

Welche Biomassepflanzen braucht eine nachhaltige Bioökonomie?

Iris Lewandowski und Moritz von Cossel

Zusammenfassung

Die Bioökonomie beinhaltet die Produktion aller Güter aus biobasierten und nachwachsenden Rohstoffen. Dieser Beitrag fokussiert auf Biomassepflanzen, die für die stoffliche und energetische Nutzung angebaut werden, sowie auf diejenigen Ökosystemdienstleistungen, die nicht mit der landwirtschaftlichen Produktionsfunktion abgedeckt sind. Heutige Industrie- und Energiepflanzen sind im Wesentlichen einjährige, bisher als Nahrungs- oder Futtermittelpflanzen genutzte Kulturen. Biomassepflanzen der Zukunft sollten demgegenüber toleranter gegenüber biotischem und abiotischem Stress sein, effizienter in der Nutzung von Wasser, Nährstoffen und Land sein, Ökosystemdienstleistungen erbringen können, diverser sein und eine Mehrfach- und integrierte Nutzung der Biomasse erlauben. Insbesondere unter Bedingungen des Klimawandels ist davon auszugehen, dass marginale landwirtschaftliche Flächen, die sich durch bio-physikalische Anbaulimitierungen wie z.B. Trockenheit und Versalzung auszeichnen, noch weiter zunehmen werden. Zukünftige Biomassepflanzen müssen auf solchen Standorten gedeihen und gleichzeitig zur Erhaltung oder sogar Erhöhung ihrer Resilienz beitragen können. Dies wird sehr gut von mehrjährigen Anbausystemen wie *Miscanthus*, Durchwachsener Silphie und mehrjährigen Wildpflanzenmischungen erfüllt. Sie können helfen, Bodenerosion zu vermindern und die Bodenfruchtbarkeit zu verbessern sowie, insbesondere im Falle der Wildpflanzenmischungen, die Biodiversität zu erhöhen. Ihre Produktion und Vorteile können sowohl auf Landschafts- als auch auf Betriebsebene integriert werden, z.B. durch ihren Anbau auf marginalen Agrarflächen und ungünstig gelegenen Betriebsflächen oder auf ökologischen Vorrangflächen. So kann Biomasse für eine wachsende Bioökonomie bereitgestellt werden, ohne dass es zu Zielkonflikten mit sozial-ökologischen Anforderungen kommt.

Summary

Plants suitable for biomass production in a sustainable bioeconomy

Bioeconomy comprises the production of all goods that stem from bio-based, renewable raw materials. This contribution focuses on the production of biomass from crops cultivated as energy crops and on ecosystem services that go beyond the production function. Today, many industrial and energy crops are annuals that have been diverted from food and feed production. Tomorrow's crops need to be more stress-tolerant and more water-, nutrient- and land-use efficient. They need to be able to provide ecosystem services, should become more diverse and should enable a multiple and integrated biomass use. Due to climate change, it is to be expected that the area of marginal agricultural land characterized by biophysical constraints, such as drought and salinity, will increase. Future biomass crops need to be able to handle such conditions and at the same time maintain or even increase the resilience of these areas. In many cases, these requirements can best be fulfilled by perennial biomass crop production systems, such as *Miscanthus*, cup plant, and wild plant mixtures. Such perennial systems can help avoid erosion, improve soil fertility and, especially in the case of wild plant mixtures, enhance biodiversity. Their production, and thus also their benefits, can be integrated at the landscape and farm level, for example, by cultivating them on biophysically or economically marginal agricultural land, including sub-optimally shaped or distant fields and 'greening' areas. In this way, biomass for a growing bioeconomy could be provided without compromising social-ecological requirements.

✉ Prof. Dr. Iris Lewandowski, Dr. Moritz von Cossel, Universität Hohenheim, Institut für Kulturpflanzenwissenschaften, Fachgebiet Nachwachsende Rohstoffe und Bioenergiepflanzen (340b), 70593 Stuttgart; iris_lewandowski@uni-hohenheim.de, moritz.cossel@uni-hohenheim

Einführung

Bioökonomie ist die Produktion, Nutzung und Erhaltung biologischer Ressourcen, einschließlich des damit verbundenen Wissens sowie der Wissenschaft und Innovationen, um Informationen, Produkte, Prozesse und Dienstleistungen in allen wirtschaftlichen Sektoren mit dem Ziel einer nachhaltigen Wirtschaftsweise bereitzustellen.¹ Demnach gehört zur Bioökonomie die Produktion von allem, was sich aus biobasierten und nachwachsenden Rohstoffen machen lässt, von der Bereitstellung von Nahrungs- und Futtermitteln über die industrielle stoffliche Nutzung bis hin zu einer energetischen Nutzung von Biomasse. Dieser Beitrag wird sich im Wesentlichen auf Biomassepflanzen für die stoffliche und energetische Nutzung beschränken und diejenigen Ökosystemdienstleistungen in den Mittelpunkt stellen, die nicht mit der landwirtschaftlichen Produktionsfunktion abgedeckt sind.

Zu den Anforderungen, die eine nachhaltige Bioökonomie an die Biomasseproduktion stellt, gehören eine optimale Qualität (hier bezogen v.a. auf die Anforderungen der Nutzer und Weiterverarbeiter), eine Bereitstellung in ausreichenden Mengen, eine kontinuierliche und verlässliche Versorgung und ein angemessener Preis, sowohl für den Produzenten als auch für den Abnehmer und Weiterverarbeiter der Biomasse bis hin zum Konsumenten des biobasierten Produktes, sowie eine ökologisch und sozial verträgliche Produktion. Auch eine Bioökonomie ist eine Ökonomie, d.h. es wird etwas produziert, und spätestens bei dem Punkt »ökologisch und sozial verträgliche Produktion« kommt es zu einer Reihe von Zielkonflikten, z. B. zwischen Menge und ökologischer Güte oder zwischen Preis und ökologischen Ansprüchen. Daher sucht eine nachhaltige Produktionsweise nach dem besten Kompromiss zwischen allen diesen Anforderungen.

Biomassepflanzen heute und in Zukunft

In Deutschland werden derzeit etwa 2,5 Millionen Hektar an Biomassepflanzen, die für die

industrielle und energetische Nutzung verwendet werden, angebaut (Abb. 1). Die beiden großen Energiepflanzen sind der Mais (*Zea mays*), der v.a. als Futterpflanze und Biogassubstrat angebaut wird, und der Raps (*Brassica napus*), der in Deutschland v.a. für die Biodieselproduktion angebaut wird.

Die heute angebauten Energiepflanzen (wie Mais und Raps) sind meist einjährig, weisen einen relativ hohen Bedarf an Dünge- und Pflanzenschutzmitteln auf und sind »umgenutzte« Nahrungsmittelpflanzen. Häufig werden die gleichen Sorten wie für die Nahrungsmittelproduktion angebaut, bisweilen auch andere Sorten, wenn die Qualitätsansprüche dies erfordern. Wir nutzen diese Pflanzen, weil sie sie gut durchgezüchtet sind und damit unter den jetzigen Standortbedingungen einen hohen Ertrag und eine gute Biomassequalität liefern. Mais ist beispielsweise sowohl durch eine Kuh als auch durch eine Biogasanlage »gut verdaulich«, d.h., er bringt sehr hohe Biogaserträge. Es gibt also viele gute Gründe für die Landwirte, die immer auch ökonomisch agieren müssen, um diese Pflanzen anzubauen.

Biomassepflanzen der Zukunft sollten demgegenüber

- toleranter gegenüber biotischem und abiotischem Stress sein,
- effizienter sein in der Nutzung von Wasser, Nährstoffen und Land,
- Ökosystemdienstleistungen erbringen können,
- diverser sein und
- eine Mehrfach- und integrierte Nutzung der Biomasse erlauben.

