



Heimische Pflanzenarten und deren Eignung als Energie- und Rohstoffpflanzen

Dr. Helmar Prestele

Straubing, Juli 2007

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei dem Autor.

© 2007

Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwuchsende
Rohstoffe, Straubing

Hrsg.: Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwuchsende
Rohstoffe,
Schulgasse 18, 94315 Straubing
Email: poststelle@tfz.bayern.de
Internet: www.tfz.bayern.de

Erscheinungsort: Straubing
Erscheinungsjahr: 2007

Zusammenfassung

Ausgehend von der Entwicklung des globalen Energiebedarfs und den Prognosen für dessen Verfügbarkeit ist bei fossiler Energie ab dem Jahr 2025 und bei Atomenergie ab dem Jahr 2030 mit einem Rückgang der Vorräte zu rechnen, während gleichzeitig der weltweite „Hunger“ nach Energie steil nach oben steigt. Dieser Mehrbedarf kann nach heutiger Kenntnis nur mit erneuerbaren Energien abgedeckt werden. In diesem Energiemix können die nachwachsenden Rohstoffe ihren Beitrag leisten.

Prinzipiell können alle in unserer Kulturlandschaft angebauten Acker- und Grünlandkulturen, welche für die tierische und/oder menschliche Ernährung geeignet sind, alternativ auch als nachwachsende Rohstoffe (NR) Verwendung finden.

Für die Eignung als NR zur energetischen Verwertung ist ein möglichst hoher Ertrag an Trockenmasse pro Flächeneinheit zu fordern, für die stoffliche und energetische Verwertung ist auch die möglichst hohe Konzentration eines Wirkstoffes oder wertgebenden Inhaltsstoffes mit die Voraussetzung für eine erfolversprechende Verwendung einer Pflanzenart als NR. Im Vortrag werden die Energiepflanzen, je nach ihrer Eignung, in vier Gruppen eingeteilt, Öle als Kraft- und Schmierstoffe, Wärme und Strom aus Biomasse, Ethanol aus Zucker und Stärke, Ethanol und Synfuel aus lignozellulosehaltiger Biomasse. Besonderer Schwerpunkt wird auf die Erzeugung von Wärme und Strom aus Biomasse gelegt. Anhand von Beispielen wird das Ertragspotential verschiedener Kulturarten im Reinanbau wie z.B. Getreide, Mais, Ölpflanzen, Hackfrüchten, Sorghumhirse aber auch verschiedene Arten, welche gleichzeitig auf einer Fläche (Mischfruchtanbau) angebaut werden, vorgestellt. Zur Optimierung des Jahresertrages werden mögliche Fruchtfolgen aufgezeigt. Ebenso wird auf die Ertragsleistung von mehrjährigen Arten wie z.B. Chinaschilf eingegangen. Mit einem Ausblick auf neue Technologien, wie z.B. Verflüssigung von fester Biomasse (BtL), werden zukünftige mögliche Perspektiven erörtert.

1. Einleitung

Im Zuge der Technisierung in der Landwirtschaft wurden bis dahin die für Zugtiere benötigten Flächen freigesetzt und standen für die Nahrungs- und Futtermittelproduktion zur Verfügung. Durch kontinuierliche, produktionstechnische Fortentwicklungen und Leistungssteigerungen durch Züchtungsfortschritt in der pflanzlichen und tierischen Produktion kam es sowohl zu regionaler wie auch produktbezogener Überversorgung der Märkte. Durch Kontingentierung (z.B. Milch, Zuckerrübe) und der Einführung von Ackerstilllegungsflächen wurde versucht, die Warenströme besser an Angebot und Nachfrage anzupassen. Zusätzlich führten steigende Energiepreise wieder zur Rückbesinnung auf frühere Zeiten, wo die Energieversorgung der Zugtiere vom eigenen Acker erfolgte. Das Wissen um die Endlichkeit fossiler Rohstoffe schwebt wie ein Damoklesschwert über der Menschheit. Erst unter dem Eindruck der ersten drastischen Ölpreissteigerungen in den Jahren ab 1970 begann man, sich wieder mit der Produktion von Biomasse außerhalb des Nahrungsbereichs zu befassen. In einer Studie von Shell wird prognostiziert, dass ausgehend von der derzeitigen Entwicklung des globalen Energiebedarfs, einschließlich der Dritt- und Schwellenländer, und der Verfügbarkeit an fossilen Rohstoffen, bei fossiler Energie ab dem Jahr 2025

und bei Atomenergie ab dem Jahr 2030 mit einem Rückgang der Vorräte zu rechnen ist. Gleichzeitig steigt der weltweite „Hunger“ nach Energie steil nach oben an. Dieser Mehrbedarf kann nach heutiger Kenntnis nur mit erneuerbaren Energien abgedeckt werden. In diesem Energiemix können die Nachwachsenden Rohstoffe (NR) ihren Beitrag leisten. Bundesweit werden von den 12 Millionen Hektar Ackerfläche bereits 1,6 Mio. ha als NR angebaut (=13 %). Bis zum Jahr 2030 sind 2,5 – 3 Mio. ha als NR prognostiziert.

