

Ökologische Aspekte bei der Produktion „Nachwachsender Rohstoffe“ auf landwirtschaftlich genutzten Flächen: Vergleich einjähriger und ausdauernder Kulturen in Österreich

Peter Liebhard^{1*}, E. Hochbichler² und Ferdinand S. Deim¹

Zusammenfassung

Der Anstieg auf der Nachfrageseite **nach** Energie- und Industrierohstoffen erfordert aus mehrfachen Gründen eine Erhöhung bei der Aufbringung von regenerativen Materialien (Rohstoffen, Quellen). Die Produktion von „Nachwachsenden Rohstoffen“ verursacht im Vergleich zur Schöpfung aus fossilen Quellen meist höhere Kosten und verursacht bei zu geringer Berücksichtigung von Optimierungsmaßnahmen auch negative Umweltwirkungen.

Für die Produktion von Biokraftstoffen (Ethanol, Pflanzenöl, Biodiesel) und Biogas sowie Stärke werden überwiegend einjährige Fruchtarten bei hoher Bewirtschaftungsintensität eingesetzt. Ausdauernde Kulturen liefern meist verholzte Erntegüter (Zellulose, Lignozellulose, Lignin), die vorzüglich in Heiz- und Blockheizkraftwerken oder in der stofflichen Verwertung eingesetzt werden.

Low-Input Arten von ausdauernden Kulturen weisen durch die langzeitige Flächendeckung vielfache Vorteile in der Umweltwirkung auf. Umfassend beschrieben werden die „Holzproduktion im Kurzumtrieb“ und „Miscanthus Giganteus“.

Schlagwörter: Nachwachsende Rohstoffe, Ausdauernde Kulturen, Holzproduktion im Kurzumtrieb, Miscanthus Giganteus, CO₂-Senkenpotential, ökologische Aspekte

Summary

The constant increase in demand of energy and industrial raw materials, leads to a need for increasing the production of renewable materials (raw materials, sources). The production of „renewable resources“ causes compared to fossil fuels higher costs. Also negative environmental effects can occur without optimizing production and transport cycles.

For the production of biofuels (ethanol, biodiesel) and biogas as well as starch mainly annual crops with high management intensity are used. Perennial crops deliver material (cellulose, lignocellulose, lignin), that is mainly used in combined heat and power plants or for material use.

These low-input perennial cultivars show long-term soil coverage with several advantages for the environment. The short rotation coppice production and „Miscanthus giganteus“ will be comprehensively described within this article.

Keywords: Renewable raw materials, perennial crops, short rotation coppice, short rotation forestry, „Miscanthus giganteus“, carbon dioxide sink, environmental aspects

Einleitung, Problemstellung und Zielsetzung

Österreich weist mit 83,878 km² Gesamtfläche für ca. 8,431 Mill. Einwohner günstigste Bedingungen für einen hohen Versorgungsgrad mit Nahrungs- und Futtermitteln sowie für einen hohen Lebensstandard der Bevölkerung auf aufgrund des großen Wald- und Erholungsflächenanteils. Durch den Waldflächenanteil von ca. 47,6 % und der großen extensiv bewirtschafteten Dauergrünlandfläche von ca. 0,9 Mio ha ist der Ackerflächen- (ca. 1,4 Mio ha) und Wirtschaftsgrünlandflächenanteil (ca. 0,9 Mio ha) relativ gering. Mit der steigenden Produktion von ‚Erneuerbarer Energie‘ und ‚Nachwachsenden Rohstoffen‘ für die stoffliche Verwertung werden die fossilen Vorräte geschont, die Abhängigkeit vom Importbedarf geringer und der Eintrag von CO₂ in die bodennahe Atmosphäre vermindert.

Aufgrund der geringen Ackerfläche und der knappen Wirtschaftsgrünlandfläche in Österreich müssen zur Deckung des steigenden Bedarfs ‚Nachwachsender Rohstoffe‘ hohe flächenbezogene Erträge und zunehmend, derzeit nicht bewirtschaftete Flächen, Grenzstandorte und Rekultivierungsflächen unterschiedlicher Art herangezogen werden. Ertragsstabilität und hohe Erträge sind bei allen landwirtschaftlichen Produktionszweigen mit hohen Kosten verbunden und durch den Preisdruck bei den Ernteprodukten ‚Nachwachsender Rohstoffe‘ sind in der Produktion verminderte Maßnahmen beim Schutz der Umwelt die Folge.

Durch den Anbau von einjährigen Feldfrüchten für die Stärke- bzw. Bioethanol-, Biodiesel- und Biogaserzeugung bzw. durch die Errichtung von Kurzumtriebsanlagen (KU – Anlage) oder Auspflanzung von Miscanthus ‚Giganteus‘

¹ Universität für Bodenkultur Wien, Department für Angewandte Pflanzenwissenschaften und Pflanzenbiotechnologie, Abteilung für Pflanzenbau, Gregor-Mendel-Straße 33, A-1180 WIEN

² Universität für Bodenkultur Wien, Department für Wald und Bodenwissenschaften, Institut für Waldbau, Peter Jordan Straße 82, A-1190 WIEN

* Ansprechpartner: A.o.Univ.Prof.Dipl.Ing.Dr.nat.techn. Peter Liebhard, peter.liebhard@boku.ac.at



Anlagen erhalten die landwirtschaftlichen Betriebe die Möglichkeit ‚Nachwachsende Rohstoffe‘ zu produzieren und in den „Non-Food“ Bereich einzusteigen. Kurzumtriebsanlagen in mittellanger Rotation für stoffliche und energetische Nutzung sowie Miscanthus Giganteusflächen stellen zukünftig den „Connecting link“ auch für Grenzstandorte und Kleinflächen zwischen einer ökologisch nachhaltigen Landbewirtschaftung und der Produktion von ‚Nachwachsenden Rohstoffen‘ auf Dauergrünland- und Ackerflächen dar.