Bisher haben wir solche Pflanzen noch in sehr geringem Maße im Anbau. Im Folgenden sollen diese Punkte an drei Pflanzen bzw. Pflanzenproduktionssystemen aufgezeigt werden: Miscanthus, Durchwachsene Silphie und Wildpflanzenmischungen.

Miscanthus (Poaceae; Abb. 2a) ist wie Mais eine C₄-Pflanze, d.h. eine Pflanze mit einer sehr guten photosynthetischen Produktivität. Im Gegensatz zum Mais ist sie jedoch mehrjährig und stammt ursprünglich aus Asien. Für die Nutzung als Biomassepflanze wird vor allem der schnellwüchsige Genotyp (natürlicher Hybrid) *Miscanthus* × *giganteus* angebaut. Die Durchwachsene Silphie (*Silphium perfoliatum*,

¹ Definition in Anlehnung an das Global Bioeconomy Summit 2018 Communiqué, www.gbs2018.com [abgerufen 20.05.2019].

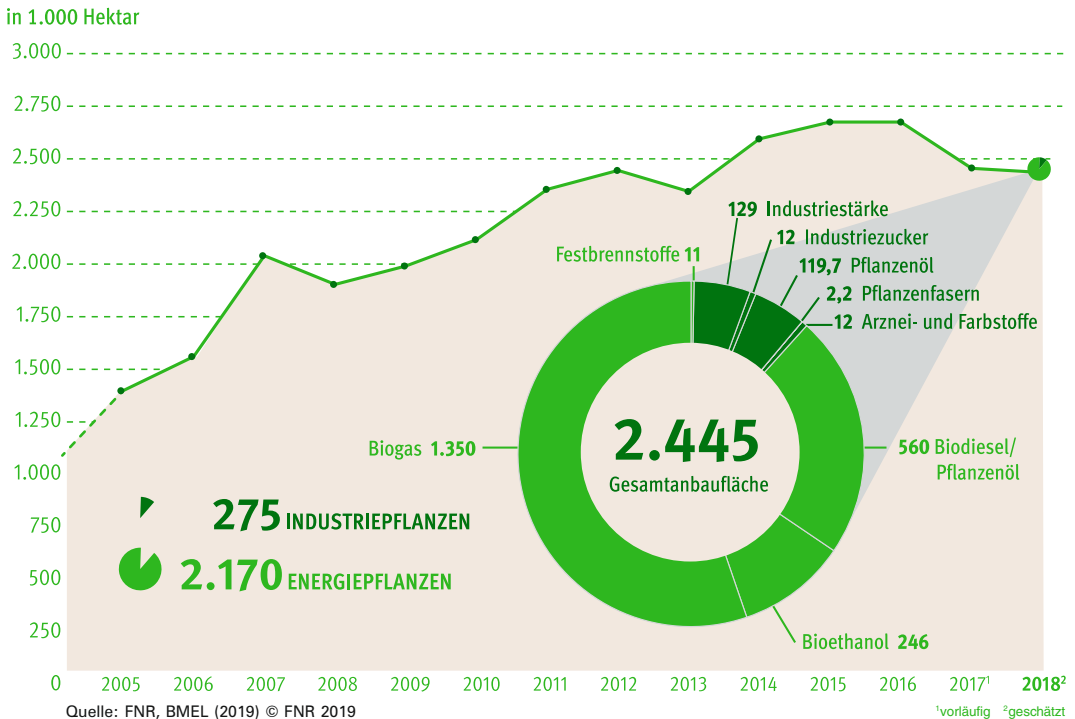


Abb. 1. Anbaufläche für nachwachsende Rohstoffe in Deutschland (2005–2018; in 1000 ha), für 2018 untergliedert in die Bereiche der stofflichen und energetischen Nutzung. – © Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), www.fnr.de (Mediathek), 2019.

Asteraceae; Abb. 2b) ist ebenfalls mehrjährig. Sie stammt ursprünglich aus Nordamerika und erreicht eine Wuchshöhe von bis zu 3 Metern. Bei den Wildpflanzenmischungen (Abb. 2c,d) handelt es sich um ein Gemisch unterschiedlicher Pflanzenarten, das in sich ebenfalls eine Art mehrjähriges System bildet, in welchem im ersten Jahr der Biomasseertrag von einjährigen Pflanzen und in den folgenden vier Jahren von den sich im Aussaatjahr etablierenden mehrjährigen Pflanzen stammt.

Stresstoleranz

In dem EU-Projekt MAGIC² geht es um den Anbau von Industriepflanzen auf marginalem

Land. Wenn wir von Stress reden, sprechen wir von unterschiedlichen biophysikalischen Standortgegebenheiten, die Pflanzen stressen können. Dies können z.B. zu viel oder zu wenig Wasser, zu hohe oder zu niedrige Temperaturen, zu steinige oder zu flachgründige Böden, ein zu geringes Nährstoffangebot oder zu steile Hänge sein. Wenn wir aber von der Definition von Marginalstandorten oder von Einschränkungen bei der Bewirtschaftung von Agrarflächen reden, kommen zu diesen bio-physikalischen Faktoren noch sozial-ökologische dazu, wie z.B. Begrenzungen im Rahmen der Biodiversitätserhaltung oder der Landschaftsästhetik (Stichwort »Vermaischung der Landschaft«).

In Europa sind Flächen, die wir als bio-physikalisch marginal oder als Grenzertragsstandorte bezeichnen würden, bereits jetzt weit verbreitet (Elbersen et al. 2018, von Cossel et al. 2018a, 2019b). Für die Zukunft gibt es Prognosen, dass bei dem zu erwartenden Temperaturanstieg um 3 °C in Europa die Fläche der Dürregebiete um 40 % steigen wird (Samaniego et al. 2018).

² MAGIC – Marginal lands for growing industrial crops: Turning a burden into an opportunity. Gefördert im Rahmen des Grant Agreement Nr. 727698 aus dem Forschungs- und Innovationsprogramm Horizon 2020 der Europäischen Union; <http://magic-h2020.eu/>.



Abb. 2. Beispiele für Biomassepflanzen (mehrjährige Kultursysteme) der Zukunft: **a**, Miscanthus; **b**, Durchgewachsene Silphie; **c**, Wildpflanzenmischung S1 (Rieger Hofmann GmbH); **d**, Wildpflanzenmischung S2 (Saaten Zeller GmbH & Co. KG). – Fotos: Universität Hohenheim, Fachgebiet für Nachwachsende Rohstoffe und Bioenergiepflanzen; a: M. von Cossel und O. Kalinina; b,c,d: M. von Cossel.

Das ist eine Realität, die wir mit den letzten Sommern bereits jetzt spüren, und es wird uns nichts anderes übrig bleiben, als uns darauf einzustellen.

Haben wir dann überhaupt noch genug landwirtschaftlich nutzbare Flächen, um darauf auch noch Biomassepflanzen anzubauen? Das ist nicht einfach zu beantworten. Die folgenden Beispiele handeln von Flächen, auf denen wir unter den Aspekten einer nachhaltigen Produktion von Biomassepflanzen bzw. landwirtschaftlichen Kulturen sogar vor allem mehrjährige Biomassepflanzen anbauen werden können und auch sollten.

