



Das Lebensministerium



**Acker- und pflanzenbauliche Untersuchungen zum Anbau  
ein- und mehrjähriger Energiepflanzen**

Schriftenreihe der  
Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft  
Heft 4 - 7. Jahrgang 2002

Freistaat  Sachsen

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

**Acker- und pflanzenbauliche Untersuchungen  
zum Anbau ein- und mehrjähriger Energie-  
pflanzen im Freistaat Sachsen**

## **Inhaltsverzeichnis**

1	Aufgabenstellung	1
2	Material und Methoden	1
3	Ergebnisse	4
3.1	Einjährige Energiepflanzen	4
3.1.1	Ganzpflanzengetreide	7
3.1.2	Futtergräser	16
3.2	Mehrjährige Energiepflanzen	22
3.2.1	Miscanthus	23
3.2.2	Schnellwachsende Baumarten	40
3.2.3	Topinambur	47
4	Gesamtwertung des Energiepflanzenanbaus	51
4.1	Erträge	51
4.2	Inhaltsstoffe	52
4.3	Wirtschaftlichkeit	55
4.4	Anbaukonzept Energiepflanzen	56
5	Zusammenfassung/Schlussfolgerungen	60
6	Literatur	62

# Acker- und pflanzenbauliche Untersuchungen zum Anbau ein- und mehrjähriger Energiepflanzen im Freistaat Sachsen

Dr. habil. Christian Röhrich, Dipl.-Ing. (FH) Sophia Kiesewalter, Dipl.-Ing. agr. (FH) Angelika Groß-Ophoff

## 1 Aufgabenstellung

Die weitere Verknappung fossiler Energieträger und die durch ihre Verbrennung ausgelöste Belastung der Atmosphäre mit klimarelevanten Gasen, vor allem Kohlendioxid, zwingen zu einer nachhaltigen Änderung der hauptsächlich auf Kohle, Erdöl und Erdgas beruhenden Energieversorgung der Industrienationen.

Eine entscheidende Senkung des hohen Energieverbrauches in den Industrienationen wird von weiteren Energiesparmaßnahmen (z. B. Wärmedämmung von Gebäuden) und der Steigerung des Energiewirkungsgrades durch verstärkte Anwendung der Kraft-Wärme-Kopplung und von Brennwärtekesseln abhängen. Wachsendes Gewicht erlangt auch der Einsatz regenerativer Energie wie Windkraft, Wasserkraft, Solarenergie und Geothermie. Das Erneuerbare Energie-Gesetz (April 2000) der Bundesregierung und die Biomasseverordnung (Juni 2001) setzen auch für die verstärkte energetische Nutzung von Biomasse günstige Rahmenbedingungen. Für die Bereitstellung von Wärme und Strom ist neben Rapsöl auch lignocellulosehaltige Biomasse gut geeignet.

Hier wird bereits Restholz aus der Forstwirtschaft, holzverarbeitenden Industrie und Altholz genutzt. In der Landwirtschaft stellt das Stroh und die Biomasse von Landschaftspflegeaufwüchsen ein noch zu erschließendes Reststoffpotenzial dar. Für stillgelegte Agrarflächen, deren Potenzial in der EU zunehmen wird, bilden Energiepflanzen eine Alternative mit wachsender ökologischer und wirtschaftlicher Bedeutung. Neben dem bisher dominierenden Industrierapsanbau als Rohstoff für Biodiesel und biologisch abbaubare Schmierstoffe wird künftig mit einem verstärkten Anbau von lignocellulosehaltigen Energiepflanzen zu rechnen sein. An diese Pflanzen wird die Erwartung geknüpft:

- hohe Erträge an industriell und energetisch nutzbarer Biomasse bereitzustellen
- günstige Umweltwirkungen (CO<sub>2</sub>-Bindung) zu entfalten
- zu einer nachhaltigen, klima- und ressourcenschonenden Energieversorgung beizutragen und

- eine Einkommensalternative in der Landwirtschaft als Industrie- und Energielieferant zu bilden.

In nationalen und internationalen Evaluierungsprogrammen werden lignocellulosehaltige Energiepflanzen seit mehreren Jahren einer acker- und pflanzenbaulichen Untersuchung, Umweltanalyse und Verfahrensentwicklung zur stofflichen und energetischen Nutzung unterzogen.

Diese umfangreichen Arbeiten dienen dem Ziel, wirtschaftliche und umweltverträgliche Anbauverfahren zu entwickeln, die hohe Erträge an Biomasse mit guten industriellen und energetischen Verarbeitungseigenschaften liefern. Das in Sachsen durchgeführte Untersuchungsprogramm beinhaltet die Prüfung unterschiedlicher bodenklimatischer Bedingungen und anbautechnischer Maßnahmen bei verschiedenen ein- und mehrjährigen Energiepflanzen. Auf der Grundlage dieser Ergebnisse wird ein Konzept zum Anbau von lignocellulosehaltigen Energiepflanzen im Freistaat Sachsen vorgeschlagen.

## 2 Material und Methoden

Zur Untersuchung der genannten Aufgaben sind Parzellen- und Überleitungsversuche mit unterschiedlichen Energiepflanzen und acker- und pflanzenbaulichen Fragestellungen angelegt worden (Tabelle 1).

Die Versuchsstandorte zum Energiepflanzenanbau sind repräsentativ für wichtige Ackerbaugebiete Sachsens (Tabelle 2).

Allgemeine versuchstechnische Angaben zu den jeweiligen Versuchen sind in der Tabelle 3 zusammengestellt.

Zur Beerntung der Getreideganzpflanzenversuche wird ein Parzellenmähdrescher eingesetzt, der die Kornmenge erfasst. Der Strohertrag wurde durch Wägen des abgelegten Schwads ermittelt.

Die Ernte der einjährigen Energiegräser (Weidelgras) erfolgte mittels Versuchsschwadmäher. Das im Schwad liegende Gras wurde durch mehrfaches Zetteln auf einen Wassergehalt von weniger als 20 % getrocknet.

Tabelle 1: Versuche der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft zum Anbau ausgewählter Energiepflanzen

Pflanzenart	Prüffaktor	Abstufung des Prüffaktors	Versuchsart	Versuchsanlage	Bemerkung
<b>Getreideganzpflanzen</b>					
Dinkel	N-Düngung 6 Stufen	0/ 40+0/ 80+0/ 80+40/ 80/ NO <sub>3</sub> / 120/NO <sub>3</sub>	Parzellenversuch	Blockanlage	VST Spröda (D; SL; Bwz 30) VST Methau (Lö; L; Bwz 63)
Wintertriticale	N-Düngung	0/ 40+0/ 0+40/ 60+0/ 40+40/ 80+0/ 60+40	Parzellenversuch	7x2 Spaltanlage	VST Spröda (D; SL; Bwz 30)
	Fungizid	0/ 40+0/ 80+0/ 60+40 mit/ohne		4x2 Spaltanlage	VST Roda (Lö; L; Bwz 68)
<b>Einheimische Futtergräser</b>					
Deutsches/ Welsches Weidelgras	Sorten N-Düngung	Remy, Liprinta (0; 60; 120; 180 kg N/ha)	Parzellenversuch	Blockanlage	VST Spröda (D; SL; Bwz 30) VST Roda (Lö; L; Bwz 68)
Topinambur	Bestandesdichte	40.000/70.000 Knollen/ha	Parzellenversuch	Blockanlage	VST Spröda (D; SL; Bwz 30) VST Roda (Lö; L; Bwz 68)
<b>Schnellwachsende Baumarten und Gräser</b>					
Pappel Weide Espen	Sorten	4 (M. Larsen, Max1, 3, Beaupre) 1 (Salix viminalis, Klon ,722') 2 (Astria, Münden)	Überleitungsver- such	Großparzelle ohne Wiederholung	AL; SL; Bwz 49
<i>Miscanthus sinensis x giganteus</i>	N-Düngung	0; 60; 120; 180 kg N/ha	Parzellenversuch	Blockanlage	VST Spröda (D; SL; Bwz 30) VST Methau (Lö; L; Bwz 63)
<i>Miscanthus sinensis</i>	Varietäten; Herkünfte	<i>giganteus</i> ,Goliath' <i>japonicus</i> <i>sacchariflorus</i>	Überleitungsver- such	Großparzelle ohne Wiederho- lung	Rekultivierter Kippenstandort Düngung: 60 kg N/ha; 30 kg P/ha, 100 kg K/ha; aller drei Jahre AL; SL; Bwz 49 Düngung: 100 kg N/ha; 20 kg P/ha, 37 kg K/ha; jährlich

Tabelle 2: Bodenklimatische Charakteristik der Versuchsstandorte zum Energiepflanzenanbau

Standort	Methau	Spröda	Roda	Kalkreuth	Zwenkau
Kreis	Mittweida	Delitzsch	Leipziger Land	Riesa	Großdeuben
AZ <sup>1)</sup>	63	30	68	49	28 (Bodenzahl)
Standorttyp	Lö 4	D 3c	Lö 4b	Al 3	rekultivierter Kippenboden
Leitboden- form	Löß-Braun- staugley	Tieflehm- Fahlerde	Löß-Braun- staugley	n.b.	inhomogen
Bodenart	Lehm (L)	anlehmiger Sand (Sl)	Lehm (L)	stark lehmiger Sand (SL)	Mischsubstrat Lehm/Sand
Nieder- schlag <sup>2)</sup>	600 mm	540 mm	710 mm	595 mm	545 mm
Temperatur <sup>2)</sup>	8,0 °C	8,3 °C	8,6 °C	8,5 °C	8,6 °C
Höhe über NN	265 m	120 m	224 m	121 m	110 m
Landw. Ver- gleichsgebiet	7 Mittelsächs. Hügelland  mittlere Böden	10 Dübener – Dahlener Heide  leichte Böden	8 Mittelsächs. Platte  mittlere bis beste Böden	8 Mittelsächs. Platte  mittlere bis beste Böden	9 Leipz. Tief- landsbucht  mittlere bis beste Böden

<sup>1)</sup> nach Reichsbodenschätzung

<sup>2)</sup> langjähriges Mittel

n.b. nicht bestimmt

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

Im Topinamburversuch werden die abgestorbenen Stängel mit dem Frontmäher, die Knollen mit dem einreihigen Siebkettenroder geerntet. Der Knollenertrag wird nach kurzer Feldtrocknung im Schwad durch Handernte ermittelt. Die Ernte erfolgt im Spätherbst bis Winter.

Die Miscanthusstängel werden in trockenem, weitgehend unbelaubtem Zustand während des Winters geerntet. Der dafür eingesetzte Parzellenmähhäcksler mit Kemperschneidwerk und Wägeeinrichtung schneidet und häckselt die Stängel in den Parzellen- und Überleitungsversuchen. Der Ertragsermittlung liegt eine 15 m<sup>2</sup> große Fläche je Variante zugrunde (Parzellenversuche). Die Ertragsmessung in den Großparzellen der Überleitungsversuche wird in fünfacher Wiederholung auf jeweils 5 x 1,3 m großen Ernteparzellen vorgenommen.

Bei den schnellwachsenden Baumarten wird ein zwei- bzw. dreijähriger Ernterhythmus (Kurzumtrieb) gewählt. Die Ernte erfolgt motoruell mit einem Seitenschneider. Der Ertrag wird festgestellt, indem die Biomasse von fünf Ernteparzellen je Variante (4,5 m<sup>2</sup>) erhoben

wird. Der Erntezeitpunkt liegt im Winter. Die gefällten Stämme werden gebündelt und gewogen.

Das **Erntegut der Energiepflanzen** wird auf den Gehalt an Trockensubstanz, Energie (unterer Heizwert), Nährstoffen (N, P, K, S, Cl) und Schwermetallen (Cd, Pb, Hg) untersucht. In Verbrennungsversuchen erfolgt auch die Bestimmung des Aschegehaltes. Für die Topinamburknollen sind die frei fermentierbaren Zucker und das Inulin bestimmt worden.

Die **Pflanzenbonituren** erstrecken sich auf das Korn-Stroh-Verhältnis bei Dinkel und Wintertriticale (Ganzpflanzengetreide). In den Miscanthus-Versuchen werden die Triebe je Pflanze und die Wuchshöhe der Stängel gemessen. Beim Topinambur sind es die Bestandesdichte und die Wuchshöhe der Stängel.

Für die schnellwachsenden Baumarten werden der Brusthöhendurchmesser (BHD) des Stammes, der Grad des Wildverbisses der Jungbäume und der Stockausschlag nach der Ernte ausgewiesen.

Tabelle 3: Anbautechnische Maßnahmen zu den Versuchen

Versuchsfrucht	Sorte	Saatmenge/ Zeitpunkt	Grunddüngung	Erntezeitpunkt	PSM-Maßnahmen
Dinkel	Roquin	240 kg/ha Herbst Vorjahr	30 kg P, 100 kg K	Sommer	z. B. Tolkan Fox 4-4,5 l/ha Corbel 0,5 l/ha Sportak Alpha 1,0-1,5 l/ha Folicur 1,0-1,5 l/ha CCC, Decis
Triticale	Modus bzw. Alamo	300-320 Körner/m <sup>2</sup> Herbst Vorjahr	30 kg P, 100 kg K	Sommer	Herbizid: Azur 2,5 l Fungizid: Spartak alpha 1,5 l Insektizide: Sumicidin 0,3 l, Decis 0,3 l
Topinambur	Waldspindel	40.000/70.000 Knollen/ha		Frühjahr (Febr., März) Krauternte letztes Jahr Knollenernte	Häufeln nach dem Pflanzen
Weidelgras	Liprinta, Remy	25 u. 40 kg/ha Herbst Vorjahr	30 kg P, 100 kg K	2 Schnitte in Spröda, 1 Schnitt in Roda	U 46 Fluid 2,0 l, Basta 5 l oder Basagran DP neu
Miscanthus	<i>giganteus</i> verschied. Herkünfte	1–2 Pfl./m <sup>2</sup>	30 kg P, 100 kg K	zeitiges Früh- jahr bzw. nach Frost	Hacken im ersten Jahr
schnell- wachsende Baumarten	Pappelklone Weide	Stecklinge 17.778 Pfl./ha	keine	zeitiges Frühjahr	Hacken im ersten Jahr

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

Von der Versuchsfläche der Miscanthusbestände und schnellwachsenden Baumarten entnommene **Bodenproben** werden auf den pflanzenverfügbaren Gehalt an Phosphor, Kalium, Magnesium sowie auf den pH-Wert analysiert.

Der N<sub>min</sub>- Gehalt des Bodens wird in den Versuchen jeweils zum Vegetationsbeginn und nach der Ernte der jeweiligen Energiepflanzenart gemessen.

Die Pflanzen- und Bodenproben aus den Versuchen werden nach den Methoden des Verbandes der Deutschen Landwirtschaftlichen Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) aufbereitet und auf die entsprechenden Parameter analysiert (Tabelle 4).

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Einjährige Energiepflanzen

Bei den einjährigen Energiepflanzen zur Festbrennstoffgewinnung konzentrieren sich im gemäßigten Klimaraum die Arbeiten im Wesentlichen auf Getreide zur Ganzpflanzennutzung und den Anbau einheimischer Futtergräser. Bei diesen Kulturpflanzen kann auf sicher beherrschte Anbauverfahren in den landwirtschaftlichen Betrieben zurückgegriffen werden (KALTSCHMITT und WIESE, 1993). In der speziellen Nutzungsrichtung zur Festbrennstoffgewinnung bilden ertragsstarke, strohreiche und standfeste Massengetreidesorten bzw. Futtergetreidearten eine interessante Anbaumöglichkeit.