2. Energiepflanzen

Werden Pflanzen als NR angebaut, so können diese, je nachdem ob sie für die thermische Verwertung, für die Biospritherstellung oder für die Produktion von Biogas vorgesehen sind, eingeteilt werden in die Blöcke

- Öle als Kraft- und Schmierstoffe
- Wärme und/oder Strom aus Biomasse
- Ethanol aus Zucker und Stärke (alkoholische Gärung)
- Ethanol, Syn (Sun)-fuel aus lignocellulosehaltiger Biomasse (LCB-/BtL-Biokonversion)

Besonderer Schwerpunkt wird auf die zweite Gruppe, auf die Erzeugung von Wärme und Strom aus Biomasse, gelegt. Prinzipiell können alle in unserer Kulturlandschaft angebauten Acker- und Grünlandkulturen, welche für die tierische und/oder menschliche Ernährung geeignet sind, alternativ auch als Nachwachsende Rohstoffe (NR) Verwendung finden. Für die Eignung als NR zur energetischen Verwertung ist ein möglichst hoher Ertrag an Trockenmasse pro Flächeneinheit zu fordern, für die stoffliche und energetische Verwertung ist auch die möglichst hohe Konzentration eines Wirkstoffes oder wertgebenden Inhaltsstoffes mit die Voraussetzung für eine erfolgversprechende Verwendung einer Pflanzenart als NR.

2.1 Öle als Kraft- und Schmierstoffe

In der ersten Gruppe der Öle als Kraft- und Schmierstoffe sind nur Pflanzenarten mit Fettsäuren enthalten. Der Winterraps nimmt hier die dominierende Stellung ein. Aus Fruchtfolgegründen ist nach Abzug von Sonder- und Dauerkulturen ein Fruchtfolgeanteil von 20 bis maximal 25 % der limitierende Faktor. Von den heimischen Ölpflanzen hat nur noch die Sonnenblume regionale Bedeutung. Leindotter, Lein, Hanf und die aus dem Heil- und Gewürzpflanzenanbau bekannten Arten wie Koriander, Ringelblume, Fenchel und Petersilie werden in begrenztem Umfang zu Spezialölen verarbeitet. Die Reihenfolge der Wertschöpfung nimmt von der Verwertung als Nahrungsmittel über den stofflichen Bereich zum mobilen Einsatz ab.

2.2 Wärme und/oder Strom aus Biomasse

Im zweiten Block, der Erzeugung von Wärme und Strom aus Biomasse, sind vorrangig die landwirtschaftlichen Kulturen angesiedelt, welche in Mitteleuropa heimisch sind. Sie enthalten an wertgebenden Inhaltsstoffen Kohlenhydrate, Fette und Eiweiß in unterschiedlichen Konzentrationen. Darunter fallen Getreide, Mais, Ölpflanzen, Hackfrüchte und der Feldfutterbau einschließlich Grünland. Als Co-Substrat werden sie zur Zeit vorrangig in Biogasanlagen zur Erhöhung des Methanertrages verwendet. Bei der direkten thermischen Verwertung können technische Probleme wie z.B. erhöhte Feinstaubanteile im Abgas oder Schlackenbildung wegen niedrigerer Ascheschmelzpunkte auftreten. Auch muss die Bauart der Feststoffbrenner an die unterschiedliche Biomasse angepasst sein. Holz aus dem Wald oder aus Schnellwuchsplantagen ist die bessere und einfacher zu handhabende Alternative.

In Abbildung 1 ist der Methanertrag in m^3/t organischer Trockenmasse verschiedener Kulturarten aufgezeigt, in Abbildung 2 der gesamte Methanertrag in m^3/ha . Dabei fällt deutlich auf, dass sich die pro Kubikmeter erzeugten Methanerträge nur um den Faktor zwei unterscheiden (Abb. 1 Markstammkohl zu Futterrüben einschl. Blätter), während der Methanertrag pro ha bis zum fünf-fachen differiert (Abb. 2 Raps zu Futterrüben einschl. Blätter).

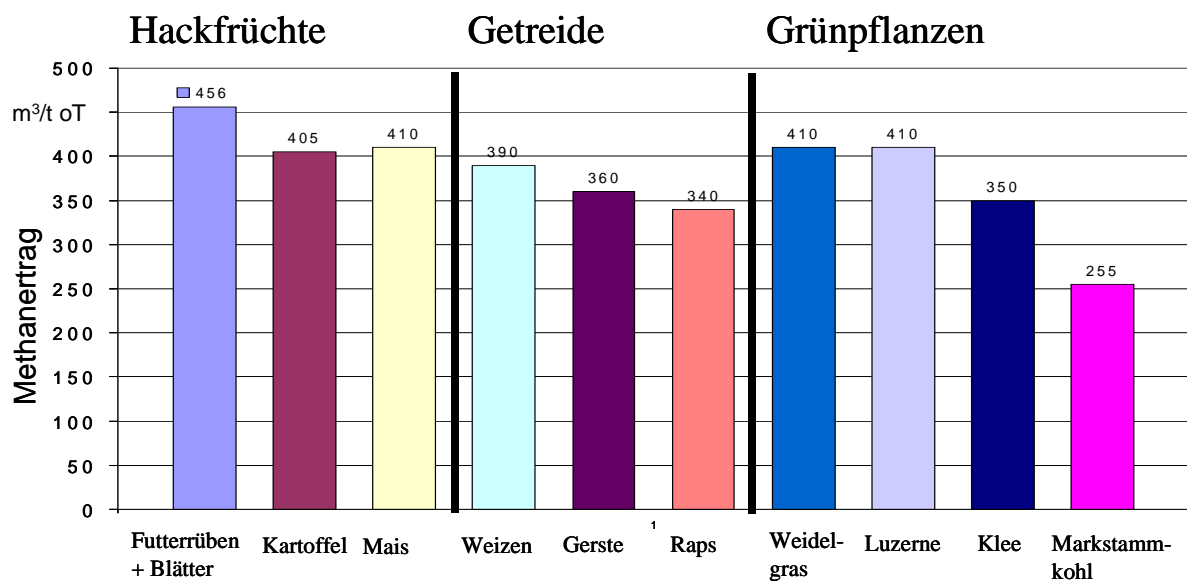


Abbildung 1: Methanerträge landwirtschaftlicher Kulturen in m^3/t oT (Quelle: FAL)