Miscanthus × giganteus (Abb. 1a) kann derzeit wegen mangelnder Frosttoleranz dieses *Miscanthus*-Standardgenotyps in großen Gebieten Skandinaviens, im Alpenraum und in Osteuropa und wegen mangelnder Wasserstresstoleranz in weiten Teilen der Mittelmeerländer nicht wirtschaftlich angebaut werden. Wenn wir künftig die Genotypen nutzen, die in europäischen Züchtungsprogrammen entstanden sind – insbesondere neue Hybriden, die auf Stresstoleranz selektiert sind, v.a. gegenüber Frost, Wassermangel und hohe Salzgehalte im Boden –, könnte *Miscanthus* mit Ausnahme weniger Regionen in Südeuropa und in Nordskandinavien theoretisch überall in Europa angebaut werden (Lewandowski et al. 2016). Die höhere Stresstoleranz von *Miscanthus* z.B. im Vergleich zu Mais basiert zum einen darauf, dass *Miscanthus* als mehrjährige Pflanze nach dem ersten Jahr ein etabliertes und tief reichendes Wurzel- und Speicherrhizomsystem hat, und zum anderen auf einer breiten genetischen Variabilität innerhalb der Genotypen für Stresstoleranz. Hierbei sei noch einmal auf den vorzugsweisen Anbau von mehrjährigen Biomassepflanzen auf bio-physikalisch marginalen bzw. Stressflächen verwiesen. Da mehrjährige Pflanzen nur einmal innerhalb einer mehrjährigen Produktionsphase die sensible Zeit der Etablierung des Bestandes durchlaufen müssen, ist der Produktionserfolg in den folgenden Jahren weniger anfällig für Stress, wie z.B. Trockenheit in der Anwuchsphase. Die langjährige Bodenruhe unter mehrjährigen Pflanzen führt auch zu einer erheblichen Verminderung der Erosionsgefahr, was vor allem für hängige Flächen oder Flächen mit flachgründigen Böden von großer Bedeutung ist. Darüber hinaus kommt es hierdurch zur Anreicherung von Hu-

mus im Boden und damit zur Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit auf marginalen Flächen (vgl. Wolfrum & Burmeister 2019 in diesem Band).

Miscanthus: Ökobilanzierung

Das System einer mehrjährigen Biomassepflanze wie *Miscanthus* weist einige Besonderheiten auf. Im ersten Jahr ist der Aufwand derselbe wie bei jeder einjährigen Pflanze (Mais, Raps, Getreide usw.), die jedes Jahr neu etabliert werden muss. Dazu gehören u.a. eine mehr oder weniger intensive Bodenbearbeitung mit oder ohne Pflug, die Aussaat oder Pflanzung und die Unkrautbekämpfung. Den Etablierungsstress hat aber nicht nur der Landwirt, sondern auch die Pflanze, z.B. bei einer ausgeprägten Trockenheit im Frühjahr. Mehrjährige Pflanzen, die bereits etabliert sind, haben diesen Etablierungsstress nicht mehr, da sie sich ab dem zweiten Jahr in einem Kreislauf von Aufwachsen und Ernte befinden. Die Rhizome bzw. die Wurzelstöcke bleiben nach der Ernte in der Erde und befördern den Austrieb im jeweils nächsten Jahr. Je nach Produktionssystem muss der Landwirt 5 bis 25 Jahre lang keine Bodenbearbeitung betreiben, die Erosionsgefährdung entfällt, es wird eine Festlegung von Bodenkohlenstoff ermöglicht und die Diversität im Boden ist erhöht (Winkler et al., unter Begutachtung). Dazu kommt ein Nährstoffrecyclingsystem, das sozusagen innerhalb der Pflanze funktioniert. *Miscanthus* wird vor der Ernte braun. Dabei mobilisiert er die Nährstoffe aus den Blättern und transportiert sie in sein unterirdisches Rhizom, um sie im nächsten Jahr wieder nutzen zu können.

Wie sich diese Mechanismen der Effizienzsteigerung im Vergleich zu einjährigen Systemen praktisch auswirken, zeigt eine Ökobilanzierung, die wir für drei pflanzenbauliche Systeme zur Erzeugung von Biogas durchgeführt haben (Tab. 1). Verglichen haben wir dabei Mais als klassische »Biogas-Pflanze« mit Rutenhirse (*Panicum virgatum*, engl. Switchgrass, Poaceae), einem mehrjährigen C₄-Gras, das in Nordamerika beheimatet ist und dort als »Energiegras« angebaut wird, und *Miscanthus*. 2012 war ein durchschnittliches und 2013 ein relativ trockenes Jahr in Bezug auf die Niederschläge an unserem Standort in Südwestdeutschland. Mais hatte in beiden Jahren einen geringeren Biomasse-Gesamtertrag als *Miscanthus*, aber vor allem war der Abfall des Ertrags

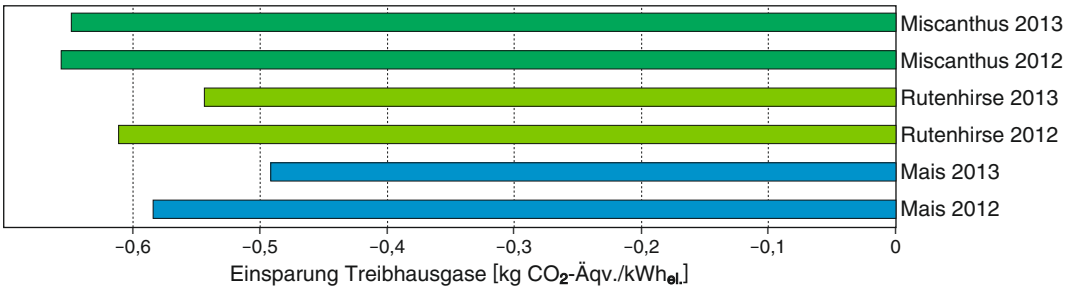


Abb. 3. Einsparungen an Treibhausgasen (in kg CO₂-Äquivalenten) bei der Substitution von 1 kWh_{el.} (deutscher Strommix) durch Strom aus der Verbrennung von Biogas in einem Blockheizkraftwerk (einschließlich Wärmenutzung), für die Anbausysteme Mais, Rutenhirse (Switchgrass) und Miscanthus, 2012 und 2013. – Nach © Kiesel et al. 2017 (CC BY 4.0).

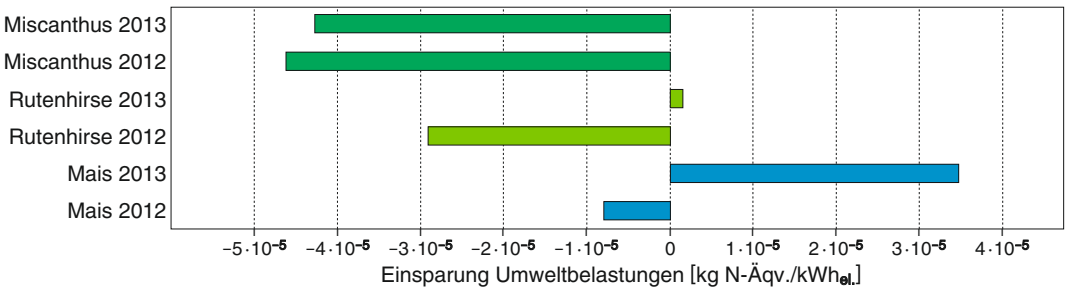


Abb. 4. Einsparungen und Umweltbelastungen von aquatischen Ökosystemen (in kg N-Äquivalente) bei der Substitution von 1 kWh_{el.} (deutscher Strommix) durch Strom aus der Verbrennung von Biogas in einem Blockheizkraftwerk (einschließlich Wärmenutzung), für die Anbausysteme Mais, Rutenhirse (Switchgrass) und Miscanthus, 2012 und 2013. – Nach © Kiesel et al. 2017 (CC BY 4.0).

im Trockenjahr 2013 gegenüber dem Vorjahr deutlich stärker als bei Miscanthus. In Bezug auf die Nährstoffversorgung benötigt Mais als einjährige Pflanze erheblich mehr Stickstoff als der mehrjährige Miscanthus (Tab. 1, grau hinterlegt).

Als Ergebnis der Ökobilanzierung zeigt Abbildung 3 die Einsparung (negative Vorzeichen) an CO₂-Äquivalenten, wenn Strom aus dem deutschen Strommix durch Verbrennung von Biogas in einem Blockheizkraftwerk ersetzt wird.

Tab. 1. Düngemittel- und Herbizideinsatz, Ertrag und Gehalt an Trockenmasse, Methanausbeute bei Biogaserzeugung und zum Anbau benötigte Fläche der Biomassepflanzen Mais, Rutenhirse (Switchgrass) und Miscanthus. Versuchsfeld Ihinger Hof, Univ. Hohenheim; 2012 und 2013. – Daten aus Kiesel et al. 2017.

