

Möglichkeiten und Grenzen der Bereitstellung von Energie aus Biomasse

NASIR EL BASSAM

Institut für Pflanzenbau

1. Einleitung

In der Geschichte des Menschen war die Biomasse, vorwiegend das Holz, bis zur Mitte des vorigen Jahrhunderts die wichtigste Energie- und Rohstoffquelle. Mit dem allmählichen Übergang auf die fossilen Energieträger - Kohle, Erdöl und Erdgas - begann das Zeitalter der Industrialisierung, und das Interesse an der Nutzung der Biomasse für Nichtnahrungszwecke beschränkte sich auf Spezialbereiche.

Das nunmehr erkennbare Ende fossiler Rohstoffe hat jedoch weltweit wieder die Suche nach alternativen Rohstoffquellen für industrielle und energetische Zwecke intensiviert. Neben der Wasser-, Solar- und Windenergie sowie der Wasserstoffherzeugung nimmt dabei die Frage nach den Möglichkeiten und Grenzen der Nutzung pflanzlicher Rohstoffe - zumeist unter dem Begriff nachwachsende Rohstoffe subsumiert - einen vorrangigen Platz ein (Dambroth, 1989 und 1991).

Unter Energiepflanzen werden solche ein- und mehrjährige Arten verstanden, die zur Erzeugung fester oder flüssiger

Energieträger angebaut werden können. Die ebenfalls zur Energieerzeugung einsetzbaren organischen Rest- und Abfallstoffe verschiedenster Produktionsrichtungen fallen nicht unter diesen Begriff, stellen aber ein großes Potential dar.

Biomasse zur energetischen Verwertung umfasst je nach Erntezeit und -verfahren sowie der Wirtschaftlichkeit Wurzeln, Knollen, Stengel, Stämme oder Zweige, Blätter, Früchte und Samen oder auch vollständige Pflanzen. Genutzt werden jedoch vorzugsweise die Pflanzen bzw. Pflanzenteile mit hoher Energiedichte, um eine hohe Ausbeute zu erzielen.

2. Energetische Nutzungsmöglichkeiten der Biomasse

Alle Pflanzenarten, die vorwiegend Kohlenhydrate oder Öl speichern, sind zur Herstellung flüssiger Energieträger geeignet. Aus Cellulose, Stärke, Zucker und Inulin kann Ethanol hergestellt werden. Pflanzliche Öle sind als Kraftstoffe einsetzbar (Abbildung 1); lignocellulosehaltige Pflanzenteile können direkt als Festbrennstoffe oder indirekt nach Konversion Energie liefern.

Abbildung 1: Möglichkeiten der Energieerzeugung aus Stärke-, Zucker- und Ölpflanzen

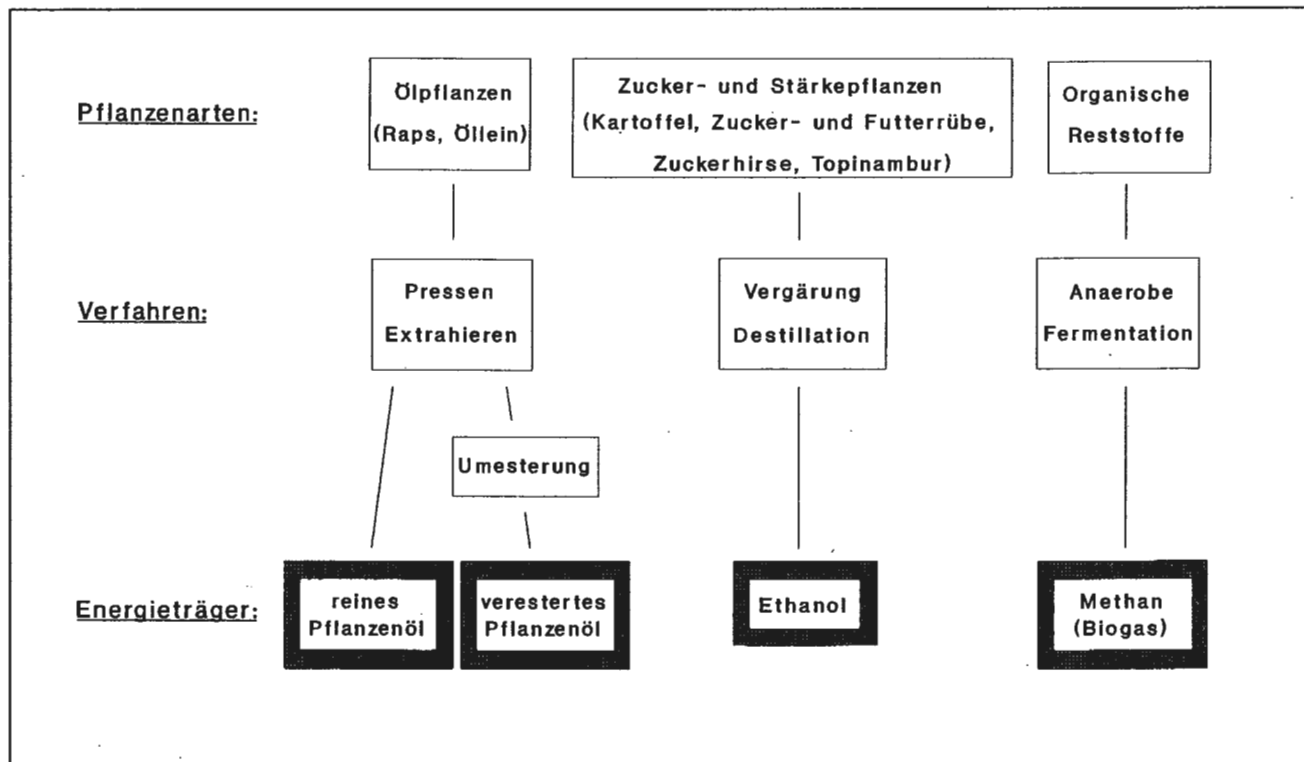


Abbildung 2: Möglichkeiten der Energieerzeugung aus lignocellulosehaltigen Pflanzenarten

