

Ertragsentwicklung, Energie- und CO₂-Fixierung bei ein- bis dreijährigen Beständen von *Miscanthus x giganteus**)

KAI-UWE SCHWARZ, JÖRG MICHAEL GREEF und EWALD SCHNUG

Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde

und

Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung der Christian-Albrechts-Universität Kiel

1. Einleitung

Biomasse, die durch den Anbau von *Miscanthus x giganteus* erzeugt wird, findet ihren potentiellen Einsatz im energetischen sowie im industriellen Rohstoffbereich (El Bassam et al., 1992; Weißmann und Lange, 1991). In Hinblick auf die begrenzte Verfügbarkeit fossiler Energien und der zunehmenden globalen Klimabelastungen ist eine sinnvolle Substitution durch nachwachsende Rohstoffe von großer Bedeutung.

Die Gattung *Miscanthus* hat eine tropisch-subtropische Herkunft. Das Verbreitungsgebiet erstreckt sich von den Pazifischen Inseln bis in die Gebirgsregionen Japans und des Himalayas, als auch in die kontinentalen Klimazonen der Mandchurie (s. Greef und Deuter, 1993). Die hohe Adaptationsfähigkeit lassen eine Verbreitung und Etablierung von *Miscanthus*-Arten auch unter europäischen Bedingungen erwarten (Hartley, 1958).

An den Anbau von *Miscanthus* wird die Erwartung geknüpft, daß trotz eines hohen potentiellen jährlichen Ertragsniveaus Produktionsmitteleinsatz und damit die Belastungen der Umwelt gering gehalten werden können (El Bassam et al., 1992; Katter et al., 1992). Hierfür sprechen vor allem Eigenschaften, die sich aus der Biologie der Pflanze erklären. *Miscanthus* ist ein perennierendes Gras; es baut ein komplexes unterirdisches Rhizom als Speicherorgan auf, aus dem sich der oberirdische Pflanzenbestand im Frühjahr entwickelt (Mutoh et al., 1968). Innerhalb der C₄-Pflanzen ist *Miscanthus* ebenso wie *Zea mays* und *Saccharum* in die Gruppe der "Malat-Fixierer" einzugruppieren (Nishikido und Wada, 1974) und verfügt über eine hohe photosynthetische Leistungsfähigkeit. Der C₄-Metabolismus ist mit einer ausgeprägten Umverteilung von Nährstoffen innerhalb der Pflanze verbunden, wodurch eine mehrfache Nutzung von essentiellen Nährelementen gegeben ist (Mutoh und Nakamura, 1978). Das Erreichen hoher Flächenerträge setzt allerdings gegenüber C₃-Pflanzen höhere Ansprüche an Lichtsättigung und Temperatur voraus (Troughton, 1975).

Die hohe Anpassungsfähigkeit bei *Miscanthus* an unterschiedliche Umweltbedingungen geht mit verschiedenen Wuchstypen einher, die die Heterogenität innerhalb und zwi-

schen den Arten kennzeichnen. Arten aus der Sektion *Triarhena* (*M. sacchariflorus*) und der Sektion *Miscanthus* (*M. floridulus*, *M. sinensis*) können unter optimalen Wachstumsbedingungen große Biomassen aufbauen (Adatei und Shiotani, 1962; Mun, 1988; Mutoh, 1968; Numata und Mitsudera, 1969). Die hohen Wuchsleistungen einzelner Varietäten sind auf Heterosiseffekte zurückzuführen, die bei den häufig vorkommenden Hybridisierungen auftreten (Matumura et al., 1987). Sehr wahrscheinlich hat *Miscanthus x giganteus* eine solche Herkunft (Greef und Deuter, 1993).

Ertragsstudien bezüglich der Biomassebildung von *Miscanthus x sinensis* aus dem mitteleuropäischen Raum zeigen eine große Spannweite, die sich von 8 - 44 t/ha erstreckt (El Bassam und Dambroth, 1991; Kolb et al. 1990; Liebhard, 1992; Machie und Moore, 1991; Sloth, 1985; u.a.). Allerdings wird nicht immer deutlich, ob es sich um erntefeuchte oder auf Trockensubstanz bezogene Erträge handelt, wodurch die Abschätzung des Ertragspotentials erschwert wird. Hinzu kommt, daß bei der zur Zeit noch uneinheitlichen systematischen Einordnung der verwendeten *Miscanthus*-Genotypen oft unklar ist, welches Pflanzenmaterial in den jeweiligen Versuchen verwendet worden ist.

In dem vorliegenden Artikel ist die Etablierung und Biomassebildung von *Miscanthus x giganteus* im mitteleuropäischen Klimaraum anhand eines Standortversuches, der 1990 von der VEBA OEL AG, Gelsenkirchen, angelegt wurde, beschrieben. Es liegen nunmehr dreijährige Ergebnisse (1990 - 1992) vor. Ziel dieser Untersuchung ist es, das Ertragspotential und die damit verbundene energetische Leistungsfähigkeit von *Miscanthus x giganteus* in Abhängigkeit unterschiedlicher Umweltfaktoren zu prüfen. Das besondere Interesse gilt dabei der Abhängigkeit von Temperatur, Niederschlag und Bodeneigenschaften. Von den ursprünglich 13 angelegten Beständen winterten 2 Bestände aus und konnten nicht ausgewertet werden, während auf den verbleibenden 11 Flächen keine oder deutlich geringere Winterausfälle beobachtet wurden. Das Problem der Auswinterung einjähriger Bestände, möglicherweise durch ungünstige Witterungsbedingungen verursacht, stellte sich in dem 1991 ausgeweiteten Standortversuch noch gravierender dar und soll in einem Folgebeitrag untersucht werden.

2. Material und Methoden

Als Pflanzmaterial wurde *Miscanthus x giganteus* (Greef et Deu.) Klon "Olsen" verwendet. Das Pflanzmaterial stammte aus Dänemark von der Firma JOPIN, Silkeborg. Es handelte sich um Pflanzen, die im Februar des Pflanzjahres aus zweijährigen Mutterpflanzen durch Teilen der Rhizome gewonnen und im Gewächshaus in Torftöpfen vorkultiviert wurden.

*) Diese Arbeit wurde ermöglicht durch einen Fortschreibungsauftrag der VEBA OEL AG, seit Juli 1991 finanziell gefördert durch das BMFT/BML. Dieses Vorhaben ist Teil der *Miscanthus* Verbundprojektes.