Input/Output	Mais		Rutenhirse		Miscanthus	
	2012	2013	2012	2013	2012	2013
N [kg (Jahr·ha) ⁻¹]	240	240	80	80	80	80
K ₂ O [kg (Jahr·ha) ⁻¹]	304	204	137	137	128	128
P ₂ O ₅ [kg (Jahr·ha) ⁻¹]	100	100	37	37	32	32
Herbizide [kg (Jahr·ha) ⁻¹]	6,05	6,05	1,32	1,32	1,375	1,375
Ertrag an Trockenmasse [kg (Jahr·ha) ⁻¹]	18915	12616	14227	8369	22760	18929
Gehalt an Trockenmasse [%]	25,4	21,1	38,9	36,2	43,4	41,2
Methanausbeute [m ³ (Jahr·ha) ⁻¹]	5594	3635	3328	2095	5006	4542
Zum Anbau benötigte Fläche [ha Jahr ⁻¹]	173	266	291	461	194	213

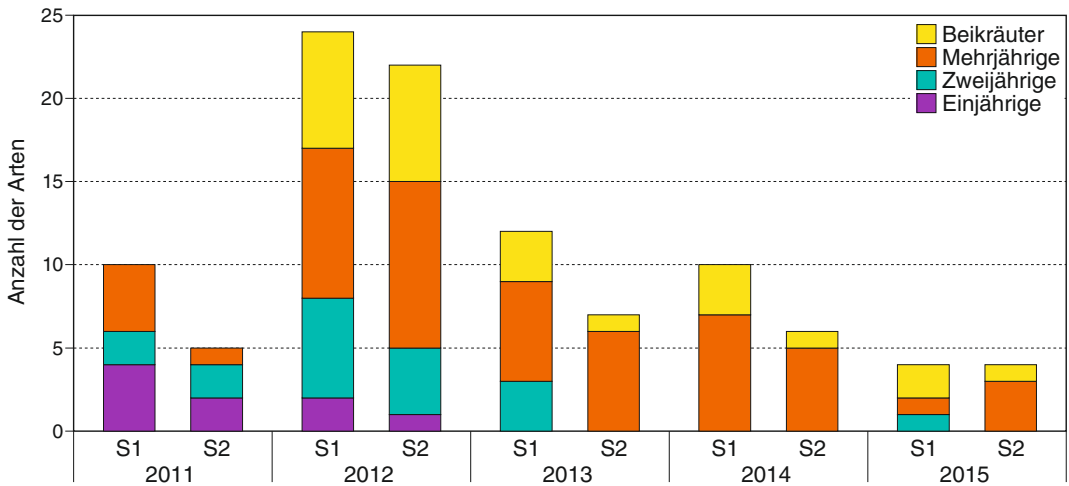


Abb. 5. Zahl der Arten in Anbausystemen mit Wildpflanzenmischungen (S1, S2), Versuchsfeld Heidefeldhof, Univ. Hohenheim; 2011: Etablierungsjahr, 2012–2015: Ernte der Biomasse zur Biogaserzeugung. – Nach von Cossel & Lewandowski 2016.

(Kiesel et al. 2017). Das mehrjährige System *Miscanthus* schneidet dabei besser ab als der Mais, der aber ebenfalls zu erheblichen Treibhausgaseinsparungen führt. Der Grund für die hohen Einsparungen bei *Miscanthus* liegt v. a. an dem höheren Ertrag bei dem gleichzeitig geringeren Nährstoffbedarf auf der Input-Seite.

Noch deutlicher wird der Effekt, wenn wir die Einsparungen oder die Umweltbelastung, hier dargestellt in N-Äquivalenten, in Bezug auf aquatische Ökosysteme (marine Eutrophierung) betrachten (Abb. 4). Die Einsparungen sind hier sowohl für *Miscanthus* als auch für Rutenhirse wesentlich größer als für Mais, der in dem trockenen Jahr mit den geringen Erträgen zu erheblichen Umweltbelastungen im Vergleich zu den anderen Systemen beigetragen hat.³ In diesem Beispiel wird deutlich, warum die u. a. von Herrn Weisser geforderte erweiterte Ökobilanz, d. h. die Ermittlung weiterer Umweltwirkungen als nur eine CO₂-Bilanzierung, sinnvoll ist (vgl. Weisser 2019 in diesem Band).

Zielkonflikte bei Wildpflanzenmischungen: Diversität versus Wirtschaftlichkeit

Für das bei dem Rundgespräch bereits angesprochene Diversitätsmanagement (vgl. Schön 2019 in diesem Band) ist der Anbau von mehrjährigen Wildpflanzenmischungen für die Biogaserzeugung ein gutes Beispiel. Sie bestehen aus einer definierten Mischung verschiedener Blühpflanzen, die sich auch gut als Insektennahrung eignen (Abb. 2c,d, Tab. 2).

In dem System wird im 1. Jahr neben der Wildpflanzenmischung eine einjährige biomasse-reiche Deckfrucht, z. B. Sonnenblume oder Mais, angebaut. Nach diesem Etablierungsjahr liefern im 2. bis 5. Jahr die mehrjährigen Blühpflanzen den Biomasseertrag. Bei den von uns getesteten Wildpflanzenmischungen, die bis zu 27 Arten enthielten, unter Mais hatten wir im 2. Anbaujahr 22 bzw. 24 Arten auf dem Acker stehen, darunter mehrere spontane Arten (Beikräuter), bis zum 5. Jahr nahm die Artenzahl dann deutlich ab (von Cossel & Lewandowski 2016, Abb. 5). Der Trockenmasseertrag der Wildpflanzenmischungen unter Mais nimmt dagegen zu, liegt aber auch im 5. Jahr je nach Standort etwa 30 bis 50 % unter dem Ertrag von Mais in Monokultur (von Cossel et al. 2019a). Hier handelt es sich um einen klassischen Zielkonflikt – höhere Diversität, aber geringerer Biomasseertrag –, für den wir

³ Zu der Frage, wie es überhaupt zu Einsparungen an N-Äquivalenten kommen kann, s. Kiesel et al. 2017.

Tab. 2. Artenzusammensetzung der Wildpflanzenmischungen S1 (Wildacker–Wilddeckung–Wildäsung; Rieger-Hofmann GmbH; insgesamt 27 bzw. 54 Arten) und S2 (BG 90; Saaten Zeller GmbH & Co. KG; insgesamt 25 bzw. 26 Arten) in den Jahren 2011 und 2014. Anteile der Arten je Saadmischung in Gewichtsprozent. – Zusammengestellt nach Angaben aus www.rieger-hofmann.de und www.saaten-zeller.de.