Einjährige Fruchtarten für die Produktion ‚Nachwachsender Rohstoffe‘

Im gemäßigten Klimaraum ist bei ‚Nachwachsenden Rohstoffen‘ zur Bedarfsdeckung von Erntegütern mit spezieller Nutzung (z. B. Ethanol, Biodiesel, Stärke, ...) der Anbau von einjährigen Fruchtarten erforderlich. Meist sind für diese „spezielle Nutzung“ Feldfruchtarten erforderlich, bei denen es in der Produktion ausreichend Kenntnisse und Erfahrungen gibt. Bei einer Flächenausweitung zur Bedarfsdeckung sind keine zusätzlichen Investitionen bezüglich Maschinen, Geräte oder für die Lagerung des Erntegutes erforderlich. In Österreich werden derzeit von den nachfolgend angeführten einjährigen Fruchtarten bedeutende Anbauflächen für die Produktion ‚Nachwachsender Rohstoffe‘ bereitgestellt:

Stoffliche Nutzung:

Mais	– Stärkeproduktion
Kartoffel	– Stärkeproduktion
Körnerraps	– Öl für Verlustschmierung
Lein	– Fasernutzung, Öl – Farben und Lacke

Energetische Nutzung:

Körnermais	– Ethanol
Mais Corn-Cob	– Ethanol und Biogas
Silomais	– Biogas
Weizen	– Ethanol
Körnerraps	– Biodiesel
Sonnenblume	– Pflanzenöl als Biokraftstoff

Ausgewählte mehrjährige Fruchtarten für die Produktion ‚Nachwachsender Rohstoffe‘

Miscanthus ‚Giganteus‘ - eine leistungsfähige Kulturpflanze auf günstigen Produktionsstandorten

Miscanthus ist eine in Südostasien beheimatete relativ große Pflanzengattung aus der Familie der Süßgräser. Miscanthus ‚Giganteus‘ ist eine natürliche triploide Zufalls-Artkreuzung aus der diploiden Form *Miscanthus sinensis* und der tetraploiden Art *Miscanthus sacchariflorus*. Nur diese Zufallskreuzung, ein steriler Bastard, ist extrem leistungsfähig; alle übrigen Miscanthusarten werden weltweit vorwiegend als Zierpflanzen verwendet.

Miscanthus ‚Giganteus‘ weist einige botanische Besonderheiten auf, wie eine unterirdisch verzweigende, bewurzelnde sprossbürtige Rhizombildung mit jährlichem Austrieb. Die mögliche Nutzungsdauer wird derzeit auf bis zu 30 Jahre

geschätzt. Die jährlich neuen Triebe werden überwiegend am Ende der Rhizome kreisförmig nach außen gebildet, daher kommt es ca. ab dem achten Aufwuchsjahr zum Verkahlen in der Mitte des Horstes. Die Halme (Triebe) werden bis zu 1 cm (1,3) dick und erreichen je nach Standort- und Witterungsbedingungen eine Höhe von 0,5 bis 4,0 m. Die Blätter sind lanzettlich und an den Blatträndern scharf und schneidend ausgebildet (LIEBHARD 1993).

Miscanthus ‚Giganteus‘ ist eine Kurztagspflanze und bildet bei wärmeren Standortbedingungen jährlich im Spätsommer eine fächerförmige Rispe mit bis zu 20 cm langen glänzenden Trauben als Blütenstand. Vereinzelt werden auch Samen ausgebildet, diese sind aber steril. Als C4-Pflanze kann sie bei der Photosynthese noch bei geringer relativer Luftfeuchte CO₂ einbauen, was zu einem niedrigen Transpirationskoeffizienten führt (nur 170 bis 250 kg Wasserverbrauch/kg TM), auch der Stickstoffausnutzungsgrad ist bei dieser Pflanzenart im Vergleich zu anderen sehr hoch.

Eine Vermehrung ist nur über vegetative Pflanzenteile möglich. Meist werden 6 bis 10 cm lange Rhizomstücke oder vorgezogene Jungpflanzen aus Rhizomstücken als Pflanzgut verwendet (PUDE 1998). Bei hohem Stückzahlbedarf an Jungpflanzen ist eine Gewebekulturproduktion wirtschaftlich. Das Auspflanzen muss im Spätfrühling erfolgen. Ein Pflanzverband von 1 x 1 m ist beinahe für alle Nutzungsarten vorteilhaft (10.000 Rhizomstücke oder Jungpflanzen/ha).