Tabelle 1: Versuchsflächenübersicht, Standortverzeichnis *)

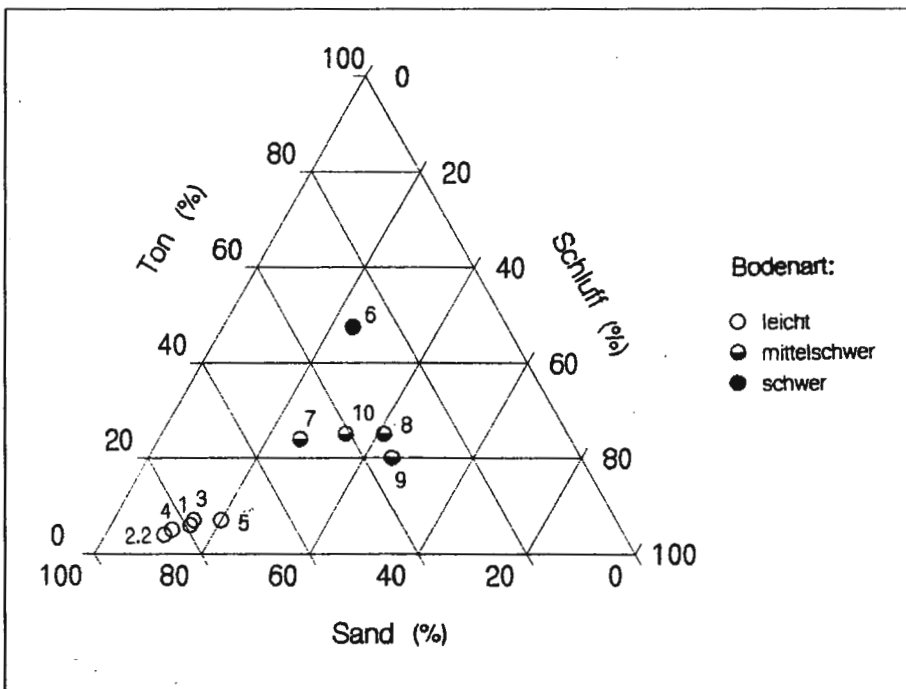
Standort	Landschaftsraum, Bundesland	Höhe ü.NN (m)	dominierender Bodentyp bzw. -gesellschaft
1	Niedere Geest, Schleswig-Holstein	28	Gley-Podsol, Podsol-Gley
2.1	Diepholzer Moor, Niedersachsen	39	Niedermoor-Sandmischkultur
2.2	Diepholzer Moor, Niedersachsen	43	Podsol
3	Bickelsteiner Heide, Niedersachsen	98	Braunerde, Pseudogley-Braunerde
4	Wildeshauser Geest, Niedersachsen	37	Podsol
5	Westfälische Bucht, Nordrhein-Westfalen	62	Gley-Braunerde, Gley-podsol
6	Gäuland, Baden-Württemberg	310	Pararendzina, verbrauchte Rendzina
7	Fichtelgebirge, Bayern	515	Pseudogley-Parabraunerde
8	Donauried, Bayern	435	Ranker-Pseudogley
9	Hallertau, Bayern	413	Pararendzina
10	Ampermoos, Bayern	437	Pseudogley, Pseudogley-Kolluvisol

*) Flächen aus dem VEBA OEL AG-Standorttestprogramm

Die Pflanzung der Versuchsflächen erfolgte im Mai 1990. Mit einer zweireihigen, halbmanuellen Forstpflanzmaschine wurden die vorgezogenen Pflanzen ca. 5 cm tief in den Boden gesetzt. Die Pflanzdichte betrug 2 Pflanzen/m² bei einem Abstand zwischen den Reihen von 75 cm und einem Pflanzenabstand in der Reihe von 66 cm.

In der vorliegenden Untersuchung werden 11 über das Bundesgebiet verteilte Standorte (Standort 2 gliedert sich in die dicht beieinander liegenden Standorte 2.1 und 2.2) vorgestellt (Tabelle 1). Auswahlkriterium waren Unterschiede in den Bodeneigenschaften, die in Verbindung mit Unterschieden in wesentlichen Klimatelementen (Tabelle 2) eine weite Variabilität in den Umweltfaktoren repräsentieren.

Abbildung 1: Standortklassifikation nach Bodenart



Die Standorte werden nach der Bodenart in 5 leichte, 4 mittelschwere und einen schweren Boden klassifiziert (Abbildung 1). Der Standort 2.1 ist aufgrund der vornehmlich durch Niedermooereinfluß charakterisierten Bodeneigenschaften nicht in die Abbildung aufgenommen worden. Zwei weitere Standorte (Hildesheimer Börde und ostfriesische Marsch) winterten aus und wurden nicht in die Untersuchungen einbezogen.

Die Düngung der Böden erfolgte nach den Ergebnissen der Bodenuntersuchung. P und K wurden ergänzt, sofern die Versorgungsstufe C unterschritten war. Eine N-Düngung war erst vom zweiten Jahr an mit 80 kg N/ha vorgesehen.

Nach dem Ende der Vegetation wurden die Versuchsflächen jedes Jahr (1990-1992) im November/Dezember beprobt. Dieser frühe

Tabelle 2: Niederschlag und Wärmesumme (Summe der täglichen Durchschnittstemperaturen >0 °C) in der Vegetationsperiode der Jahre 1990 bis 1992 (1. Mai- 31. Oktober)

Standort	Niederschlag (mm)			Wärmesumme (°C)		
	1990	1991	1992	1990	1991	1992
1	541	442	282	2593	2486	2729
2	352	290	416	2753	2630	2830
3	304	324	299	2607	2481	2679
4	352	290	416	2753	2630	2830
5	319	300	365	2732	2621	2812
6	437	322	512	2850	2778	2870
7	358	272	389	2444	2343	2562
8	334	406	478	2751	2660	2870
9	378	475	317	2500	2415	2707
10	505	553	413	2534	2411	2728
Mittel	388	367	389	2652	2546	2762

Zeitpunkt wurde gewählt, um bei bis dahin noch geringen Blattverlusten einen möglichst ungestörten Vergleich im Ertragspotential der Standorte zu gewährleisten. Bestimmt wurden Triebzahl/m² und Flächenertrag. Den Ergebnissen liegen je Standort drei Meßreihen von je 6,66 m Länge zugrunde. Um die Genauigkeit der Messungen zu erhöhen, wurden parallel zu einer Meßreihe die Triebzahlen in den beiden Nachbarreihen ausgezählt und bei der Berechnung des Flächenertrages berücksichtigt.

Für die Berechnung der Energiebindung wurde aus einer Mischprobe aus dem Erntegut ein aschefreier physikalischer Brennwert von 17,62 KJ/g ermittelt. Die Berechnung der CO₂-Fixierung erfolgte durch die Umrechnung des Brennwertes über Glucoseäquivalente in die CO₂-Bindung pro Trockenmasseeinheit (Greef et al., 1993; Williams et al., 1987).