Botanischer Name	Trivialname	S1		S2	
		2011	2014	2011	2014
<i>Achillea millefolium</i> L.	Schafgarbe	2,0	1,5		
<i>Alcea rosea</i> L.	Stockrose	5,0			
<i>Althaea officinalis</i> L.	Echter Eibisch	5,0			5,5
<i>Amaranthus cruentus</i> L.	Amaranth	2,0			
<i>Anethum graveolens</i> L.	Dill		3,0		
<i>Arctium lappa</i> L.	Große Klette		0,5		
<i>Artemisia vulgaris</i> L.	Beifuß	1,0	0,1	1,5	0,5
<i>Barbarea vulgaris</i> W. T. Aiton	Winterkresse	1,0			
<i>Borago officinalis</i> L.	Borretsch	3,0	3,0		
<i>Brassica oleracea</i> L.	Gemüsekohl		2,0		
<i>Campanula persicifolia</i> L.	Pfirsichblättrige Glockenblume		0,1		
<i>Carum carvi</i> L.	Echter Kümmel		1,0		
<i>Centaurea cyanus</i> L.	Kornblume	1,0	3,0		
<i>Centaurea jacea</i> L.	Wiesen-Flockenblume	2,0	1,0		
<i>Centaurea nigra</i> L.	Schwarze Flockenblume			16,5	18,0
<i>Centaurea scabiosa</i> L.	Skabiosen-Flockenblume		0,5		
<i>Cichorium intybus</i> L.	Gemeine Wegwarte	2,0	2,0	2,0	1,0
<i>Cirsium eriophorum</i> (L.) Scop.	Wollkopf-Kratzdistel		0,2		
<i>Coriandrum sativum</i> L.	Echter Koriander		3,0		
<i>Anthemis tinctoria</i> L.	Färberkamille	2,0	1,0	0,2	0,1
<i>Daucus carota</i> L.	Wilde Möhre	3,0	2,0	1,0	0,1
<i>Delphinium elatum</i> L.	Hoher Rittersporn	2,0		4,0	
<i>Dipsacus fullonum</i> L.	Wilde Karde	1,0	0,3	0,1	0,5
<i>Echium vulgare</i> L.	Gewöhnlicher Natternkopf		2,5	5,0	0,5
<i>Epilobium angustifolium</i> L. Holub	Schmalblättriges Weidenröschen		0,1		
<i>Fagopyrum esculentum</i> Moench	Echter Buchweizen		9,0	5,3	4,0
<i>Foeniculum vulgare</i> Mill.	Fenchel	10,0	4,0	0,5	1,0
<i>Galium album</i> Mill.	Weißes Labkraut		1,0		
<i>Galium verum</i> L.	Echtes Labkraut		0,5		
<i>Guizotia abyssinica</i> (L. F.) Cass.	Ramtillkraut				2,0
<i>Helianthus annuus</i> L.	Sonnenblume	20,0	10,0	25,5	18,0
<i>Hypericum perforatum</i> L.	Echtes Johanniskraut		0,5		
<i>Inula helenium</i> L.	Echter Alant	2,0		2,0	4,0
<i>Isatis tinctoria</i> L.	Färberwaid	2,0	0,5		
<i>Lepidium sativum</i> L.	Gartenkresse		4,0		
<i>Leucanthemum ircutianum</i> Lam.	Magerwiesen-Margerite		2,0		
<i>Linum usitatissimum</i> L.	Gemeiner Lein		5,0		
<i>Lotus corniculatus</i> L.	Gewöhnlicher Hornklee		2,0		
<i>Malva alcea</i> L.	Rosen-Malve	2,0		0,2	0,5
<i>Malva moschata</i> L.	Moschus-Malve		0,5		
<i>Malva sylvestris</i> L.	Wilde Malve		1,0	7,0	8,0
<i>Malva sylvestris</i> var. <i>Mauritiana</i> (L.) Boiss.	Mauretanische Malve			3,3	3,0

Tab. 2. (Fortsetzung).

Botanischer Name	Trivialname	S1		S2	
		2011	2014	2011	2014
<i>Malva verticillata</i> L.	Quirlmalve			4,5	6,0
<i>Medicago lupulina</i> L.	Hopfenklee		2,0		
<i>Medicago sativa</i> L.	Luzerne			2,0	2,0
<i>Melilotus albus</i> Medik.	Weißer Steinklee	5,0	1,0	5,3	3,5
<i>Melilotus officinalis</i> (L.) Pall.	Gelber Steinklee	5,0	1,0	5,0	3,5
<i>Oenothera biennis</i> L.	Gemeine Nachtkerze		1,1		
<i>Onobrychis viciifolia</i> Scop.	Saat-Espарsette	9,0	4,0	5,8	7,0
<i>Origanum vulgare</i> L.	Oregano		0,1		
<i>Papaver rhoeas</i> L.	Klatschmohn		1,0		
<i>Plantago lanceolata</i> L.	Spitzwegerich		1,5		
<i>Reseda luteola</i> L.	Färber-Resede		0,4	0,2	0,3
<i>Salvia pratensis</i> L.	Wiesensalbei		1,0		
<i>Sanguisorba minor</i> L.	Kleiner Wiesenknopf		2,5		
<i>Saponaria officinalis</i> L.	Gewöhnliches Seifenkraut		0,5		
<i>Secale cereale</i> L.	Roggen	5,0	4,0		
<i>Silene dioica</i> (L.) Clairv.	Rote Lichtnelke			0,2	0,2
<i>Silene latifolia</i> Poir.	Weißer Lichtnelke		0,5	0,3	0,1
<i>Silene vulgaris</i> (Moench) Garcke	Taubenkropf-Leimkraut		1,0		
<i>Solidago virgaurea</i> L.	Gewöhnliche Goldrute	1,0			
<i>Tanacetum vulgare</i> L.	Rainfarn	1,0	0,1	2,5	3,5
<i>Tragopogon pratensis</i> L.	Wiesen-Bocksbart		0,5		
<i>Trifolium incarnatum</i> L.	Inkarnat-Klee		4,0		
<i>Trifolium pratense</i> L.	Rotklee	5,0	1,0		
<i>Verbascum densiflorum</i> Bertol.	Großblütige Königskerze	1,0	0,5		
<i>Verbascum nigrum</i> L.	Schwarze Königskerze		0,5		
<i>Verbascum thapsus</i> L.	Kleinblütige Königskerze			0,1	0,2
<i>Vicia sativa</i> L.	Futterwicke		5,0		

Kompromisse finden müssen. In Bezug auf die Methanerträge ist die Differenz zwischen den Systemen Wildpflanzenmischungen und Mais in Monokultur noch größer (von Cossel et al. 2019b), da der Mais für die Vergärung eine bessere Qualität in der Biomasse und damit höhere spezifische (d. h. je kg Biomasse) Biogaserträge liefert (von Cossel et al. 2018b).

Dennoch gibt es Landwirte, die Blühpflanzenmischungen für ihre Biogasanlage anbauen.⁴

4 Siehe z. B. <https://www.elobau-stiftung.org/project/wildpflanzen-biogas/>, <https://lebensraum-brache.de/biogas-aus-wildpflanzen/>, https://baden-wuerttemberg.nabu.de/imperia/md/content/badenwuerttemberg/vortraege/frick_pr_sentation_hohenheim_12.03.2019_power_point.pdf [abgerufen 20.05.2019].

Die Praxiserfahrungen zeigen, dass sich Wildpflanzenmischungen mit der herkömmlichen Verfahrenstechnik etablieren, düngen, ernten und silieren lassen; zusätzlich kann auf den Blühflächen zur Blütezeit Honig gewonnen werden. Zu den ökologischen Vorteilen gehören u. a. ein deutlich verbessertes Nahrungsangebot für Tiere und die Deckung für Wildtiere im Sommer und Winter. Weiter kommt es zu einer Bodenverbesserung und einer stärkeren Humusbildung; Bodenerosion und Nährstoffauswaschungen sind wesentlich geringer; die Bodenbearbeitung entfällt ab dem zweiten Jahr.⁵

5 AllgäuAlternativ, 1/2015: 70–73, <https://issuu.com/verlaghephaistos/docs/allgaeualternativ-fruehjahr2015> [abgerufen 20.05.2019].