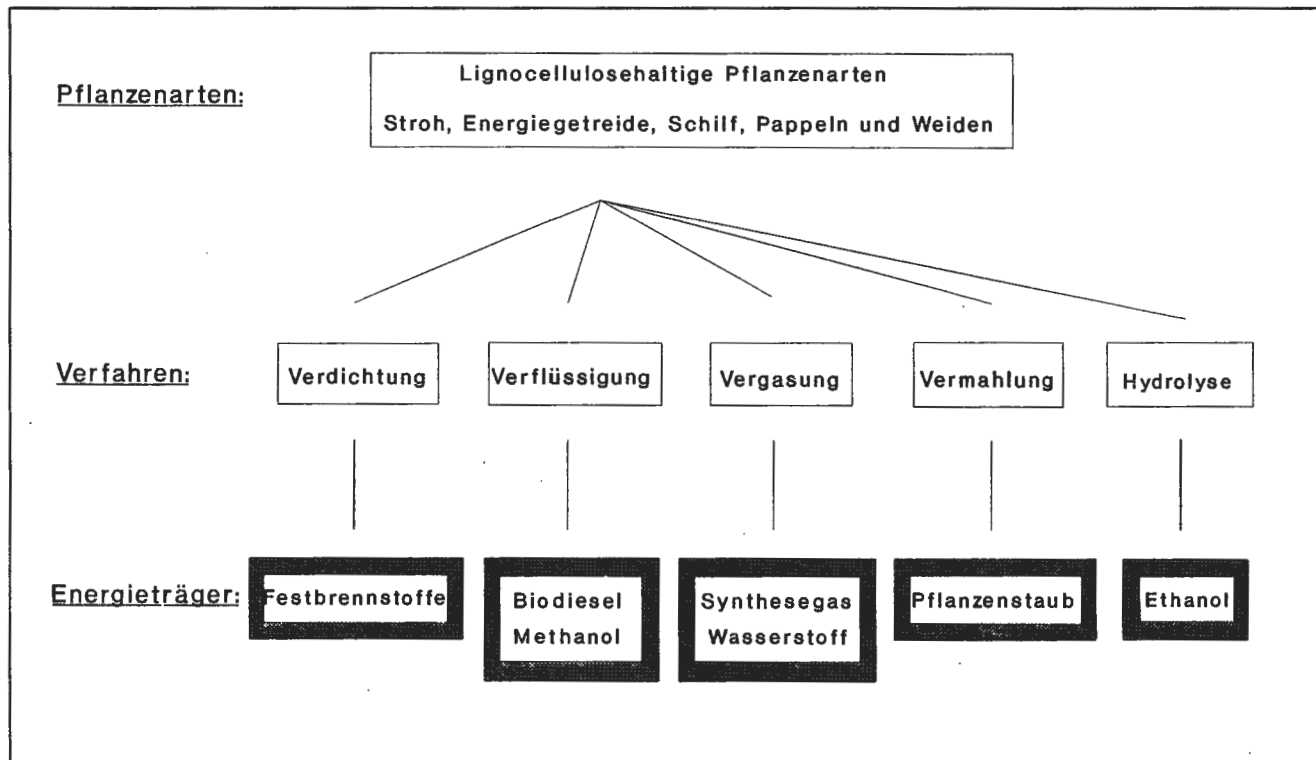
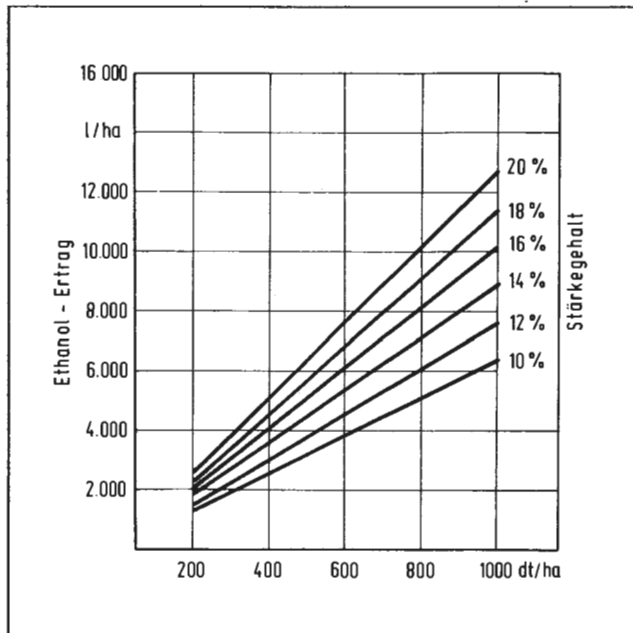


Tabelle 1: Flächenbezogene Ethanolерträge unterschiedlicher Pflanzenarten

Pflanzenarten	Zucker/Stärke in % der FS	Ertag (1991) dt/ha	Zuckerstoff/ Stärkeertrag dt/ha	Ethanolерtrag in l/ha (90% Aus- beute)
<i>Zuckerrüben</i>	16,0	574	91,8	5600
<i>Futterrüben</i>	8,2	985	80,8	4923
<i>Topinambur</i>	15,0	300	45,0	2610
<i>Zichorie</i>	16,0	350	56,0	3248
<i>Kartoffeln</i>	17,8	324	57,7	3693
<i>Körnermais</i>	65,0	69	44,9	2874
<i>Weizen</i>	62,0	72	44,6	2854
<i>Gerste</i>	58,0	58	33,6	2150
<i>Zuckerhirse</i>	10,0	900	90,0	5900

Abbildung 3: Wechselbeziehungen zwischen Knollenertrag und Stärkegehalt zur Ethanol-Ausbeute bei Kartoffeln



Durch thermische und thermochemische Prozesse (durch direkte oder indirekte Verflüssigung oder Vergasung) können aus lignocellulosehaltigen Rohstoffen Brennstoffe wie Methanol, Biodiesel, Synthesegas und Wasserstoff erzeugt werden, durch Hydrolyse (Verzuckerung) und anschließende Fermentation Ethanol (Abbildung 2) (El Bassam und Dambroth, 1991).

Die Hauptziele des Anbaues von Energiepflanzen lassen sich in folgende Bereiche gliedern:

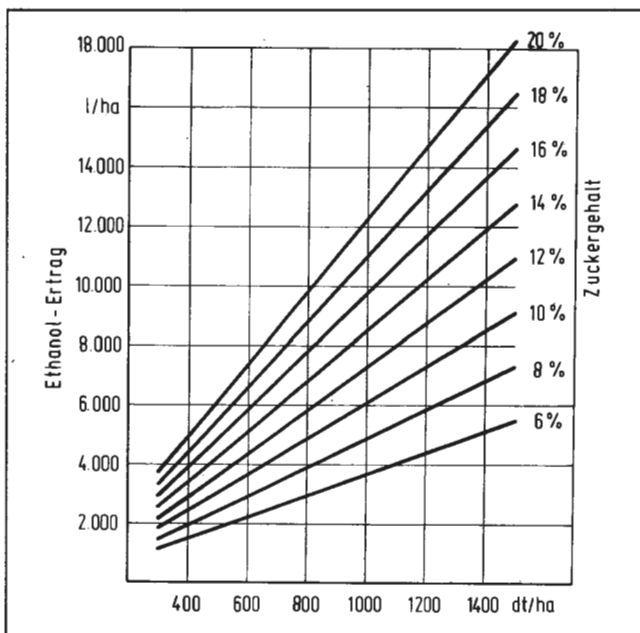
- Anbau von zucker- und stärkehaltigen Pflanzen zur Erzeugung von Ethanol,
- Nutzung pflanzlicher Öle als Brenn- und Kraftstoffe,
- Erzeugung von pflanzlichen Festbrennstoffen zur unmittelbaren Wärme- und Stromgewinnung oder mittels Konversion zur Nutzung als Kraftstoffe,
- Anbau von Biomasse zur Erzeugung von Biogas.