Tabelle 4: Analysemethoden

Prüfmerkmal:	Methode/Untersuchung:	Richtlinie
<b>Bodenproben</b>		
<b>N<sub>min</sub></b> [kg N/ ha]	Als Summe von NH <sub>4</sub> -N und NO <sub>3</sub> -N in fraktionierter Destillation aus dem CaCl <sub>2</sub> -Auszug	MB 1 VDLUFA A 6.1.3.2
<b>pH-Wert</b>	Elektrometrische Messung in CaCl <sub>2</sub> -Lösung mit pH-Meter	MB 1 VDLUFA A 5.1.1
<b>P</b> [mg/100g]	Photometrische Bestimmung im Doppellactat (DL)-Auszug	MB 1 VDLUFA A 6.2.1.2
<b>K</b> [mg/100g]	Photometrische Bestimmung im Doppellactat (DL)-Auszug	MB 1 VDLUFA A 6.2.1.2
<b>Mg</b> [mg/100g]	Mit AAS im CaCl <sub>2</sub> -Aufschluss, (Schachtschabel)	MB 1 VDLUFA A 6.2.4.1
<b>org. Substanz</b> [%]	Bestimmung von Kohlenstoff nach trockner Verbrennung mit Infrarot-Spektrometrie, Umrechnungsfaktor f = 1,724	DIN ISO 10 694
<b>B</b> [mg/100g]	Bestimmung im Extrakt mit ICP-OES	MB 1 VDLUFA A 7.1.1
<b>Cu</b> [mg/100g]	mit AAS im Salpetersäure-Auszug	MB 1 VDLUFA A 7.3.1
<b>Pflanzenproben</b>		
<b>TS</b> [%]	Trocknung bei 105° C bis zur Gewichtskonstanz	MB 3 VDLUFA 3.1
<b>N</b> [%]	Proteinanalyse, nach Dumas	PAW 02 317
<b>P, K</b> [%]	RFA (Röntgenfluoreszenzanalyse)	PAW 02 315
<b>C</b> [%]	mit Infrarot-Spektrometrie nach trockner Verbrennung	DIN ISO 10 694
<b>Mg, Ca, S</b> [%]	RFA	PAW 02 315
<b>Cl, Cu, Mn</b> [ppm]	RFA	PAW 02 315
<b>B</b> [ppm]	Mit ICP-OES nach Veraschung	EG-Methode 8.2.3
<b>Cd</b> [ppm]	Mit AAS im Schwefelsäure-Aufschluss	MB 3 VDLUFA 17.2.2
<b>Pb</b> [ppm]	Mit AAS im Schwefelsäure-Aufschluss	MB 3 VDLUFA 17.2.2
<b>Hg</b> [ppm]	Mikrowellenaufschluss	DIN EN 1483-12
<b>Fe</b> [ppm]	Mit AAS nach Veraschung	MB 3 VDLUFA 11.1.2
<b>Cr</b> [ppm]	Mikrowellenaufschluss	EN-ISO 11 969
<b>Ar</b> [ppm]	Mikrowellenaufschluss	EN-ISO 11 969
<b>Si</b> [ppm]	Mikrowellenaufschluss	EN-ISO 11 969
<b>Rohasche</b> [%]	Verbrennung	
<b>Heizwert (wf)</b> [kJ/g]	Kalorimeter	DIN 51 900
<b>Inulin</b>	Photometrische Bestimmung	MB 3 VDLUFA 7.4.1
<b>frei fermentierbare Zucker (ffZ)</b>	Methode LUFF-SCHOORL	MB 3 VDLUFA 7.1.1.

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

Bei den Futtergräsern stehen solche im Mittelpunkt, die rasch in die generative Phase übergehen und viel lignocellulosehaltige Biomasse bilden.

Bisherige Untersuchungen erstreckten sich vor allem auf Fragen der Anbauintensität, Ernteverfahren, Konzentration an abbrand- und emissionsrelevanten Inhaltsstoffen, Ertrags- und Energieleistung, Aufbereitungstechnik, Abbrandverhalten sowie ökobilanzieller Betrachtungen zur Verfahrenskette (STREHLER, BLUDAU, TUROWSKI, 1992; WINTZER et al., 1993; HARTMANN, 1995; HARTMANN, 1996; DAMBROTH, 1993; SCHOLZ et al., 1999; KALTSCHMITT, REINHARDT, 1997; DÖLLER, 1996).

Das Spektrum der unter diesen Fragestellungen geprüften Getreidearten reicht von Winterweizen über Winterroggen bis zur Wintertriticale. Wie aus der Übersicht (Tabelle 5) hervorgeht, verfügen die Wintergetreidearten über ein hohes standortspezifisches Ertragsniveau an Gesamtbiomasse (Korn und Stroh).

Bei den einheimischen Futtergräsern werden Rohrglanzgras, Knaulgras, Glatthafer und Weidelgras als geeignete Arten beschrieben (LEWANDOWSKI, HARTMANN, 2000[a]; SCHOLZ et al., 1998; WELLIE-STEPHAN, 1998).

Eine Übersichtsinformation zum Wuchsverhalten und zu den Boden- und Klimaansprüchen dieser Gräser liefert Tabelle 6.

**Tabelle 5: Ertragsniveau von Korn und Stroh bei Getreide sowie Korn-Stroh-Verhältnis**

	Kornertragsniveau in t/ha*a			Korn:Stroh-Verhältnis	Strohertragsniveau in t/ha*a		
	gering	mittel	hoch		gering	mittel	hoch
Winterweizen	4,0-6,0	6,0-7,5	7,5-9,5	1: 1,0-1,4	4,0-6,5	6,0-10,5	7,5-13,0
Winterroggen	3,0-4,5	4,5-5,5	5,5-8,5	1: 1,0-1,5	3,0-7,0	4,5-8,5	5,5-13,0
Triticale	3,5-5,0	5,0-6,0	6,0-9,0	1: 1,2-1,4	4,0-7,0	6,0-8,5	7,0-12,5

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

**Tabelle 6: Einheimische Futtergräser zur Festbrennstoffproduktion**

Art	Anbaucharakteristik
Deutsches Weidelgras (Lolium perrene)	ausdauernd, sehr rasches Jugendwachstum, Standorte mit ausreichender Wasserführung, starke Variationsbreite im Entwicklungsrhythmus, Wuchstyp, gute Nährstoffversorgung
Welsches Weidelgras (Lolium multiflorum ssp. italicum)	ein- bis zweijährig, hohe Wachstumsraten, breites Bodenspektrum, ausreichende Niederschläge, gute Nährstoffversorgung
Knaulgras (Dactylis glomerata)	ausdauernd, massenwüchsig, dichte Horste, winterhart, trockenheitsverträglich, konkurrenzstarkes Gras, geringe Bodenansprüche
Glatthafer (Arrhenatherum elatius)	ausdauernd, lockere Horste bildend, raschwüchsig, trockene Lagen, lehmig-humose kalkhaltige Böden
Rohrschwengel (Festuca arundinacea)	mehrfährig, horstbildend, nährstoffreiche Böden, alle Moorbeetformen, feuchte Flußauestandorte, anspruchslos, verträgt auch Trockenheit
Rohrglanzgras (Phalaris arundinacea)	mehrfährig, massenwüchsiges Gras, ausläuferbildend, breites Standortsspektrum, feuchtere Standorte bevorzugt, langsame Jugendentwicklung

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

Für die Anbauprüfungen in Sachsen wurden bei Ganzpflanzengetreide Wintertriticale und Dinkel ausgewählt. Von den einheimischen Gräsern wurden Deutsches und Welsches Weidelgras für den Versuchsanbau geprüft. Deutsches und Welsches Weidelgras zählt zu den ertragsstärksten Gräsern mit raschem Jugendwachstum und vielseitigen Nutzungsmöglichkeiten. Wintertriticale ist eine langstrohige Futtergetreideart, die auf einem breiten Bodenspektrum erfolgreich angebaut wird. Für den Anbau kommen vorwiegend mittlere und schwere Böden in Frage (RÖHRICHT et al., 1994).

Der Dinkel ist neben Emmer und Einkorn die älteste Kulturform der Triticum Arten. Die Pflanzen sind allgemein langstrohig und begrannt. Auch kennzeichnet ihn eine deutlich höhere Robustheit gegen Krankheiten als andere Getreidearten.

### 3.1.1 Ganzpflanzengetreide

Der Ertrag an Korn und Stroh betrug beim **Dinkel** (Sorte Roquin) 8,1 t Trockenmasse auf dem

Lößlehm-Standort und auf dem anlehmigen Sand 7,4 t Trockenmasse/ha. Die geprüften N-Gaben bewirkten eine Steigerung des Korn- und Strohertrages (Tabelle 8). Der Höchstertrag (Korn und Stroh) betrug dabei auf dem Lößlehm-Standort 9,2 t TM (156,6 GJ/ha) und auf dem anlehmigen Sandboden 10,1 t TM/ha.

Dazu waren auf beiden Standorten 120 kg N/ha erforderlich. Das Korn-Stroh-Verhältnis war zur Ernte insgesamt sehr eng. Durch die N-Düngung nahm der Strohertrag stärker zu als der Kornertrag. Dadurch wurde das Korn-Stroh-Verhältnis von 0,58 auf 0,7 (Löß-Standort) bzw. 0,90 (Sandboden) erweitert (Tabelle 7).

Die Erträge sowie die N-Gehalte im Korn und Stroh lassen deutlich Jahresschwankungen erkennen (Tabelle 8). Im Durchschnitt der Jahre und N-Gaben werden im Korn 2,14 bis 2,24 % N und im Stroh 0,33 bis 0,38 % N in der Trockenmasse nachgewiesen (Tabelle 8). Die höheren Werte beziehen sich auf den leichten Standort. Durch die N-Düngung wird der N-Gehalt im Korn und Stroh deutlich gesteigert (Tabelle 8).

**Tabelle 7: Stroh- und Kornertrag beim Dinkel in Abhängigkeit vom Standort (Mittel der N-Steigerungsversuche)**

Standort	Korn dt TM/ha (atro) %	Stroh dt/ha (atro)	Gesamt dt/ha (atro)	Verhältnis Korn:Stroh
<b>1993</b>				
<b>Methau</b>	54,99	30,19	94,13	1 : 0,55
<b>1994</b>				
	47,28	25,43	72,71	1 : 0,54
<b>1995</b>				
	46,67	39,12	85,79	1 : 0,84
<b>1993</b>				
<b>Spröda</b>	33,48	28,86	70,26	1 : 0,86
<b>1994</b>				
	45,33	28,96	74,19	1 : 0,64
<b>1995</b>				
	38,81	45,64	84,45	1 : 1,17
<b>Durchschnitt Methau</b>	<b>49,65</b>	<b>31,58</b>	<b>81,23</b>	<b>1 : 0,64</b>
<b>Durchschnitt Spröda</b>	<b>39,20</b>	<b>34,49</b>	<b>73,69</b>	<b>1 : 0,88</b>

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

**Tabelle 8: Einfluss der Düngung auf den Nährstofftrag von Dinkel (Ganzpflanzenbrennstoff und Nitratbelastung des Bodens)**

N-Stufe kg/ha	Korn dt TM/ha atro	N % in TS	Stroh dt TM/ha atro	N % in TS	Gesamt- N-Entzug kg/ha	Nmin nach der Ernte
<b>Methau 1993</b>						
0	51,37	1,99	27,50	0,37	113,08	41
40	57,64	2,08	32,21	0,39	132,18	49
80	57,32	2,10	31,34	0,38	132,31	38
80+40	53,64	2,18	29,73	0,43	129,51	48
<b>1994</b>						
0	35,34	2,18	20,15	0,23	81,54	13
40	45,93	2,10	22,77	0,21	100,87	16
80	52,40	2,26	31,80	0,29	127,60	16
80+40	55,45	2,32	27,01	0,34	138,07	21
<b>1995</b>						
0	48,51	2,19	29,12	0,30	114,75	15
40	48,59	2,35	34,04	0,36	126,72	26
80	47,13	2,58	43,73	0,39	138,68	27
80+40	42,46	2,72	49,61	0,60	145,46	32
<b>Spröda 1993</b>						
0	29,63	2,44	16,47	0,38	78,93	18
40	30,25	2,40	24,87	0,44	83,69	24
80	33,86	2,33	34,42	0,52	96,58	59
80+40	40,18	2,50	39,68	0,67	127,14	68
<b>1994</b>						
0	27,01	2,07	13,63	0,24	59,53	53
40	38,65	1,96	31,41	0,26	83,72	41
80	52,76	2,01	32,29	0,27	115,08	35
80+40	62,92	2,20	38,51	0,31	150,50	38
<b>1995</b>						
0	43,12	1,95	30,76	0,38	96,00	20
40	42,05	1,95	45,81	0,40	100,20	15
80	34,49	2,12	52,38	0,43	95,80	20
80+40	35,60	2,39	53,63	0,57	116,05	28

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

Eine Begrenzung des N-Aufwandes auf maximal 80 kg N/ha ist deshalb für einen NO<sub>x</sub>-armen Abbrand der Biomasse zu empfehlen. Neben Stickstoff wirken sich auch die in der Biomasse enthaltenen Kalium- und Chlorverbindungen nachteilig auf den Abbrand- und Emissionsverlauf aus. Kalium bedingt, dass die Aschen bereits bei niedrigen Abbrandtemperaturen zu schmelzen beginnen. Chlor geht während des Abbrandes in die gasförmige Phase über und erhöht die HCL-Konzentration im Rauchgasstrom.

Die K-Gehalte sind im Stroh generell höher als im Korn. In Abhängigkeit von den Jahresbedingungen kann die Konzentration im Stroh bis 1,5 % in der Trockenmasse ansteigen. Im Korn beträgt der K-Gehalt 0,4 bis 0,56 %. Chlor ist hauptsächlich im Stroh lokalisiert und kann den Untersuchungen zufolge relativ hohe Konzentrationen (bis 0,6 %) annehmen. Das Korn weist dagegen nur geringe Spuren an Chlor auf (Tabelle 9).

Der **Wintertriticale-Versuch** erfolgte auf zwei Standorten (Löß, Sand) unter Prüfung steigender mineralischer N-Gaben jeweils mit und ohne Fungizidanwendung.

Wintertriticale erreicht auf dem Lehm Boden einen Ganzpflanzenertrag im Durchschnitt der Prüfjahre und Prüfvarianten von 159 dt/ha (47 % Korn; 53 % Stroh). Auf dem leichten nährstoffarmen anlehmigen Sandboden (Spröda) liegt das Ertragsniveau bei 80 dt/ha (57 % Korn; 43 % Stroh). Jahresabhängig schwanken die Erträge an Ganzpflanzen in Roda zwischen 143 und 172 dt/ha.

Der Gesamtertrag an Korn und Stroh bewegt sich auf dem leichten diluvialen Boden zwischen 68 und 82 dt/ha.

In Abhängigkeit von der Höhe der geprüften N-Gaben zeichnet sich ab, dass 80 kg N/ha in zwei Teilgaben (40/40) meist den Höchstertrag (Korn, Stroh) in den einzelnen Versuchsjahren auf beiden Versuchsstationen sicherte. Die geprüfte Fungizidbehandlung gegen Ährenkrankheiten führte auf dem leichten Boden zu keinem Ertragsvorteil (Gesamtertrag). Auf dem Lehm Boden war nur in einem der drei Prüfjahre ein Mehrertrag durch die Fungizidapplikation festzustellen (Tabelle 10).

Die zusätzliche N-Düngung steigert auf beiden Standorten den N-Gehalt im Korn und Stroh. Ein deutlicher Zuwachs des N-Gehaltes im Korn und Stroh setzt ein, wenn die N-Gabe von 60 auf 80 kg N/ha auf dem anlehmigen Sandboden angehoben wird. Der Einsatz von Fungiziden steigert den N-Gehalt im Korn. Auf den N-Gehalt des Strohs übt er dagegen keinen Einfluss aus. Im Korn ist eine um den Faktor 3 bis 5,5 höher liegende N-Konzentration als im Stroh festzustellen. Durchschnittlich ist mit einer N-Konzentration von 1,4 bis 1,6 % im Korn und 0,3 bis 0,5 % im Stroh zu rechnen.