3. Witterungsverlauf

Wärmesummen und Niederschläge in den Versuchsjahren während der Vegetationszeit (1. Mai - 31. Oktober) sind in Tabelle 2 zusammengestellt. Bei den Temperaturen werden in der Vegetationszeit des Jahres 1992 die höchsten Wärmesummen erreicht (Tabelle 2). Im Pflanzjahr liegt die Wärmesumme ebenfalls hoch. Die im Durchschnitt niedrigste Wärmesumme ergibt sich für die Vegetationsperiode 1991. Innerhalb der

Standorte sind die Unterschiede zwischen den Extremen beträchtlich. Dies wird u.a. bedingt durch die Höhe über NN, die bei Standort 7 (Fichtelgebirge) mit der geringsten Wärmesumme eine Mittelgebirgslage kennzeichnet.

Anders als bei der Wärmesumme ergeben sich für die Standorte beim Niederschlag keine einheitlichen Jahreseffekte (Tabelle 2). So ist von 1990 bis 1992 ein Rückgang in der Niederschlagsmenge für Standort 1 gegeben. Umgekehrt fallen z. B. auf Standort 8 die höchsten Niederschläge 1992, die geringsten 1990. Die mittlere Niederschlagshöhe über alle Standorte unterliegt im Vergleich der Jahre nur geringen Schwankungen. Auf den Standorten 3 und 4 wurden die Pflanzen 1990 zusätzlich mit 70 bzw. 100 mm beregnet. Der Standort 3 erhielt im Jahr 1991 während der Trockenheit im Juni ebenfalls eine zusätzliche Beregnung von 25 mm.

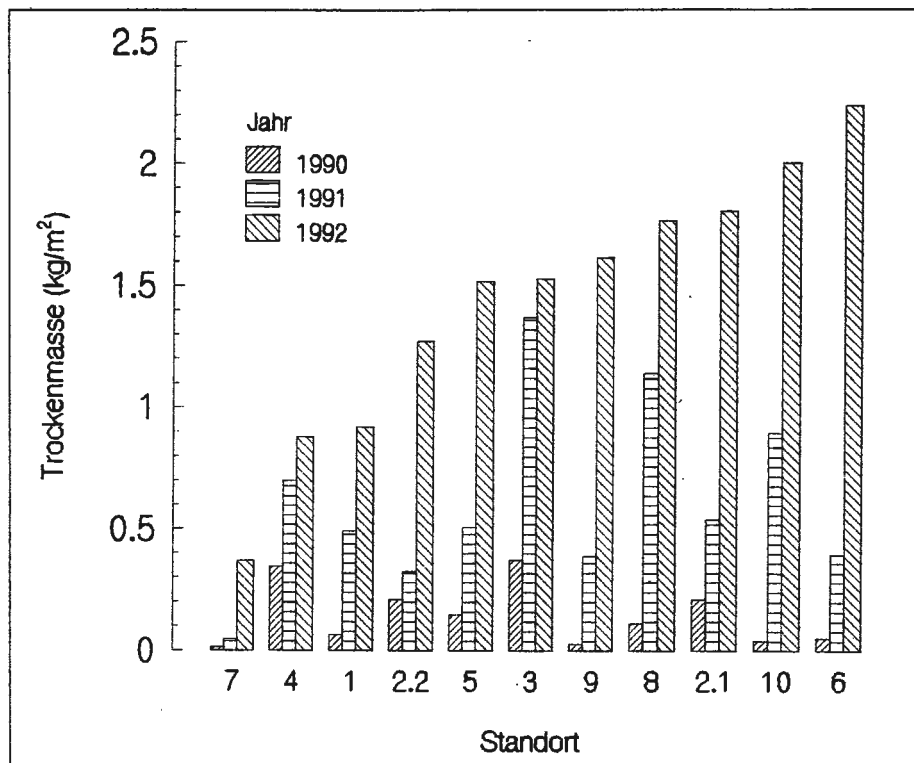
4. Ergebnisse

Im Pflanzjahr ist auf allen Standorten der Trockenmasseertrag unbedeutend (Tabelle 3). Im zweiten Jahr steigt das durchschnittliche Ertragsniveau im Vergleich zum Pflanzjahr mit 0,47 kg/m² um fast das Vierfache auf 0,62 kg/m² an. Im dritten Jahr ist mit einer Steigerung des Durchschnittsertrages um 0,83 kg/m² auf 1,45 kg/m² nochmals mehr als eine Verdoppelung des Ertrages gegenüber dem Vorjahr gegeben. Nach den absoluten Zahlenwerten fällt damit der Ertragsan-

Tabelle 3: Trockenmasse von *Miscanthus x giganteus* in den Jahren 1990 - 1992: Standortmittel, -minimum, -maximum, Standardabweichung und Variationskoeffizient

Jahr	Mittel (kg/m ²)	Minimum (kg/m ²)	Maximum (kg/m ²)	Standardabweichung (kg/m ²)	Variationskoeffizient
1990	0,15	0,01	0,37	0,13	87,5
1991	0,62	0,05	1,37	0,38	62
1992	1,45	0,37	2,25	0,55	37,9

Abbildung 2: *Miscanthus* - Trockenmasseerträge auf verschiedenen Standorten in den Jahren 1990 - 1992



zu. Der Variationskoeffizient hingegen nimmt vom ersten zum letzten Versuchsjahr hin ab (Tabelle 3).

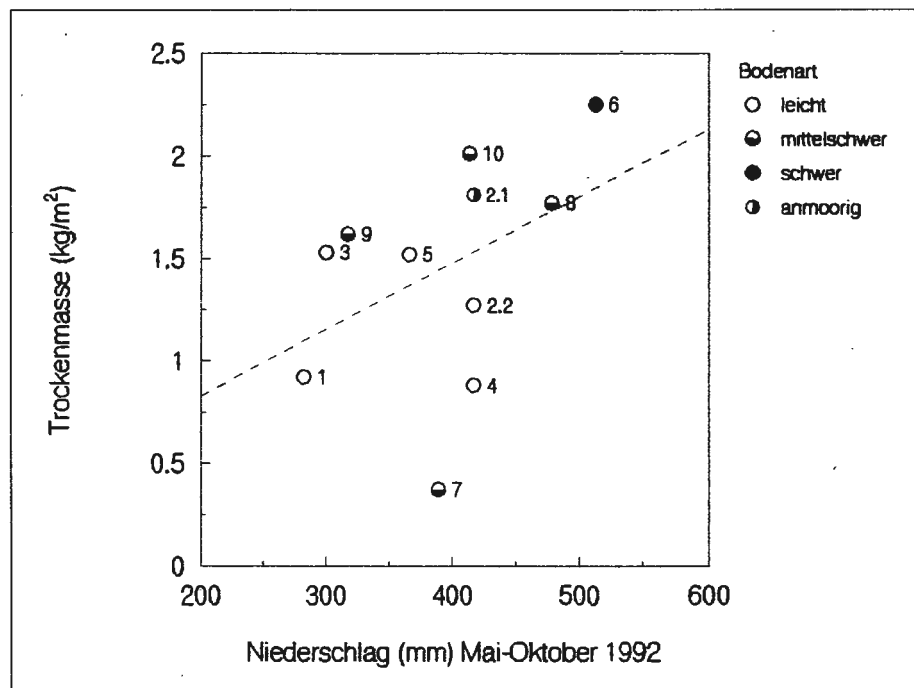
Werden die einzelnen Standorte gesondert betrachtet, zeigt sich eine differenzierte Reaktion im Ertrag und im Ertragszuwachs zwischen den Jahren (Abbildung 2). Fünf Standorte (1, 6, 7, 9, 10) liegen im Ertrag im Pflanzjahr unter $0,10 \text{ kg/m}^2$. Zwei Standorte (3, 4) erreichen mit über $0,30 \text{ kg/m}^2$ die höchsten Erträge im Pflanzjahr. Im zweiten Jahr bleibt Standort 7 weiterhin bei einem Ertrag unter $0,10 \text{ kg/m}^2$. Zwei Standorte, 3 und 8, überschreiten dagegen $1,0 \text{ kg/m}^2$. Im dritten Jahr erreicht der ertragschwächste Standort 7 gerade den Höchstertrag des besten Standortes aus dem Pflanzjahr, während fünf Standorte (2.1, 3, 5, 8, 9) zwischen $1,5$ und $2,0 \text{ kg/m}^2$ liegen und zwei Standorte (6, 10) $2,0 \text{ kg/m}^2$ übertreffen. Auffällig ist der besonders große Ertragsanstieg mit $1,85 \text{ kg/m}^2$ auf Standort 6 vom zweiten zum dritten Jahr.