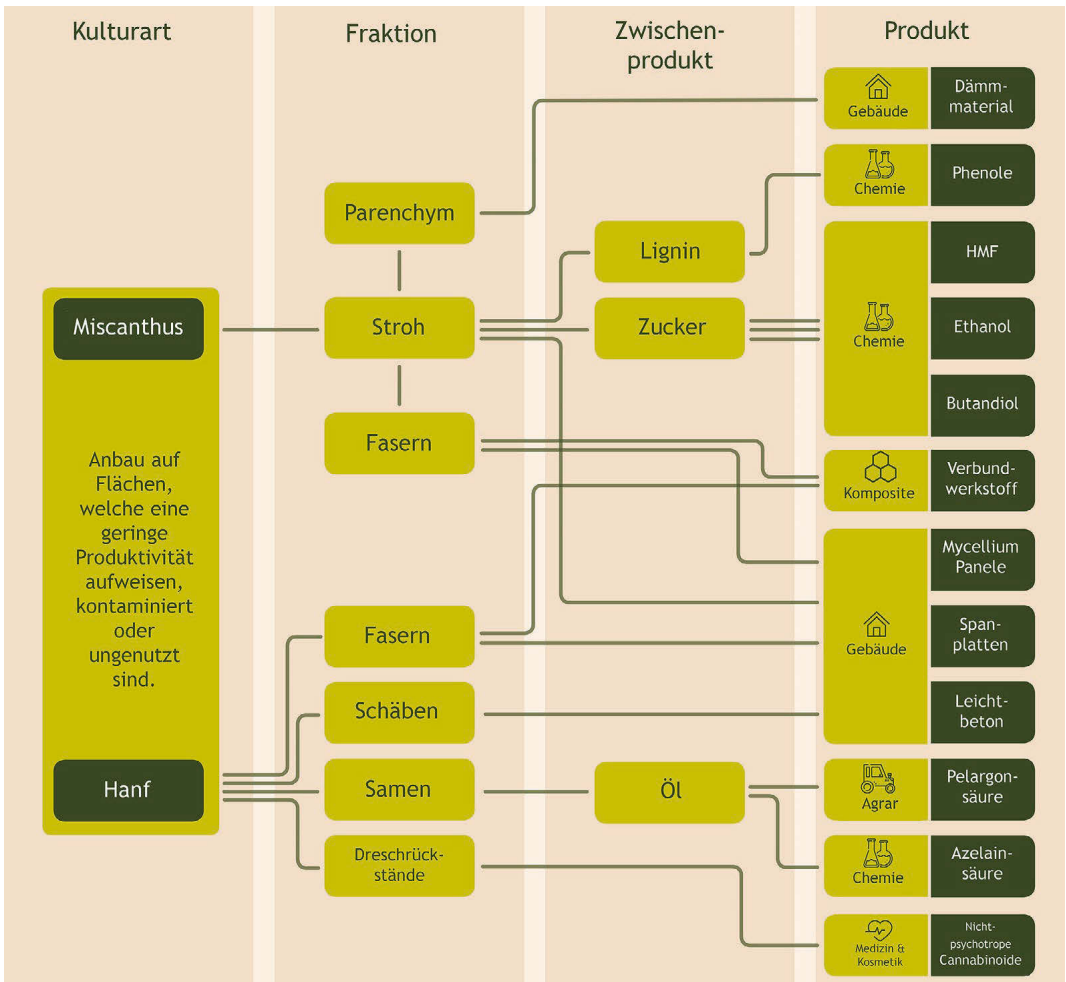


Abb. 6. Demonstration von verschiedenen biobasierten Wertschöpfungsketten für die Bereiche Plattformchemikalien, Bioplastik, Verbundstoffe, Baumaterialien, Bio-Pestizide und Medizin & Kosmetik im EU-Projekt GRACE (GRowing Advanced industrial Crops on marginal lands for bioRefineries). – Nach <https://www.grace-bbi.eu/value-chains/> [abgerufen 20.05.2019].

Die Gesamtkosten für den Anbau von Wildpflanzenmischungen sind allerdings im Vergleich zu Mais um ca. 450 Euro/ha höher, da zusätzlich zu dem geringeren Ertrag höhere Substratkosten anfallen (Baum 2019).

Mehrfach- und integrierte Nutzung der Biomasse

In dem Verbundprojekt GRACE werden für Miscanthus und Hanf 10 biobasierte Wertschöpfungsketten untersucht,⁶ mit dem Ziel, diese Wertschöpfungsketten mit Produkten aus den Bereichen Plattformchemikalien, »Bioplastik«, Verbundstoffen, Baumaterialien, Bio-Pestiziden und Medizin & Kosmetik so gut wie möglich zu integrieren. Hierbei werden alle Pflanzenfraktionen und Zwischen- sowie Nebenprodukte vollständig verwertet (siehe Abb. 6), wobei die jeweils beste

⁶ GRACE: Growing advanced industrial crops on marginal lands for biorefineries. Gefördert von Bio-Based Industries Joint Undertaking (BBI JU) im Rahmen des EU-Rahmenprogramms für Forschung und Innovation »Horizon 2020«; <https://www.grace-bbi.eu/>.

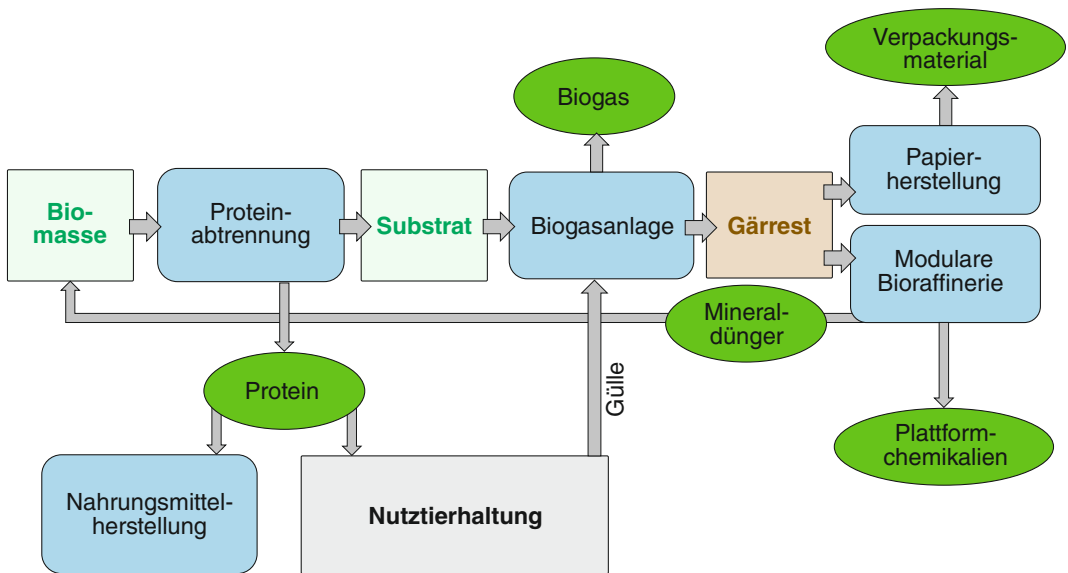


Abb. 7. Schematische Darstellung der Integration der Biomassenutzung auf Betriebsebene.

Verwertungsmöglichkeit angestrebt wird. Dabei arbeiten alle in der Wertschöpfungskette Beteiligten aus der Landwirtschaft und der Industrie zusammen, um optimierte Wertschöpfungsketten zu realisieren. Die im Praxismaßstab angebaute Biomasse stammt ausschließlich von Standorten, die zu den bio-physikalisch marginalen bzw. Grenzertragsstandorten gehören, da sie kontaminiert sind, brach liegen oder eine geringe Produktivität aufweisen.

Integration von Biomassepflanzen

Um Biomassepflanzen auf Betriebs- und Landschaftsebene zu integrieren, gibt es vielfältige Möglichkeiten. Mehrjährige Anbausysteme können z.B. als Produktionsalternative an Standorten mit geringer Bodenfruchtbarkeit oder an vernässten Standorten, als Windschutz in einem Schlag (Verminderung von Bodenabtrag und Nährstoffeintrag), auf ungünstig gelegenen bzw. geformten Schlägen, angrenzend an Gewässer- und Randstreifen (Verminderung der Nährstoff- und Pflanzenschutzmitteleinträge in Gewässer) oder auf ökologischen Vorrangflächen an erosionsgefährdeten Lagen innerhalb eines Schlags (Erosions- und Verdunstungsschutz) angebaut werden (Feldwisch 2011).