Die jungen Miscanthuspflanzen sind konkurrenzschwach, weisen ein langsames Jugendwachstum auf und müssen daher im Auspflanzjahr bis in den Spätsommer gegen Un- bzw. Beikräuter geschützt werden. In sämtlichen Miscanthuspflanzenkompartimenten befindet sich eine hohe Anzahl an Silikataggregaten und daher werden die Pflanzen kaum von Schädlingen oder Krankheiten befallen (LIEBHARD 1999).

Miscanthus ‚Giganteus‘ weist einen sehr geringen Düngungsbedarf auf. Ab dem Spätsommer wird ein Teil der in den oberirdischen Pflanzenteilen enthaltenen Nährstoffe wieder in die unterirdischen Wurzel-Rhizome rückverlagert.

Die optimale **Nutzungsdauer** ist regional unterschiedlich und kann bei günstigen Bedingungen bis zu 30 Jahre andauern. In der Etablierungsphase (ca. 2 Jahre) werden erst im zweiten Vegetationsjahr TM-Erträge über 10 t/ha erreicht. Ab der **Hauptnutzungsphase** (ca. 15 Vegetationsperioden) können je nach Standort- und Witterungsbedingungen zwischen **15 und 20 t TM/ha** geerntet werden. Hohe Erträge werden auf warmen Standorten mit Ø Jahresniederschlägen ab 750 mm erreicht. In der Nachnutzungsphase (0 bis 10 Vegetationsperioden) verringert sich die Halmzahl/m² und dadurch kommt es zu einer stetig abnehmenden Ertragsleistung. Damit der Boden auf einem hohen Fruchtbarkeitsniveau erhalten bleibt, ist eine nettonährstoffbezugsbezogene Düngung erforderlich. Wie in *Tabelle 1* angeführt, werden durch das Erntegut hohe Kalium-, geringe Kalk- und sehr geringe Stickstoff- und Phosphatmengen abgeführt.

Der **Erntetermin** und auch die **Erntetechnik** sind bei Miscanthus ‚Giganteus‘ von der Verwertung des Erntegutes abhängig. Die höchsten Biomasseerträge werden im Spätherbst geerntet. Zu diesem Zeitpunkt befindet sich noch ein Großteil der Blätter am Stängel. Der Wassergehalt des Erntegutes liegt bei einer Vorwinterernte meist um die 50 %

Tabelle 1: Ø Mineralstoffgehalte in kg/t TM und Spurenelementgehalt in mg/kg TM, Miscanthus ‚Giganteus‘ Erntegut im Vergleich zu Getreidestroh

Mineralstoff		Getreidestroh	Miscanthus ‚Giganteus‘
Stickstoff	N	4,40	2,80
Phosphor	P ₂ O ₅	2,70	1,90
Kalium	K ₂ O	7,20	5,8 bis ca. 22,00
Calcium	CaO	5,60	3,40
Magnesium	MgO	0,80	0,80
Blei	Pb	2,92	1,75
Cadmium	Cd	0,12	0,16
Chrom	Cr	0,49	0,62
Kupfer	Cu	2,91	1,92
Nickel	Ni	0,04	0,98
Quecksilber	Hg	0,03	0,02
Zink	Zn	24,00	19,00

(und darüber). Über den Winter fällt ein Großteil der Blätter ab (ca. 15 % Ertragsverminderung) und der Wassergehalt im Erntegut vermindert sich bis Ende März meist auf ca. 20 %. Bei hohen Weichschneemengen im Frühwinter kommt es zum Knicken des Bestandes und zu einer Verminderung des Trocknungsvorganges (höhere Erntekosten und zusätzliche Ertragsverminderung). Die Schnitthöhe soll bei der Ernte möglichst tief liegen – 10 bis maximal 15 cm. Bei hoher Schnitthöhe vermindert sich der Ertrag und nachfolgend kommt es zu einer Beschattung der jungen Triebe mit negativen Folgen (HEATON et al. 2004, LIEBHARD et al. 2010).

Meist wird mit einem reihenunabhängigen Silomaishäcksler geerntet. Die Häcksellänge richtet sich nach der Verwertung des Erntegutes und beträgt meist 2 bis 3 cm. Bei längerem Häckselgut vermindert sich das Schüttgewicht und es kommt zu vermehrten Verstopfungen bei Förderschnecken. Ein absetziges Ernteverfahren mit Mahd-Schwadlegen und nachfolgend in Ballen pressen ist meist von Nachteil, da es durch die meist noch vorhandene Mulchauflage zu einer starken Verschmutzung des Erntegutes kommt. Die Ganzpflanzenernte mit Mähvorsatz und Quader-Großballenpresse vermindert die Transportkosten und den Lagerraumbedarf. Ein Zerkleinern der Ballen vor der Verarbeitung des Erntegutes ist aber meist notwendig.

Bei einer thermisch-energetischen Verwertung ist die Rückführung der Asche auf das Feld vorteilhaft. In Abhängigkeit der Witterung im Spätherbst und Winter werden bei Miscanthus Giganteus' wesentliche Mineralstoffmengen, vor allem bei Kalium, entzogen.