Die Standorte sind in Abbildung 2 nach der Ertragshöhe des Jahres 1992 gruppiert worden. Diese

stieg vom zweiten zum dritten Jahr wesentlich stärker aus gegenüber der Ertragssteigerung vom Pflanzjahr zum zweiten Jahr. Die Variation in der Ertragshöhe zwischen den Standorten nimmt gemessen an der Spannweite zwischen ertragschwächstem und ertragsstärkstem Standort von Jahr zu Jahr

Rangfolge spiegelt sich kaum in den Erträgen des Vorjahres und noch weniger in der des Pflanzjahres wieder. Die entsprechenden Rangkorrelationskoeffizienten sind mit $r=-0,11$ für den Vergleich der Jahre 1992 und 1990 sowie mit $r=0,35$ für den Vergleich der Jahre 1992 und 1991 nicht signifikant.

Abbildung 3: *Miscanthus* - Trockenmasse 1992 in Abhängigkeit vom Niederschlag bei Beständen im dritten Jahr



Eine Präferenz bestimmter Standorte innerhalb des gewählten Standortspektrums für den *Miscanthus* - Anbau zeichnet sich danach noch nicht klar ab. Es fällt jedoch auf, daß insbesondere die mittelschweren Böden und der schwere Boden nach zum Teil geringer Biomassebildung im Pflanzjahr und im zweiten Jahr im dritten Jahr zu den ertragsstärkeren Standorten zählen. Demgegenüber fallen die leichteren Böden in der Ertragsleistung im dritten Jahr auf untere Rangplätze ab.

Von besonderer Bedeutung auf den Ertrag sind Niederschlag und Temperatur. Im dritten Jahr bei steigendem Ertragsniveau gerät die Wasserversorgung auf den leichten Böden (Standorte 1, 2.2, 4) zum ertragsbegrenzenden Faktor (Abbildung 3). Die niedrige Wasserkapazität und die geringen Niederschläge während der Vegetationsphase auf diesen Standorten wirken sich besonders nachteilig auf die Ertragsleistung aus. Die Standorte 3 und 5 weisen dagegen bei eben-

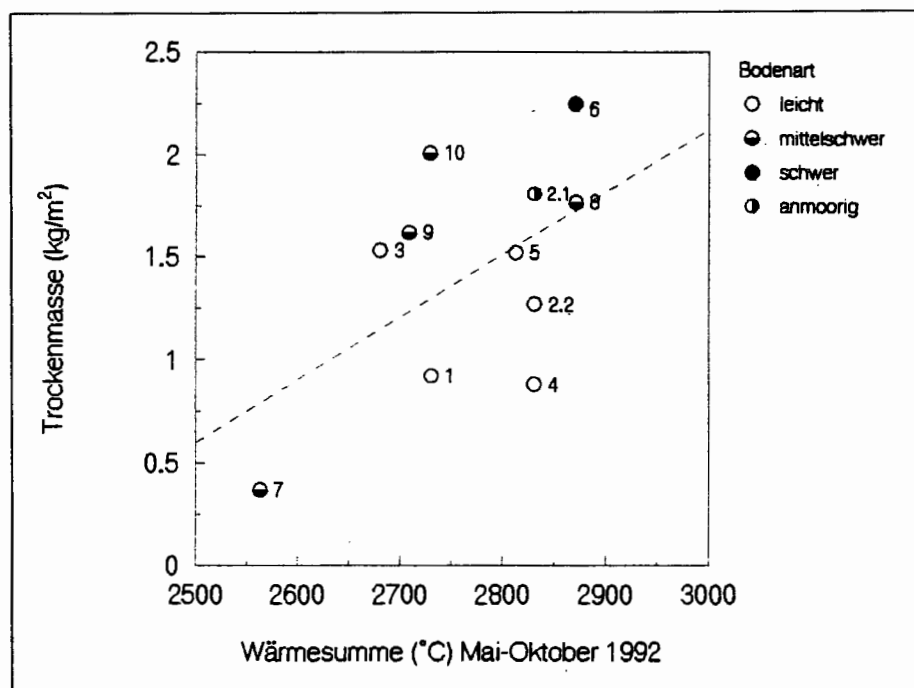
falls niedrigen Niederschlägen für die Gruppe der leichten Böden mit knapp 1,5 kg/m² hohe Erträge aus. Für Standort 8 wird bei einem Grundwasserstand von 2 m eine daraus zusätzliche Wasserversorgung der Pflanzen angenommen, die die Ertragsleistung erklärt. Standort 3, der wie die anderen leichten Böden keinen Grundwasseranschluß aufweist, erreicht im Jahr zuvor jedoch den höchsten Ertrag von allen Standorten. Eine hohe oberirdische Biomasseproduktion ist verknüpft mit einer hohen Einlagerung von Reservestoffen in das Rhizom. Dies führt zu einer größeren Unabhängigkeit von den Umweltfaktoren im Folgejahr und ist als günstige Ertragsvoraussetzung anzusehen.

Die schwereren Böden mit höherem Wasserspeichungsvermögen profitieren mit Ausnahme von Standort 9 zusätzlich von den in der betreffenden Region im dritten Jahr höheren Niederschlägen. Der niedrige Ertrag von Standort 7 ist nicht durch fehlende Niederschläge, sondern durch den Temperatureinfluß zu erklären.