Auf dem nährstoffreicheren Standort enthält sowohl das Korn als auch das Stroh mehr Stickstoff als das Erntegut, das aus Spröda (nährstoffarmer anlehmiger Sand) stammt. Der zusätzliche N-Aufwand (80 und 100 kg N/ha) führt gegenüber der Kontrollvariante in Roda zu einem deutlichen Anstieg des N-Gehaltes in der Biomasse auf Werte von 1,9 bis 2,0 %.

**Tabelle 9: Charakteristik emissionsrelevanter Inhaltsstoffe bei Dinkel (Festbrennstoffnutzung)**

		N %	P %	K %	Cl %	Asche %	N %	P %	K %	Cl %	Asche %
		Methau					Spröda				
1993	Korn	2,09	0,30	0,41	n.b.	--	2,42	0,32	0,40	n.b.	2,82
	Stroh	0,40	0,05	0,57	n.b.	--	0,50	0,08	0,70	n.b.	n.b.
1994	Korn	2,21	0,38	0,56	n.b.	--	2,06	0,39	0,52	n.b.	3,12
	Stroh	0,27	0,05	1,47	0,65	--	0,27	0,08	1,07	0,13	4,74
1995	Korn	2,56	0,40	0,41	n.b.	--	2,22	0,38	0,48	n.b.	3,12
	Stroh	0,47	0,11	1,41	0,34	--	0,49	0,09	1,16	0,34	4,67

n.b. nicht bestimmt

Versuchsstation Methau: Löß-Lehm

Versuchsstation Spröda: anlehmiger Sand

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

Tabelle 10: Wirkung steigender N-Gaben und einer Fungizidbehandlung auf den Ertrag (Stroh und Korn) von Wintertriticale auf zwei Standorten

	1996			1997			1998		
<b>Spröda</b>									
ohne Fungizid	Korn <sup>1)</sup>	Stroh <sup>2)</sup>	gesamt	Korn <sup>1)</sup>	Stroh <sup>2)</sup>	gesamt	Korn <sup>1)</sup>	Stroh <sup>2)</sup>	gesamt
	<b>Ertrag TM dt/ha</b>								
0	31,97	27,53	59,50	35,20	18,57	52,77	35,43	19,81	55,24
40	41,19	31,68	72,87	50,42	27,72	78,14	55,04	25,56	80,60
60	39,35	34,25	73,60	54,70	43,55	98,25	58,36	29,26	87,62
40/40	39,57	33,97	73,54	63,60	35,36	98,36	59,54	34,81	94,35
60/40	35,86	31,03	66,89	67,09	44,59	111,68	55,14	37,41	92,55
<b>mit Fungizid</b>									
0	33,68	30,46	64,14	38,26	20,16	57,21	35,16	21,67	56,83
40	39,79	30,57	70,36	50,36	36,80	87,16	54,64	25,93	80,57
60	35,66	36,23	71,89	55,53	43,62	99,15	56,52	29,81	86,33
40/40	36,28	33,25	69,53	59,49	40,14	99,63	56,24	37,41	93,65
60/40	25,95	39,89	65,84	66,05	39,89	105,94	59,19	38,89	98,08
<b>Roda</b>									
<b>ohne Fungizid</b>									
0	82,17	66,58	148,75	79,66	87,86	167,52	52,75	75,52	128,77
40/40	73,93	75,53	149,46	85,10	82,01	167,11	57,56	83,60	141,16
80	78,80	78,16	156,96	82,88	76,10	158,98	59,18	80,80	139,98
60/40	85,05	79,04	154,09	84,47	74,27	158,74	57,43	74,32	131,75
<b>mit Fungizid</b>									
0	81,95	88,95	170,90	86,02	80,06	166,08	64,87	84,16	149,03
40/40	75,90	99,91	175,81	88,43	78,81	167,24	57,18	82,72	139,90
80	74,25	103,77	178,02	84,12	73,52	157,64	61,44	84,08	145,52
60/40	77,63	103,68	181,31	93,28	80,89	174,17	54,39	83,44	137,83

<sup>1)</sup> TM bei 86 % TS

<sup>2)</sup> TM lufttrocken

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

Der Fungizideinsatz wirkt in Roda nicht so eindeutig auf die Höhe des N-Gehaltes. Im Mittel ist auf dem Lößlehm-Standort davon auszugehen, dass der N-Gehalt 1,8 bis 2,0 % im Korn und 0,4 bis 1,3 % im Stroh beträgt.

Im Interesse niedriger N-Gehalte ist der N-Aufwand auf Lehm Böden und anlehmigen Sanden möglichst restriktiv zu handhaben (60-80 kg N/ha) (Tabelle 11).

**Tabelle 11: N-Gehalt im Ganzpflanzengetreide (Wintertriticale) in Abhängigkeit vom Standort, der Höhe der N-Düngung und Fungizidbehandlung**

	1996			1997			1998		
N-Gehalt in % TS									
Spröda									
kg N/ha	Korn	Stroh	Ganzpflanze	Korn	Stroh	Ganzpflanze	Korn	Stroh	Ganzpflanze
<b>ohne Fungizide</b>									
0	1,56	0,46	n. b.	1,32	0,25	0,88	1,26	0,24	0,98
40	0,64	0,42	n. b.	1,34	0,30	0,91	1,23	0,21	0,53
60	1,66	0,47	n. b.	1,48	0,33	0,91	1,37	0,23	0,53
40/40	1,96	0,55	n. b.	1,80	0,37	0,96	1,55	0,31	0,63
80	1,92	0,65	n. b.	1,91	0,26	0,93	1,74	0,30	0,74
60/40	1,99	0,56	n. b.	1,31	0,32	1,11	1,58	0,27	0,81
<b>Mittelwert</b>	<b>1,62</b>	<b>0,52</b>		<b>1,53</b>	<b>0,31</b>	<b>0,95</b>	<b>1,45</b>	<b>0,26</b>	<b>0,70</b>
<b>mit Fungizide</b>									
0	1,31	0,41	n. b.	1,46	0,25	0,93	1,26	0,21	0,69
40	1,35	0,43	n. b.	1,76	0,25	0,93	1,28	0,25	0,40
60	2,01	0,45	n. b.	1,53	0,26	1,03	1,42	0,23	0,49
40/40	2,33	0,52	n. b.	1,65	0,29	1,01	1,56	0,29	0,75
80	1,48	0,41	n. b.	2,05	0,35	1,06	1,61	0,28	0,55
60/40	1,52	0,68	n. b.	1,64	0,36	0,84	1,59	0,28	0,46
<b>Mittelwert</b>	<b>1,67</b>	<b>0,48</b>		<b>1,68</b>	<b>0,29</b>	<b>0,97</b>	<b>1,45</b>	<b>0,26</b>	<b>0,56</b>
Roda									
<b>ohne Fungizide</b>									
0	1,76	1,03	1,05	1,65	0,43	1,13	1,68	0,70	0,97
40/40	1,97	1,29	1,18	1,86	0,38	1,30	1,90	0,80	1,16
80	1,97	1,36	1,23	1,69	0,37	1,12	1,80	0,62	1,00
60/40	2,08	1,51	1,46	1,88	0,53	1,35	1,92	0,67	1,06
<b>Mittelwert</b>	<b>1,95</b>	<b>1,30</b>	<b>1,23</b>	<b>1,77</b>	<b>0,43</b>	<b>1,23</b>	<b>1,82</b>	<b>0,70</b>	<b>1,05</b>
<b>mit Fungizide</b>									
0	1,84	1,14	1,03	1,53	0,39	0,96	1,76	0,54	1,04
40/40	2,00	1,35	1,17	1,60	0,45	1,18	1,90	0,62	1,17
80	1,98	1,35	1,08	1,54	0,34	0,97	1,78	0,70	1,03
60/40	2,08	1,49	1,33	1,71	0,36	1,22	1,92	0,64	1,15
<b>Mittelwert</b>	<b>1,98</b>	<b>1,33</b>	<b>1,15</b>	<b>1,60</b>	<b>0,38</b>	<b>1,08</b>	<b>1,84</b>	<b>0,62</b>	<b>1,10</b>

n. b. nicht bestimmt

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

Nährstoffbilanzen in den Versuchen belegen, dass bei dem nachgewiesenen hohen Ertragsniveau auf dem Standort Roda ein erheblicher Export an Stickstoff und Kalium mit der Ganzpflanzenernte stattfindet. Hier ist im Bereich des geprüften Düngeraufwandes der N- und K-Saldo negativ. Dies ist auch, allerdings weniger ausgeprägt, bei Phosphor der Fall. Auf dem anlehmigen Sandboden ist die Bilanz bei Stick-

stoff ebenfalls negativ. Bei Kalium und Phosphor ist sie mit der Zufuhr von 20 kg P/ha und 80 kg K/ha weitgehend ausgeglichen. Die CO<sub>2</sub>-Bindung der Biomasse (Korn und Stroh) beträgt auf dem Lehm Boden je nach Ertragshöhe 22 bis 25 t CO<sub>2</sub>/ha\*a. Beim Anbau auf dem anlehmigen Sandboden wird in Abhängigkeit vom Jahresertrag eine CO<sub>2</sub>-Menge von 10 bis 17 t/ha\*a gebunden (Tabelle 12).

**Tabelle 12: Nährstoffbilanz Wintertriticale (Ganzpflanzennutzung) nach Versuchsergebnissen (Durchschnitt 1996–1998; Variante ohne Fungizide)**

<b>Roda (Lehm Boden)</b>							
<b>Entzug</b>		<b>1996</b>		<b>1997</b>		<b>1998</b>	
		<b>Korn <sup>1)</sup></b>	<b>Stroh <sup>2)</sup></b>	<b>Korn <sup>1)</sup></b>	<b>Stroh <sup>2)</sup></b>	<b>Korn <sup>1)</sup></b>	<b>Stroh <sup>2)</sup></b>
<b>Ertrag TM</b>	<b>dt/ha</b>	<b>78,8</b>	<b>78,2</b>	<b>82,9</b>	<b>76,1</b>	<b>59,2</b>	<b>80,8</b>
N	kg/ha	141,6	98,8	128,4	28,9	93,9	51,3
P	kg/ha	21,5	12,5	21,9	7,9	15,4	7,7
K	kg/ha	38,2	93,8	36,3	108,4	25,7	137,2
Mg	kg/ha	6,0	5,0	6,2	3,6	3,8	5,1
S	kg/ha	9,6	8,3	8,3	5,4	6,2	7,6
C	kg/ha	3.212,8	3.229,7	3.439,9	3.623,1	2.328,2	3.662,9
CO <sub>2</sub>	t/ha*a	11,8	11,8	12,6	13,3	8,5	13,4

**Zufuhr:** 80 kg N/ha\*a, 20 kg P/ha\*a, 80 kg K/ha\*a

<b>Spröda (anlehmiger Sand)</b>							
<b>Entzug</b>		<b>1996</b>		<b>1997</b>		<b>1998</b>	
		<b>Korn <sup>1)</sup></b>	<b>Stroh <sup>2)</sup></b>	<b>Korn <sup>1)</sup></b>	<b>Stroh <sup>2)</sup></b>	<b>Korn <sup>1)</sup></b>	<b>Stroh <sup>2)</sup></b>
<b>Ertrag</b>	<b>dt/ha</b>	<b>32,8</b>	<b>34,9</b>	<b>55,7</b>	<b>46,5</b>	<b>61,0</b>	<b>34,6</b>
N	kg/ha	54,0	22,0	97,4	12,6	91,5	10,1
P	kg/ha	9,8	2,9	18,0	2,4	18,4	1,6
K	kg/ha	20,5	23,1	27,0	32,8	30,9	34,1
Mg	kg/ha	1,7	1,5	5,3	1,3	5,6	1,7
S	kg/ha	4,7	2,3	7,3	2,2	6,6	1,8
C	kg/ha	1.303,8	1.480,5	2.381,4	2.325,6	2.344,3	1.466,0
CO <sub>2</sub>	t/ha*a	4,8	5,4	8,7	8,5	8,6	5,4

**Zufuhr:** 80 kg N/ha\*a, 20 kg P/ha\*a, 80 kg K/ha\*a

<sup>1)</sup> TM bei 86 % TS  
<sup>2)</sup> TM Iutro

Tabelle 13: Ertrag und Inhaltsstoffe bei Wintertriticale – Ganzpflanzennutzung (Durchschnitt Versuchsvarianten N-Düngung/Fungizide)

	Korn						Stroh					
	Ertrag TM (86%)	Hu (wf)	N	K	Cl	Asche	Ertrag TM lutro	Hu (wf)	N	K	Cl	Asche
	dt/ha	MJ/kg	—————% TS—————				dt/ha	MJ/kg	—————% TS—————			
<b>Roda</b>												
<b>1996</b>	77,40	17,01	1,96	0,52	0,046	1,91	84,56	17,00	1,37	1,33	0,37	4,89
<b>1997</b>	85,50	16,89	1,68	0,46	0,036	1,87	79,19	17,21	0,40	1,32	0,20	5,10
<b>1998</b>	58,10	17,00	1,81	0,48	0,030	n.b.	81,08	16,40	0,65	1,68	0,44	n.b.
<b>Mittelwert</b>	<b>73,69</b>	<b>16,97</b>	<b>1,82</b>	<b>0,49</b>	<b>0,037</b>	<b>1,89</b>	<b>81,61</b>	<b>16,87</b>	<b>0,81</b>	<b>1,44</b>	<b>0,34</b>	<b>4,99</b>
<b>Spröda</b>												
<b>1996</b>	35,93	16,91	1,64	0,68	0,046	n.b.	33,25	16,88	0,50	0,69	0,01	5,99
<b>1997</b>	53,91	16,71	1,60	0,53	0,030	1,87	35,04	17,27	0,30	0,60	0,05	n.b.
<b>1998</b>	52,53	15,06	1,45	0,53	0,035	1,68	30,42	17,31	0,26	1,01	0,31	3,80
<b>Mittelwert</b>	<b>47,56</b>	<b>16,23</b>	<b>1,56</b>	<b>0,58</b>	<b>0,037</b>	<b>1,78</b>	<b>32,90</b>	<b>17,15</b>	<b>0,35</b>	<b>0,77</b>	<b>0,12</b>	<b>4,89</b>

n.b. nicht bestimmt

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

Ebenso wie Dinkel weist auch Wintertriticale (Ganzpflanze) höhere Gehalte an Mineralstoffen auf, die für den Abbrand nachteilig sind (Tabelle 13). Die Biomasse der Wintertriticale ist reich an Stickstoff und Kalium.

Der Stickstoff ist vor allem im Korn, das Kalium hauptsächlich im Stroh konzentriert. Eine weitere den Abbrand und das Rauchgas belastende Verbindung ist das Chlor, das verstärkt im Stroh anzutreffen ist. Nach den vorliegenden Ergebnissen sind standortspezifische Unterschiede vorhanden. Auf Lehmböden angebaute Wintertriticale weist im Korn und Stroh höhere Gehalte an Stickstoff, Kalium und Chlor auf als auf dem anlehmigen Sandboden. So enthält das Stroh (anlehmiger Sand) im Durchschnitt nur 0,35 % N, das in Roda 0,81 %. Im Korn werden 1,82 % N in Roda gemessen, in Spröda sind es 1,56 % N. Das Stroh in Roda weist doppelt so viel Kalium (1,4 % TS) auf wie in Spröda. Ebenso ist der Chlorgehalt mit 0,34 % um das 2,8fache höher.

Die Werte in Tabelle 13 machen ferner deutlich, dass Stroh und Ganzpflanzengetreide wesentlich höhere mineralische Gehalte an für den Abbrand bedeutsamen Bestandteilen aufweisen als der Brennstoff Holz. Dadurch entsteht auch mehr Asche (4 bis 5 %) beim Abbrand von Ganzpflanzengetreide oder Stroh als beim Holz (1 bis 2 %).