Holzproduktion im Kurzumtrieb

Die Holzproduktion im Kurzumtrieb ist eine mehrjährige Nutzungsform von Ackerflächen. Gem § 1a Abs 5 ForstG 1975 ist eine Rotationsdauer von höchstens 30 Jahren möglich. Nach der INVEKOS-CC-V 2010 des BMLFUW sind Weiden (*Salix* sp.), Pappeln (*Populus* sp.), Robinie (*Robinia pseudacacia*), Grauerle (*Alnus incana*), Schwarzerle (*Alnus glutinosa*), Esche (*Fraxinus*) und Birke (*Betula* sp.) hierfür geeignete Baumarten (DEIM et al. 2010). In Österreich kommen derzeit spezielle Klone bzw. Sorten von Pappeln, Weiden und Robinien zum Einsatz. Zeitgemäße Anlagen zur Holzproduktion im Kurzumtrieb

werden bei energetischer Verwertung im zwei- bis fünfjährigen Umtrieb und im fünf- bis fünfzehnjährigen Umtrieb bei stofflicher Verwertung geführt. Durch intensive züchterische Bearbeitung wurden die Wiederaustriebsfähigkeit und die jährliche Zuwachsleistung wesentlich erhöht. Die wirtschaftliche Nutzungsdauer konnte bei einigen Klonen auf fünf bis zehn Umtriebe erhöht werden. Meist steigt die Ertragsleistung vom ersten bis zum dritten Umtrieb an, bleibt bis zum fünften weitgehend stabil und fällt ab dem sechsten Umtrieb wieder ab. Der Pflanzverband muss je nach Baumart, der geplanten Umtriebszeit und je nach Nutzungsart ausgerichtet werden. Bei Strauchweiden sind mit einem doppelreihigen Pflanzverband, bei den übrigen Baumarten für den Kurzumtrieb mit einreihigen Beständen höhere Zuwächse erreichbar. Bei einreihigen Pflanzverbänden richtet sich der Pflanz- und Reihenabstand nach der gewählten Baumart und der Sorte sowie der geplanten Umtriebszeit. Zur Ausschöpfung des Ertragspotentials und einer kostengünstigen Ernte werden meist Pflanzverbände mit einem Fahrgassenabstand von drei Metern und einem Abstand in der Reihe von 0,5 bis 2,0 Metern gewählt. Die Ernte kann auf verschiedene Art erfolgen. Bei kurzer Rotationszeit mit bis zu fünf Jahren Umtriebsdauer ist eine einphasige vollmechanisierte Ernte mittels eines speziellen Feldhäckslers und eines adaptierten Schneidvorsatzgerätes möglich. Das Erntegut fällt in Form von Hackgut an. Die Ernte erfolgt ausschließlich bei Safruhe im Winter bei tragfähigem (gefrorenem) Boden. Der hohe Wassergehalt im Erntegut (zwischen 50 bis 65 %) weist Nachteile auf. Ein Trocknen des Häckselgutes erfordert spezielle Trocknungsanlagen und verursacht hohe Kosten. Häufig wird das erntefeuchte Hackgut mit trockenem vermisch. Durch ein absetziges Ernteverfahren, – Stamm- und oder Ganzbaumernte und Lagerung, Hackung zu einem späteren Zeitpunkt – kann der Wassergehalt bei einer wettergeschützten Lagerung über mehrere Monate auf bis zu 30% gesenkt werden. Erntegut mit unter 30 % Wassergehalt ist in kleinen bis mittelgroßen Feuerungsanlagen problemlos einsetzbar. Unabhängig vom Ernteverfahren ist bei der Ernte besonders auf die Qualität des Fallschnittes zu achten. Nur bei einem nicht fransenden Schnitt und **keiner Kambium-einreißenden Verletzung** des Wurzelstockes ist eine hohe Wiederaustriebsrate in den nächsten Vegetationsperioden gesichert. Ein glatter Fallschnitt vermindert wesentlich den Infektionsgrad mit Stockpilzen des verbleibenden Stockes. Das anfallende Hackgut bei einem einphasigen Ernteverfahren weist meist einen Wassergehalt von 55 – 60 % auf und muss zum Schutz vor einem starken Energieabbau einer unmittelbaren Trocknung zugeführt werden.

Tabelle 2 zeigt eine Ertragsschätzung für die Hackgutproduktion im Kurzumtrieb bei praxisüblicher Bewirtschaftungsintensität für drei unterschiedliche Produktionsgebiete, die für einen Großteil der landwirtschaftlich bewirtschafteten Flächen in Österreich repräsentativ sind.

In gehacktem Zustand ist Kurzumtriebserntegut zwar leicht manipulierbar, braucht im Verhältnis zur Energiedichte (bei einem Wassergehalt zwischen 20 und 60 %) ein sehr hohes Transportvolumen. Deshalb soll die Verwertung im Umkreis von 10 bis 30 km vom Produktionsort entfernt erfolgen.