Wenn auch die Beziehung zwischen Wärmesumme und Ertrag nur schwach ausgeprägt ist (Abb. 4), zeigt sich in Extremen jedoch eine Temperaturabhängigkeit: Trotz durchschnittlicher Niederschläge in 1993 wird durch die vergleichsweise niedrigen Temperaturen in der Mittelgebirgslage auf mittelschwerem Boden (Standort 7) ein nur geringer Ertrag erzielt. Der hohe Ertrag an Standort 6 hingegen erklärt sich nicht zuletzt auch durch die günstigen Temperaturbedingungen.

Die wechselseitige Abhängigkeit des Ertrages sowohl von der Temperatur als auch vom Niederschlag ist in Abbildung 5 dargestellt. Innerhalb eines unteren Wärmesummenbereiches zwischen 2560 °C und 2670 °C wird der Ertrag weitgehend von der Temperatur und weniger von der Niederschlagshöhe bestimmt. Die entsprechenden Erträge reichen von 0,4 bis 1,5 kg/m². In einem oberen Bereich der Wärmesumme zwischen 2880 und 2990 °C, entsprechend einem Ertragspotential zwischen 1,4 und 2,2 kg/m² wird neben der Wärmesumme auch die Niederschlagshöhe stärker ertragswirksam und es ergibt sich eine Beziehung zwischen beiden Einflußgrößen. In diesem Bereich nimmt der Ertrag zu, wenn wenigstens eine von beiden Einflußgrößen ansteigt. Die Beziehung zwischen Wärmesumme und Niederschlag in ihrer Wir-

Abbildung 4: *Miscanthus* - Trockenmasseerträge in Abhängigkeit von der Wärmesumme bei Beständen im dritten Jahr



kung auf den Ertrag zeigt sich auch in der gegenseitigen Kompensation: So hat die Abnahme einer der beiden Einflußgrößen keinen Ertragsabfall zur Folge, wenn die andere entsprechend anwächst.

Weiterhin geht aus Abbildung 5 hervor, daß keine linearen Abhängigkeiten des Ertrages von der Wärmesumme und vom Niederschlag gegeben sind. Der Abstand zwischen den Isoli-

Abbildung 5: Abhängigkeit des Trockenmasseertrages von Temperatursumme und Niederschlag bei Beständen von *Miscanthus x giganteus* im dritten Jahr

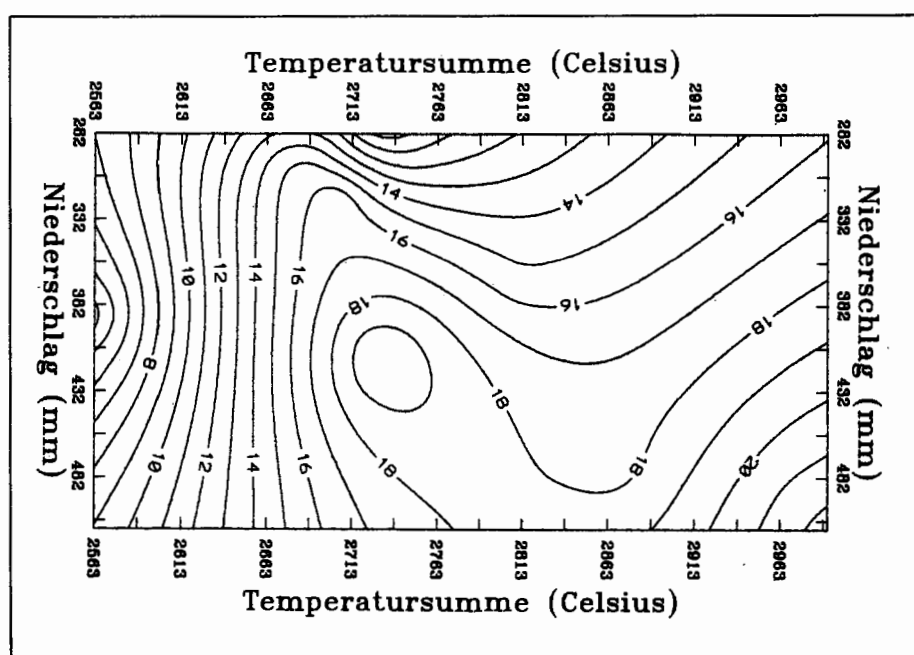


Tabelle 4: Energiebindung, CO₂-Fixierung und Strahlungsausnutzung (RUE, E_{eff}) bei *Miscanthus x giganteus* vom ersten zum dritten Standjahr

Jahr		Energiebindung MJ/m ²	CO ₂ - Fixierung kg/m ²	RUE g TM/MJ	E _{eff} (%)
1990	Minimum	0,20	0,019	0,01	0,017
1990	Mittel	2,75	0,261	0,12	0,242
1990	Maximum	7,28	0,691	0,32	0,639
1991	Minimum	0,98	0,093	0,04	0,086
1991	Mittel	12,20	1,157	0,54	1,071
1991	Maximum	26,96	2,557	1,20	2,367
1992	Minimum	7,28	0,690	0,32	0,639
1992	Mittel	28,53	2,706	1,27	2,505
1992	Maximum	44,28	4,199	1,98	3,887

nien macht deutlich, daß für den oberen im Gegensatz zum unteren der beiden vorgegebenen Wärmesummenbereiche die Temperatur bei gleichem Ertragsanstieg stärker ansteigt. Dies läßt sich eingeschränkt auch für die Beziehung zwischen Ertrag und Niederschlag ableiten.

Im mittleren Wärmesummenbereich zwischen 2670°C und 2880°C laufen die Isolinien auf ein relatives Ertragsmaximum von 1,9 kg/m² bei vergleichsweise geringer Wärmesumme und geringem Niederschlag zu. Entsprechende Verhältnisse finden sich bei den Standorten 9 und 10. Bei beiden Standorten handelt es sich um mittelschwere Böden mit einer entsprechenden Speicherkapazität für Wasser. Es ist anzunehmen, daß für die hohen Erträge auf diesen Standorten der Niederschlag nicht allein ausreichte, sondern die Wasserversorgung der Pflanzen aus der Bodennachlieferung ergänzt wurde. Für die Abhängigkeit des Ertrages von Niederschlag und Temperatursumme errechnet sich ein multiples Bestimmtheitsmaß von 39 %.

Mit der Biomassebildung eines *Miscanthus*-Bestandes ist die Energiebindung und CO₂-Fixierung verbunden. *Miscanthus x giganteus* leistet eine hohe Energie- und CO₂-Bindung pro Flächeneinheit (Tabelle 4). Die Energiebindung pro Fläche vervierfacht sich vom ersten zum zweiten Standjahr, während sie sich vom zweiten zum dritten Standjahr noch verdoppelt (Tabelle 4). Sie beläuft sich im dritten Standjahr auf durchschnittlich 28,5 MJ/m² bei einer weiten Streuung der Werte zwischen den Standorten (7,3 - 44,3 MJ/m²).