Für eine Nutzung von Ganzpflanzengetreide als Brennstoff ist deshalb eine niedrige bis mittlere Düngungsintensität sinnvoll. Der Versuch zum Erntezeitpunkt des Ganzpflanzengetreides belegt, dass die Ernte zu einem frühen Entwicklungsstadium (DC 87, Milchwachsreife) erfolgen sollte. Verbunden mit einer längeren Feldliegezeit im Schwad entstehen geringe Körnerverluste (1 % der Gesamtbiomasse).

Erfolgt die Ernte zu einem späteren Entwicklungsstadium (Teigreife bis Vollreife) nehmen die Kornverluste während der Feldliegezeit im Schwad zu (5 % der Gesamtbiomasse). Bei einem mittleren Ganzpflanzenertrag von

11 t TM/ha entstünde dadurch ein Energieverlust von 8,2 GJ/ha oder 197 kg Heizöläquivalent (Tabelle 14).

Zur Ernte weist das Stroh noch höhere Wassergehalte als das Korn auf. Die Bodentrocknung bewirkt vor allem eine Erhöhung des Trockensubstanzgehaltes im Stroh. Die Feldliegezeit der Biomasse im Schwad bewirkt vermutlich über Rotte- und Auswaschungsprozesse eine Abnahme der Konzentration emissionsrelevanter Inhaltsstoffe im Stroh gegenüber der Konzentration zum jeweiligen Erntezeitpunkt (Abbildungen 1, 2, 3 und 4).

Die Auswaschungsrate ist dabei von der Feldliegezeit und dem jeweiligen Inhaltsstoff abhängig. Bei allen untersuchten Inhaltsstoffen (N, P, K, Cl, S) sind bei längerer Feldliegezeit (19 Tage) die höchsten Abbauraten feststellbar. Von den Inhaltsstoffen werden Kalium und Chlor nach 19-tägiger Feldliegezeit um 75 % (Chlor) bzw. 67 % (Kalium) reduziert.

Der Gehalt an Stickstoff und Schwefel sinkt etwa um ein Drittel im Vergleich zum Ausgangswert (früher Erntezeitpunkt DC 87). Gleichfalls ist die Konzentration dieser Inhaltsstoffe im Stroh vom Erntezeitpunkt abhängig. Der Gehalt an Chlor und Kalium geht bis zum späten Erntetermin signifikant zurück, wobei die Feldliegezeit im Schwad diesen Effekt weiter verstärkt. Die Konzentration an Stickstoff und Schwefel wird dagegen kaum vom Erntetermin beeinflusst.

Insgesamt ist aus der Sicht der energetischen Nutzung ein früher Erntetermin mit Bodentrocknung sinnvoll. Dadurch nimmt der TS-Gehalt in der Biomasse zu. Gleichzeitig verringern sich die Gehalte umweltbelastender Inhaltsstoffe in der Trockenmasse des Strohs. Bei der Einführung dieses Erntesystems müssen auch die klimatischen, arbeitswirtschaftlichen und pflanzenbaulichen Bedingungen des Betriebes wie Witterungsverlauf, Schlagkraft der Erntemaschinen und Zeitraum der Nachfruchtbestellung geprüft werden.

**Tabelle 14: Einfluss des Schnittzeitpunktes und nachfolgender Schwadablage von Getreideganzpflanzen auf den TS-Gehalt des Korns**

Schnittzeitpunkt	TS- Gehalt (%) zur Ernte	TS- Gehalt (%) nach Feldliegezeit
DC 87	75,0	85,1
DC 87-91	80,0	85,4
DC 91	81,4	85,7

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

Zusammenfassend ist zum Getreideganzpflanzenanbau festzustellen:

- Der Anbau kann auf allen Ackerböden erfolgreich betrieben werden. Die Erträge an Biomasse reichen standortabhängig von 8 t bis 15 t TM/ha.
- Das moderne Sortenspektrum an Wintergetreidearten erweist sich älteren Getreidearten (Dinkel) deutlich ertragsüberlegen.
- Korn und Stroh sind Energieträger mit vergleichsweise hohen Gehalten an Kalium (Senkung des Ascheschmelzpunktes), Stickstoff (NO<sub>x</sub>-Emission) und Chlor (HCL-Emission, Korrosionswirkung).
- In Abänderung zur Nahrungsgetreideproduktion kann die Intensität der Düngung und Fungizidbehandlung verringert werden. Dadurch sinkt der N-Gehalt im Korn und Stroh und die N<sub>min</sub>-Konzentration in der Ackerkrume und nach der Ernte.
- Ein früher Erntetermin (Milchwachsreife) des Energiegetreides mit anschließender Feldliegezeit im Schwad verbessert die Abtrocknung des Strohs und vermindert den Gehalt an emissionsrelevanten Inhaltsstoffen wie Chlor, Kalium, Stickstoff und Schwefel. Die Kornverluste werden dadurch verringert.

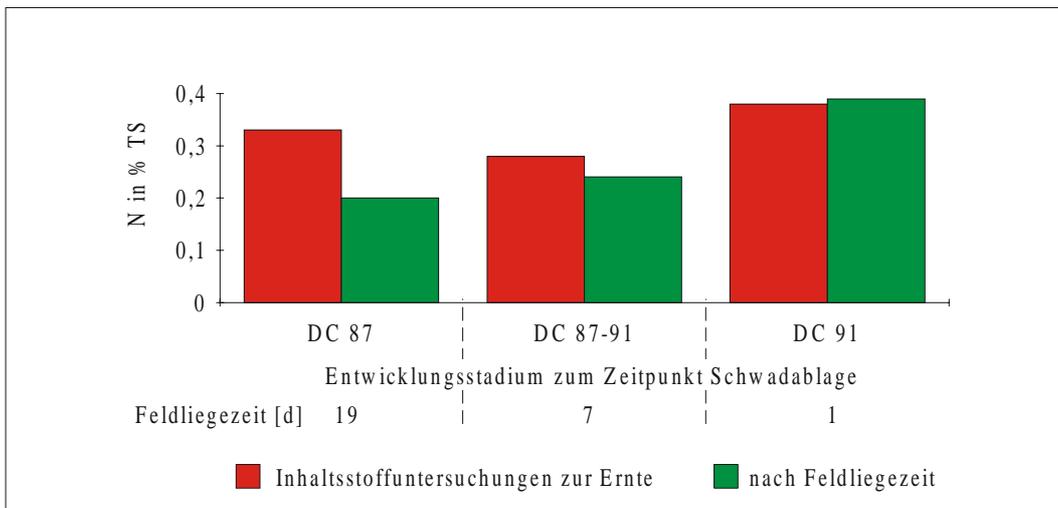


Abbildung 1: Entwicklung des N-Gehaltes im Stroh bei unterschiedlichem Erntezeitpunkt

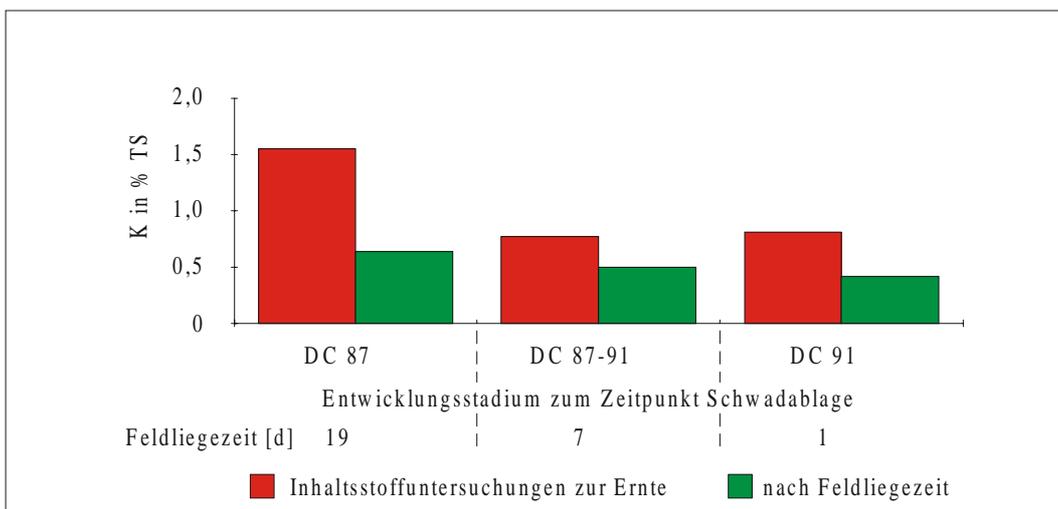


Abbildung 2: Entwicklung des K-Gehaltes im Stroh bei unterschiedlichem Erntezeitpunkt

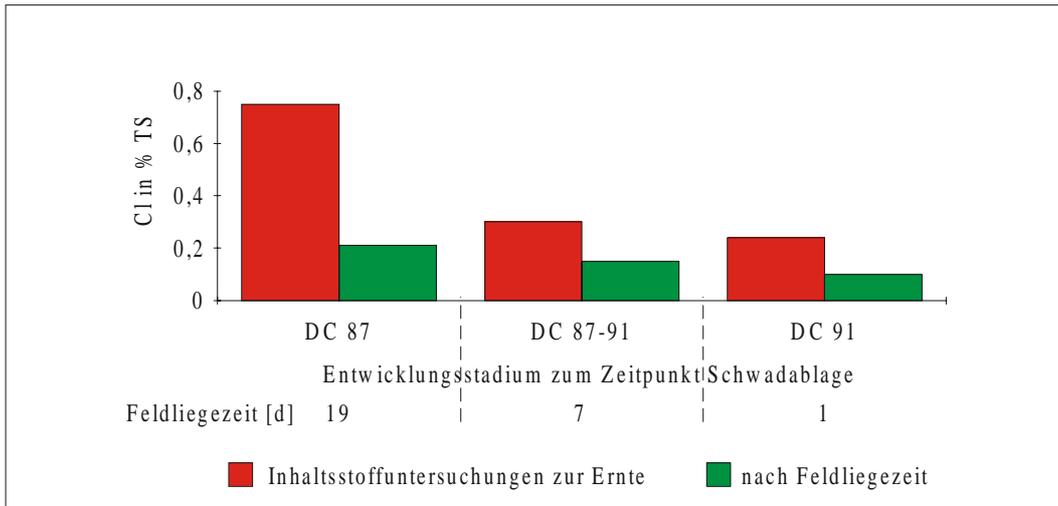


Abbildung 3: Entwicklung des Cl-Gehaltes im Stroh bei unterschiedlichem Erntezeitpunkt

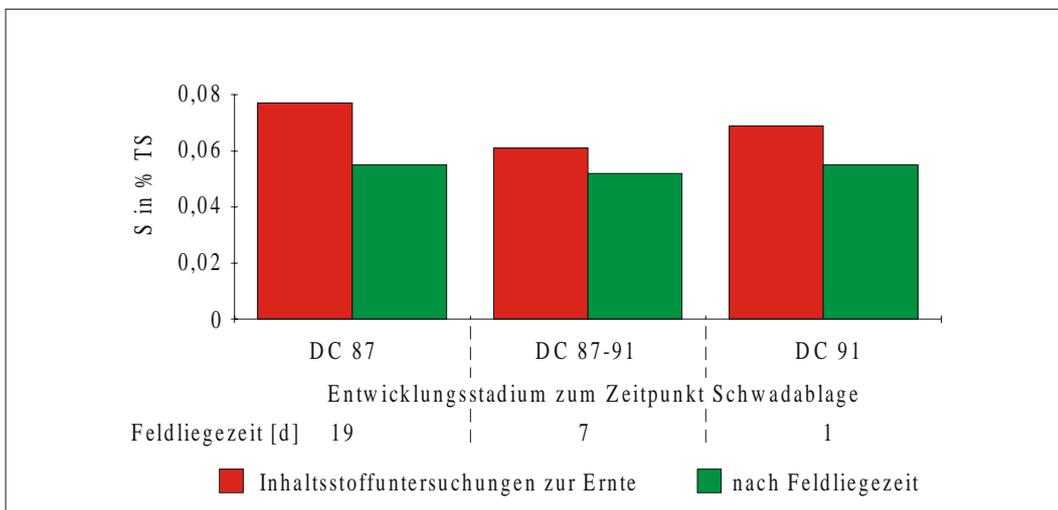


Abbildung 4: Entwicklung des S-Gehaltes im Stroh bei unterschiedlichem Erntezeitpunkt

### 3.1.2 Futtergräser

Für das Heu aus Futtergräsern wird neben der traditionellen Verfütterung an Wiederkäuer auch die Anwendung als Festbrennstoff diskutiert. Während zur Futtergewinnung proteinreiche Biomasse gefordert ist, strebt man für die energetische Verwertung einen hohen Anteil an Lignocellulose in der Biomasse an. Dies lässt sich über den Erntetermin steuern. Für die Festbrennstoffnutzung erfolgt deshalb der Gräferschnitt vergleichsweise spät nach der Vollblüte. Dann hat sich bereits viel lignocellulosehaltige Trockensubstanz im Stängel und Blatt gebildet. In einem N-Steigerungsversuch wur-

den die Sorten „Liprinta“ und „Remy“ des Deutschen und Welschen Weidelgrases für die Festbrennstoffgewinnung auf zwei Standorten getestet. Auf dem Lößstandort (Versuchsstation Roda) erfolgte eine dreijährige Nutzung (Tabelle 15). In jedem Nutzungsjahr wurde ein später Schnitt nach Vollblüte durchgeführt. Zu diesem Erntetermin wiesen die Sorten Trockensubstanzgehalte von 23 bis 55 % auf. Die Sorte „Remy“ erreichte dabei im Durchschnitt der Prüffahre höhere Trockensubstanzgehalte als „Liprinta“. Im Ergebnis der unterschiedlichen Trockensubstanzbildung erzielt die Sorte „Remy“ einen höheren Ertrag von 80,7 dt TM/ha als „Liprinta“, deren Durchschnittsertrag

um ca. 10 dt/ha niedriger liegt. Betrachtet man die Einzeljahre, ist der starke Ertragseinbruch beider Sorten im zweiten Versuchsjahr (1998) hervorzuheben. Er ist vor allem auf das stärkere Niederschlagsdefizit in der Hauptwachstumsperiode zurückzuführen (Tabelle A5). Dies unterstreicht die Bedeutung einer ausreichenden Wasserversorgung der Gräser zur Ertragsbildung.

Von der mineralischen N-Düngung geht im Gräseranbau ein starker Impuls aus. Auf dem Lößboden bewirken steigende N-Gaben eine Zunahme des Trockenmasse-(Energie-)ertrages (Tabelle 15). Dieser Effekt ist in den einzelnen Nutzungsjahren unterschiedlich stark ausgeprägt. Aus der Sicht eines hohen Trockenstoffgehaltes und Energieertrages ist der N-Aufwand auf diesem Standort auf Zusatzgaben von 30 bis 60 kg N/ha zu begrenzen. Dadurch wird auch ein stärkerer Anstieg des im Vergleich zu Holz und Stroh ohnehin hohen N-Gehaltes in der Trockenmasse (z. T. über 1 % in der Kontrollvariante) vermieden (Tabelle 16). Die Analyse weiterer die Brennstoffeigenschaften mitbestimmender Mineralstoffe macht deutlich, dass die Gräser wesentlich mehr Kalium, Chlor und Schwefel akkumulieren als Holz und Getreide. Dies führt auch zu einem hohen Ascheaufkommen (Tabelle 16). Die sehr gute Verwertung des Mineraldüngestickstoffes im mehrjährigen Gräseranbau spiegeln die niedrigen Nitratgehalte im Boden nach der Ernte wieder (Tabelle 15).

In den Jahren 1998 und 1999 erfolgte der Anbau der beiden Weidelgrassorten auf einem anlehmigen Sandboden (Versuchsstation Spröda). Es wurde ein zweischnittiges Nutzungssystem gewählt. Zu jedem Schnitt hatte der Bestand das Stadium der Vollblüte überschritten und wies bereits höhere TS-Gehalte auf. Fasst man die Erträge beider Aufwüchse zusammen, erreichen die beiden Sorten annähernd gleiche Ergebnisse. „Remy“ erzielte einen Gesamtertrag von 87 dt TM/ha, „Liprinta“ von 83 dt TM/ha im Durchschnitt der Versuchsjahre (Tabelle 17). Entscheidend für das Ergebnis ist der erste Aufwuchs, der 60 % (1998) bzw. 90 % (1999) des Gesamtertrages ausmacht. Hier erreicht „Remy“ in beiden Versuchsjahren einen höheren Ertrag als „Liprinta“.