Tabelle 2: Ertragserwartung für die Hackgutproduktion im Kurzumtrieb bei Pappel und Weide in t TM je ha/Jahr für 6 Umtriebe in 3 Produktionsgebieten Österreichs (LIEBHARD 2007)

Umtrieb	auf Grenzertragsböden ca. Ertrag t TM ha/Jahr	Standort - Produktionsraum für semiaride oder kühle Lagen ca. Ertrag t TM ha/Jahr	für semihumide oder günstige Lagen ca. Ertrag t TM ha/Jahr
1. Umtrieb	7,00	10,00	12,00
2. Umtrieb	8,00	11,00	14,00
3. Umtrieb	8,00	11,00	14,00
4. Umtrieb	7,20 -10 % zu 1. bis 3. Ernte	9,90 -10 % zu 1. bis 3. Ernte	12,60 -10 % zu 1. bis 3. Ernte
5. Umtrieb	6,40 -20 % zu 1. bis 3. Ernte	8,80 -20 % zu 1. bis 3. Ernte	11,20 -20 % zu 1. bis 3. Ernte
6. Umtrieb	6,00 -25 % zu 1. bis 3. Ernte	8,25 -25 % zu 1. bis 3. Ernte	10,50 -25 % zu 1. bis 3. Ernte
	ca. 7,00 t TM ha/Jahr	ca. 10,00 t TM ha/Jahr	ca. 12,00 t TM ha/Jahr

Gegenüberstellung ökologischer Aspekte von einjährigen und ausdauernden Fruchtarten für die Produktion ‚Nachwachsender Rohstoffe‘

Die Basis zur Sicherung hoher flächenbezogener Erträge liegt in der Optimierung der standortbezogenen Produktionsfaktoren. Die Ergebnisse bezüglich Ertragsleistung zeigen, dass entgegen der Erwartung die **einjährigen Fruchtarten** – auch bei ausgewählten Sorten – im hohen Maß vom jeweiligen Jahreswitterungsverlauf in den kritischen Phasen (Mais, Getreide z.B. EC 21 bis EC 55, Kartoffel, Zuckerrübe) abhängig sind. Bei langandauernder Frühjahrstrockenheit wird bei Fruchtarten mit Sommererntetermin das Kornertragsmaximum (z. B. Winterkörnerapps, Getreide) auch bei niedrigen Düngergaben (z. B. W-Weizen bei 60 bis 80 kg Stickstoff ha⁻¹) erreicht.

Die erzielbare Ethanolmenge aus Weizen ist vom Stärkegehalt, welcher mit dem Proteingehalt negativ korreliert, abhängig ($r = 0,77^*$ bis $0,90^*$). Weiters sind noch die Stärkebeschaffenheit, der Anteil vergärbare Stärke und die Kornausbildung sowie weitere unbekannte Faktoren entscheidend (OBERFORSTER und KÖHLDORFER 2007). Neben dem Jahreswitterungs- und Standorteinfluss sowie verschiedenen Wechselwirkungen ist die Sorte für die Höhe des flächenbezogenen Ertrages entscheidend (DIN EN ISO 1997) DIN EN ISO 14040 (1997).

Einjährige Fruchtarten erfordern durch die jährliche Bestandesgründung zur Produktion von „Nachwachsenden Rohstoffen“ eine zwar unterschiedlich intensive, aber jährliche Bearbeitung des Bodens. Die zum Teil späte Saat im Frühjahr mit den weiten Reihenabständen führt in der Folge zu einer höheren Erosion durch Wind und Wasser. Die hohen Ertragsanforderungen erfordern meist auch eine intensive Unkrautbekämpfung bzw. Beikrautregulierung und eine der Ertragserwartung entsprechende Düngung. Bei einem Großteil der einjährigen Fruchtarten ist zur Ertragssicherung von „Nachwachsenden Rohstoffen“ ein steigender Pestizideinsatz zur Bekämpfung der Krankheiten und tierischen Schädlinge erforderlich (Körnerapps, Mais, Zuckerrübe, Kartoffel, ...).

Von den **ausdauernden Fruchtarten für die Produktion ‚Nachwachsender Rohstoffe‘** werden die Holzproduktion im Kurzumtrieb und Miscanthus ‚Giganteus‘ angeführt. Generell erfordern ausdauernde Fruchtarten weniger jährliche Kultur- und Pflegemaßnahmen.

Die **„Holzproduktion im Kurzumtrieb“** wirkt sich vielfältig und großteils vernetzend auf die Umwelt aus. Ein großflächiger Anbau (Monokultur) mit meist nur zwei Baumarten und wenigen Sorten bzw. Klonen führt zu erhöhten Risikofaktoren. Meist kommt es zu einer Vernetzung und Vergesellschaftung mit dem benachbarten Waldgefüge. Zur Verminderung von biotischen und abiotischen Schadwirkungen müssen dem Standort angepasste Baumarten und Klone ausgepflanzt werden (GYURICZA und LIEBHARD 2011). In ausgeräumten Kulturlandschaften und in Regionen mit geringem Waldanteil ($\leq 25\%$) übernehmen ökologisch gut geführte Kurzumtriebsanlagen teilweise die Waldfunktion. Das Auspflanzen einer Anlage, aber im Besonderen die Beerntung soll in Teilflächen, in einer Anzahl in Abhängigkeit von der Länge der Umtriebszeit, erfolgen.