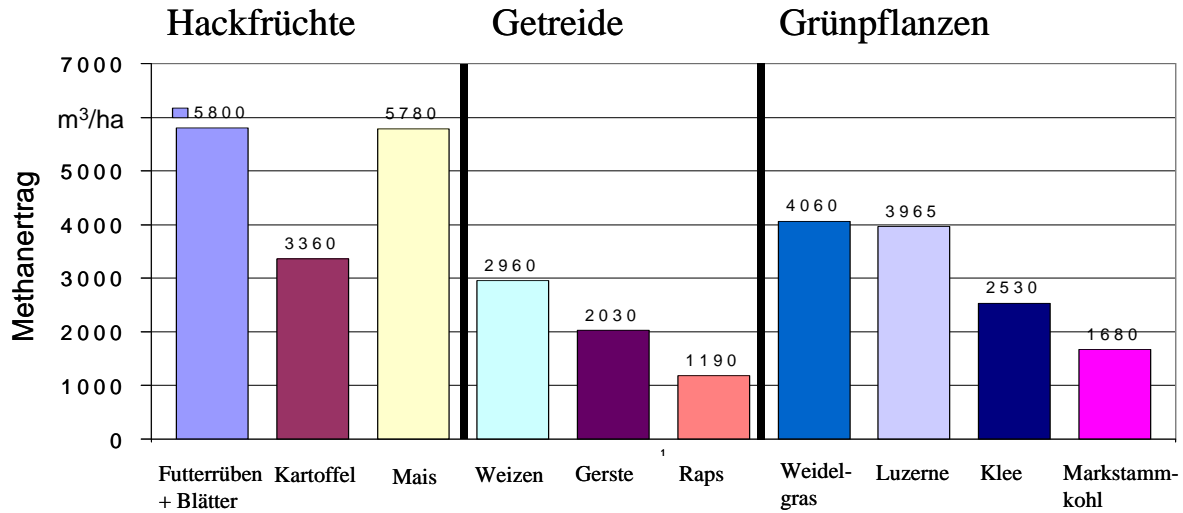


Abbildung 2: Methanerträge landwirtschaftlicher Kulturen in m³/ha (Quelle: FAL)

Mais:

Der Einfluss des TS-Gehaltes in der Gesamtpflanze ist für drei Maissorten in der Abbildung 3 in m³/t organischer Trockenmasse, in Abbildung 4 in m³/ha wiedergegeben. Jede Sorte hat ein genetisch festgelegtes TS-Optimum. Nach Überschreiten dieses Optimums fällt der Methanertrag in m³/t oT sehr stark ab, durch weiteren Ertragszuwachs ist die Auswirkung auf den gesamten Methanertrag in m³/ha wesentlich geringer.

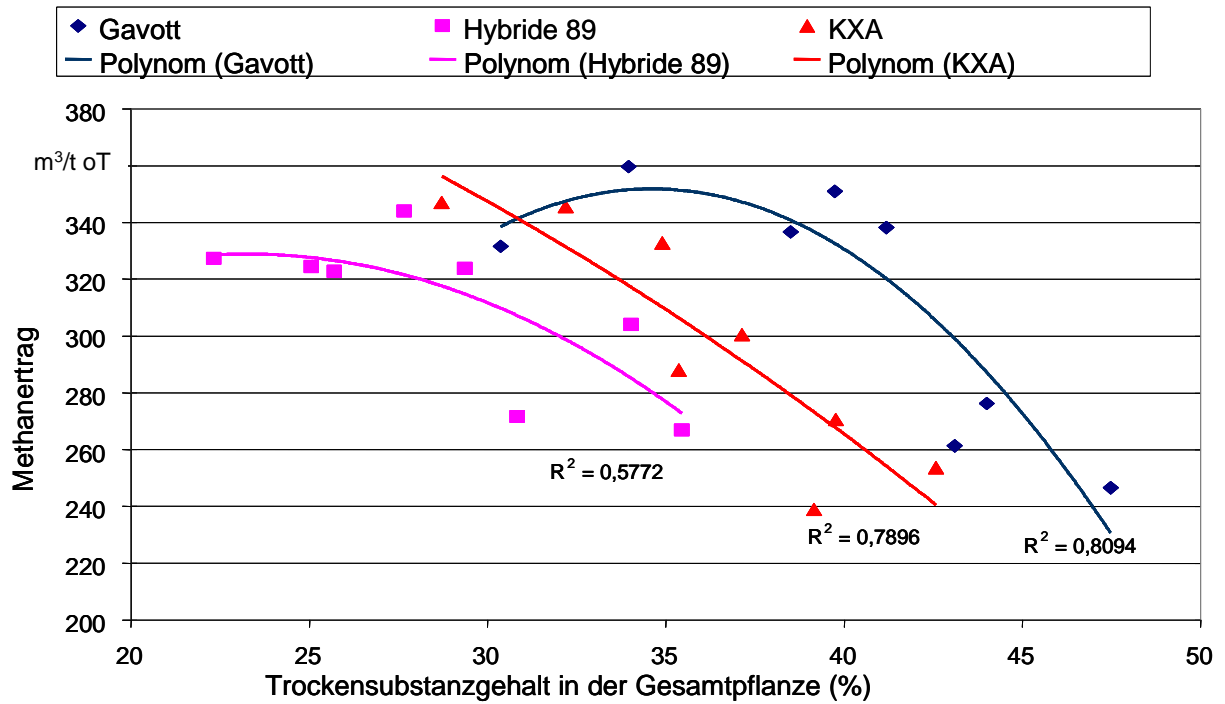


Abbildung 3: Methanerträge verschiedener Maissorten in Abhängigkeit vom TS-Gehalt in der Gesamtpflanze in m³/t oT (Quelle: F. Kaiser, LfL)