Der zweite Aufwuchs unterliegt erheblichen Ertragsschwankungen, die 1999 zu nicht rentablen Erträgen (4 bis 8 dt TM/ha) geführt haben. Hohe Lufttemperaturen und eine für den zweiten Aufwuchs ungünstige Verteilung der Niederschläge im Juli und August in Verbindung mit geringer Wasserhaltekapazität des anleh-

migen Sandes führten offensichtlich zu der geringen Aufwuchsleistung (Tabelle A2 und Abbildungen A2.1 und A2.2). Die zu den Aufwüchsen verabreichten N-Gaben sicherten gegenüber der Kontrollvariante hohe Mehrerträge. Für den ersten Aufwuchs war eine N-Gabe von 80 kg/ha am effektivsten. Die Applikation von 120 kg N/ha bewirkte meist einen leichten Ertragsrückgang.

Zum zweiten Aufwuchs zeichnete sich bis zur höchsten geprüften N-Gabe von 60 kg N/ha ein Ertragszuwachs ab. Dieser Effekt vollzog sich 1999 bei einem insgesamt sehr geringen Ertragsniveau. Die Gehalte an Stickstoff in der Trockenmasse des ersten Aufwuchses lagen je nach Versuchsjahr zwischen 0,7 und 1,3 %. Mit der N-Gabe von 80 kg N/ha ist nur ein leichter Anstieg von 0,1 bis 0,2 % in der Trockenmasse verbunden. Wesentlich stickstoffreicher ist hingegen der zweite Aufwuchs. Hier werden Gehalte von 1,1 bis 2,3 % N in der TS gemessen. Die zusätzlichen N-Gaben führen dabei zu einer deutlichen N-Konzentrationserhöhung in der Trockenmasse (Tabelle 18). Die Analysen des Chlor- und K-Gehaltes belegen, dass sich in Abhängigkeit von den Jahresbedingungen und dem Schnitttermin hohe Gehalte in der Trockenmasse bilden. Der zweite Aufwuchs enthält meist höhere Chlor- und K-Gehalte. Beim Abbrand entstehen überdies hohe Ascherückstände in der Größenordnung von bis zu 12 % des Ausgangsmaterials.

Zusammenfassend ist festzustellen:

- Futtergräser (Weidelgras) erreichen bei ein- bis zweischnittiger Nutzung ein Ertragsniveau von 6 bis 10 t TM/ha auf D- und Löß-Standorten.
- Durch späte Schnitttermine nach der Vollblüte ist eine hohe Einlagerung lignocellulosehaltiger Trockensubstanz anzustreben.
- Der erste Schnitt sichert stabil hohe Erträge. Der zweite Gräseraufwuchs unterliegt im mitteldeutschen Trockengebiet witterungsbedingt stärkeren Ertragsrisiken.
- Für das Gelingen des zweiten Aufwuchses wäre eine Zusatzbewässerung günstig.
- Die Trockenmasse der Gräser ist reich an Stickstoff, Kalium und Chlor. Besonders gilt dies für den zweiten Aufwuchs an Biomasse. Dadurch ergeben sich deutlich schlechtere Abbrandeigenschaften gegenüber dem mineralstoffärmeren Holz.
- Für die Festbrennstoffnutzung von Futtergräsern ist das einschnittige Nutzungssystem bei reduziertem N-Aufwand (60 bis 80 kg/ha) zu empfehlen.

Tabelle 15: Wirkung steigender N-Gaben auf den Ertrag des Deutschen und Welschen Weidelgrases am Standort Roda (Lößlehm, 1996-1999), einschnittige Nutzung

N-Düngung kg/ha	Ertrag atro dt/ha	TS zur Ernte %	N <sub>min</sub> im Boden 0-60 cm n. Ernte kg N/ha	Energie- leistung GJ/ha	N-Dün- gung kg/ha	Ertrag atro dt/ha	TS zur Ernte %	N <sub>min</sub> im Boden 0-60 cm n. Ernte kg N/ha	Energie- leistung GJ/ha	N-Dün- gung kg/ha	Ertrag atro dt/ha	TS zur Ernte %	N <sub>min</sub> im Boden 0-60 cm n. Ernte kg N/ha	Energie- leistung GJ/ha
Ernte: 17.09.1996					Ernte: 06.07.1998					Ernte: 26.07.1999				
<b>Liprinta</b>														
0	70,24	24,3	3	118,15	0	49,73	28,6	14	84,94	0	95,08	59,5	20	160,88
60	74,73	25,0	6	125,90	30	41,45	25,5	27	69,64	30	99,77	60,4	25	170,51
120	76,13	21,3	8	128,28	80	46,22	27,4	15	79,92	80	79,62	52,3	25	135,76
180	79,84	21,2	4	135,30	120	42,51	27,8	17	71,00	120	74,31	46,8	30	127,23
<b>Mittel</b>	<b>75,23</b>	<b>22,9</b>		<b>126,91</b>		<b>44,98</b>	<b>27,3</b>		<b>76,37</b>		<b>87,20</b>	<b>54,75</b>		<b>148,59</b>
<b>Remy</b>														
0	70,56	24,5	8	117,89	3	55,89	30,5	7	92,45	0	93,27	45,7	24	156,04
60	76,72	25,2	4	127,96	30	63,87	32,1	15	106,03	30	117,17	54,3	24	197,31
120	85,34	27,4	10	142,56	80	58,26	26,4	20	97,12	80	102,64	48,3	28	171,61
180	87,94	26,0	7	146,66	120	49,49	25,3	19	83,68	120	107,85	48,4	22	182,27
<b>Mittel</b>	<b>80,14</b>	<b>25,8</b>		<b>133,77</b>		<b>56,88</b>	<b>28,6</b>		<b>94,82</b>		<b>105,23</b>	<b>49,18</b>		<b>176,81</b>

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

Tabelle 16: Wirkung steigender N-Gaben auf den N-Gehalt von Sorten des Deutschen und Wel-schen Weidelgrases am Standort Roda (Lößlehm, 1996 - 1999), einschnittige Nutzung

Sorte	N-Stufe kg/ha	N	P	K	Mg	Cl	S	Asche % Brennstoff
		% Trockensubstanz						
<b>Ernte: 17.09.1996</b>								
<b>Liprinta</b>	0	1,80						
	60	1,87						
	120	2,00						
	180	2,22						
<b>Mittel</b>		<b>1,97</b>	<b>0,30</b>	<b>2,68</b>	<b>0,20</b>	<b>0,40</b>	<b>0,23</b>	<b>9,45</b>
<b>Remy</b>	0	1,86						
	30	1,83						
	80	2,00						
	120	2,05						
<b>Mittel</b>		<b>1,94</b>	<b>0,29</b>	<b>3,23</b>	<b>0,15</b>	<b>0,48</b>	<b>0,22</b>	<b>11,29</b>
<b>Ernte: 06.07.1998</b>								
<b>Liprinta</b>	0	1,49						
	30	1,55						
	80	1,48						
	120	1,09						
<b>Mittel</b>		<b>1,40</b>	<b>0,19</b>	<b>1,55</b>	<b>0,14</b>	<b>0,59</b>	<b>0,15</b>	<b>6,58</b>
<b>Remy</b>	0	0,97						
	30	0,86						
	80	1,18						
	120	1,43						
<b>Mittel</b>		<b>1,11</b>	<b>0,16</b>	<b>1,44</b>	<b>0,11</b>	<b>0,64</b>	<b>0,13</b>	<b>6,35</b>
<b>Ernte: 26.07.1999</b>								
<b>Liprinta</b>	0	1,27						
	30	1,29						
	80	1,56						
	120	1,91						
<b>Mittel</b>		<b>1,51</b>	<b>0,21</b>	<b>1,70</b>	<b>0,14</b>	<b>0,92</b>	<b>0,17</b>	<b>7,16</b>
<b>Remy</b>	0	0,93						
	30	1,07						
	80	1,02						
	120	1,13						
<b>Mittel</b>		<b>1,04</b>	<b>0,18</b>	<b>1,52</b>	<b>0,10</b>	<b>0,92</b>	<b>0,12</b>	<b>7,13</b>

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

Tabelle 17: Wirkung steigender N-Gaben auf den Ertrag des Deutschen und Welschen Weidelgrases am Standort Spröda (anlehmiger Sand, 1998-1999), zweischnittige Nutzung

N-Düngung kg/ha	Ertrag atro dt/ha	TS zur Ernte %	N <sub>min</sub> im Boden n. Ernte 0-60 cm kg N/ha	Energie- leistung GJ/ha	N-Dün- gung kg/ha	Ertrag atro dt/ha	TS zur Ernte %	N <sub>min</sub> im Boden n. Ernte 0-60 cm kg N/ha	Energie- leistung GJ/ha
<b>1. Schnitt am 22.06.1998</b>					<b>2. Schnitt am 07.09.1998</b>				
<b>Liprinta</b>									
0	54,87	43,0	6	92,40	0	29,10	26,2	14	47,70
40	62,98	39,9	5	104,60	20	52,32	22,4	15	82,45
80	72,75	43,8	6	122,30	40	50,59	20,9	16	81,25
120	72,13	42,2	6	120,31	60	50,63	20,2	30	80,45
<b>Mittel</b>	<b>65,68</b>	<b>42,2</b>		<b>109,90</b>		<b>45,66</b>	<b>22,4</b>		<b>72,96</b>
<b>Remy</b>									
0	48,29	37,2	12	82,14	0	18,40	24,8	4	26,32
40	67,53	39,8	9	115,48	20	39,89	21,6	10	59,02
80	82,80	39,7	4	143,75	40	44,08	18,4	5	69,78
120	74,56	36,5	6	125,86	60	61,69	19,8	31	91,00
<b>Mittel</b>	<b>68,30</b>	<b>38,3</b>		<b>116,81</b>		<b>40,26</b>	<b>21,2</b>		<b>61,53</b>
<b>1. Schnitt am 09.06.1999</b>					<b>2. Schnitt am 17.08.1999</b>				
<b>Liprinta</b>									
0	28,03	36,0	2	45,91	0	0,76	43,4	0	1,25
40	50,38	35,8	0	83,13	20	2,66	41,1	1	4,37
80	59,86	36,1	0	98,29	40	5,75	36,9	0	9,45
120	67,69	35,5	5	111,55	60	6,16	30,7	7	10,14
<b>Mittel</b>	<b>51,49</b>	<b>35,8</b>		<b>84,67</b>		<b>3,83</b>	<b>38,0</b>		<b>6,30</b>
<b>Remy</b>									
0	28,05	32,6	4	45,52	0	4,43	35,2	11	7,29 <sup>1)</sup>
40	58,44	40,7	0	97,36	20	7,36	37,3	12	12,11
80	73,18	38,8	0	120,01	40	8,21	37,0	8	13,51
120	69,05	37,0	0	114,00	60	12,98	38,6	37	21,34
<b>Mittel</b>	<b>57,18</b>	<b>37,3</b>		<b>94,06</b>		<b>8,25</b>	<b>37,0</b>		<b>13,57</b>

<sup>1)</sup> Durchschnittswert: Hu = 16,45 MJ/kg atro

Tabelle 18: Wirkung steigender N-Gaben auf den N-Gehalt von Sorten des Deutschen und Wel-schen Weidelgrases am Standort Spröda (anlehmiger Sand, 1998-1999), zweischnitti-ge Nutzung

Sorte	N-Stufe kg/ha	N	P	K	Mg	Cl	S	Asche % Brennstoff
		% Trockensubstanz						
<b>1. Schnitt am 22.06.1998</b>								
Liprinta	0	1,14						
	40	1,00						
	80	1,13						
	120	1,09						
<b>Mittel</b>		<b>1,09</b>	<b>0,20</b>	<b>0,66</b>	<b>0,09</b>	<b>0,06</b>	<b>0,11</b>	<b>6,75</b>
Remy	0	1,15						
	40	1,22						
	80	1,23						
	120	1,46						
<b>Mittel</b>		<b>1,26</b>	<b>0,20</b>	<b>0,56</b>	<b>0,11</b>	<b>0,04</b>	<b>0,12</b>	<b>7,23</b>
<b>2. Schnitt am 07.09.1998</b>								
Liprinta	0	1,72						
	20	1,88						
	40	2,18						
	60	2,29						
<b>Mittel</b>		<b>2,02</b>	<b>0,31</b>	<b>1,82</b>	<b>0,15</b>	<b>0,62</b>	<b>0,22</b>	<b>n.b.</b>
Remy	0	1,94						
	20	2,11						
	40	2,54						
	60	2,67						
<b>Mittel</b>		<b>2,31</b>	<b>0,33</b>	<b>2,18</b>	<b>0,21</b>	<b>0,54</b>	<b>0,28</b>	<b>n.b.</b>

n.b. nicht bestimmt

Fortsetzung Tabelle 18:

Sorte	N-Stufe kg/ha	N	P	K	Mg	Cl	S	Asche % Brennstoff
		% Trockensubstanz						
<b>1. Schnitt am 09.06.1999</b>								
Liprinta	0	0,81						
	40	0,71						
	80	0,77						
	120	0,96						
<b>Mittel</b>		<b>0,81</b>	<b>0,17</b>	<b>1,62</b>	<b>0,13</b>	<b>0,08</b>	<b>0,11</b>	<b>5,05</b>
Remy	0	0,61						
	40	0,64						
	80	0,79						
	120	0,80						
<b>Mittel</b>		<b>0,71</b>	<b>0,16</b>	<b>1,47</b>	<b>0,12</b>	<b>0,09</b>	<b>0,10</b>	<b>4,81</b>
<b>2. Schnitt am 17.08.1999</b>								
Liprinta	0	1,27						
	20	1,18						
	40	1,63						
	60	1,62						
<b>Mittel</b>		<b>1,42</b>	<b>0,21</b>	<b>1,38</b>	<b>0,21</b>	<b>0,17</b>	<b>0,16</b>	<b>12,88</b>
Remy	0	0,99						
	20	0,95						
	40	1,06						
	60	1,33						
<b>Mittel</b>		<b>1,08</b>	<b>0,20</b>	<b>1,19</b>	<b>0,16</b>	<b>0,19</b>	<b>0,14</b>	<b>10,29</b>

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

### 3.2 Mehrjährige Energiepflanzen

Mehrjährige Energiepflanzen werden für den Anbau auf Stilllegungsflächen diskutiert. Ein umfangreiches Evaluierungsprogramm nennt zahlreiche ein- und mehrjährige Kultur- und Wildpflanzen, deren Biomasse als Festbrennstoff geeignet ist (EL BASSAM, 1993). Auf Grund der bisher vorliegenden Ergebnisse zum Anbau und zur Verwertung sind vor allem die ausdauernde Gräserart der Gattung Miscanthus und schnellwachsende Baumarten aussichtsreich. Anbautechnische Versuche verfolgen dabei das Ziel, sichere und kostengünstige An-

bauverfahren zu entwickeln. Die im Freistaat Sachsen seit 1992 durchgeführten Feld- und Praxisversuche prüften die standortliche Ertragsentwicklung von Miscanthusvarietäten und schnellwachsenden Baumarten.

Für Miscanthus wurde weiterhin der Einfluss der N-Düngung auf die Bestands- und Ertragsentwicklung untersucht. Aussagen zum Nährstoffentzug bei langjähriger Nutzung bilden die Grundlage für standortspezifische Entzugskoeffizienten und Nährstoffbilanzen. Gleichfalls wird die Brennstoffqualität der Biomasse beurteilt.