Durch den Anbau von *Miscanthus* wird über den Flächen-ertrag eine CO₂-Menge von 2,7 kg/m² (0,7 - 4,2 kg/m²) im dritten Standjahr in der oberirdischen Biomasse festgelegt (Tabelle 4).

Ein Merkmal der Leistungsfähigkeit von landwirtschaftlichen Kulturarten ist der Wirkungsgrad mit dem Strahlung in Biomasse konvertiert wird. Er wird ausgedrückt in der Beziehung zwischen der gebildeten Biomasse und der eingestrahlt photosynthetisch aktiven Strahlung (RUE) sowie in dem Verhältnis zwischen der in der Biomasse gebundenen Energie und der eingestrahlt photosynthetisch aktiven Strahlung (E_{eff}). Die RUE erreicht für *Miscanthus* bereits im dritten Anbaujahr einen mittleren Wert von 1,27 g/MJ (0,32 - 1,98 g/MJ). Die Energiebindung pro photosynthetisch aktiver Strahlung (E_{eff}) beläuft sich im dritten Standjahr auf 2,5 % (0,6 - 3,9 %) (Tabelle 4).

5. Diskussion

Eine Annäherung an ein Ertragsmaximum ist aus den vorhandenen Daten noch nicht zu erkennen (Tabelle 3, Abbildung 2). Insoweit ist eine Schlußfolgerung über das Ertragspotential von *Miscanthus x giganteus* auf den verschiedenen Standorten nach dieser kurzen Versuchsdauer noch nicht möglich.

Nach Untersuchungen von Kobayashi (1988) mit *M. sinensis* in Japan ist die Etablierung eines Bestandes mit dem Erreichen des Ertragsoptimums im vierten oder fünften Standjahr abgeschlossen.

Auch ist noch keine zuverlässige Bewertung der Umweltfaktoren auf die Leistungsfähigkeit von *Miscanthus x giganteus* im jetzigen Versuchsstadium möglich. Bei einem hohen Niveau des Flächenertrages spielen die Wasserversorgung der Pflanzen, die Temperaturverhältnisse und die Länge der Vegetationsdauer eine vorrangige Rolle (Funk et al. 1991, Mutoh et al. (1968), Kayama et al. (1972), Numata und Mitsudera (1969)).

Aus den vorgestellten Untersuchungen geht hervor, daß offensichtlich die Etablierung von Pflanzenbeständen auf leichten Böden besser als auf schweren gelingt (Abbildung 2, Abbildung 1). Der im Pflanzjahr bei geringem Ertragsniveau noch niedrige Wasserbedarf erweist sich für diese Standorte von Vorteil. Nielsen (1987) beschreibt ähnliche Ergebnisse, in denen sich sandige bis sandig-lehmige Böden günstig gegenüber schweren Böden auf die Pflanzenentwicklung auswirken. Nach den vorliegenden Untersuchungen fallen jedoch im zweiten und vor allem im dritten Jahr mit steigendem Ertragsniveau die leichten Böden gegenüber den schwereren Böden in der Ertragsleistung deutlich ab (Abbildung 2).

Untersuchungen zur Substanzbildung, die in dem ursprünglichen Verbreitungsgebiet von *Miscanthus* erhoben wurden, haben den Vorteil, daß in der Regel bestehende ältere Bestände herangezogen werden und Schlußfolgerungen nicht von Jungpflanzenbeständen in der Etablierungsphase getroffen werden müssen. Zu berücksichtigen bleibt jedoch, daß es sich um natürliche Vegetationen handelt, in denen *Miscanthus* - Gräser dominieren; nur selten handelt es sich um Reinbestände. Ein zu *Miscanthus x giganteus* vergleichbares Er-

tragsniveau ist bei Matsumura et al. (1987) zitiert. In einem Vergleich von *M. sinensis*, *M. sacchariflorus* und deren 3x- sowie 4x- Hybriden wird von einer Ertragsleistung des 4x-Hybriden berichtet, die bei 1,99 kg/m² liegt. Mutoh et al. (1968) führt eine maximale oberirdische Biomassebildung von 1,61 kg/m² für *M. sacchariflorus* bei einer mittleren jährlichen Temperatur von 15 °C an (36. Breitengrad). Für *M. sinensis* wird von Shoji et al. (1990) für den 38. Breitengrad mit einer mittleren jährlichen Temperatur von 10,4 °C eine durchschnittliche oberirdische Biomasse von 0,56 kg/m² mit einer Schwankungsbreite von minimal 0,09 kg/m² und maximal 3,20 kg/m² angegeben.

Ergänzend zu den eigenen Untersuchungen muß neben der oberirdischen Biomassebildung die unterirdische Akkumulation von Biomasse berücksichtigt werden. Die Verhältnisse zwischen ober- und unterirdischer (Rhizom) Masse scheinen stark standortabhängig zu sein. Das Verhältnis zwischen unterirdischer zu oberirdischer Masse in bereits etablierten Beständen wird mit 1,4 - 1,9 für den 38. Breitengrad beschrieben (Kayama et al., 1972; Midorikawa et al., 1975). Kobayashi (1981) führt dagegen für den 34. Breitengrad ein Verhältnis von 0,21 bis 0,38 an. Mun (1988) beschreibt ein Verhältnis von 0,52 für den 36. Breitengrad. Mutoh et al. (1968) ermittelt ein Verhältnis von unter- zu oberirdischer Masse von 0,45 für den 36. Breitengrad. Eine vorsichtige Interpretation der vorliegenden Angaben legt den Schluß nahe, daß *Miscanthus* bei ungünstigen Standortbedingungen verhältnismäßig viel Assimilate in das unterirdisch angelegte Speichersystem transloziert. Angaben innerhalb des europäischen Klimaraumes liegen nur vereinzelt vor. Während der Etablierungsphase (zweites Standjahr) wurde ein Verhältnis zwischen unter- zu oberirdischer Masse von 0,3 ermittelt (Greef, 1992).

Mit der Biomassebildung eines *Miscanthus*-Bestandes ist die sowohl ökologisch als auch ökonomisch relevante Energiebindung und CO₂-Fixierung verbunden. *Miscanthus x giganteus* leistet eine hohe Energie- und CO₂-Bindung pro Flächeneinheit (Tabelle 4). Verglichen mit der Fähigkeit anderer landwirtschaftlicher Kulturarten, Energie - je nach Energiekonzentration im Gewebe - zu binden, bewegt sich die Leistung von *Miscanthus* bereits im dritten Standjahr auf dem Niveau von Winterweizen, Wintererbsen und Mais (Vergleich der ganzen Pflanze) (Greef et al., 1993). Auch die CO₂-Bindung von *Miscanthus* bewegt sich auf dem Niveau heimischer Kulturpflanzen und dürfte bei einer weiteren Ertragssteigerung in den Folgejahren diese bei weitem übertreffen. Zusätzlich zur CO₂-Fixierung in den oberirdischen Organen ist die CO₂-Bindung in unterirdischen Organen zu berücksichtigen. Hier wird CO₂ langfristig in den Überdauerungsorganen des Rhizomes festgelegt. Nach Untersuchungen von Shoji et al. (1990) an *M. sinensis* stirbt ein Viertel des Rhizomes jährlich ab und wird der Humifizierung zugeführt. Dies könnte zu einer bedeutsamen Humusakkumulation führen, womit CO₂ mittelfristig im Boden festgelegt wird. Eine Humusakkumulation können wir noch nicht feststellen bzw. bestätigen.