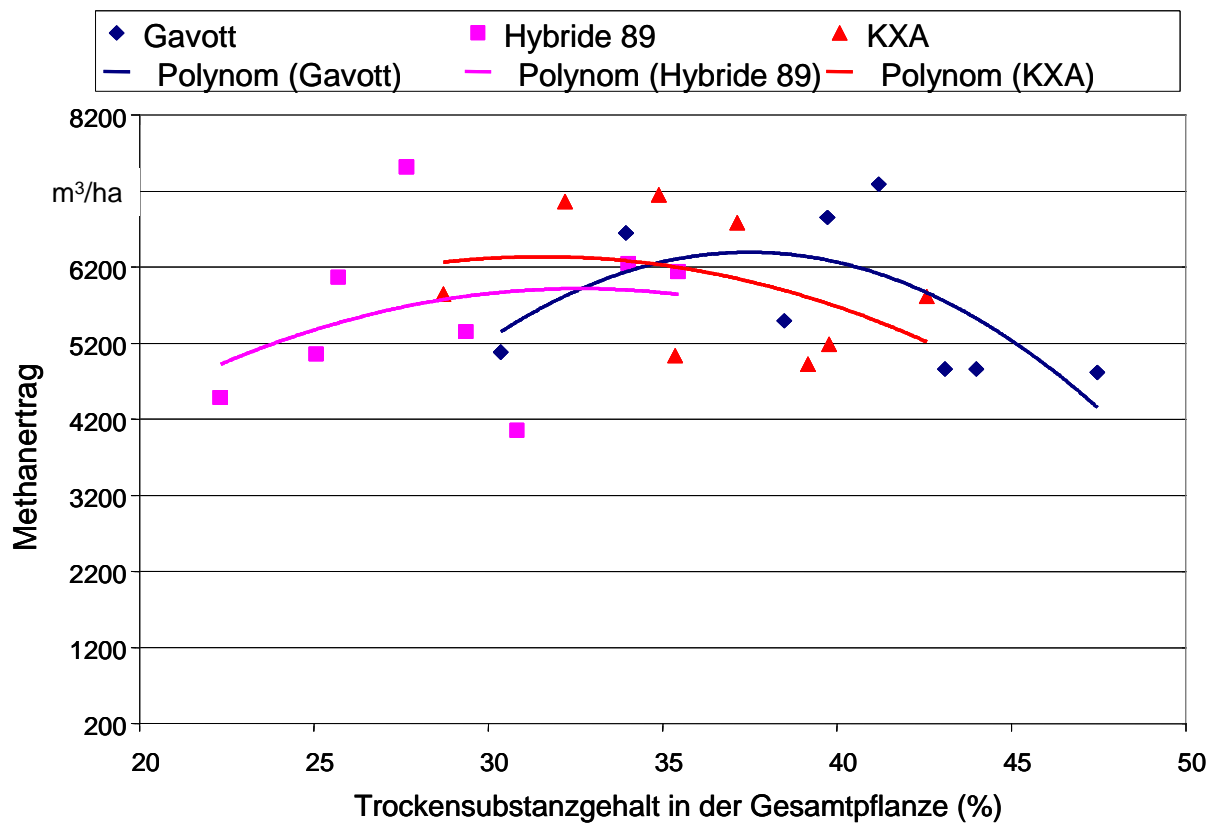


Abbildung 4: Methanerträge verschiedener Maissorten in Abhängigkeit vom TS-Gehalt in der Gesamtpflanze in m³/ha (Quelle: F. Kaiser, LfL)

Sorghumhirse:

Eine weitere, vielversprechende Fruchtart betrifft die Sorghumhirse, welche die Fruchtfolge erweitert und als Alternative und Ergänzung – nicht als Konkurrent – zu Mais zu sehen ist. Sie hat ein hohes Ertragspotential, ist spätsaatverträglich und bietet sich auch wegen größerer Trockentoleranz als Folgefrucht nach einer winterannuellen Frucht (z.B. Getreide, Raps, Rübsen, Erbsen) an, welche als Ganzpflanze geerntet wurde. Ein weiterer Vorteil besteht in der Verwendung von herkömmlichen Anbau- und Ernteverfahren. In einem ersten Sortenscreening wurden für den Anbau im Jahr 2006 vom TFZ 200 verschiedene Sorten weltweit geordert und im Straubinger Gäu in einem Versuch angebaut. In Abbildung 5 sind die Ertragsergebnisse, gruppiert nach Wuchstypus, aufgezeigt. Als Referenzkultur diente der Mais, welcher bei ortsüblicher optimaler Intensität bei einem TS-Gehalt von 32 % im Durchschnitt 267 dt/ha an Trockenmasse brachte. Beim Vergleich der Erträge Mais zu Sorghumhirse ist zu beachten, dass der Mais am 03.05.2006, also 35 Tage früher gesät wurde als die Hirse.

Wuchstyp	TM-Ertrag (dt ha ⁻¹)	TS (%)
Futterhirse	194 (133-259)	21,8 (16,6-30,3)
Futterhirse/Sudangras	196 (142-277)	22,7 (17,1-29,6)
Sudangras	185 (159-227)	25,8 (24,0-27,0)
Körner	142 (100-190)	25,2 (21,4-32,4)

Mais: 221 - 310 dt ha⁻¹, TS 19,5 – 31,0 %

Mittel 267 dt ha⁻¹ bei 31,8 % TS

Saattermin: 08. Juni, 35 Tage nach Mais

Abbildung 5: Trockenmasseertrag (dt/ha) und TS-Gehalt (%) verschiedener Wuchstypen von Sorghumhirse, Ernte 2006, Straubing

Im Durchschnitt fallen die Erträge bis auf die Korntypen kaum voneinander ab. Allerdings sind die Schwankungen innerhalb einer Gruppe beachtlich. Einige Spitzensorten kommen sehr nahe an den Mais heran. Für eine optimale Silage wären TS-Gehalte zwischen 25 % und 28 % wünschenswert. Wie in Abbildung 5 zu sehen ist, erreichen von den hochertragreichen Typen nur die Sudangräser im Durchschnitt diesen Wert.