3. Ethanol als Energieträger

Die Gewinnung von Alkohol aus pflanzlichen Rohstoffen hat in der Landwirtschaft eine lange Tradition. Schon immer wurden zucker- und stärkehaltige Pflanzen zu diesem Zweck eingesetzt. Die gezielte Nutzung cellulosehaltiger Biomasse von landwirtschaftlich genutzten Arten zur Herstellung von Alkohol ist bisher großtechnisch nicht praktiziert worden. Sie beschränkte sich auf den Einsatz von Holz sowie auf die Verwendung von Rest- und Abfallstoffen (Dambroth, 1989; Bramm, 1991).

Aus landwirtschaftlicher Sicht stehen für die Erzeugung von Ethanol neben den Getreidearten, einschließlich Mais und Zuckerhirse, vornehmlich die zucker- und stärkehaltigen Knollen- und Wurzelfrüchte zur Verfügung. Neben der Kartoffel und der Rübe sind hierzu der Topinambur und die Zichorie zu nennen. Dabei liegen die je Hektar zu erzielenden Erträge an Ethanol bei den Knollen- und Wurzelfrüchten deutlich über denen der Getreidearten (Tabelle 1) (Bramm, 1991; El Bassam et al., 1987; El Bassam und Dambroth, 1990).

Abbildung 4: Theoretisch mögliche Ethanol-Erträge (l/ha) von Beta-Rüben in Abhängigkeit von Zuckergehalt und Rübenertrag



3.1 Kartoffeln

Eine Steigerung der Ethanolträge bei den Knollen- und Wurzelfrüchten ist in erster Linie durch pflanzenzüchterische Maßnahmen möglich. Für die Getreidearten gilt die Aussage ebenso, wengleich hierbei die möglichen Zuwachsraten geringer sind.

Ertragsniveau und Produktionsaufwand bei Kartoffeln können von der Pflanzenzüchtung in entscheidender Weise beeinflusst werden, und dabei sind die Grenzen der Leistungsfähigkeit noch keineswegs ausgeschöpft. Das Verhältnis zwischen der genetisch möglichen Ertragsleistung und dem realisierten Ertragsniveau ist völlig unbefriedigend. Bei seiner Verbesserung sollte es möglich sein, Kartoffelerträge von über 1000 dt/ha zu erzielen. Ertragsleistungen, die notwendig sind, um die Kartoffel als Ethanol- und Stärkelieferant wettbewerbsfähig zu machen (Dambroth, 1991 und 1992; Bramm, 1988 und 1991; Schittenhelm, 1988 und 1990).

Ein hoher Massenertrag bei einem mittleren Stärkegehalt von 15 % bis 18 % könnte deshalb eine annehmbare Richtschnur für die Selektion darstellen. Aus Abbildung 3 werden diese Zusammenhänge deutlich, daß sich eine hohe Ethanol-ausbeute sowohl durch die Anhebung des Stärkegehaltes als auch durch die Steigerung der Knollenerträge erzielen läßt (Abbildung 3).

3.2 Zuckerrüben

Im Hinblick auf die Ethanolherzeugung stellt sich bei Zuckerrüben die Forderung nach einer völlig neuen Zucht-richtung, und zwar muß es das Ziel sein, den Höchstertrag an vergärbare Substanz je Hektar zu erreichen, die wiederum mit einem möglichst geringen Aufwand erstellt werden muß.

Bei diesem Zuchtziel kommt es deshalb nicht allein auf den bereinigten Zuckergehalt an, was bedeutet, daß die Qualität der für die Ethanolherstellung zu selektierenden Rüben keine

vorrangige Rolle spielt; sondern auch darauf, daß ein hoher Massenertrag erzielt werden muß und die Ernte ohne großen Energieaufwand vorgenommen werden kann.

In Abbildung 4 sind die theoretisch möglichen Ethanol-erträge in Abhängigkeit von Zuckergehalt und Rübenenertrag dargestellt. Es kann daraus unschwer abgelesen werden, daß die derzeitigen möglichen Ausbeuten nicht die obere Grenze sein müssen (Dambroth, 1992; Schittenhelm, 1991).

3.3 Topinambur

Topinambur ist bisher nicht als eine Pflanze für die großtechnische Erzeugung von Ethanol bekannt geworden. Diese aus Amerika stammende Pflanze enthält in ihren Knollen das Inulin. Es handelt sich dabei um Fructosane, mehr oder weniger langkettige Kohlenhydrate.

Die vordringlichsten Ziele bei der züchterischen Bearbeitung von Topinambur zur Erzeugung von Ethanol sind:

- Erhöhung der Knollenerträge,
- ein möglichst hoher Gehalt an vergärbbarer Substanz in den Knollen,
- Frühreife,
- ein möglichst früher Knollenansatz,
- eine nicht zu starke Krautentwicklung.

Zuchtziele, die durch die entsprechenden Arbeiten des Instituts bereits in erheblichem Maße realisiert werden konnten (Dambroth, 1992; Schittenhelm, 1988).

Die Knollenerträge von Topinambur sind mit denen der Kartoffel vergleichbar, wenngleich die Schwankungen zwischen den Standorten deutlicher ausfallen (Schittenhelm, 1990; Höppner, 1991).

3.4 Zichorien

Nach den bisherigen Untersuchungen des Institutes lassen sich mit Zichorien gegenwärtig Erträge bis zu 500 dt/ha erzie-

len. Allerdings können erhebliche Ertragsschwankungen auftreten, so daß die Zichorie noch keine sicher anzubauende Kulturpflanze ist. Ein besonderes Hindernis ist dabei die nicht ausreichende Saatgutqualität und der Mangel an geeigneten Herbiziden. Zur Verbesserung der Anbaueignung von Zichorien sind noch erhebliche pflanzenzüchterische Aufwendungen erforderlich (Wurl, 1989; Bra mm, 1991).

3.5 Zuckerhirse

Auf der Suche nach neuen, leistungsfähigen Energie- und Rohstoffpflanzen ist die Pflanzenzüchtung auf die Zuckerhirse gestoßen, deren Herkunftsgebiet sich in dem tropischen Afrika befindet. Seit nunmehr über 10 Jahren arbeitet eine namhafte Zuckerrübenzüchtungsfirma an der Züchtung geeigneter Sorten dieser Art, so daß leistungsfähige Typen inzwischen auch für den Anbau in Deutschland zur Verfügung stehen.

Am Institut wurden inzwischen 1500 Formen der Zuckerhirse auf ihre Anbaueignung und ihre Qualitätsmerkmale hin untersucht. Der Anteil der Herkünfte (Abbildung 5) mit einem Zuckergehalt von über 10 % blieb relativ gering, aber entscheidend ist, daß Zuckererträge von über 100 dt/ha erzielt wurden (El Bassam et al., 1987; El Bassam und Seidewitz, 1988).