Die Beziehung zwischen der gebildeten Biomasse und der eingestrahelten photosynthetisch aktiven Strahlung (RUE) sowie das Verhältnis zwischen der in der Biomasse gebundenen Energie und der eingestrahelten photosynthetisch aktiven Strahlung (E_{eff}) zeigen, daß sich die Leistungsfähigkeit von *Miscanthus* bereits im dritten Anbaujahr im oberen Bereich der Wirksamkeit der Strahlungskonversion von landwirtschaftlichen Kulturpflanzen befindet (Monteith, 1977; Sinclair et al., 1992; Greef et al., 1993). Der Ertragsentwicklung der Folgejahre bleibt es vorbehalten, ob RUE und E_{eff} noch wesentlich unter mitteleuropäischen Klimabedingungen gesteigert werden können.

5. Zusammenfassung

Die Biomassebildung, die Energiebindung und die CO₂-Fixierung werden für *Miscanthus x giganteus* anhand eines 1990 angelegten Standortversuches über unterschiedliche Bodentypen und Klimaräume innerhalb der Bundesrepublik Deutschland vom ersten bis zum dritten Standjahr (1990 - 1991) beschrieben. Die Pflanzungen wurden im Mai 1990 mit einer Pflanzdichte von 2 Pflanzen/m² ausgeführt. Die Ernte fand nach Abschluß der Vegetation im November/Dezember eines jeden Jahres statt, um Blattverluste über Winter zu vermeiden.

Von den ursprünglich angelegten 13 Standorten winterten zwei Bestände auf schwereren Böden aus, wobei die Ursachen möglicherweise in ungünstigen Witterungsbedingungen zu suchen sind. Auf den verbleibenden 11 Standorten wurden keine oder deutlich geringere Pflanzenausfälle nach Winter beobachtet.

Der durchschnittliche Trockenmasseertrag steigt von 0,15 kg/m² (0,01 - 0,37 kg/m²) im ersten, 0,62 kg/m² (0,05 - 1,37 kg/m²) im zweiten auf 1,45 kg/m² (0,37 - 2,25 kg/m²) im dritten Jahr stark an. Die Etablierungsphase, die mit dem Erreichen des Optimumertrages ihren Abschluß findet, scheint im dritten Standjahr noch nicht abgeschlossen. Die Wasserversorgung und die Temperaturverhältnisse sowie die Bodenfaktoren der einzelnen Standorte üben eine spezifische Rolle auf die Ertragsleistung aus. Auf leichten Standorten etabliert sich *Miscanthus x giganteus* schneller, wobei auf mittelschweren bis schweren Böden eine höhere Ertragsleistung in den Folgejahren zu erwarten ist.

Eng verknüpft mit der Biomassebildung ist die Fähigkeit, Energie und CO₂ zu binden. Die Energiebindung pro Fläche beläuft sich im dritten Standjahr auf 28,5 MJ/m² (7,3 - 44,3 MJ/m²). Die CO₂-Fixierung erreicht im dritten Standjahr bereits einen Wert von 2,71 kg/m² (0,69 - 4,20 kg/m²). Die Größenordnungen der Energie- und CO₂-Bindung lassen sich mit der Leistungsfähigkeit heimischer Kulturarten vergleichen. Die Effizienz der photosynthetisch aktiven Strahlungskonversion in Biomasse (RUE) bzw. chemisch gebundener Energie (E_{eff}) bewegt sich bereits im dritten Standjahr in der Größenordnung von 1,27 g/MJ (0,32 - 1,98 g/MJ) bzw. bei 2,5 % (0,6 - 3,9 %). Damit liegt die Leistungsfähigkeit von *Miscanthus x giganteus* in dem oberen Bereich heimischer oder bereits adaptierter landwirtschaftlicher Kulturpflanzen.

Yield, development, fixation of energy and CO₂ in 1 to 3 years old stands of *Miscanthus x giganteus*

A field trials programme over 13 locations throughout Germany was conducted to study the growth, fixation of CO₂ and energy accumulation of *Miscanthus x giganteus*. The experimental sites were planted in May 1990 with two plants/m². The sites were chosen to test the *Miscanthus x giganteus* over a wide range of soil types and climatic conditions. The harvest was carried out at the end of the vegetation period in November and December in each year (1990-1992) to estimate total shoot yield prior to leaf fall in winter.

Two of the field trials located on heavy soils were lost during the first winter. Although the reasons are still not quite clear, it is proposed that unfavourable growing conditions during the first vegetation period may have reduced the winter hardiness of the plants. Plant losses over winter did not affect the experimental work at the remaining 11 sites.

Dry matter yield on all locations increased every year. Average dry matter yield rose from 0,15 kg/m² (0,01 - 0,37 kg/m²) in the first year to 0,62 kg/m² (0,05 - 1,37 kg/m²) and 1,45 kg/m² (0,37 - 2,25 kg/m²) in the second and third year respectively. Annual yield is still increasing and these data do not give the maximum yield that will be achieved in future years. Differences between sites in yield reflected differences in soil types. Furthermore, differences in weather conditions between seasons were associated with changes between years in the yield ranking of locations. The lowest yields recorded in the first and second year came mostly from the heavy or loam soils. However, in the third year, the highest yields were obtained on the heavy soils.

The fixation of energy and CO₂ of *Miscanthus* is closely related to biomass accumulation. The fixation of energy was 28,5 MJ/m² (7,3 - 44,3 MJ/m²) in the third year. The fixation of CO₂ in the third year was 2,71 kg/m² (0,69 - 4,20 kg/m²). Both the fixation of energy and CO₂ is comparable to other field crops. The efficiency to convert the photosynthetic active radiation to biomass in the third year was calculated with a value of 1,27 g/MJ (0,32 - 1,98 g/MJ). This value confirms the high yielding ability of *Miscanthus x giganteus* compared to other crops.