Mischfruchtanbau:

Eine weitere Möglichkeit der Biomasseerzeugung ist im Mischfruchtanbau zu sehen, wo auf einer Fläche zeitgleich mehrere Kulturen angebaut werden. Man erwartet sich eine verbesserte Nutzungselastizität gegenüber Reinsaaten und positive, sich ergänzende Wechselwirkungen. Durch die Kombination von kohlenhydrat-, eiweiß- und fetthaltigen Arten ist eine optimierte Zusammensetzung der Inhaltsstoffe für die Biogasproduktion zu erhoffen. Die Erweiterung des Artenspektrums trägt außerdem zur Biodiversität bei.

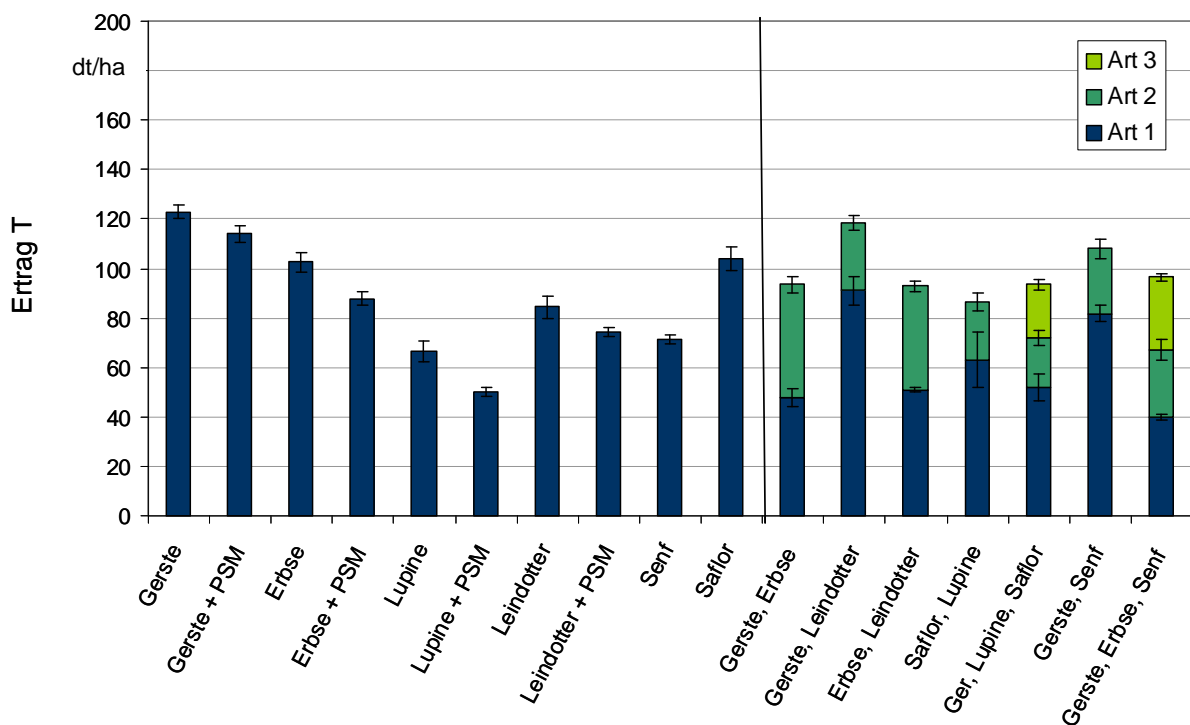


Abbildung 6: Trockenmasseerträge (dt/ha) von Rein- und Mischkulturen, Sommerung 2006, Aholfing

Wie in Abbildung 6 ersichtlich ist, lieferten die geprüften Gemenge in keinem Fall höhere Erträge als die ertragsstarken Mischungspartner im Reinanbau. Eine Berechnung der theoretischen Gasausbeute ergab beim Sommergerste-Leindottergemenge trotz des leicht geringeren Gesamtertrages geringfügig höhere Methanerträge als die ertragreichere Sommergerste allein. Dies dürfte auf die energiereichere Zusammensetzung der Inhaltsstoffe der Fettsäuren beim Leindotter zurückzuführen sein.

Mehrfachanbau (Zweikultur-Nutzungssystem):

Unter dem Begriff Mehrfachanbau oder Zweikultur-Nutzungssystem ist nichts anderes zu verstehen als an einen Standort angepasste, optimale Fruchtfolge über mehrere Vegetationsperioden, mit dem Ziel der nachhaltigen Produktion (hohe Trockenmasseerträge) und einer möglichst langen Bodenbedeckung durch die Kulturarten. Dabei wechseln sich vorrangig winterannuelle C3-Pflanzen mit sommerannuellen C4-Pflanzen in der Fruchtfolge ab. Überwiegend erfolgt die Ernte als Ganzpflanze (Stadium der Teigreife) zur Silagebereitung. Aus pflanzenbaulichen Gründen können einzelne Fruchtfolgeglieder auch als Verkaufsfrucht dienen. Für die Fruchtartenzusammenstellung sind außerdem regionale Differenzierung, betriebliche Voraussetzung und die Konkurrenzsituation der Kulturen zu berücksichtigen. Grundvoraussetzung für die Etablierung der Zweitfrucht ist im Juni eine ausreichende Wasserversorgung. Um ausreichende TS-Gehalte der Zweitkultur sicherzustellen, ist auf eine rechtzeitige Ernte der Erstkultur zu achten.