Gute Integrationsmöglichkeiten gibt es auch in der Biogasproduktion, wie schematisch in Abbildung 7 dargestellt ist. Hierbei erfolgt zum einen eine Integration mit der Nahrungsmittelherstellung, indem aus der Biomasse die Proteine abgetrennt werden, bevor sie, zusammen mit der in den Ställen anfallenden Gülle, in der Biogasanlage verwertet wird. Die Gärreste können bei der Papierherstellung oder in einer ländlichen modularen Bioraffinerie zur Herstellung von Plattformchemikalien verwertet werden, wobei wir die hieraus gewonnenen Pflanzennährstoffe als Mineraldünger anschließend wieder auf die Äcker geben können.

Danksagung

Die Ergebnisse stammen zum Teil aus dem im Rahmen des Grant Agreement Nr. 727698 geförderten Projektes MAGIC sowie aus dem im Rahmen des Grant Agreement Nr. 745012 geförderten Projektes GRACE; beide Projekte laufen im Forschungs- und Innovationsprogramm Horizon 2020 der Europäischen Union. Diese Studie wurde außerdem anteilig gefördert aus Mitteln des Projektes GOBi: Förderkennzeichen BMBF 03EK3525A (Verbund-Nr. 01125806).

Literatur

- Baum, G. 2019. Betriebswirtschaftliche Betrachtung der Wildpflanzennutzung für Biogasbetriebe. – Vortrag Fachtagung »Biogas aus Wildpflanzen«, 12.03.19, Hohenheim; Landesanstalt für Landwirtschaft, Ernährung und Ländlichen Raum Baden-Württemberg, Schwäbisch Gmünd; <https://baden-wuerttemberg.nabu.de/natur-und-landschaft/landwirtschaft/biogas/> [abgerufen 20.05.2019].
- Elbersen, B., M. Van Eupen, S. Mantel, E. Alexopoulou, Z. Bai, H. Boogard, J. Carrasco, T. Ceccarelli, C. C. Ramos, P. Ciria, S. L. Cosentino, W. Elbersen, I. Eleftheriadis, S. Fritz, B. Gabrielle, Y. Iqbal, I. Lewandowski, I. McCallum, A. Monti, S. Mucher, M. Sanz, D. Scordia, S. Verzaandvoort, M. von Cossel & F. Zanetti. 2018. Mapping marginal land potentially available for industrial crops in Europe. – Poster, EUBCE 2018 (26th European Biomass Conference & Exhibition), Copenhagen; [s://www.researchgate.net/publication/325272893_Mapping_Marginal_land_potentially_available_for_industrial_crops_in_Europe](https://www.researchgate.net/publication/325272893_Mapping_Marginal_land_potentially_available_for_industrial_crops_in_Europe) [abgerufen 20.05.2019].
- Feldwisch, N. 2011. Rahmenbedingungen und Strategien für einen an Umweltaspekten ausgerichteten Anbau der für Sachsen relevanten Energiepflanzen. – In: Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG, Hrsg.): Umweltgerechter Anbau von Energiepflanzen. Schriftenreihe, 43: 2–71. <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/15109> [abgerufen 20.05.2019].
- Kiesel, A., M. Wagner & I. Lewandowski. 2017. Environmental performance of miscanthus, switchgrass and maize: Can C4 perennials increase the sustainability of biogas production? – Sustainability, 9: 5; doi:10.3390/su9010005.
- Lewandowski, I., J. Clifton-Brown, L. M. Trindade, G. C. van der Linden, K.-U. Schwarz, K. Müller-Samann, A. Anisimov, C.-L. Chen, O. Dolstra, I. S. Donnison, K. Farrar, S. Fonteyne, G. Harding, A. Hastings, L. M. Huxley, Y. Iqbal, N. Khokhlov, A. Kiesel, P. Lootens, H. Meyer, M. Mos, H. Muylle, C. Nunn, M. Özgüven, I. Roldán-Ruiz, H. Schüle, I. Tarakanov, T. van der Weijde, M. Wagner, Q. Xi & O. Kalinina. 2016. Progress on optimizing miscanthus biomass production for the European bioeconomy: Results of the EU FP7 Project OPTI-MISC. – Frontiers in Plant Science, 7: 1620; doi: 10.3389/fpls.2016.01620.
- Samaniego, L., S. Thober, R. Kumar, N. Wanders, O. Rakovec, M. Pan, M. Zink, J. Sheffield, E. F. Wood & A. Marx. 2018. Anthropogenic warming exacerbates European soil moisture droughts. – Nature Climatic Change, 8(5): 421–426.
- Schön, C.-C. 2019. Steigerung von Produktivität und Nachhaltigkeit – Die Pflanzenzüchtung kann das. – In: Bayer. Akademie der Wissenschaften (Hrsg.): Ökologie und Bioökonomie. Pfeil, München: 47–58.
- Von Cossel, M. & I. Lewandowski. 2016. Perennial wild plant mixtures for biomass production: Impact of species composition dynamics on yield performance over a five-year cultivation period in southwest Germany. – European Journal of Agronomy, 79: 74–89.
- Von Cossel, M., Y. Iqbal, D. Scordia, S. L. Cosentino, B. Elbersen, I. Staritsky, M. van Eupen, S. Mantel, O. Prisyazhniuk, O. Maliarenko & I. Lewandowski. 2018a. Low-input agricultural practices for industrial crops on marginal land (D4.1). – MAGIC project report, Universität Stuttgart; <http://magic-h2020.eu/>; <https://zenodo.org/record/3539369#.Xcvf8NVCFv8>.
- Von Cossel, M., J. Möhring, A. Kiesel & I. Lewandowski. 2018b. Optimization of specific methane yield prediction models for biogas crops based on lignocellulosic components using non-linear and crop-specific configurations. – Industrial Crops and Products, 120: 330–342.
- Von Cossel, M., K. Steberl, J. Hartung, L. A. Pereira, A. Kiesel & I. Lewandowski. 2019a. Methane yield and species diversity dynamics of perennial wild plant mixtures established alone, under cover crop maize (*Zea mays* L.) and after spring barley (*Hordeum vulgare* L.). – Global Change Biology – Bioenergy, 11(11): 1376–1391.
- Von Cossel, M., I. Lewandowski, B. Elbersen, I. Staritsky, M. Van Eupen, Y. Iqbal, S. Mantel, D. Scordia, G. Testa, S. L. Cosentino, O. Maliarenko, I. Eleftheriadis, F. Zanetti, A. Monti, D. Lazdina, S. Neimane, I. Lamy, L. Ciadamidaro, M. Sanz, J. E. Carrasco, P. Ciria, I. McCallum, L. M. Trindade, E. N. Van Loo, W. Elbersen, A. L. Fernando, E. G. Papazoglou & E. Alexopoulou. 2019b. Marginal agricultural land low-input systems for biomass production. – Energies, 12(16): 3123; doi:10.3390/en12163123.
- Weisser, W. W. 2019. Bioökonomie als Chance für die Insektenvielfalt. – In: Bayer. Akademie der Wissenschaften (Hrsg.): Ökologie und Bioökonomie. Pfeil, München: 71–77.
- Winkler, B., A. Mangold, M. von Cossel, J. Clifton-Brown, M. Pogrzeba, I. Lewandowski, Y. Iqbal & A. Kiesel. (Unter Begutachtung). Implementing miscanthus into sustainable farming systems: A review on agronomic practices, capital and labor demand. – Renewable & Sustainable Energy Reviews.
- Wolfrum, S. & J. Burmeister. 2019. Neue Konzepte zur umweltverträglichen Nutzung des Bodens. – In: Bayer. Akademie der Wissenschaften (Hrsg.): Ökologie und Bioökonomie. Pfeil, München: 79–90.