### 3.2.1 Miscanthus

Miscanthus ist eine ausdauernde Gräserart, die aus dem tropischen und subtropischen Klimaraum stammt. Das Hauptverbreitungsgebiet ist Korea, China und Japan. Taxonomisch ist Miscanthus eine Gattung aus der Familie der Poaceae (Süßgräser). Mit weiteren Gattungen wie Sorghum, Saccharum, Andropogon und Zea bildet sie die Unterfamilie der Andropogonoideae (Bartgrasgewächse) (WARBURG, 1926). Die Gattung Miscanthus wird in vier Sektionen sowie 17 bis 20 Arten untergliedert (DEUTER, ABRAHAM, 2000). Die Arten Miscanthus *sinensis*, Miscanthus *sachariflorus*, Miscanthus *floridulus* und Miscanthus *japonicus* zeichnen sich durch hohen Wuchs und Bildung einer üppigen Biomasse aus.

Der dänische Botaniker Aksel Olsen führte 1935 Miscanthus *sinensis* nach Europa als gärtnerische Zierpflanze ein, die wegen ihres starken Wuchses als ‚*Giganteus*‘ bezeichnet wurde. Später wurden weitere Klone nach Europa für den Zierpflanzenbau eingeführt und züchterisch zu ca. 60 Sorten selektiert (JACKSTERRENBURG, 1995). Die Schnellwüchsigkeit und das hohe Biomassebildungsvermögen der Miscanthus-Arten waren in den 80er Jahren Anlass, die Gräser als Industriepflanzen im landwirtschaftlichen Anbau zu erproben. Insbesondere die Sorte Miscanthus *sinensis giganteus* wurde dabei intensiver untersucht (EL BASSAM, GREEF, 2000; SCHWARZ, 2000; LEWANDOWSKI, CLIFTON-BROWN, 2000). Nach DEUTER und ABRAHAM (2000) ist *giganteus* ein Arthybrid zwischen einer tetraploiden Form von Miscanthus *sachariflorus* und einer diploiden Form von Miscanthus *sinensis* und wird neu unter der Bezeichnung Miscanthus *sinensis x giganteus* geführt (JACKSTERRENBURG, 1995).

Der Wachstums- und Entwicklungsverlauf von Miscanthus *sinensis x giganteus* ist dadurch charakterisiert, dass etwa Anfang Mai aus den Rhizomen Sprosse austreiben, die in den folgenden Monaten ein starkes Längenwachstum zeigen. Die reich beblätterten Halme erreichen eine Länge von ca. 3 m.

Das Wachstum hält bis in den Spätherbst an. Dann stirbt die oberirdische Biomasse allmählich ab. Die welken Blätter fallen vom Stängel ab und es entsteht auf dem Boden eine Mulchschicht. Sobald die Stängel trocken sind (Trockensubstanz 70 bis 80 %), erfolgt die Ernte. Eine Pflanze ist voll entwickelt, wenn etwa 30 bis 70 Triebe/m<sup>2</sup> vorhanden sind. Dies ist meist ab dem zweiten Standjahr nach der

Pflanzung erreicht. Auf Grund der Horstbildung entstehen dichte, flächendeckende Bestände. Die Bestandsetablierung kann über Rhizome bzw. meristem vermehrte Jungpflanzen erfolgen. Miscanthusbestände können ca. 10 bis 20 Jahre genutzt werden.

Nachfolgend werden die Ergebnisse sächsischer Anbauuntersuchungen von Miscanthus mitgeteilt.

#### 3.2.1.1 Standortvergleich

Im Ergebnis eines mehrjährigen Anbaus von Miscanthus *x giganteus* zeichnen sich deutliche standortbedingte Differenzierungen in der Ertragshöhe (Abbildung 5) ab.

Stark sandige Lehme alluvialer Herkunft (Kalkreuth) bieten die Voraussetzung für hohe Trockenmasseerträge. Im Mittel der sieben Standjahre werden 23,5 t TM/ha\*a nachgewiesen. Ab dem 4. Standjahr erreichen auf diesem Standort die Erträge ein Niveau von 20 t TM/ha, wobei ein Spitzenertrag von 31 t TM/ha möglich ist. Mit ausreichenden Niederschlägen von 300 mm in der Hauptwachstumsperiode Mai bis September und monatlichen Durchschnittstemperaturen von 16 bis 17 °C in dieser Periode werden weitere Faktoren für die Erzielung eines hohen Ertragsniveaus genannt (Tabelle A1).

Auch auf dem anlehmigen Sandboden der Leipziger Tieflandsbucht (Spröda) konnte ein beachtliches mittleres Ertragsniveau von 14 t TM/ha im Durchschnitt von sieben Anbaujahren nachgewiesen werden. In den Versuchsjahren wurden in der Hauptwachstumsperiode von Mai bis September Niederschläge von ca. 250 mm gemessen. Die monatliche Durchschnittstemperatur betrug in diesen Monaten 16 bis 17 °C. Ferner verfügt dieser Standort über einen günstigen Grundwassereinfluss, der von einem Kies-Staukörper im Untergrund des Bodens herrührt (Tabelle A2).

Auf dem Lehmboden der im mittelsächsischen Hügelland gelegenen Versuchsstation Methau wird ein mittleres Ertragsniveau mit 11,6 t TM/ha realisiert. Dabei kann ab dem 4. Standjahr mit Erträgen von 10 bis 15 t TM/ha gerechnet werden. Der im Verlaufe der sieben Standjahre festgestellte Höchstertag liegt bei 15 t TM/ha. Hier limitiert die insgesamt kühle Witterung die Ausprägung eines höheren Ertragsniveaus. Während der Hauptwachstumsperiode wird im Vergleich zum Standort Spröda eine um 0,9 °C niedrigere und gegenüber Kalkreuth eine um 0,8 °C geringere monatliche Durchschnittstemperatur ausgewiesen (Tabelle A3).

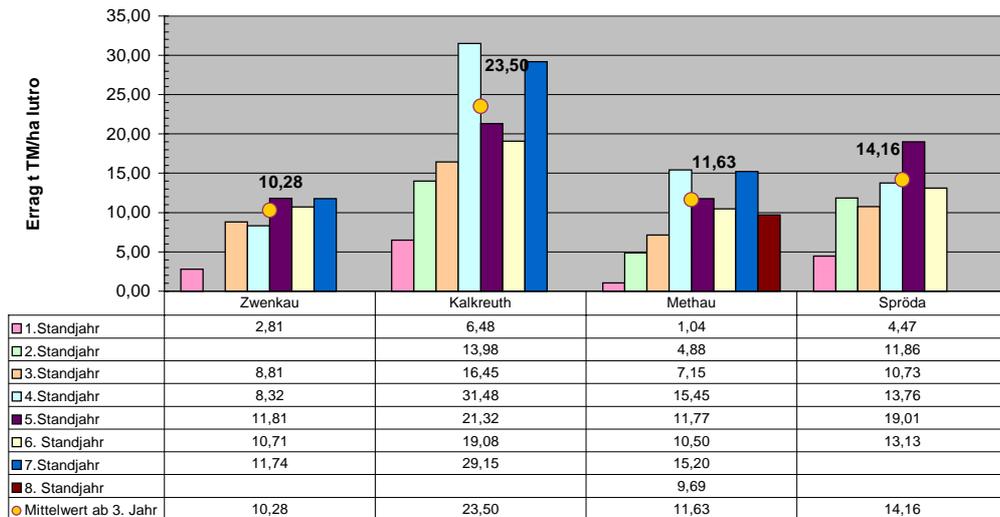


Abbildung 5: Ertragsentwicklung von *Miscanthus x giganteus* in Abhängigkeit von Standort und Jahr

Auf einem langjährig in landwirtschaftlicher Wiedernutzung befindlichen Kippenboden (Zwenkau) werden trotz einer noch sehr inhomogenen Bodenbeschaffenheit Erträge von 8 bis 12 t TM/ha erzielt. Die Niederschläge und Temperaturen von Mai bis September entsprechen etwa den Werten der Versuchsstation Spröda (Tabelle A4).

Die Ertragsstrukturparameter der *Miscanthus*-bestände (Wuchshöhe und Triebzahlen) korre-

spondieren gut mit den standortspezifischen Ertragswerten (Abbildungen 6 und 7)

Anhand der etablierten *Miscanthus*-bestände des Standortes Kalkreuth wird deutlich, dass für hohe Erträge (> 20 t TM/ha) Triebzahlen von 50 bis 70 Trieben/ Pflanze und Stängellängen von ca. 3 m notwendig sind. Im mittleren Ertragsbereich (10 bis 15 t TM/ha) weisen die Bestände 30 bis 40 Triebe je Pflanze und Wuchshöhen um 2,20 m auf.

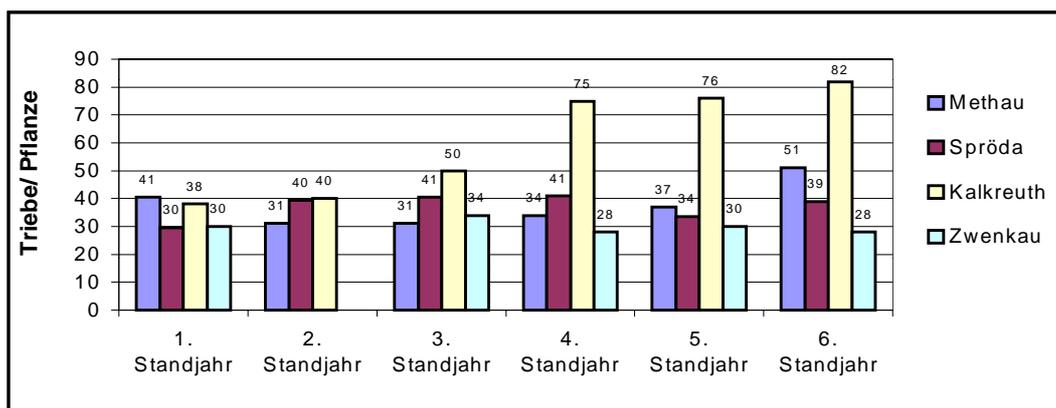


Abbildung 6: Triebzahlen von *Miscanthus x giganteus* an den Standorten Methau, Spröda, Kalkreuth und Zwenkau bis zum 6. Standjahr

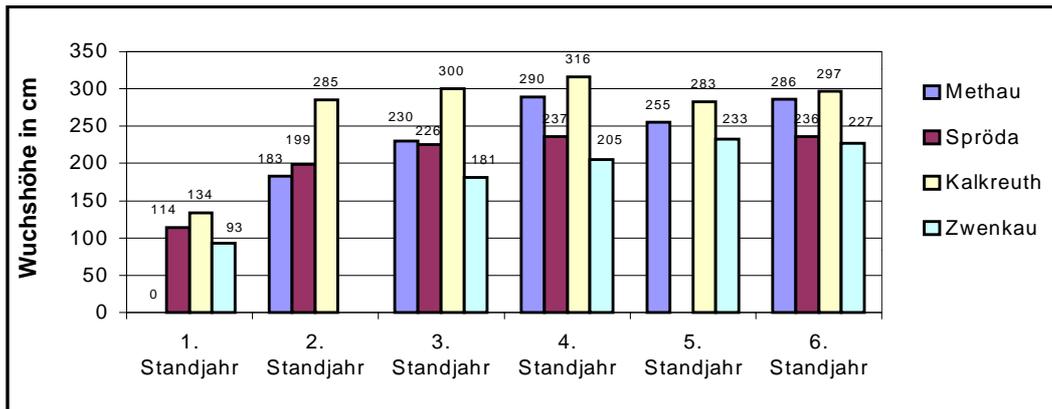


Abbildung 7: Wuchshöhen von *Miscanthus x giganteus* an den Standorten Methau, Spröda, Kalkreuth und Zwenkau bis zum 6. Standjahr

Als Fazit der standortlichen Untersuchungen ist festzustellen:

- *Miscanthus x giganteus* verfügt über eine relativ große Anbauamplitude, die von Lößböden bis zu leichten diluvialen Böden reicht und auch rekultivierte Kippenstandorte einschließt.
- Ab drittem Standjahr werden auf Lößböden in warmen Lagen 18 bis 23,5 t TM/ha erzielt. Die Erträge auf anlehmigen Sanden erreichen ein mittleres Niveau von 10 bis 14 t TM/ha. Auf rekultivierten Kippenböden liegt der Ertrag bei 8 bis 10 t TM/ha.
- Die Standorte sollten im langjährigen Mittel mindestens Niederschläge von 250 mm in der Zeitspanne von Mai bis September (Hauptwachstumsphase von *Miscanthus*) aufweisen. Eine monatliche Durchschnittstemperatur von 16 bis 17 °C für die Hauptwachstumsperiode begünstigt die Ausprägung hoher Erträge.

Für den Anbau sind typische Ackerbaugelände des Getreide-, Futter- und Hackfruchtanbaus geeignet. Nach sächsischen Erfahrungen kann *Miscanthus x giganteus* auch in Höhenlagen bis 400 m erfolgreich angebaut werden.

### N-Düngung

Im Vergleich zu eingeführten landwirtschaftlichen Kulturpflanzen liegen für *Miscanthus* nur wenige Ergebnisse zur N-Wirkung im gemäßigten Klimaraum vor (MÜNZER, 1993; HOTZ, KOLB und KUHN, 1993; SCHWEIGER, STOLZENBURG, 1994; SCHOLZ et al., 1999; BOELCKE, 2000; RÖHRICHT et al., 2000[b]).

Auf zwei bodenklimatisch sehr unterschiedlichen Standorten vorgenommene mehrjährige Untersuchungen zeigen, dass die Ertragswirkung der mineralischen N-Düngung vom Standort, Alter des *Miscanthus*-Bestandes und Höhe der N-Gabe abhängt (Tabelle 19).

Auf dem Lößlehmstandort der Vorgebirgslage Methau bilden die Jungpflanzen im ersten Standjahr etwa 1 t TM/ha. Zusätzliche N-Gaben führen hier zu keiner weiteren Ertragssteigerung. Die relativ langsame Erwärmung des Bodens wirkt offensichtlich begrenzend auf die Pflanzenentwicklung und Nährstoffaufnahme. Ein rasches Pflanzenwachstum und eine gute Ertragswirkung der zusätzlichen N-Gabe ist auf dem leicht erwärmbaren anlehmigen Sandboden (Spröda) zu beobachten. Bei hohem  $N_{\min}$ -Vorrat im Boden (90 kg N/ha) und ausreichenden Niederschlägen im April und Mai (Tabelle A2) bilden die Jungpflanzen auf der Kontrollvariante 3 t TM/ha. Eine zusätzliche N-Gabe von 60 kg N/ha vermag diesen Ertrag um 1,6 t TM zu steigern. Höhere N-Gaben waren im Anpflanzjahr nicht mehr effektiv. In den voll entwickelten *Miscanthus*-Beständen – ab dem 2. Standjahr – geht von der zusätzlichen N-Düngung eine stabile ertragssteigernde Wirkung aus.

Auf dem anlehmigen Sandboden werden im Durchschnitt von sechs Standjahren N-düngungsabhängig Mehrerträge von 6,4 t TM/ha nachgewiesen. Der dafür erforderliche N-Aufwand beträgt 60 kg N/ha. Die geprüfte Variante von 120 kg N/ha erreicht gegenüber der Kontrolle (ohne zusätzliche N-Gaben) einen Mehrertrag in gleicher Größenordnung.