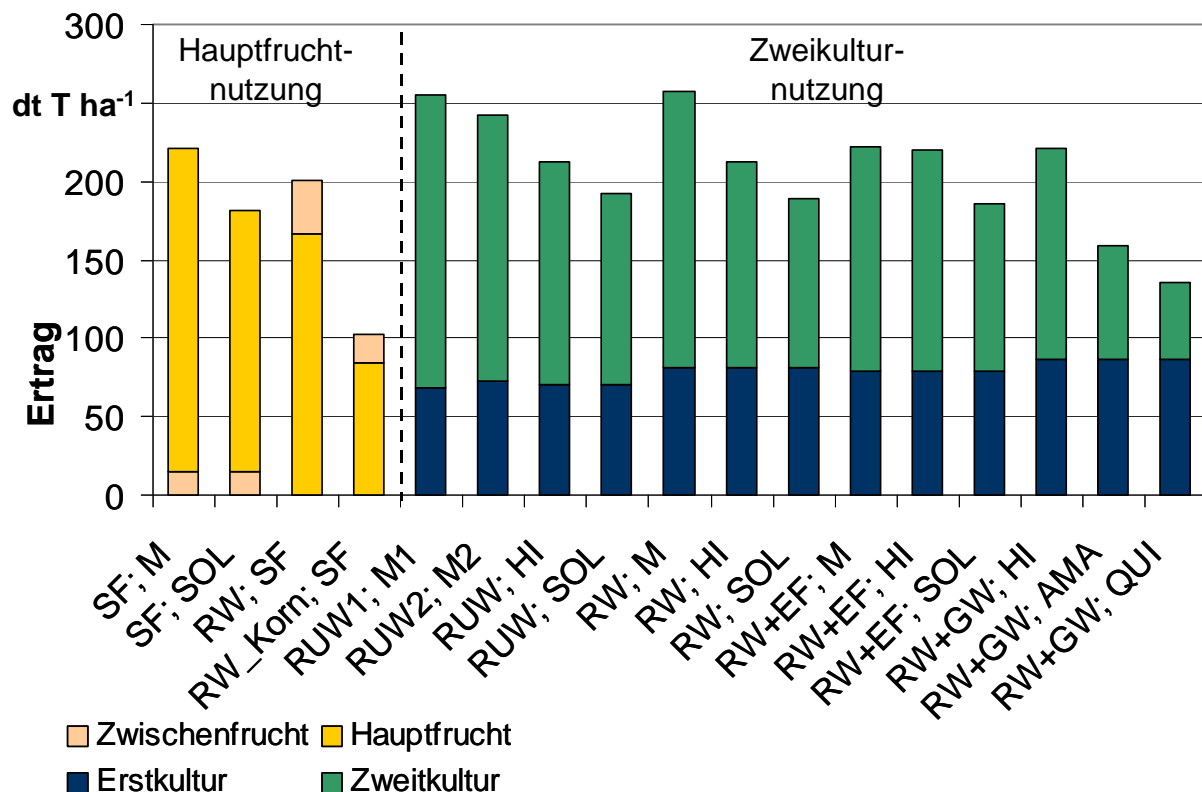


Abbildung 7: Trockenmasseerträge der einzelnen Kulturen im Versuch zum Zweikultur-Nutzungssystem in 2006. Die Bezeichnung der Kulturen auf der Abszisse wurde entsprechend den Kürzeln des Bundessortenamts gewählt, ergänzend steht ‚QUI‘ für Quinoa. Dargestellt sind arithmetische Mittelwerte mit $n = 2$ und $n = 4$, da zur besseren Übersicht teilweise verschiedene Sorten zusammengefasst wurden

Als Zweitkulturen wurden Mais, Sorghumhirse, Sonnenblumen, Amarant und Quinoa geprüft (Abbildung 7). Die beiden erstgenannten waren die ertragreichsten Zweitfrüchte. Wegen lückiger Bestände waren die Erträge der Sonnenblumen und der Sonnenblumengemeinde nicht befriedi-

gend, das gleiche gilt für Amarant und Quinoa. Die Erträge in der Hauptfruchtnutzung fallen höher aus als bei der Zweikulturnutzung. Werden jedoch die Erträge im Zweikulturnutzungssystem aufaddiert, so können höhere Flächenerträge erzielt werden.

Mehrjährige Arten:

Von den perennierenden Arten sind an dieser Stelle Miscanthus, Topinambur, Switchgras, Rohrglanzgras, Rumex und Arundo Donax genannt und Miscanthus als Beispiel herausgegriffen. Er eignet sich nicht nur wegen seiner hohen Ertragsleistungen, sondern auch wegen seiner vielseitigen Verwertungsmöglichkeiten als NR. Er ist auch keine Konkurrenz zu Nahrungs- und Futtermitteln. Energetisch lässt er sich in gehäckselter Form in Feuerungsanlagen verbrennen, welche für stroh- und strohähnliches Material geeignet sind. Da das Material bei der Ernte im Frühjahr über Winter abgereift und trocken ist, dürfte es sich auch – in die Zukunft gesehen - sehr gut eignen für eine LCB-Synthese als flüssiger Treibstoff. Stofflich wird Miscanthus als Tiereinstreu vornehmlich von pferdehaltenden Betrieben nachgefragt. Die Schiene als ökologischer Baustoff im Holzständerbau als lose Schüttdämmung in die Zwischenräume oder zur Beplankung für Wände ist im Aufbau. Weiterhin bietet Miscanthus, da er über Winter auf dem Feld stehen bleibt, dem Wild einen hervorragenden Schutz und stellt somit eine Pufferzone zwischen Wald und Feld dar. Verwendung findet Miscanthus auch als Mulchmaterial in mehrjährigen Kulturen oder im Landschaftsbau. Insgesamt gesehen ist Miscanthus eine Low-Input-Pflanze (wenig Dünger, nach Etablierung kein Pflanzenschutz) und eignet sich auch wegen seiner tiefgehenden Durchwurzelung für ökologisch sensible Flächen wie z.B. in Wasserschutzgebieten. In Abbildung 8 sind für den Versuchsstandort Freising die langjährigen Erträge seit 1991 in t/ha Trockenmasse aufgetragen. Zusätzlich ist der Einfluss der Stickstoffdüngung (0, 75 und 150 kg/ha) und der Halbjahreswert der Niederschläge in mm abgebildet. Die jährlichen Ertragsschwankungen und die Wirkung der N-Düngung sind deutlich zu sehen. Ein direkter Zusammenhang zwischen Ertrag und Niederschlagsmenge ist an diesem Standort nicht zu erkennen. Am Standort in Veitshöchheim z.B. ist bei den Stickstoffstufen, die von 0 bis 250 kg/ha gehen, keinerlei Einfluss der N-Düngung auf den Ertrag zu erkennen.