Diskussion

C.-C. Schön: Inwieweit geht das Risiko bei den mehrjährigen Systemen mit *Miscanthus* in Ihre Berechnungen ein? Wenn sich ein Landwirt für 10 oder 20 Jahre festlegen muss, gibt es keinerlei Zuchtfortschritt, während sich bei Mais in dieser Zeit sehr viel tun kann. Gleichzeitig steigt das Risiko bei mehrjährigen Pflanzen, wenn im Zuge des voranschreitenden Klimawandels z.B. extreme Trockenheit oder andere Extremereignisse den Ernteertrag einbrechen lassen. Generell sind mehrjährige Pflanzen für die Züchtung unattraktiv, daher gibt es auch keinen Züchtungsfortschritt.

I. Lewandowski: Das ist in der Tat ein Problem, hier müsste man im Prinzip viel mehr investieren. Die Züchtung bei den Mehrjährigen ist zumindest derzeit komplett von öffentlichen Geldern abhängig. Das Risiko, dass der Bestand zugrunde gehen kann, ist bei Mais oder anderen einjährigen Pflanzen auch gegeben, auch da verliert der Landwirt die Ernte und muss im nächsten Jahr wieder pflanzen. Das höhere Risiko bei mehrjährigen Pflanzen bezieht sich auf die Tatsache, dass sie nach ihrer teureren Etablierung aus ökonomischen Gründen 20 Jahre wachsen müssen. Wir sind daher dabei, auch an Methoden zu arbeiten, damit die Etablierung nicht nur produktionstechnisch einfacher, sondern auch billiger wird. Beim Zuchtfortschritt ist der Landwirt natürlich festgelegt mit dem, was er jeweils anpflanzt. Aber wenn der Bestand sich trägt und lohnt, hindert den Landwirt nichts daran, ihn nach 5 oder 10 Jahren mit einer anderen Sorte zu erneuern. Es gibt auch Methoden, dies so zu tun, dass die Vorteile wie beispielsweise die Kohlenstoffakkumulation im Boden dabei nicht verloren gehen. Aber es ist ganz klar: *Miscanthus* hat z.B. dem Mais gegenüber den Nachteil, dass er nicht so intensiv gezüchtet und erforscht wird. Auch hat ein Landwirt immer ein höheres Risiko mit mehrjährigen Pflanzen, weil er nicht so schnell die Frucht wechseln kann wie bei einjährigen. Das ist vermutlich der Grund, warum viele Landwirte nicht bereit sind, mehrjährige Biomassepflanzen anzubauen.

C.-C. Schön: Bei dem Input/Output-Vergleich von Mais, Rutenhirse und *Miscanthus* war in Ihrer Übersicht für Energiemais ein Ertrag von knapp 19 Tonnen Trockenmasse pro Jahr und Hektar angegeben, in dem trockenen Jahr sogar nur 12,5 Tonnen. Das ist für Energiemais sehr niedrig. Warum war der Ertrag so niedrig?

I. Lewandowski: Es handelt sich um einen Ceteris-paribus-Versuch, also um einen Versuch, bei dem die Pflanzen auf demselben Standort unter denselben Bedingungen abgebaut worden sind. Der Ihinger Hof ist ein mittlerer Standort mit keinem besonders fruchtbaren Boden. Wir haben also nicht Mais von einem schlechten Acker mit *Miscanthus* von einem guten Acker verglichen, sondern beide stammen aus demselben Feldversuch.

C.-C. Schön: Da müsste man vielleicht mehrere verschiedene Standorte vergleichen, um zu sehen, ob der Unterschied zwischen Mais und *Miscanthus* überall so groß ist.

B. Jessel: Zunächst eine Anmerkung: Als Sie bei der Folie, die Sie zu den Integrationsmöglichkeiten des Biomassepflanzenanbaus gezeigt haben, die Landschaftsästhetik erwähnt haben, sind vor meinem inneren Auge Gewässerrandstreifen mit *Miscanthus*-Bestand aufgetaucht – dazu hat sicher jeder seine eigene Meinung.

Zu Beginn Ihres Vortrags haben Sie auf die vier Bereiche food, feed, fibre and fuel, also Nahrungs- und Futtermittel, stoffliche und energetische Nutzung, hingewiesen, haben sich im Weiteren dann aber sehr stark auf die energetische Nutzung von Biomasse fokussiert. Wir vom Bundesamt für Naturschutz sind, ebenso wie das Umweltbundesamt, der Auffassung, dass uns aufgrund der Flächen- und der Energieeffizienz die energetische Nutzung der Biomasse letztlich in eine Sackgasse führt. Verglichen mit der Flächeneffizienz anderer Energieträger wie Windenergie oder Photovoltaik haben Biomassepflanzen immer noch eine viel geringere Energieeffizienz bei einem viel größeren Flächenbedarf. Inwieweit fließen auch solche übergreifenden Überlegungen in die Bewertung ein? Auch sind

Sie sehr stark von Seiten der Produktion, also von Seiten des Ertrags, auf die Biomassepflanzen eingegangen. Aber wo liegt denn der Bedarf? Wir haben einen sehr großen Bedarf im Bereich der Reststoffverwertung. Stroh und andere anfallende Reststoffe können wir zwar nicht ohne weiteres aus dem System entnehmen, weil sie sonst fehlen, aber dennoch gibt es da durchaus erhebliche Potenziale. Ich denke jetzt auch an die sehr extensiv bewirtschafteten Grünländer, die Herr Weisser vorgestellt hat¹, auch wenn er implizit die Frage gestellt hat, ob wir uns überhaupt noch leisten können, sie zu erhalten. Man kann durchaus über eine Aufwuchsverwertung von solchen Flächen nachdenken – man müsste sogar sehr viel stärker darüber nachdenken. Inwieweit ist das auch Gegenstand Ihrer Forschung? Ich spreche jetzt ganz bewusst nicht von den Wildpflanzenmischungen, die ich sehr schön finde, sondern von den Bereichen Reststoffe und Landschaftspflege.

I. Lewandowski: Wir haben einen eigenen Forschungsbereich zu Grünland und beschäftigen uns dabei mit der Frage, wie man es so managen kann, dass wir auf der einen Seite etwas produzieren, also die anfallende Biomasse stofflich oder energetisch nutzen, und gleichzeitig die Diversität maximieren. Aus Zeitgründen konnte ich darauf leider nicht näher eingehen.

Sie haben die Flächeneffizienz angesprochen. Wenn wir über flüssige Biotreibstoffe reden, mag das etwas anders sein, diesen Bereich habe ich bewusst ausgelassen. Mit dem Biogas spreche ich aber von einem Beispiel, das in Deutschland von großer Relevanz ist. Deutschland ist aktuell führend in Bezug auf die Anzahl der Biogasanlagen und auf die Anbauflächen von Pflanzen zur Biogasherstellung und besitzt eine funktionierende Infrastruktur für Biogasanlagen. Diese infrage zu stellen in der jetzigen Zeit, in der wir mit den Braunkohlekraftwerken die größten CO₂-Emittenten Europas mit dem Argument betreiben, dass wir sie nicht abschalten können, weil wir sicheren Strom brauchen, halte ich nicht für sinnvoll. Die Biogasanlagen haben keinen Ausbau mehr und ich sehe sie in 20 Jahren auch ganz anders, es werden weniger sein und es werden Bioraffinerien sein. Aber die nächsten 10 oder 15, vielleicht 20 Jahre – solange wir die Braunkohlekraftwerke noch nicht abgestellt haben und den Strom noch nicht regenerativ produzieren – sollten wir Biogas produzieren. Wir sollten das aber richtig tun, mit solchen Pflanzen, die gute ökologische Wirkungen haben und bei denen wir verschiedene Eigenschaften und Anforderungen kombinieren können. Einige der Modelle, die wir dafür vorschlagen, habe ich in meinem Beitrag darzustellen versucht.

¹ Vgl. Weisser, W. W. 2019. Bioökonomie als Chance für die Insektenvielfalt. – In: Bayer. Akademie der Wissenschaften (Hrsg.): Ökologie und Bioökonomie. Pfeil, München: 71–77.