**Tabelle 19: Erträge [t TM/ ha] der N-Steigerungsversuche mit *Miscanthus x giganteus* in Methau und Spröda**

Methau									
Variante	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	Ø 1994-2000
0 kg N/ ha	1,0	4,5	6,7	11,5	10,9	9,5	14,6	9,4	<b>9,6</b>
60 kg N/ ha	1,0	4,9	7,2	15,5	11,8	10,5	15,2	9,7	<b>10,7</b>
120 kg N/ ha	1,1	8,9	8,5	16,9	13,1	11,4	15,3	11,9	<b>12,3</b>
180 kg N/ ha	1,2	8,6	10,0	13,2	13,5	13,1	14,7	12,7	<b>12,3</b>
Spröda									
Variante	1993	1994	1995	1996	1997	1998	Versuchsende		Ø 1994-1998
0 kg N/ ha	2,9	5,7	4,4	9,0	11,4	5,9			<b>7,3</b>
60 kg N/ ha	4,5	11,9	10,7	13,8	19,0	13,1			<b>13,7</b>
120 kg N/ ha	4,2	13,6	8,2	13,2	19,9	13,9			<b>13,8</b>
180 kg N/ ha	4,7	13,5	12,3	12,5	20,7	13,3			<b>14,5</b>

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

Durch die höchste geprüfte N-Gabe (180 kg N/ha) nimmt der Ertrag nochmals um 0,7 t TM/ha im Vergleich zur mittleren N-Gabe (60 kg N/ha) zu. Die Effizienz dieser Maßnahme ist mit 5,8 kg Trockenmassezunahme je zusätzlichem Kilogramm N-Aufwand (Basis 60 kg N/ha) allerdings gering.

Auf dem nährstoffreichen Lößlehm (Methau) steigert die zusätzliche N-Düngung den Mis-

canthus-ertrag im Durchschnitt der Standjahre um 1,1 t TM/ha (60 kg N/ha) bzw. 2,7 t TM/ha (120 kg N/ha). Für die geprüfte N-Gabe von 180 kg N/ha beträgt der Mehrertrag gegenüber der Kontrollvariante ebenfalls 2,7 t TM/ha.

Der ertragsfördernde Effekt zusätzlicher mineralischer N-Gaben vollzieht sich im Wesentlichen über die Ertragskomponenten Triebzahl/ Pflanze und Wuchshöhe (Tabellen 20 und 21).

**Tabelle 20: Durchschnittliche Triebe pro Pflanze der N-Steigerungsversuche mit *Miscanthus x giganteus* in Methau und Spröda**

Methau									
Variante	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	Ø 1994-2000
0 kg N/ ha	39	34	34	21	29	31	25	21	<b>27,8</b>
60 kg N/ ha	40	28	28	30	36	47	36	28	<b>33,3</b>
120 kg N/ ha	41	35	34	38	38	55	37	30	<b>38,1</b>
180 kg N/ ha	38	38	31	27	37	53	31	33	<b>35,7</b>
Spröda									
Variante	1993	1994	1995	1996	1997	1998	Versuchsende		Ø 1994-1998
0 kg N/ ha	32	33	27	52	45	26			<b>36,6</b>
60 kg N/ ha	26	42	43	43	35	36			<b>39,8</b>
120 kg N/ ha	33	37	38	39	32	42			<b>37,6</b>
180 kg N/ ha	32	28	44	43	34	41			<b>38,0</b>

Die Triebzahlen wurden jährlich im Oktober vor Winter bzw. zur Ernte mit ca. 10 Wiederholungen pro Variante gemessen

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

Tabelle 21: Durchschnittliche Wuchshöhe [cm] der N-Steigerungsversuche mit *Miscanthus x giganteus* in Methau und Spröda

Methau									
Variante	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	Ø 1994-2000
0 kg N/ ha	n.b.	160	210	265	230	285	250	215	230,7
60 kg N/ ha	n.b.	175	230	279	250	275	285	230	246,3
120 kg N/ ha	n.b.	190	230	300	260	297	285	200	251,7
180 kg N/ ha	n.b.	195	240	290	250	293	290	227	265,0
Spröda									
Variante	1993	1994	1995	1996	1997	1998	Versuchsende		Ø 1994-1998
0 kg N/ ha	89	152	213	229	n.b.	213			207,1
60 kg N/ ha	116	193	221	233	n.b.	235			220,5
120 kg N/ ha	112	205	230	240	n.b.	237			228,0
180 kg N/ ha	113	207	235	246	n.b.	236			231,0

n.b. nicht bestimmt

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

Unter dem Einfluss steigender N-Gaben bilden sich in Spröda dichtere Bestände als in Methau. Dies führt zu höheren Erträgen je Flächeneinheit. Das in dünneren Beständen beobachtete stärkere Längenwachstum des Einzeltriebes kann in gewissem Umfang den Ertragsvorteil dichter Bestände kompensieren.

Die Nitratkonzentration im Boden nach der Ernte der Kulturpflanzen ist ein Maß für das N-Verlagerungsrisiko aus der durchwurzelten Bodenschicht. Aus den mehrjährigen *Miscanthus*-versuchen mit unterschiedlicher N-Dün-

gungsintensität können hierzu erste Aussagen abgeleitet werden.

Auf dem Lößlehmboden (Methau) zeichnen sich für die acht Anbaujahre insgesamt niedrige Nitratkonzentrationen in der Bodenschicht 0 bis 60 cm ab (Abbildung 8 und Tabelle A6).

Am günstigsten schneidet die Kontrollvariante ohne zusätzliche mineralische N-Gabe ab. Hier werden in der Mehrzahl der Jahre sehr geringe Werte unter 30 kg N/ha nachgewiesen.

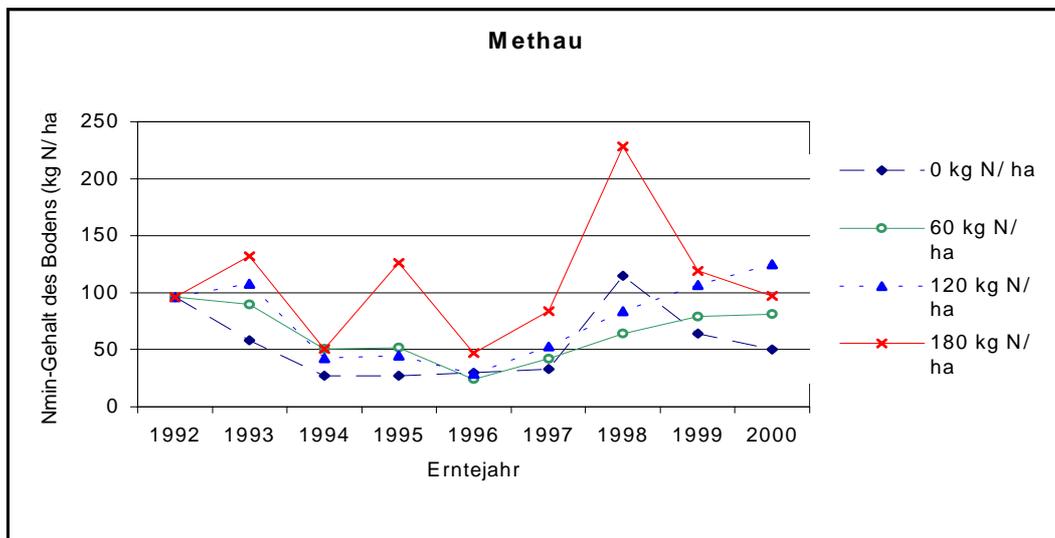


Abbildung 8: Verlauf der  $N_{\min}$ - Gehalte im Frühjahr über alle Standjahre und verschiedene N-Düngungsstufen bei *Miscanthus x giganteus* in Methau (Lö 4, Lehm)

Ab dem sechsten Nutzungsjahr deutet sich allerdings ein Anstieg auf Werte von 50 kg N/ha an, was mit der Mineralisierung der über ein weites C : N-Verhältnis verfügbaren Blattmasse einhergehen könnte. Ebenfalls geringe Nitratkonzentrationen werden in den Parzellen mit niedriger (60 kg N/ha) bis mittlerer (120 kg N/ha) N-Düngung gemessen, wobei auch hier ab dem 6. Standjahr höhere Werte festgestellt werden. Die N-Gabe von 180 kg/ha bedingt insgesamt eine höhere Nitratinterlassenschaft bei allerdings starken jährlichen Schwankungen. Die bei der hohen N-Gabe mehrfach registrierten Messungen von 80 bis 100 kg N/ha schließen ein größeres N-Verlagerungsrisiko im Spätherbst ein.

Aus den Untersuchungen auf dem anlehmigen Sand (Spröda) geht ebenfalls hervor, dass der Miscanthusanbau zu einer Verringerung der Nitratwerte im Boden führt (Abbildung 9 und Tabelle A6). Diese Wirkung ist auf der Kontrollparzelle ohne zusätzliche N-Gabe am stärksten. Die Nitratwerte nach der Ernte liegen im Bereich von 10 bis 18 kg/ha. Niedrige bis mittlere N-Gaben werden von dem Pflanzenbestand gut verwertet, so dass auch hier nach der Ernte ein geringes, unter 40 kg N/ha liegendes Nitratpotenzial im Boden vorhanden ist. Die intensive N-Düngung (180 kg N/ha) induziert einen Anstieg der Nitratgehalte auf ein Niveau von ca. 100 kg N/ha.

Nach den vorliegenden Ergebnissen ist das N-Verlagerungsrisiko bei Miscanthus gering. Eine

lange Wachstumsperiode, intensive Biomassebildung und somit gute N-Verwertung tragen dazu bei, dass nach der Ernte im Spätherbst oder Ausgang des Winters geringe Nitratgehalte im Boden nachgewiesen werden. Aus der Sicht der Ertragsbildung und Umweltbelastung ist der jährliche N-Aufwand auf maximal 120 kg N/ha zu begrenzen.

Für beide N-Steigerungsversuche durchgeführte N-Bilanzen belegen, dass das Verhältnis von Zufuhr und Entzug bei jährlichen N-Gaben von 60 bis 120 kg N/ha ausgeglichen bzw. positiv gestaltet ist (Tabelle 22). Somit kann insgesamt eingeschätzt werden, dass bei dem nachgewiesenen Ertragsniveau von 10 bis 15 t TM/ha damit eine nachhaltige, ertragsorientierte und umweltfreundliche N-Düngungsstrategie gesichert ist.

### Nährstoffgehalt

Die Kenntnis der Nährstoffkonzentration in der Biomasse ist eine wesentliche Voraussetzung für die Gestaltung eines bedarfsgerechten Düngungsregimes. Bei vorgesehener Nutzung der Biomasse als Brennstoff beeinflussen die Mineralstoffe den Abbrand- und Aschebildungsprozess nachteilig (OBERNBERGER, 1998).

Die am Erntegut vorgenommene Analyse erlaubt die Aussage, dass der weitgehend blattfreie Miscanthusstängel relativ arm an Stickstoff ist.

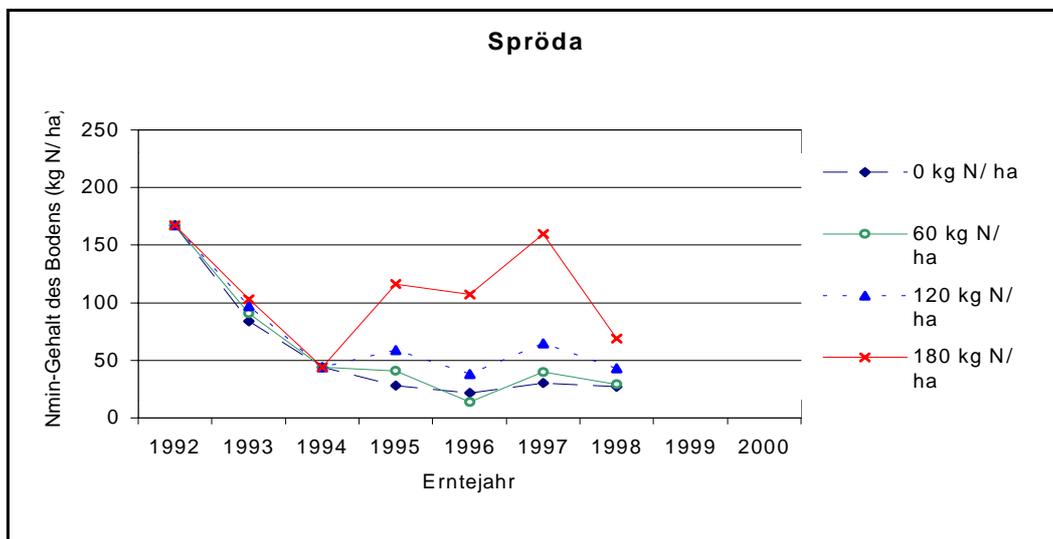


Abbildung 9: Verlauf der N<sub>min</sub>- Gehalte im Frühjahr über alle Standjahre und verschiedene N-Düngungsstufen bei Miscanthus x giganteus in Spröda (D3, anlehmiger Sand)

Tabelle 22: N-Bilanz (Import - Export) in kg N/ha der N-Steigerungsversuche von *Miscanthus x giganteus* in Methau und Spröda

Standjahr/Erntejahr	1. Variante (0 kg N/ha)	2. Variante (60 kg N/ha)	3. Variante (120 kg N/ha)	4. Variante (180 kg N/ha)
<b>Methau</b>				
1. Standjahr (1993)	- 15,4	45,9	102,5	161,1
2. Standjahr (1994)	- 21,0	16,1	69,1	132,5
3. Standjahr (1995)	- 44,4	16,4	69,1	116,0
4. Standjahr (1996)	- 63,1	- 12,6	50,6	109,9
5. Standjahr (1997)	- 51,1	- 2,4	42,8	100,6
6. Standjahr (1998)	- 26,6	8,6	64,2	113,3
7. Standjahr (1999)	- 36,5	- 0,8	57,3	109,2
<b>Etablierungsphase (1993-1995)</b>	<b>-26,9</b>	<b>26,1</b>	<b>80,3</b>	<b>136,5</b>
<b>Hauptertragsphase (1996-1999)</b>	<b>- 44,3</b>	<b>- 1,8</b>	<b>53,7</b>	<b>108,3</b>
<b>Spröda</b>				
1. Standjahr (1993)	- 37,9	13,1	65,7	118,9
2. Standjahr (1994)	- 45,4	- 7,6	41,0	93,8
3. Standjahr (1995)	- 20,4	8,5	83,9	128,3
4. Standjahr (1996)	- 45,0	- 1,9	48,5	73,7
5. Standjahr (1997)	- 101,0	- 103,5	- 76,9	- 31,6
6. Standjahr (1998)	- 40,7	- 20,1	40,9	98,7
<b>Etablierungsphase (1993-1995)</b>	<b>- 34,5</b>	<b>4,7</b>	<b>63,5</b>	<b>113,7</b>
<b>Hauptertragsphase (1996-1998)</b>	<b>- 62,3</b>	<b>- 41,8</b>	<b>4,2</b>	<b>46,9</b>
5. Standjahr (korrigiert <sup>1)</sup> )	69,5	- 40,3	14,1	49,3
<b>Hauptertragsphase (1996-1998)</b>	<b>- 5,4</b>	<b>26,1</b>	<b>65,1</b>	<b>101,0</b>

<sup>1)</sup> Für die Berechnung wurde der durchschnittliche Stickstoffgehalt der Jahre 1994-1996 und 1998 verwendet

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

Die geprüften N-Gaben bedingen im Durchschnitt nur einen leichten Anstieg. Für die einzelnen Nutzungsjahre werden allerdings größere Schwankungen im N-Gehalt des Erntegutes festgestellt, die wahrscheinlich vom Abreifegrad des Erntegutes und Mineralisierungsverlauf des bodenbürtigen N-Vorrates abhängen (Tabelle 23, Tabelle A7 und A8). Die ertragsbedingten N-Entzüge liegen je nach Ertragshöhe zwischen 50 und 106 kg N/ha.

Bei einem mittleren Ertragsniveau etablierter *Miscanthus*bestände beträgt der N-Entzugskoeffizient 0,47 kg N/t TM.

Der P-Bedarf ist im Vergleich zu Getreide und Gräserarten niedrig einzustufen. Die P-Konzentration in der Stängeltrockenmasse beträgt im Durchschnitt der Nutzungsjahre 0,06 %.

Über die jährliche Schwankungsbreite der P-Gehalte informieren Tabelle A7 und A8.