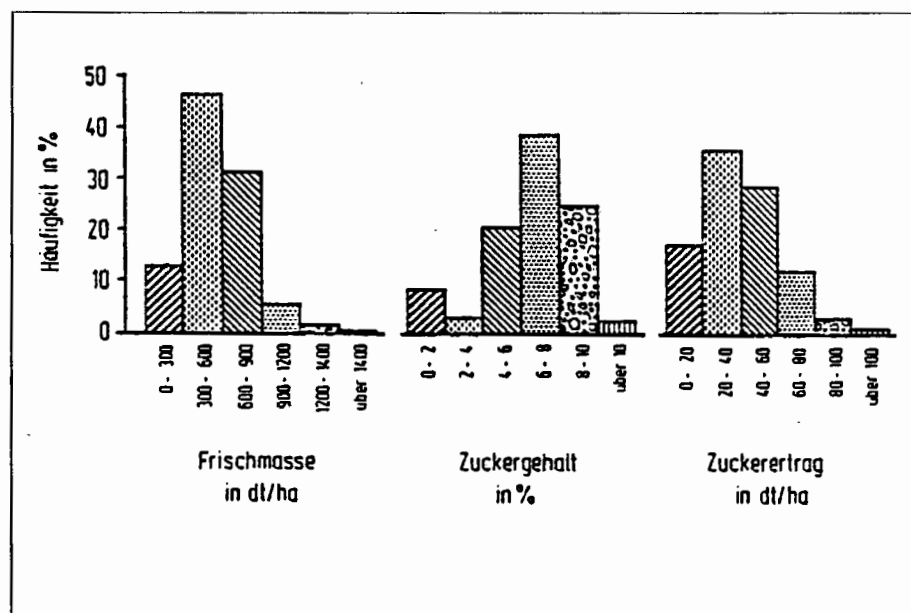
Bei Grünmasseerträgen von 800 bis über 1000 dt/ha lassen sich über 5000 l Ethanol erzeugen. Beim Abpressen des zuckerhaltigen Saftes aus den Stengeln fallen zusätzlich aus dem Erntegut 20 - 30 % des Ausgangsmaterials als Rückstand (Bagasse) an, das ein TM-Gehalt von 50 % aufweist. Durch die Verfeuerung von ca. 50 % der anfallenden Bagasse kann der Energiebedarf für die Ethanolherstellung gedeckt werden. Gegenüber den Vorteilen steht als Nachteil der nur kurze Zeitraum von 6 - 8 Wochen, in dem die Zuckerhirse zur Verarbeitung verfügbar ist. Daher kann die Zuckerhirse nur einen Bestandteil eines Rohstoff-Mixes, bestehend aus verschiedenen Rohstoffpflanzen, darstellen (El Bassam, 1990). Voraussetzung für ihre Nutzung ist jedoch die Entwicklung geeigneter Ernteverfahren.

3.6 Großtechnische Erzeugung von Ethanol

Die Bundesrepublik Deutschland hat im internationalen Vergleich mit drei Pilotanlagen zur großtechnischen Erzeugung von Ethanol einen sehr hohen technischen Entwicklungsstand erreicht. Während die Anlagen in Ochsenfurt (Unterfranken) und Dormagen (Rheinland) Reste der Zucker- bzw. Stärkeproduktion verarbeiten können, wurde mit der Anlage in Ahausen-Eversen (Niedersachsen) technisches Neuland betreten. Dort wurde aus unterschiedlichen landwirtschaftlichen Rohstoffen (Zuckerrüben, Gehaltsrüben, Kartoffeln, Getreide und Topinambur) im Ganzjahresbetrieb Ethanol hergestellt.

In den Jahren 1985-1990 wurden 20516 m³ absoluter technischer Alkohol gewonnen. Die Anlage Ahausen-Eversen ist die erste Anlage, in der unterschiedliche

Abbildung 5: Häufigkeitsverteilung für Frischmasse, Zuckergehalt und Zuckerertrag bei Zuckerhirse



Fruchtarten verarbeitet werden können. Diese Konfiguration erforderte viele technische Neuentwicklungen, an denen mehrere Institute der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft in Braunschweig im Rahmen der Begleitforschung beteiligt waren (Scholz und Weiland, 1991; Weiland, 1991).

Die Beimischung von Bioethanol zu Kraftstoffen für Ottomotoren ist bis zu fünf Volumenprozent EG-weit zulässig. Bereits bei diesem geringen Anteil kommen die positiven Wirkungen von Ethanol auf Schadstoffausstoß zur Geltung. Ethanol kann auch dem Dieselmotorkraftstoff zugemischt werden oder bei entsprechender Veränderung des Motors diesen ganz ersetzen.

4. Pflanzenöle als Energieträger

Pflanzliche Öle und Fette weisen im Gegensatz zu den einfachen Kohlenhydratbausteinen Glucose und Fructose eine Vielzahl von Modifikationen der Molekülstruktur auf und sind auch energetisch hochwertiger.

Der Einsatz von pflanzlichen Ölen als Brenn- und Kraftstoff ist nicht neu. Schon immer hat es insbesondere in Krisenzeiten Beispiele dafür gegeben.

Erste Versuche, Pflanzenöl als Kraftstoff für einen Verbren-

Abbildung 6: Ethanol-Pilot-Anlage Ahausen-Eversen



nungsmotor zu nutzen, wurden bereits um die Jahrhundertwende von Rudolf Diesel während der Entwicklung seines Motors unternommen. Die Konkurrenz dieses Kraftstoffes mit dem preiswerten Energieträger Erdöl führte jedoch dazu, daß der Dieselmotor im weiteren Verlauf seiner nunmehr fast 100jährigen Geschichte ausschließlich mit dem "Dieselkraftstoff" auf Basis der fossilen Ressourcen weiterentwickelt wurde.

Tabelle 2: Flächenbezogene Ölerträge einiger Pflanzenarten

Pflanzenart	Ertrag (dt/ha)	Ölgehalt (%)	Ölertrag (dt/ha)
Raps	30,0	42	12,60
Sonnenblume	27,0	48	12,96
Crambe abyssinica	21,0	42	8,82
Leindotter	22,5	39	8,78
Schlafmohn	18,0	46	8,28
Brauner Senf	18,0	40	7,20
Kreuzbl. Wolfsmilch	15,0	48	7,20
Lein	18,0	39	7,02
Weißer Senf	19,5	33	6,44
Koriander	24,0	22	5,28
Soja	21,0	18	3,78
Weißer Sumpfbiume	12,0	28	3,36
Ringelblume	15,0	19	2,85
Euphorbia lagascae	6,0	46	2,76
Ölrauke	9,0	30	2,70
Einj. Gartensilberblatt	9,0	26	2,34
Fenchel	6,0	14	0,84

In jüngster Zeit ist dieses Thema 'Anbau von Ölpflanzen zur Kraftstoffversorgung' wieder neu in die Diskussionen gekommen.