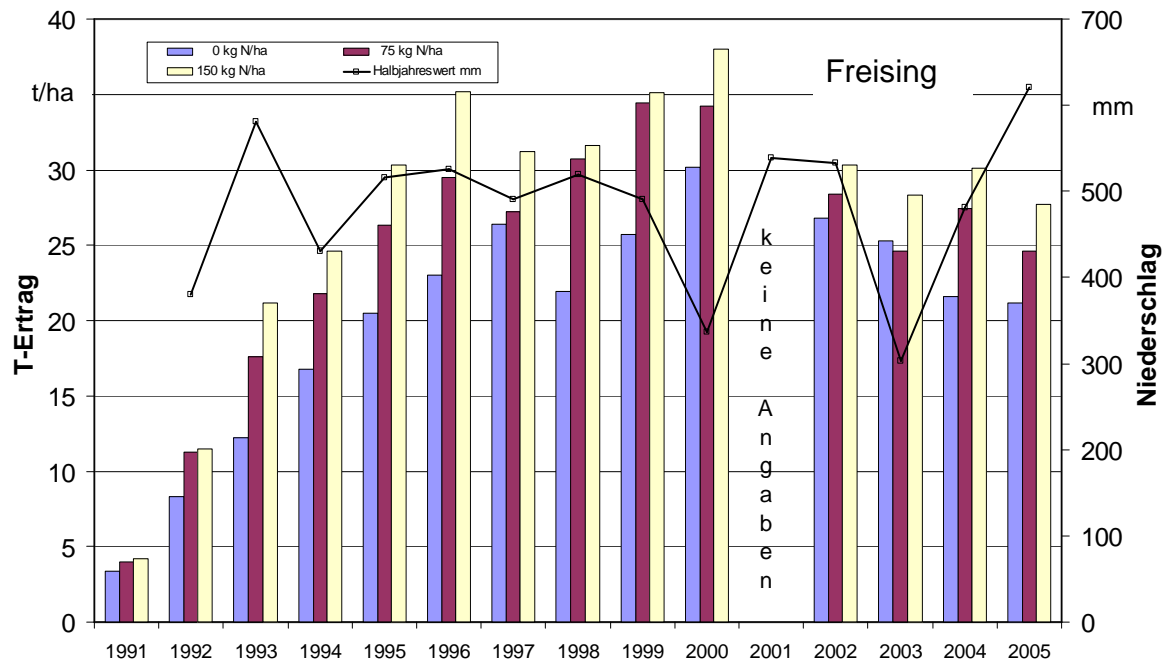


Abbildung 8: Trockensubstanzertrag bei *Miscanthus* in Abhängigkeit von Jahr und Stickstoffdüngung seit 1991 einschließlich der Halbjahreswerte an Niederschlag in mm, Standort Freising

2.3 Ethanol aus Zucker und Stärke (Alkoholische Gärung)

In diese Gruppe fallen die stärke- und zuckerhaltigen Pflanzen wie z.B. Getreide, Körnermais, Kartoffeln, Topinambur, Zuckerrüben und Zuckerhirse. In Abbildung 9 sind die Ethanolausbeuten genannter Kulturen in 1000 l/ha zu finden. In diesem Vergleich schneidet die Zuckerrübe mit ca. 6.600 l/ha am besten ab, gefolgt von Topinambur mit 5.000 l.

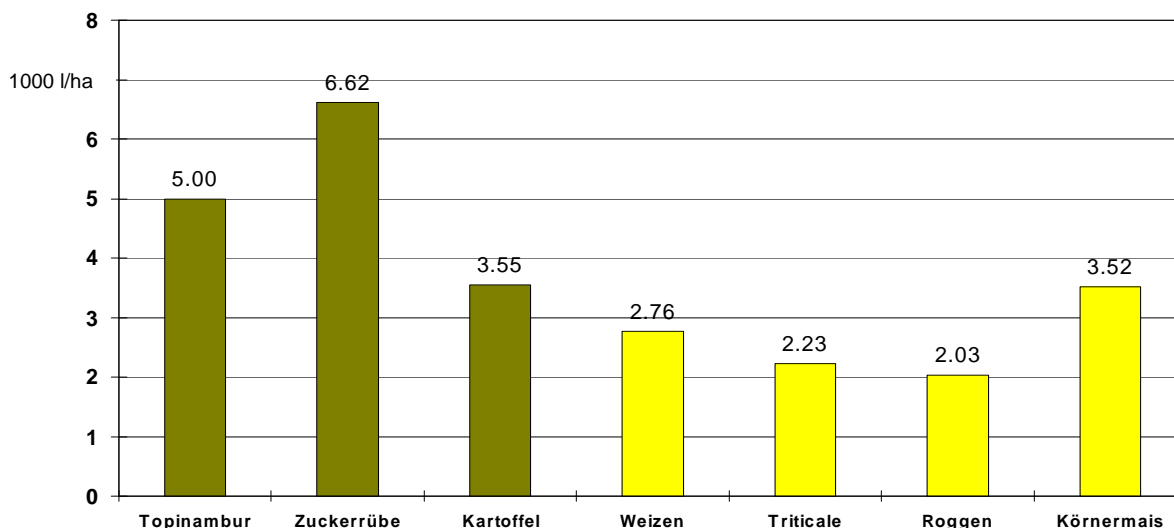


Abbildung 9: Ethanolausbeute verschiedener Kulturen in 1000 l/ha (Quelle: Schriftenreihe NWR, Band 21, Schmitz, N. (2003))