Die Düngerbedürftigkeit von Kurzumtriebsflächen ist im Vergleich zu Acker- und Wiesenbeständen gering. Durch den jährlichen Laubfall und die meist vollständige Mineralisierung im Folgejahr kommt es zu einer ausreichenden biologischen Aktivität und Nährstofffreisetzung in der Krume. Bei einem mittleren Nährstoff-Versorgungsgrad im Ober- und Unterboden (Versorgungsstufe C) ist bei der Düngung nur der Nettonährstoffentzug durch das Erntegut zu ersetzen.

Bei Verbrennung des Erntegutes soll die anfallende Rost- und Feinflugasche unter Berücksichtigung der Richtlinie zur Aschedüngung (2010) wieder rückgeführt werden.

Die Ascherückführung soll in den Erntejahren auf den abgeernteten Flächen in Form von Aschekompost erfolgen. Ein Großteil der erforderlichen Düngernährstoffe, außer Stickstoff, kann in einem teilgeschlossenen Kreislauf geführt werden (LIEBHARD et al. 2009).

Durch das Bepflanzen der Abstandsflächen zu Nachbargrundstücken und von Randreihen mit speziellen Stauden und Baumarten kann die Biodiversität bei Käfern, Faltern,

Tabelle 3: Weidengrobasche (= Rostasche) - Ø Elementgehalt in Gewichtsprozent bzw. in mg/kg Trockenasche (Mittelwert aus vier Ernten, Winterernte, 3-jährige Rotation, erster und zweiter Umtrieb, Standort Groß Enzersdorf und Gießhübl/Amstetten, Niederösterreich)

Elementgehalt in Gewichtsprozent bzw. mg/kg																
P ₂ O ₅ %	K ₂ O %	CaO %	MgO %	SiO ₂ %	S %	Na %	Fe mg/kg	Mn mg/kg	Cu mg/kg	Zn mg/kg	Mo mg/kg	B mg/kg	Cd mg/kg	Pb mg/kg	Hg mg/kg	
3,28	6,8	40,4	4,8	(25,0)	0,55	0,08	930	n.b.	98	420	2,90	3,80	4,80	5,20	<0,2	
0,23	0,60	4,90	0,99	---	0,4	0,03	817	615	18	68	3	8	1,00	27,00	0,10	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
6,42	15,6	47,1	7,30	---	1,1	0,5	22000	31000	780	6.000	250	542	26,00	127,00	4,90	

Tabelle 4: Gehaltswerte und ausgewählte Bodenparameter nach 10-jähriger unterschiedlicher Düngung; Versuchswirtschaft der Universität für Bodenkultur Wien in Groß Enzersdorf

Düngungsvariante	pH-Wert (CaCl ₂)		Calciumcarbonat		Phosphor (P): CAL		Kalium (K): CAL		Humusgehalt %	
	Oberb	Unterb	Oberb	Unterb	Oberb	Unterb	Oberb	Unterb	Oberb	Unterb
0-Parzelle	7,4	7,6	25,7	24,7	95	62	132	56	2,5	1,3
Phosphat-Kalium (Sulfat)	7,3	7,5	25,1	26,1	88	68	184	104	2,6	1,5
Phosphat-Kalium (Chlorit)	7,3	7,5	24,3	25,7	95	76	194	109	2,7	1,5
Asche	7,4	7,5	24,5	27,1	94	90	132	48	2,9	1,6
2 x Asche	7,4	7,5	25,3		99	88	151	70	2,7	1,4
Kompost	7,4	7,5	24,6	27,5	98	96	134	64	3,0	1,7

Schnecken... und auch bei Wildtierarten (z. B. Rebhuhn) wesentlich erhöht werden. Bei der Auswahl der Stauden und Bäume ist zu beachten, dass sie keine bevorzugten Nistplätze und Zwischenwirte für bedeutende Krankheiten (Pilzbefall) und Schädlinge sind (LIEBHARD et al. 2011). Eine Rückführung der Kurzumtriebsbestandsflächen mit einer Stockfräse in landwirtschaftliche Nutzfläche ist problemlos möglich (GROSZE et al. 2010).

Bei Einsatz florenfremder Kulturarten mit ausdauernden Kulturarten sind bei der Produktion „Nachwachsender Biomasse“ die regional standortbezogenen Ergebnisse zur Ertragssicherung und deren ökologische Beurteilung von besonderer Bedeutung.

Bei Gegenüberstellung mit anderen Fruchtarten in die Produktion „Nachwachsender Rohstoffe“ ist hervorzuheben, dass Miscanthus ‚Giganteus‘ mehrfache Vorteile in der Einsparung von Produktionsmitteln aufweist. Hervorzuheben ist der geringe N-Düngerbedarf und die hohe Stickstoffeffizienz (bezogen auf kg gebildeter TM).

Mit den hohen Biomasseerträgen bei **Miscanthus ‚Giganteus‘** werden in Abhängigkeit vom Witterungsverlauf im Herbst und Winter teilweise sehr hohe Kaliummengen abgeführt, die bei der nachfolgenden Düngerbemessung zu berücksichtigen sind. Aufgrund der fehlenden Bodenbearbeitung ist bei Dauerkulturen die Frostgare für die Aggregatbildung und die Erhaltung eines ausreichenden Porenanteils entscheidend. Bei Miscanthus ‚Giganteus‘ kommt es durch die hohe Mulchaufgabe nur zu einer verminderten oder gar keiner Frostgare im Winter. Nach mehrjähriger Nutzung sind daher bei Miscanthus im Oberboden eine Zunahme der Lagerungsdichte und Abnahme des Grobporenanteils zu erwarten, die bei der Rückführung der Fläche in Acker- oder Grünland zu berücksichtigen sind.