Aus pflanzenzüchterischer und pflanzenbaulicher Sicht ist hierzu anzumerken, daß es bei einer solchen Produktionsrichtung vornehmlich darauf ankommt, hohe Ölerträge je Hektar zu erzielen und dabei Qualitätsaspekte, wie sie im Industriepflanzenanbau zu beachten sind, entfallen. Da gegenwärtig allein mit dem Raps akzeptable Ölerträge erzielt werden, konzentriert sich die gesamte Diskussion auf diese Fruchtart.

Wenn es das Ziel ist, pflanzliches Öl für Treibstoffzwecke zu erzeugen, dann sollten auch weitere Arten in die Diskussionen eingeführt werden. Denn die Ausdehnung der Rapsfläche ist auf den für den Anbau prädestinierten Standorten nicht mehr unbegrenzt möglich.

Auf der anderen Seite erfordert der Rapsanbau auf den weniger gut geeigneten Standorten erhebliche Aufwendungen an Produktionsmittel, so daß ökologische Grenzen erreicht werden. Für solche Standorte steht z.B. mit dem Leindotter eine Art zur Verfügung, deren Ölerträge nahe denen des Rapses liegen. In anderen Gebieten wiederum könnten der Öllein oder die Sonnenblume Alternativen bilden. Auch die Senfarten sind zu nennen.

Die Tabelle 2 enthält Informationen über Ertragsfähigkeit, Ölgehalte und Ölerträge einiger Ölpflanzen (BML, 1990; Bra m m et al., 1990).

Wichtig ist es, daß mit dem Ziel "pflanzliche Öle als Kraftstoffe" nicht eine Pflanzenart zu übermäßigen Flächenanteilen hochgeschraubt wird und dabei die ökologischen Probleme von der einen auf die andere Art verlagert werden. Stets sollte bei solchen Überlegungen der Aspekt der Erweiterung der Artenzahl in landwirtschaftlichen Nutzungssystemen im Sinne einer integrierten Landbewirtschaftung bedacht werden.

Die neben dem Raps genannten Arten haben jedoch noch kein ausreichendes Ertragsniveau. Deswegen besteht hier ein erheblicher Handlungsbedarf für die Forschung und die Pflanzenzüchtung. Bei der vorhandenen Variabilität in den genetischen Ressourcen dieser Arten bestehen aber sehr gute Aussichten zur Steigerung der Ölerträge je Hektar.

5. Festbrennstoffe als Energieträger

Ein großes Potential von land- und forstwirtschaftlichen Abfall- und Reststoffen wie Stroh, Industrieholz und Waldrestholz steht für eine energetische Nutzung zur Verfügung.

Zur Produktion von Festbrennstoffen kommen folgende Pflanzenarten in Betracht:

- annuelle Pflanzen wie Getreide, Raps, Senf, Sonnenblumen, Mais und Feldgras
- perennierende Pflanzenarten mit jährlicher Nutzung wie *Miscanthus* und andere Schilfarten
- schnellwachsende Baumarten wie Pappeln, Aspen oder Weiden mit mehrjährigem Ernterhythmus (Kurzumtrieb)
- Baumarten mit langen Umtriebszeiten.

Bei Einsatz der ganzen Getreidepflanze für die Erzeugung von Energie erhöhen sich die Erträge um den Korntrag, so daß - gemessen an den durchschnittlichen Getreideerträgen - etwa 10 t bis 12 t Trockenmasse je Hektar zu erzielen sind.

Es wird nun sehr oft die Frage gestellt, ob nicht durch pflanzenzüchterische Maßnahmen eine deutliche Steigerung der Stroherträge erreicht werden könnte. Dabei wird auf die alten

Tabelle 3: In das Evaluierungsprogramm aufgenommene Pflanzenarten

A. Nicht konventionelle Pflanzenarten	
<i>Arundo donax</i>	Pfahlrohr
<i>Avena sempervirens</i>	Blaustrahlhafer
<i>Campanula lactiflora</i>	Glockenblume
<i>Carex pendula</i>	Riesensegge
<i>Centaurea macrocephala</i>	Gr. gelbe Kornblume
<i>Chenopodium quinoa</i>	Reismelde, Quinoa
<i>Cirsium arvense</i>	Kratzdistel
<i>Cortaderia selloana</i>	Pampasgras
<i>Cynara cardunculus</i>	Kardone
Delphinium-Hybriden	Rittersporm
<i>Deschampsia cespitosa</i>	Rasenschmiele
<i>Echinops bannaticus</i>	Kugeldistel
<i>Eryngium planum</i>	Mannstreu
<i>Helianthus giganteus</i>	Stauden-Sonnenblume
<i>Helianthus nutallii</i>	"amerik. Sonnenblume"
<i>Hibiscus cannabinus</i>	Kenaf, Gambohanf, Hanfeibisch
<i>Miscanthus sinensis</i>	Chinaschilf
<i>Ranicum virgatum</i>	Rutenhirse
<i>Phragmites australis</i>	Schilfrohr
Phyllostachys-Arten	Bambus-Arten
<i>Polygonum cuspidatum</i>	Riesenknöterich
<i>Reynoutria sachalinensis</i>	Knöterich
<i>Rudbeckia purpurea</i>	Sonnenhut
Sidalcea-Hybriden	Präriemalve
<i>Silphium perfoliatum</i>	Becherpflanze
<i>Spartina pectinata</i>	Besengras
<i>Spartina michauxiana</i>	Goldleinstengras
<i>Symphytum peregrinum</i>	Comfrey, Beinwell
<i>Thalictrum aquilegifolium</i>	Wiesenraute
<i>Verbascum bombyciferum</i>	Seidene Königskerze
<i>Yucca filamentosa</i>	Staubfädige Palmlilie
B. Kulturpflanzen (Ganzpflanzen)	
<i>Avena sativa</i>	Hafer
<i>Brassica napus</i>	Raps
<i>Helianthus annuus</i>	Sonnenblume
<i>Helianthus tuberosus</i>	Topinambur
<i>Hordeum vulgare</i>	Gerste
<i>Linum usitatissimum</i>	Faserlein
<i>Lolium perenne</i>	Welsches Weidelgras
<i>Secale cereale</i>	Roggen
<i>Sorghum bicolor</i>	Zuckerhirse/Faserhirse
<i>Triticum aestivum</i>	Weizen
<i>Triticum spelta</i>	Dinkel
<i>Zea mays</i>	Mais
C. Schnellwachsende Gehölze (Kurzumtrieb)	
Populus-Arten	Pappel-Arten
Salix-Arten	Weiden-Arten
D. <i>Miscanthus sinensis</i>-Formen (C4)	
<i>Miscanthus sinensis</i> "China"	
<i>Miscanthus sinensis</i> "Cornet"	
<i>Miscanthus sinensis</i> "Flammenmeer"	
<i>Miscanthus sinensis</i> "Giganteus"	
<i>Miscanthus sinensis</i> "Giraffe"	
<i>Miscanthus sinensis</i> "Goliath"	
<i>Miscanthus sinensis</i> "Gracillimus"	
<i>Miscanthus sinensis</i> "Große Fontäne"	
<i>Miscanthus sinensis</i> "Kaskade"	
<i>Miscanthus sinensis</i> "Malepartus"	
<i>Miscanthus sinensis</i> "Morninglight"	
<i>Miscanthus sinensis</i> "Neue Hybriden"	
<i>Miscanthus sinensis</i> "Poseidon"	
<i>Miscanthus sinensis</i> "Püktchen"	
<i>Miscanthus sinensis</i> "Roland"	
<i>Miscanthus sinensis</i> "Silberfeder"	
<i>Miscanthus sinensis</i> "Silberspinne"	
<i>Miscanthus sinensis</i> "Silberturm"	
<i>Miscanthus sinensis</i> "Spätgrün"	
<i>Miscanthus sinensis</i> "Undine"	
<i>Miscanthus sinensis</i> "Wetterfahne"	