Literatur

- Adati, S. und I. Shiotani (1962): The cytotaxonomy of genus *Miscanthus* and its phylogenetic status. - Bull. Fac. Agr. Mie Univ. 25, S. 1-24.
- El Bassam, N., M. Dambroth und I. Jacks (1992): Die Nutzung von *Miscanthus sinensis* (Chinaschilf) als Energie- und Industriegrundstoff. - Landbauforsch. Völknerode 42, S. 199-205.
- El Bassam, N. und M. Dambroth (1991): A concept of energy plants farm. - Paper presented at the 6th European Conference on Biomass for Energy, Industry and Environment OR.01.01. S. 7 Athens, Greece 22-26 April.
- Funk, R., K. Eghbal und G. Kahnt (1991): Standortansprüche und Anbaumaßnahmen zur Realisierung des Ertragspotentials von *Miscanthus sinensis*. - In: M. Marquard und W. Diepenbrock (Hrsg.) Mittl. Ges. Pflanzenbauwiss. 4. Verlag Vauk Kiel, S. 121-122.
- Greef, J. M. (1992): Wachstumsdynamik von *Miscanthus*. - In: M. Marquard und W. Diepenbrock (Hrsg.) Mittl. Ges. Pflanzenbauwiss. 5 Wiss. Verlag Vauk Kiel S. 271-274.
- Greef, J. M. und H. Deuter, 1993: Syntaxonomy of *Miscanthus x giganteus* (Greef et Deu.). - Angew. Botanik (im Druck).
- Greef, J. M., F. Hansen, G. Pasda und W. Diepenbrock (1993): Die Strahlungs-, Energie-, und Kohlendioxidbindung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen - Ergebnisse und Modellrechnungen. Ber. Landw. (im Druck).
- Hartley, W. (1958): Studies on the origin, evolution, and distribution of Gramineae. - 1. The tribe Andropogoneae. Austr. J. Bot. 6, S. 116-128.
- Katter, R., H. Berghold, B. Moser, P. Trinkaus und C. Wutzl (1992): Kreislaufwirtschaft im Energiegrasanbau. - Joanneum Research, Graz., Österreich.
- Kayama, R., N. Y. und Y. Sugimoto (1972): Studies on the relationship between *Miscanthus sinensis* community and soil. - Part 3 Seasonal variation of production of *Miscanthus sinensis* grasslands and the soil conditions. Jap. J. Ecol. 22, S. 151-161.
- Kobayashi, K. (1981): Studies on growth and maintenance of clumps of *Miscanthus sinensis*. The formation process in a clump and its ecological characteristics in a warm region. - J. Jap. Soc. Grassl. Sci. 27, S. 71-78.
- Kobayashi, K. (1988): Characteristics of the growth of the shoot population in *Miscanthus sinensis* Anderss. patches. - Jap. J. Ecology, 38, S. 229-242.
- Kolb, W., A. Hotz und W. Kuhn (1990): Untersuchungen zur Leistungsfähigkeit ausdauernder Gräser für die Energie- und Rohstoffgewinnung. - Rasen-Turf-Gazon 4, S. 75-79.
- Liebhart, P. (1992): *Miscanthus sinensis* - eine Pflanze zwischen Euphorie und Realität. - In: Tagungsbericht der Arbeitstagung Riesenschilfgras (*Miscanthus sinensis giganteus*). S. Wandaller-Geißler und R. Puxkandl-Ull, Arbeitsgemeinschaft Erneuerbare Energie; CH. Smoliner und M. Paula, Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung. 11.03.-12.03., Wien.
- Mache, R. und R. MOORE, 1991: Renewable energy: *Miscanthus* could be the answer. - The Furrow, S. 5 Mannheim: The John Deere Company.
- Matumura, M., T. Hasegawa und Y. Saijoh (1987): Ecological aspects of *Miscanthus sinensis* var. *condensatus*, *M. sacchariflorus*, and their 3x-, 4x-Hybrids. - Res. Bull. Fac. Agric. Gifu Univ. 52, S. 315-324.
- Midorikawa, B., Y. Shimada, H. Iwaki und N. Ohga, (1975): Root production in semi-natural grassland community dominated by *Miscanthus sinensis* in Kawatabi area. - In: N. Numata (Ed.): Ecological Studies in Japanese Grasslands with special reference to the IBP area (JIBP Synthesis), Univ. Tokyo Press, Tokyo, S. 114-122.
- Monteith, J. L. (1977): Climate and the efficiency of crop production in Britain. - Phil. Trans. R. Soc. Lond. B. 281, S. 277-294.
- Mun, H. T. (1988): Comparisons of the primary production and nutrients absorption by a *Miscanthus sinensis* community in different soils (1). - Plant & Soil, 112(1), S. 143-149.
- Mutoh, N., K. H. Yoshida, Y. Yokoi, M. Kimura und K. Hogetsu (1968): Studies on the production processes and net productivity of a *Miscanthus sacchariflorus* community. - Jap. J. Bot. 20, S. 67-92.
- Mutoh, N. und T. Nakamura (1978): An autoecological study of nutrient economy of the plant. - JIBP Synth. 19, S. 230-237.
- Nielsen, N. (1987): Produktivität af elefantgras, *Miscanthus sinensis "giganteus"* pa forskellige jordtyper. - Tidsskr. Planteavl, 91, S. 275-281.
- Nishikido, T., T. Wada (1974): Comparative studies of NADP malic enzymes from C₄ and C₃ plants. - Biochem. Biophys. Res. Commun. 61, S. 243-249.

Numata, M. und M. Mitsudera (1969): Efficient environmental factors in the growth and production of *Miscanthus sinensis* grasslands in Japan. - Ecological judgement of grassland condition and trend. Jap. J. Bot. 20, S. 135-151.

Shoji, S., T. Kurebayashi und I. Yamada (1990): Growth and chemical composition of Japanese pampas grass (*Miscanthus sinensis*) with special reference to the formation of dark coloured andisols in northeastern Japan. - Soil Sci. Plant Nutr. (Tokyo), 36, S. 105-120.

Sloth, A. (1985): *Miscanthus sinensis* "giganteus" (1/2). - Ugeskrift for Jordbrug, 130(1/2), 3-7.

Sinclair, T. R., T. Shiraiwa und G. L. Hammer (1992): Variation in crop radiation-use efficiency with increased diffuse radiation. - Crop Sci. 32, S. 1281-1284.

Troughton, J. H. (1975): Photosynthetic mechanisms in higher plants. - In: J. P. Cooper (Ed.) Photosynthesis and productivity in different environments. Cambridge Univ. Press, Cambridge, London, New York, Melbourne, S. 357-391.

Weissmann, G. und W. Lange (1991): Untersuchung der Extraktstoffe von *Miscanthus sinensis* Anderss.. - Holzfor- schung 45, S. 285-289.

Williams, K., F. Percival, J. Merino, H. A. Mooney (1987): Estimation of tissue construction cost from heat of combustion and organic nitrogen content. - Plant Cell Environ. 10, S. 725-734.

Verfasser: S c h w a r z, Kai-Uwe, Dr. sc. agr. und S c h n u g, Ewald, Dr. sc. agr. Dr. rer. nat. habil., Institut für Pflanzener- nährung und Bodenkunde der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode (FAL), Leiter: Dir. und Prof. Dr. Dr. Ewald S c h n u g ; G r e e f, Jörg-Michael, Institut für Pflanzenbau und Pflanzen- züchtung der Christian-Albrechts-Universität Kiel.