2.4 Ethanol, Syn (Sun)-fuel aus lignocellulosehaltiger Biomasse (LCB-/BtL-Biokonversion)

Die LCB-/BtL- Biokonversion, auch wenn diese noch etwas in die Zukunft gerichtet ist, könnte die Chance bieten, Biomasse als NR zu verarbeiten. Es bietet sich nicht nur intensiver ein- und mehrjähriger Energiepflanzenanbau auf Acker- und Grünland an, sondern es könnte auch eine sinnvolle Restverwertung von extensiveren Flächen sein, deren Aufwüchse für Biogasanlagen ungeeignet sind und durch z.B. Betriebsaufgaben oder durch Aufgabe eines Betriebszweiges wie der Milchviehhaltung aus der Bodenproduktion ausscheiden. Ebenso könnten agrarische und organische Reststoffe wie Stroh, Nebenprodukte aus dem Getreide-, Raps-, Zuckerrüben-, Kartoffelanbau oder sonstige Kulturen, Grüngut und Grüngutabfälle ebenso wie Holzabfälle und Altpapier über diese Schiene zu Energie und Beiprodukten wie Fasern, Eiweiß, Stärke, Zucker und Fetten verarbeitet werden. In Abbildung 10 sind mögliche Verwertungspfade aufgezeigt.

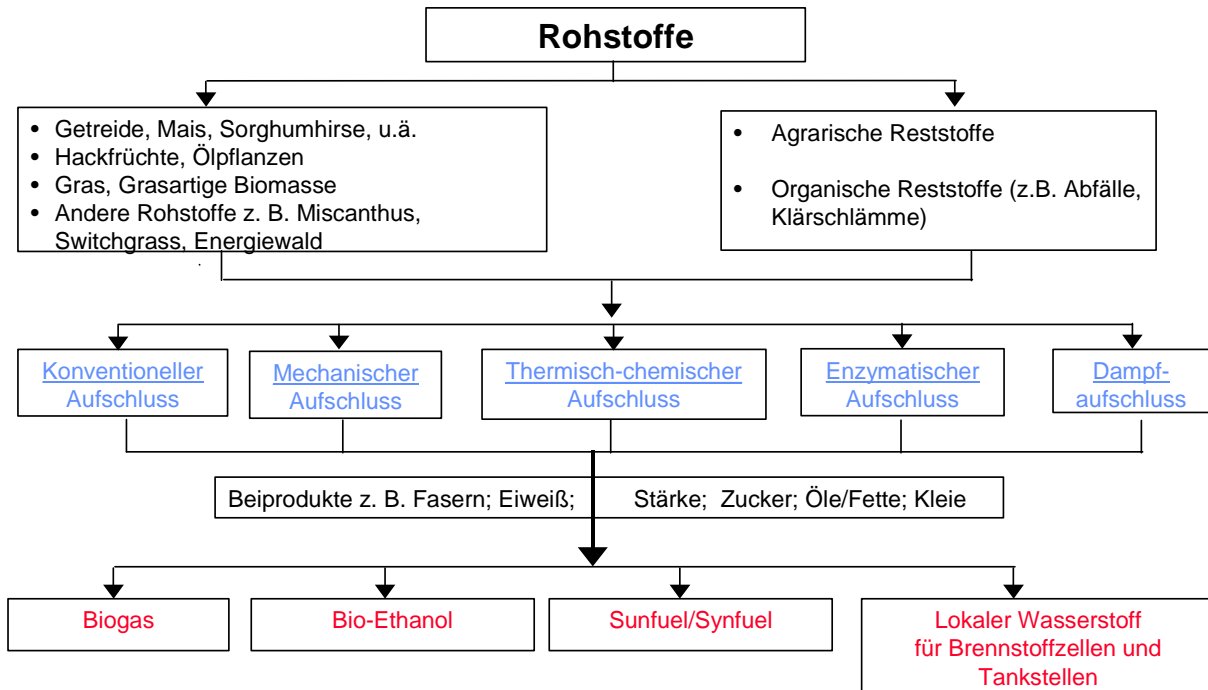


Abbildung 10: Umwandlungspfade lignozellulosehaltiger Biomasse (LCB)

3. Fazit:

Aus der heimischen Bodenproduktion sind zahlreiche Pflanzenarten etabliert, welche für die Food-, Feed oder Non-Food-Verwertung geeignet sind und prinzipiell um die vorhandene Fläche konkurrieren. Für die aufgezeigten Verwertungsschienen als NR sind keine speziell designten Fruchtarten notwendig. Durch züchterische Bearbeitung können sowohl ertraglich, als auch von den wertgebenden Inhaltsstoffen die Pflanzen an die technischen Anforderungen angepasst werden. Alternativ muss sich auch die Anlagentechnik an der Genetik der Pflanzen orientieren. Die Berücksichtigung der Nachhaltigkeit der Bodenproduktion, im Hinblick auch auf die Klimaveränderungen, regional angepasst – Stichwort Wasserhaushalt - , ist dabei oberstes Gebot.