Landsorten verwiesen, aber auch neuere Züchtungen, wie z.B. Triticale, werden in die Diskussionen gebracht. Dazu ist zu bemerken, daß die Getreidezüchtung in den letzten Jahrzehnten eine deutliche Veränderung des Korn-Stroh-Verhältnisses erreicht hat, der Gesamttrockenmasseertrag aber nicht in gleicher Weise angestiegen ist. Die Hektarerträge an Trockenmasse Getreide - also Korn plus Stroh - werden sich nicht mehr wesentlich steigern lassen.

Versuche zur Steigerung der Trockenmasseerträge bei Getreide durch Mehrfachtbau in einem Jahr sind ökonomisch zweifelhaft, weil bei den damit verbundenen Gesteuerungskosten letztlich auch nicht die Trockenmasseerträge erzielt werden können, wie sie beispielsweise mit dem Chinaschilf denkbar sind und wie sie notwendig sind, um die Biomasseproduktion auf eine wettbewerbsfähige Ebene zu heben.

Inwieweit andere Getreidearten, wie der Mais und die Hirsen, für die Biomasseerzeugung zur Energiegewinnung genutzt werden können, hängt davon ab, zu welchem Zeitpunkt sie mit einem für die Verbrennung noch akzeptablen Feuchtigkeitsgehalt geerntet werden können. Hierzu führt das Institut gegenwärtig Untersuchungen durch.

Im Rahmen des Energiepflanzenanbaues werden im Institut seit einigen Jahren zahlreiche C3- und C4-Pflanzenarten auf ihre Eignung hin evaluiert. Die in das Evaluierungsprogramm aufgenommenen Pflanzenarten sind in der Tabelle 3 wiedergegeben.

Die Abbildung 7 zeigt einen Ausschnitt aus dem angesprochenen Evaluierungsprogramm. Aus Abbildung 8 ist ein zweijähriger Bestand von *Miscanthus sinensis* "Giganteus" vor dem Frosteinbruch und aus Abbildung 9 im Spätwinter zu ersehen.

Dabei kommen sowohl einjährige als auch mehrjährige Pflanzen unter Berücksichtigung unterschiedlicher Anbaumaßnahmen zum Einsatz.

Die Forschungsarbeiten des Instituts konzentrieren sich vor allem auf die Aspekte 'Pflanz- und Saatguterzeugung, Anbau- und Sorteneignung, Klimaansprüche, Wasser- und Nährstoffbedarf, Nutzungsdauer, Erntezeitpunkt, Vermehrungs-, Anbau- und Erntetechnik'. Im Vordergrund der Untersuchungen steht auch die Ermittlung der Umweltverträglichkeit dieser Pflanzenarten zur Herstellung von Energieträgern.

Die Tabelle 4 zeigt die Erträge einiger Energiepflanzen, Standort Braunschweig.

Abbildung 7: Evaluierungsparzellen mit verschiedenen C3- u. C4-Pflanzen



Abbildung 8: *Miscanthus*-Bestand im Sommer 1992



Die Erträge von *Miscanthus*genotypen sind in den Abbildungen 10 und 11 wiedergegeben.

Die Chinaschilfform (*Miscanthus sinensis Giganteus*) erzielte im ersten Anbaujahr, je nach Bestandesdichte, Erträge bis zu 7,4 t TM/ha. Im zweiten Aufwuchsjahr wurden 23 t und im dritten 26,6 t geerntet (E l B a s s a m et al., 1992).

Die Erträge anderer Schilfgrasherkünfte lagen niedriger, wiesen aber ihrerseits höhere Trockensubstanzgehalte auf und reiften zwei bis drei Monate eher ab. Die höchsten Trockensubstanzgehalte wiesen die Herkünfte "Undine" und "Wetterfahne" mit 94,9 bzw. 90,8 % auf.

Abbildung 9: **Miscanthus-Bestand im Winter 1993**



zen in frischem oder auch in silier-tem Zustand für die Gewinnung von Biogas eignen. Über die Biomethanisierung könnte ein breites Spektrum von Grünpflanzen einer energetischen Nutzung zugeführt werden, da sie sich im Gegensatz zur Verbrennung der Rohstoffe im natürlichen Feuchtzustand verwerten lassen würden. Die Realisierung scheitert jedoch an einigen Grundvoraussetzungen, die hier nicht näher erläutert werden können.

Zur Erzeugung von Biogas eignen sich vor allem Pflanzenarten, die reich an leicht abbaubaren Kohlenhydraten, wie Zucker- und Eiweißstoffe, sind. Nach Untersuchungen von Zauner (1985) und Zauner und Künzel (1986) waren die Methanerträge nach Silierung und Vergärung von Mais, Feldgras und Deutschem Weidelgras identisch.

6. Biogas als Energieträger

Die Biomethanisierung hat für die Entsorgung der organischen Rest- und Abfallstoffe bei der Verarbeitung von landwirtschaftlichen Produkten und bei der landwirtschaftlichen Tierhaltung eine gewisse Bedeutung. Dabei stehen umweltrelevante Aspekte im Vordergrund.

Der gezielte Anbau von Pflanzen zur Erzeugung von Biogas wird kaum praktiziert, obwohl sich eine Reihe von Grünpflan-

zen Rohstoffe aus lignocellulosehaltigen Pflanzenarten eignen sich kaum zur Produktion von Biogas. Die Biogasproduktion aus Grünpflanzen erwies sich aber als sehr kompliziert und erfordert ein hohes Maß an Aufwand für die Steuerung des Fermentationsprozesses. Außerdem wäre für eine vertretbare Ausbeute von Biogas aus pflanzlichen Rohstoffen ein kontinuierlicher und langfristiger Ablauf der Produktion und homogenes Substrat unerlässlich.