Erfahrungsgemäß sind bei Miscanthus ‚Giganteus‘ im semihumiden und semiariden Ackerbaugesamt mittelschwere humose Böden für eine langzeitige Nutzung vorteilhaft.

Die auf Feldversuchen erzielten Ergebnisse im semiariden Klimagebiet (auf sandigem lehmigem Schluff) zeigen, dass Böden dieser Art für Miscanthus problematisch bezüglich Verbesserung der natürlichen Bodenfruchtbarkeit sind.

Eine umfassende Bewertung bezüglich Umweltschutz und Ökologie bei Miscanthus ‚Giganteus‘ ergibt sowohl bei der stofflichen als auch bei der energetischen Verwertung einen hochwertigen „Nachwachsenden Rohstoff“. Bei speziellen Heizungsanlagen kommt es zu einer Reduzierung der CO₂ Abgabe um mindestens 300 g CO₂-Äq/kWh gegenüber einer Ölheizung. Bei Einsatz einer Kraft-Wärmekopplung mit Stromerzeugung erhöht sich die verminderte CO₂ Freisetzung auf 1 000 g CO₂-Äq/kWh. Die höchste Effizienz ist bei der BtL-Kraftstoffproduktion zu erwarten.

Bei Verbrennung von Miscanthus ist nach Rückführung der Rost- und Zyklonasche mit Ausnahme von Stickstoff ein beinahe geschlossener Nährstoffkreislauf möglich.

Bei einer Asche- oder auch Kompostdüngung erhöht sich der Humusgehalt im Oberboden in einer zehnjährigen Anlage um bis zu 25 %.

In der ökologischen Bewertung überwiegen die positiven Umweltwirkungen. Während der vegetationsfreien Zeit ist der 2,5 bis 3 m hohe Miscanthus ‚Giganteusbestand‘ landschaftsprägend. Die Miscanthusbestände sind ein hochwertiger Ersatz für Kurzumtriebsflächen und sie bieten zwischen November und Ende März einen attraktiven Einstand bzw. Unterschlupf für Schwarz-, Rot- und Niederwild. Auch erdhöhlenbauende Kleinsäuger (Dachs, Fuchs,...) und Bodenbrüter sind häufig anzutreffen. Im Vergleich zum Ackerbau und zur intensiven Grünlandbewirtschaftung kommt es bei der Produktion von Miscanthus ‚Giganteus‘ nur zu einer extensiven Bodennutzung (LIEBHARD et al. 2010).

Zusammenfassung

Aufgrund der stetigen Bedarfssteigerung bei ‚Nachwachsenden Rohstoffen‘ und der speziellen Verwertung

sind sowohl einjährige als auch ausdauernde Frucht- bzw. Kulturarten erforderlich. Bei Berücksichtigung einiger produktionstechnischer Maßnahmen bezüglich Umweltschutz wird es möglich, eine Vernetzung einer ökologisch nachhaltigen Landbewirtschaftung und der zunehmenden Ausweitung der Energie- und Rohstoffproduktion auf landwirtschaftlich bewirtschafteten Flächen zu erreichen. In Österreich konkurrieren ‚Nachwachsende Rohstoffe‘ um Acker- und Wirtschaftsgrünlandflächen mit der Nahrungs- und Futtermittelproduktion. Daher ist es im Vergleich zu anderen europäischen Ländern noch wichtiger, auch für die Produktion von ‚Nachwachsenden Rohstoffen‘ die Produktionsmaßnahmen bei den jeweiligen Kulturarten für eine erforderliche Ertragshöhe mit Ertragssicherung zu optimieren und derzeit extensiv bewirtschaftete oder nicht genutzte Flächen in die Produktion einzubinden.

Einjährige Fruchtarten bringen bei entsprechender Bewirtschaftungsintensität sehr hohe Erträge mit hoher Qualität für die Verarbeitung. Sie benötigen aber auch entsprechend hohe Aufwendungen bezüglich Bodenbearbeitung, Düngung und Pflanzenschutzmaßnahmen. Bei Einbindung von Hanglagen sind die Böden im Besonderen wassererosionsgefährdet.

Die ausdauernden Kulturen ‚Holzproduktion im Kurzumtrieb‘ und *Miscanthus ‚Giganteus‘* zeigen meist eine positive landschaftsgestalterische Wirkung und tragen vor allem in einer waldarmen Region wesentlich zur Vernetzung des Lebensraum-Verbundsystems bei. Vielerorts erhöhen sie den Erholungswert einer Region und tragen zur Erhöhung der Biodiversität einer Landschaft bei. Auf Grenzflächen sichern sie das Offenhalten der Landschaft vor Verbuschung. Durch das geringe Düngungsbedürfnis dieser Kulturarten und den meist wenigen Pflanzenschutzmaßnahmen bei ganzjähriger Bodenbedeckung ist der Boden- (Wind- und Wassererosion) und Wasserschutz (Grundwasser, Steh- und Fließgewässer) im Vergleich zu anderen Bodennutzungsformen meist in einem höherem Ausmaß gewährleistet. Ein Großteil der Kurzumtriebs- und *Miscanthus*bestände ergeben ein neues bzw. zusätzliches Rückzugsgebiet für Wildtiere. In den Kurzumtriebsflächen mit jährlicher Teilflächenbeerntung entstehen zusätzlich Brutplätze und Aufzuchtträume für verschiedene Vogelarten.

