MWh/ha)	-21	-23	-23	-11	-18	-13	-26	-15	-31
<b>Treibhausgasemissionen</b> (t CO <sub>2</sub> -Äq/ha)	33	24	30	15	16	34	37	28	31
<b>Wasserverbrauch</b> (mm/a)	473	444	532	449	441	500	491	404	415
<b>Sickerwasser</b> (mm/a)	121	126	107	131	151	67	117	167	198
<b>Effizienzindikatoren<sup>1</sup></b>	(produktbezogen)								
<b>EROI</b> (Energieeffizienz bei Strom- und Wärmenutzung) (MJ/MJ)	2,0	1,6	1,8	1,9	1,5	2,3	1,9	2,1	1,6
<b>Treibhausgasemissionen</b> (kg CO <sub>2</sub> -Äq/kWh)	0,15	0,22	0,20	0,17	0,24	0,17	0,19	0,18	0,22
<b>THG-Minderungspotenzial</b> (%)	53	27	36	44	22	45	38	42	28

<sup>1</sup>Berechnung durch Kornatz und Müller (Justus-Liebig-Universität Gießen; Ökonomie) bzw. Willms, Peter und Prescher (Zentrum für Agrarlandschaftsforschung Münchenberg; Ökologie und Effizienzindikatoren) auf Grundlage der in Bernburg erhobenen Daten und durchgeführten Feldarbeiten

**Tabelle 3: Erläuterung der Indikatoren aus Tabelle 2**

Indikator	Erläuterung
Trockenmasseertrag	inkl. Gründungertrag, Korn und Stroh (Wintertriticale, Wintertraps); ohne Winterweizen
Methanhektarertrag	Berechnungsgrundlage: Richtwerte für Methanausbeute und -gehalt der einzelnen Substrate (Mittelwerte 2005 – 2013, in Laboranalysen des ATB über alle Standorte ermittelt, nach Plogsties et al. 2015) sowie Ertrag an organischer Trockenmasse
Pflanzenschutzbehandlungsindex (BI)	Berücksichtigung von Aufwandmenge und Anzahl der Pflanzenschutzmittel (d. h. Wert von 1 steht beispielsweise für Applikation eines Pflanzenschutzmittels mit voller oder zweier Mittel mit jeweils halber Aufwandmenge usw.) Fruchtfolgebewertung: Summierung der Einzelwerte jeder Fruchtart, anschließend Division durch die Anzahl der angebauten Fruchtarten; Winterweizen im 4. Jahr unberücksichtigt
Humusbilanz	untere Werte des VDLUFA zuzüglich Gründungertrag, Stroh bzw. Rübenblatt sowie theoretisch unterstellter vollständiger Gärsubstratrückführung
Energieaufwand/THG-Emissionen	von Herstellung aller Betriebsmittel (Saatgut, Dünger, PSM, Maschinen) über den Anbau/Ernte/Silierung/Vergärung bis zum Blockheizkraftwerk (BHKW)
Energieertrag/-bilanz	bei 32 % Strom- und 55 % Wärmenutzungseffizienz sowie 13 % Verlust durch BHKW Differenzierung in kombinierte Strom- und Wärmenutzung sowie alleinige Stromnutzung: -> negative Energiebilanz in allen Fruchtfolgen bei unterlassener Wärmenutzung
Wasserverbrauch/Sickerwasser	hoher Wasserverbrauch -> geringere Sickerwassermenge -> höhere Nitratkonzentration im Sickerwasser und niedrigere Grundwasserneubildung
EROI = Energieeffizienz	Verhältnis von erzeugter Energiemenge (Output) zum Energieaufwand (Input) bei kombinierter Strom- und Wärmenutzung
THG-Minderungspotenzial	im Vergleich zu fossilem Brennstoff (85 g CO <sub>2</sub> -Äq/MJ)