Tabelle 4: **Erträge und Trockensubstanzgehalte einiger Energiepflanzen**

Pflanzenart	Trockensubstanz- gehalt (%)	Ertrag (TM in t.ha ⁻¹)
Miscanthus sin. Giganteus (Chinaschilf)	58,6	26,80
Zuckerhirse (ZH 530)	27,5	21,80
Arundo donax (Pfahlrohr)	54,0	23,91
Spartina pectinata (Besengras)	56,2	16,15
Wintertriticale (EUC 6)	81,3	17,90
Dinkel	80,8	14,70
Winterweizen (Ares)	60,9	12,90
Winterroggen	66,4	14,60
Sommerweizen (Paros)	54,3	10,70
Sommerroggen (Karlshulder)	65,8	11,00
Mais	30,4	17,88
Sonnenblume (Gigant)	80,2	14,16
Weidelgras (Defo)	38,8	10,45

Zusammenfassung

Die Erzeugung von Biomasse zur Energiegewinnung wird zukünftig für die Landwirtschaft eine wichtige Produktionsalternative sein. Dies wird sich zwangsläufig aus rohstoff-, umwelt- und agrarpolitischen Gründen ergeben.

Allen alternativen Energierohstoffen ist gemeinsam, daß sie im Vergleich zu den entsprechenden fossilen Rohstoffen noch nicht wettbewerbsfähig sind. Dieser Umstand sollte aber nicht Anlaß sein, die pflanzlichen Rohstoffe als nur wissenschaftlich interessant zu betrachten. Wenn heute alle Prognosen darauf hinauslaufen, daß der Anteil der Biomasse an der Energieerzeugung etwa 10 bis 15 v.H. betragen wird, dann sind solche Schätzungen Veranlassung genug, auch die Möglichkeiten und Grenzen der Nutzung heimischer Biomassepotentiale zu untersuchen und entsprechende Konzepte zu erarbeiten.

Possibilities and limitations of providing energy from biomass

This paper is dealing with the possibilities and limitations of producing plant raw materials as biofuels.

The potential plant species have been evaluated and discussed as a source to produce ethanol, oils, dry combustion materials and biogas. The results indicate that the potential of producing energy from biomass is considerable and that the possible contribution of biomass in energy production may be between 10 and 15 %. This will offer an essential alternative for agriculture, environment and industry. More efforts should be implemented in order to increase the efficiency of biofuel production.

Literatur

BML, 1990: Bericht des Bundes und der Länder über nachwachsende Rohstoffe. Herausgeber Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten.

Bramm, A., Bätz, W., 1988: Industriepflanzenanbau. - DLG-Feldtage 1988. Herausgeber: Bundesminister für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten.

Bramm, A., 1990: Genetische Ressourcen: Grundlage für den Industriepflanzenanbau. I. Ölpflanzen. - Proceedings Ge-

Abbildung 10: Trockenmasse-Erträge von *Miscanthus sinensis* 'Giganteus' in Abhängigkeit von der Bestandesdichte

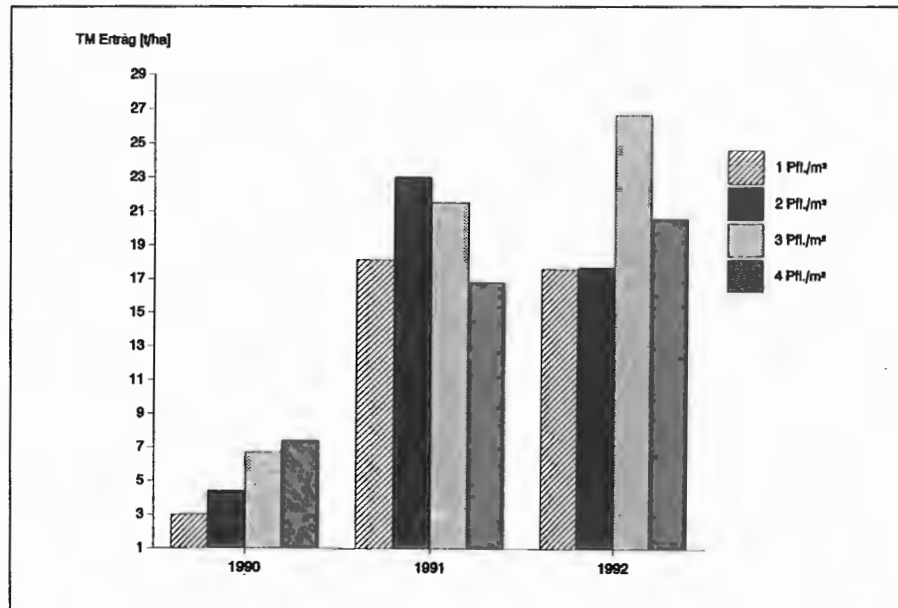
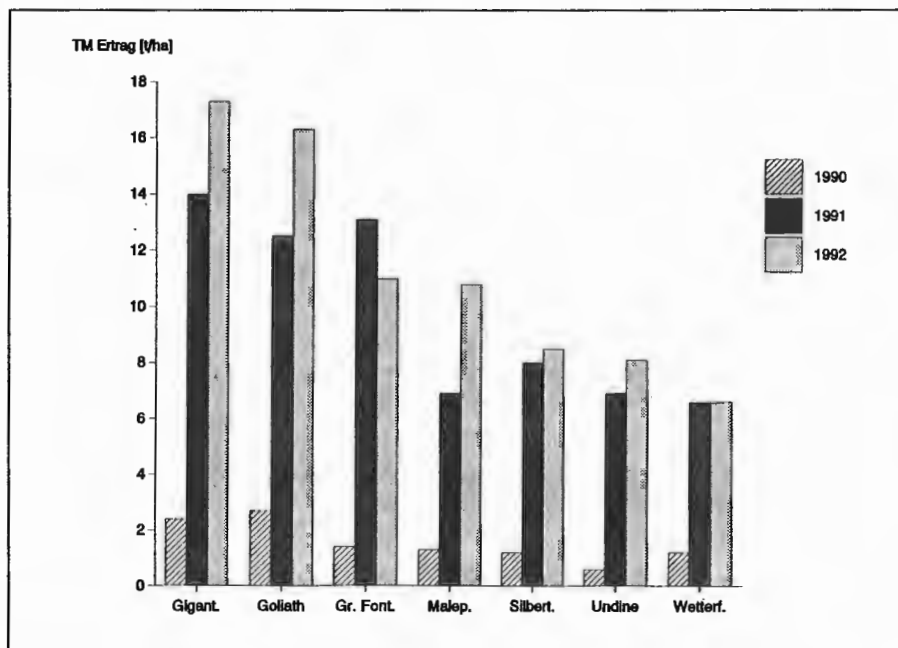


Abbildung 11: Trockenmasse-Erträge verschiedener *Miscanthus sinensis* - Sorten in den Jahren 1990, 1991 und 1992



meinsames Kolloquium: Sicherung und Nutzbarmachung pflanzengenetischer Ressourcen. Braunschweig-Gatersleben, S. 47-60.