Die positiven ökologischen Effekte bei der ‚Holzproduktion im Kurzumtrieb‘ und bei *Miscanthus ‚Giganteus‘* ergeben sich im Vergleich zu einjährigen Pflanzenarten durch die langanhaltend hohen Erträge bei geringem Aufwand an Dünger und Pflanzenschutzmaßnahmen. Diese ‚Low-Input Produktion‘ ergibt während der gesamten Nutzungsdauer keinen Kohlenstoffeintrag in die bodennahe Atmosphäre und eine hohe Effizienz der eingestrahlten Sonnenenergie bei der Bindung von CO₂.

Literatur

- DEIM, F.S., E.R. GROISS und P. LIEBHARD, 2010: Rechtliche Vorgaben für die Produktion nachwachsender Rohstoffe (NAWAROS) in Österreich und der Europäischen Union. 65. ALVA-Tagung Wels, Tagungsbericht. Hrsg. Arbeitsgemeinschaft für Lebensmittel-, Veterinär- und Agrarwesen (ALVA), 112-114.
- DIN EN ISO 14040, 1997: Umweltmanagement. Ökobilanz – Prinzipien und allgemeine Anforderungen.
- GROSZE, W., L. BÖCKER, D. LANDGRAF und V. SCHOLZ, 2010: Rückwandlung von Plantagenflächen in Ackerland. In: Bemman, A./ Knust, C.: Agrowood Kurzumtriebsplantagen in Deutschland und europäische Perspektiven. Weißensee Verlag.
- GYURICZA, C. und P. LIEBHARD, 2011: Ausgewählte Sanierungsmethoden für schwermetallbelastete Böden. In: Arbeitsgemeinschaft für Lebensmittel-, Veterinär- und Agrarwesen, Landwirtschaft, Lebensmittel und Veterinärmedizin - Zukunft der Forschung in Österreich, ISSN 1606-612X, [ALVA Jahrestagung, Graz, 23-24 Mai, 2011]; 184-186.
- HEATON, E.A., J. CLIFTON-BROWN, T.B. VOIGT, M.B. JONES and S.P. LONG, 2004: *Miscanthus* for renewable Energy generation: European Union Experience and Projections for Illinois. Mitigation and Adaption Strategies for Global Change. Kluwer Academic Publishers, Netherlands. 9, 433-451.
- LIEBHARD, P., 1993: *Miscanthus sinensis* ‚Giganteus‘ Erneuerbare Biomasse als Brenn- und Industrierohstoff. Ergebnisse von 1 bis 4-jährigen Beständen in Österreich. Ergänzungsbericht – Forschungsbericht Nr. L 574/89 Pflanzenbauliche Versuche zur Produktion von Alternativpflanzen als Rohstoff für eine industrielle Verarbeitung. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft Wien. 1-91.
- LIEBHARD, P., 1999: *Miscanthus ‚Giganteus‘* und Getreideganzpflanzen für die Thermische Nutzung. Forschungsprojekt L 0931/94 und NE 78/F - Bericht. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft Wien und Amt der Niederösterreichischen Landesregierung St. Pölten, 1-286.
- LIEBHARD, P., K. REFENNER, H. WAGENTRISTL und C. ZEITLHOFER, 2009: Asche- und Kompostdüngung zur Schließung von Nährstoffkreisläufen bei der Produktion nachwachsender Rohstoffe in Österreich – *Miscanthus Giganteus*. Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 21, 83-84.
- LIEBHARD, P., C. KNUST and F. DEIM, 2010: Production of Renewable Raw material with perennial Crops – Short Rotation Coppice and *Miscanthus Giganteus* – and their Interaction with Ecosystems. Proceedings of the Second Conference: Modern Technologies and Biotechnologies for Environmental Protections. Lucian Blaga University of SIBIU. Department of Agricultural Sciences and Environmental Protection. 102-111.
- LIEBHARD, P., F. DEIM, R.E. GROISS, K. REFENNER und E. HOCHBICHLER, 2011: Ausgewählte ökologische Aspekte in der Hackgut- und Holzproduktion im Kurzumtrieb in Österreich.
- OBERFORSTER, M. und R. KÖHLDORFER, 2007: Genetische und umweltbedingte Variation des Stärkegehaltes von Weizen und Triticale in Hinblick auf die Bioethanolherzeugung. Bericht über die 58. Tagung der Vereinigung der Pflanzenzüchter und Saatgutkaufleute Österreichs, 105-109.
- PUDE, R., 1998: Die Winterfestigkeit von *Miscanthus* in der Etablierungsphase. Bonn, Wehle.