Bramm, A., Dambroth, M., 1990: Welche Alternativpflanzen haben überhaupt Zukunft? - DLG-Mitteilungen 11/12, S. 542-545.

Bramm, A., Dambroth, M., Schulte-Körne, S., 1990: Ertragsanalytische Untersuchungen an Lein, Leindotter und Mohn. - Landbauforsch. Völknerode, 40. Jahrg. Heft 2, S. 107-114.

Abbildung 12: Die erste Anlage in Deutschland zur Erzeugung von Wärme aus Biomasse (Festbrennstoffe, vorwiegend Stroh) wird Ende 1993 in Schkölen bei Jena in Betrieb gehen. Die Leistung des Biomasseheizwerkes beträgt 3,15 MW.



Bramm, A., 1991: Industriepflanzenanbau - eine Alternative mit Zukunft. - Zuckerrübe, 40. Jahrg., H. 3, S. 196-200.

Bramm, A., Wurl, H., 1991: Ertragsphysiologische Untersuchungen an Knollen- und Wurzelfrüchten für den Industriepflanzenanbau. - Mitt. der Ges. für Pflanzenbauwiss., Bd. 4, S. 237-240.

Dambroth, M., 1989: Der Ölpflanzenanbau hat Zukunftschancen. - Bauernblatt für Schleswig-Holstein, 36. Heft, 43./139. Jahrg., S. 102-103.

Dambroth, M., 1989: Industriepflanzenanbau ist Rohstoffbasis für die Naturstoffchemie. - Agrar-Übersicht Nr. 12, 40. Jahrg., S. 65-71.

Dambroth, M., 1991: Energiepflanzenanbau - Produktionsalternative oder Stiefkind der Politik? - Agrar-Übersicht, 41. Jahrg., Heft 2, S. 84-89.

Dambroth, M., 1991: Miscanthus sinensis - Einführung in die Thematik. - KTBL-Arbeitspapier 158, S. 7-13.

Dambroth, M., El Bassam, N., 1991: Was leistet Chinaschilf tatsächlich? - Schwäb. Bauer Nr. 20, 43. Jahrg., S. 16-20.

Dambroth, M., 1992: Stand der Forschung über nachwachsende Rohstoffe. - Schriftenreihe der CDU-Landtagsfraktion Sachsen-Anhalt, Bd. 6, Nachwachsende Rohstoffe, S. 40-56.

El Bassam, N., Dambroth, M., Rühl, G., 1987: Die Zuckerhirse - eine neue Rohstoffbasis für die Zuckerindustrie. - Landbauforsch. Völkenrode 37, S. 201-206.

El Bassam, N., Seidewitz, L., 1988: Evaluierungsdaten zur Zuckerhirse. - Bericht des Instituts für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung der FAL, 132 Seiten.

El Bassam, N., Dambroth, M., 1990: Evaluation of Maize and Sorghum cultivars as energy crops. - EUCARPIA, S. 421-423.

El Bassam, N., Dambroth, M., 1991: A concept of energy plant's farm. - Proc. of the Intern. Conf. on Biomass for energy, industry and environment. Athens, Greece, 22-26 April 1991, S. 34-40.

El Bassam, N., Jacks, I., 1991a: Miscanthus sinensis als Energiepflanze und Celluloselieferant - Fachliche Einführung. - KTBL Arbeitspapier 158, S. 14-25.

El Bassam, N., Jacks, I., 1991b: Evaluierung pflanzengenetischer Ressourcen von nichtheimischen Energiepflanzen. - Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss., 35. Jahrestagung, Braunschweig, Heft 4, S. 393-396.

El Bassam, N., Dambroth, M., Jacks, J., 1992: Die Nutzung von Miscanthus sinensis (Chinaschilf) als Energie- und Industriegrundstoff. - Landbauforsch. Völkenrode, 42. Jahrg., Heft 3, S. 199-205.

- Höppner, F., 1991: Fruktanspeicherung in Sproß und Knolle von Topinambur (*Helianthus tuberosus* L.) sowie Einfluß der Wasserversorgung auf Wachstum und Ertrag. - Dissertation Justus-Liebig-Universität Gießen.
- Schittenhelm, S., 1988: Productivity of *Helianthus tuberosus* L. under low versus high input conditions. Proc. of the 2nd Workshop "Jerusalem artichoke", Rennes 6/8 Dec. 1988.
- Schittenhelm, S., 1988: Use of Neo-Tuberosum clones as parents in a starch potato breeding programme. - Proc. EAPR/EUCARPIA Section Meeting on Parental Line Breeding, Choice of Parents and Selection for Combining Ability in Potato Breeding, Wageningen 11/16 Dec. 1988.
- Schittenhelm, S., 1990: Genetische Ressourcen: Grundlage für den Energie- und Industriepflanzenanbau. II. Knollenfrüchte. - Proceedings Gemeinsames Kolloquium: Sicherung und Nutzbarmachung pflanzengenetischer Ressourcen. Braunschweig-Gatersleben, S. 61-71.
- Schittenhelm, S., 1990: Inheritance of agronomical important traits in Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) - Vorträge für Pflanzenzüchtung, S. 15-11.
- Schittenhelm, S., Dambroth, M., 1990: Neo-Tuberosum - Neues Kartoffelzuchtmaterial. - Der Kartoffelbau 40, S. 378-379.
- Scholz, Ch., Weiland, P., 1991: Entwicklung eines Feststoff-Fermentationsprozesses zur Herstellung von Ethanol aus Zuckerrüben und anderen zuckerhaltigen Früchten. - Abschlußbericht zum BML-Forschungsvorhaben 87NR010, Febr. 1991, Braunschweig.
- Weiland, P., 1991: Status of anaerobic treatment in Germany and Europe. - Proc. 2nd Int. Symp. Byproducts from Biotechnology, 03./04.10.1991, 1-20, Cedar Rapids/Iowa.
- Wurl, H., 1989: Pflanzenbauliche Untersuchungen an Zichorie und Topinambur zur Erzeugung von Zuckerstoffen als Industriegrundstoffe. - Dissertation Justus-Liebig-Universität Gießen.
- Zauner, E., 1989: Biogasgewinnung aus Pflanzenstoffen. - Landbauforsch. Völkenrode, 2, S. 67-74.
- Zauner, E. und U. Küntzel, 1986: Methan production from ensiled plant material. - Biomass 10, S. 207-223.
- Verfasser: El Bassam, Nasir, Dr. agr., Institut für Pflanzenbau der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode (FAL), Leiter: Prof. Dr. agr. Manfred Dambroth.