Die K-Entzugszahlen (0,8 bis 1,1 % K) sind Beleg für den hohen Kali-Bedarf von *Miscanthus*. Wie Tabelle 23 zeigt, ist mit hohen K-Entzügen (136 kg K/ha) bei Erträgen von 14 t TM/ha zu rechnen, die durch eine entsprechende Düngergabe beispielsweise im zweijährigen Turnus während der Nutzungszeit auszugleichen ist. Die Entzugszahlen sind über die Nutzungsjahre relativ konstant (Tabellen A7 und A8).

Aus der Sicht des Abbrandes sind die im Erntegut enthaltenen Mineralstoffe wie folgt zu bewerten. Der im *Miscanthus* enthaltene Stickstoff begünstigt während des Abbrandes die NO<sub>x</sub>-Emission. In die Asche wird er dagegen kaum

eingebunden. Im Vergleich zu anderen halmgutartigen Brennstoffen wie Ganzpflanzengetreide, Landschaftspflegeheu und Futtergräsern, die Gehalte von ca. 1 % N aufweisen, ist der Wert von 0,6 % N in der Trockensubstanz des Miscanthusstängels günstig einzustufen (Tabellen A7 und A8) (OBERNBERGER, 1998; LEWANDOWSKI und HARTMANN, 2000[b]).

Chlor wirkt über die Bildung von Salzsäure im Rauchgas korrosiv und ist für das Entstehen von Dioxinen und Furanen verantwortlich. Mit steigenden Chlorgehalten im Brennstoff nehmen diese Emissionen zu. Die Cl-Gehalte sind bei Gräsern und Stroh generell hoch und überschreiten den Grenzwert von 0,15 Gew. % d. TS (OBERNBERGER, 1998) deutlich. Für Miscanthus liegen die Werte in den einzelnen Standjahren zwischen 0,2 bis 0,8 % Cl in der Trockensubstanz des Stängels.

Im Durchschnitt ist mit Gehalten von 0,5 % Cl (Spröda) bzw. 0,3 % Cl in Methau im Miscanthus zu rechnen (Tabelle 23, A7 und A8). Beim Abbrand der halmgutartigen Brennstoffe sind deshalb zusätzliche technische Maßnahmen der Rauchgasreinigung an der Bioheizanlage erforderlich, um das Chlor zu dezimieren (WINTZER et al., 1994; OBERNBERGER, 1998). Eine weitere Möglichkeit könnte in der Mixverbrennung mit chlorarmen Holzhackschnitzeln bestehen.

Der Schwefelgehalt liegt im Mittel der Standjahre 2 bis 6 bzw. 8 auf beiden Standorten in der Größenordnung von 0,12 bis 0,16 % der Trockensubstanz. Hier bestehen zu den fossilen Energieträgern z. B. Kohle deutliche Vorteile. Im Biobrennstoff vorliegendes Calcium oder Kalkzugaben bei der Herstellung von Pellets reduzieren ebenfalls die SO<sub>x</sub>-Emission. Von den biogenen Festbrennstoffen ist bezüglich der Schwefelkonzentration Getreidestroh und vor allem Holz noch günstiger zu beurteilen.

Erdalkalimetalle (Kalium, Natrium) senken den Ascheschmelzpunkt. Während bei Holz auf Grund des geringen Gehaltes an diesen Mineralstoffen der Ascheschmelzpunkt bei einer

Feuerungstemperatur von 1.100 °C einsetzt, schmilzt die Asche bei halmgutartiger Biomasse bereits bei 800 bis 900 °C Feuerungstemperatur.

Aus den mehrjährigen Untersuchungsergebnissen geht hervor, dass Miscanthus auf dem Standort Spröda etwa 1 % Kalium in der Trockensubstanz enthält. Das vom Standort Methau stammende Erntegut weist eine etwas geringere Kaliumkonzentration mit 0,72 % im Durchschnitt der Anbaujahre und N-Stufen aus (Tabelle 23, Tabellen A7 und A8). Nach den Sprödaer Untersuchungen können in der Spitze allerdings Kaliumkonzentrationen von 1,6 % in der Trockensubstanz auftreten.

Der Rohaschegehalt (% der TS) von Miscanthus liegt unterhalb der für Getreidestroh angegebenen Spanne von 4 bis 9 %. Er bewegt sich in der Größenordnung von Getreideganzpflanzen (4 %). Der untere Wert des Ascheaufkommens bei Miscanthus beträgt in Übereinstimmung mit LEWANDOWSKI und HARTMANN (2000[b]) ca. 2 % (Tabelle 23, Tabellen A7 und A8).

### **Trockensubstanzgehalt**

Über die Trockensubstanzgehalte des Erntegutes informiert Tabelle 24.

Im ersten Standjahr verfügt die blattreiche Biomasse über geringe Trockensubstanzgehalte. Ab dem zweiten Standjahr mit der Ausbildung der lignocellulosereichen Halme werden bei Ernteterminen im Winter bzw. Beginn des Frühjahres je nach Jahresbedingungen 60 bis 70 % Trockensubstanz im Erntegut festgestellt. Im Vergleich der beiden Standorte Methau und Spröda und auch in Abhängigkeit von der Höhe der N-Gabe sind keine deutlichen Unterschiede im Trockensubstanzgehalt erkennbar. Insgesamt leitet sich aus diesen Ergebnissen ab, dass für den Einsatz als Brennstoff eine Trocknung auf ca. 20 bis 30 % Restfeuchte notwendig ist. Im Zuge der acht Nutzungsjahre (Standort Methau) ist dieser Wert dreimal und am Standort Spröda (sechs Nutzungsjahre) zweimal durch natürliches Abtrocknen im Feldbestand erreicht worden.

Tabelle 23: Mittlere Nährstoffgehalte und -entzüge an Mineralstoffen sowie Rohasche im Miscanthus-Erntegut, N-Steigerungsversuche

Mittel 2.-8. Standjahr		Versuchsstation Methau											
N-Stufe	Ertrag dt TM/ha	N %	P %	K %	Mg %	Ca %	Cl %	S %	Rohasche %	Entzug kg/ha (Hauptnährstoffe)			
										N	P	K	Mg
0 kg/ha	95,77	0,43	0,17	0,73	0,05	0,10	0,30	0,10	2,75	37,36	7,58	69,56	4,36
60 kg/ha	106,63	0,55	0,13	0,80	0,06	0,09	0,32	0,12	3,02	51,43	6,85	83,21	5,98
120 kg/ha	122,86	0,53	0,06	0,67	0,07	0,12	0,29	0,10	2,44	60,57	7,36	79,30	8,63
180 kg/ha	122,60	0,56	0,06	0,73	0,07	0,12	0,30	0,11	2,03	65,43	6,92	84,80	8,93
<b>Mittelwert</b>		<b>0,52</b>	<b>0,11</b>	<b>0,73</b>	<b>0,06</b>	<b>0,11</b>	<b>0,30</b>	<b>0,11</b>	<b>2,56</b>	<b>53,70</b>	<b>7,18</b>	<b>79,22</b>	<b>7,00</b>
Mittel 2.-6. Standjahr		Versuchsstation Spröda											
0 kg/ha	72,72	0,70	0,08	1,00	0,07	0,25	0,55	0,16	4,38	50,50	5,95	76,11	4,95
60 kg/ha	136,98	0,62	0,07	1,01	0,07	0,19	0,59	0,15	3,25	84,92	10,40	140,77	9,60
120 kg/ha	137,65	0,65	0,06	0,99	0,06	0,21	0,45	0,15	3,47	92,51	9,04	136,32	8,65
180 kg/ha	144,72	0,74	0,07	0,93	0,07	0,21	0,44	0,16	3,45	107,43	10,14	134,21	9,28
<b>Mittelwert</b>		<b>0,68</b>	<b>0,07</b>	<b>0,98</b>	<b>0,07</b>	<b>0,21</b>	<b>0,51</b>	<b>0,16</b>	<b>3,64</b>	<b>83,84</b>	<b>8,88</b>	<b>121,85</b>	<b>8,12</b>

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

**Tabelle 24: Trockensubstanzgehalt (60° C) in % zur Ernte der verschiedenen N- Düngungsvarianten von *Miscanthus x giganteus***

<b>Methau</b>									
<b>Standjahr</b>	<b>1.</b>	<b>2.</b>	<b>3.</b>	<b>4.</b>	<b>5.</b>	<b>6.</b>	<b>7.</b>	<b>8.</b>	<b>Ø 2.–8.</b>
Erntetermin	15.3.'94	2.3.'94	22.2.'95	1.2.'96	17.2.'97	12.3.'98	21.1.'99	22.2.'00	<b>Ø 1994-2000</b>
0 kg N/ ha	36,00	74,40	67,30	60,40	60,40	61,20	74,00	58,00	<b>65,10</b>
60 kg N/ ha	35,20	61,00	68,10	61,20	63,60	60,00	72,40	56,00	<b>63,19</b>
120 kg N/ ha	35,60	74,40	65,20	61,00	65,40	61,60	67,20	64,00	<b>65,54</b>
180 kg N/ ha	34,80	76,80	71,40	63,00	62,60	60,80	67,80	64,50	<b>66,70</b>
<b>Durchschnitt</b>	<b>35,40</b>	<b>71,65</b>	<b>68,00</b>	<b>61,40</b>	<b>63,00</b>	<b>60,90</b>	<b>70,35</b>	<b>60,63</b>	<b>65,13</b>
<b>Spröda</b>									
<b>Standjahr</b>	<b>1.</b>	<b>2.</b>	<b>3.</b>	<b>4.</b>	<b>5.</b>	<b>6.</b>	<b>Versuchsende</b>		<b>Ø 2.–6.</b>
Erntetermin	11.2.'93	2.2.'94	10.2.'95	11.3.'96	10.2.'97	6.2.'98			<b>Ø 1994-1998</b>
0 kg N/ ha	42,00	70,00	59,00	80,80	51,60	64,50			<b>65,18</b>
60 kg N/ ha	42,00	71,00	58,00	78,20	52,80	66,00			<b>65,20</b>
120 kg N/ ha	44,00	74,00	53,00	78,30	53,40	67,00			<b>65,14</b>
180 kg N/ ha	46,00	68,00	60,00	80,20	56,00	70,00			<b>66,84</b>
<b>Durchschnitt</b>	<b>43,50</b>	<b>70,75</b>	<b>57,50</b>	<b>79,38</b>	<b>53,45</b>	<b>66,88</b>			<b>65,59</b>

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

#### **Mikronährstoffe und Schwermetalle**

Von den Mikronährstoffen sind die Gehalte an Kupfer, Mangan und Bor untersucht worden (Tabelle 25, Tabelle A9 und A10). Der Gehalt an Kupfer beträgt 1,3 bis 2,9 mg/kg TS des Erntematerials. Diese Konzentrationen wurden auch von SCHWEIGER, OSTER (1991); OSTER, SCHWEIGER (1992) festgestellt. Sie entsprechen etwa den im Stroh von Sommerweizen, Hafer und Hirse gemessenen Werten (KATALYMOW, 1969).

Die Entzüge an Kupfer betragen durch das *Miscanthus*-Erntegut 16 bis 40 g/ha je nach Ertragslage. Geht man davon aus, dass Mangangehalte von 20 mg/kg TS für ein normales Pflanzenwachstum in der Regel ausreichend sind, ist eine gute Versorgung der *Miscanthus*-bestände (26 bis 56 mg Mn/kg TS) zu verzeichnen. Auch hier kann eine gute Übereinstimmung zum Mangangehalt im Getreidestroh festgestellt werden (KATALYMOW, 1969).

In der für *Miscanthus* nachgewiesenen Ertragspanne von 10 bis 14 t TM/ha entstehen Entzüge von 350 bis 690 g Mn/ha.

Im Vergleich zu Hackfrüchten und mehrjährigen legumen Futterpflanzen (Klee, Luzerne) enthalten Gräser wenig Bor (BERGMANN, 1993). Die im Erntegut von *Miscanthus* gefundenen Gehalte (3 bis 5 mg/kg TS) entsprechen denen von Weizen-, Gersten- und Haferstroh sowie Heu von Wiesenlieschgras. Die Entzüge an Bor sind bei *Miscanthus* im Ertragsbereich 10 bis 14 t TM/ha mit 31 bis 50 g/ha zu veranschlagen.

Im Standortvergleich werden in Spröda bei Bor und Kupfer und etwas weniger ausgeprägt bei Mangan höhere Gehalte und Entzüge in der Trockenmasse je Hektar als in Methau beobachtet. Dies hängt mit dem höheren pH-Wert des Lößbodens zusammen, der die Pflanzenverfügbarkeit dieser Nährstoffe vermindert.

Der Gehalt an toxischen Schwermetallen Cadmium, Blei und Quecksilber liegt im Erntegut von *Miscanthus* auf einem niedrigen Niveau (Tabelle 25, Tabellen A9 und A10). Vergleichbare Größenordnungen geben SCHWEIGER, OSTER (1991); OSTER, SCHWEIGER (1992); SCHWEIGER, STOLZENBURG (1994) für unbelastete Böden an.

Tabelle 25: Mikronährstoff- und Schwermetallgehalte im Stroh von *Miscanthus x giganteus* auf zwei Standorten

Versuchsstation Methau													
Mittel 2.-7. Standjahr		Mikronährstoffgehalte mg/kg TS			Schwermetallgehalte mg/kg TS			Mikronährstoffentzüge g/ha			Schwermetallentzüge g/ha		
N-Stufe kg/ha	Ertrag dt/ha	Cu	Mn	B	Cd	Pb	Hg	Cu	Mn	B	Cd	Pb	Hg
0	95,77	1,87	46,20	3,26	0,13	1,15	0,01	17,91	442,46	31,22	1,245	11,013	0,096
60	106,63	2,28	32,59	2,90	0,13	1,61	0,01	24,31	347,51	30,92	1,386	17,167	0,107
120	122,86	1,63	40,44	3,22	0,27	1,06	0,02	20,03	496,84	39,56	3,317	13,023	0,246
180	122,60	1,30	56,49	3,07	0,11	0,96	0,01	15,94	692,57	37,64	1,348	11,770	0,123
Mittel 2.-6. Standjahr		Versuchsstation Spröda											
0	72,72	2,76	47,87	4,87	0,17	2,57	0,05	20,07	348,11	35,41	1,236	18,689	0,364
60	136,98	2,22	37,96	3,54	0,10	1,67	0,02	30,41	519,98	48,49	1,370	22,875	0,274
120	137,65	2,87	26,15	3,63	0,09	1,60	0,04	39,50	359,95	49,97	1,293	22,024	0,550
180	144,72	2,37	37,20	3,71	0,13	4,00	0,03	34,30	538,36	53,69	1,881	57,888	0,434

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

Die Konzentration liegt bei Cadmium meist zwischen 0,13 bis 0,17 mg Cd/kg TS und bei Blei in der Größenordnung von 1,0 bis 1,6 mg Pb/kg TS, Einzelwerte zeigen höhere Gehalte bis zu 4 mg Pb/kg TS an. Sehr niedrig sind die Gehalte an Quecksilber (0,01 bis 0,05 mg Hg/kg TS). Wie METZ und WILKE (1992) zeigen konnten, stiegen auf hoch mit Cadmium belasteten Böden die Cadmiumgehalte im Halmgut von Miscanthus auf 7 mg Cd/kg TS an. Für Sachalinknötterich wurden noch höhere Konzentrationen (30 mg Cd/kg TS) auf derartigen Böden ermittelt. Dabei wurde von der Wurzel über das Blatt bis zum Stängel ein abnehmendes Konzentrationsgefälle beobachtet.

Insgesamt ist bezüglich der Mikronährstoffe und Schwermetalle festzustellen, dass

- Miscanthus etwa den gleichen Bedarf an essentiellen Mikronährstoffen wie Getreide aufweist. Dieser kann auf normal versorgten Böden bei mittleren Erträgen von 10 bis 14 t TM/ha über die Nutzungsdauer von 10 bis 12 Jahren sicher abgedeckt werden. Dabei ist davon auszugehen, dass über die auf dem Acker verbleibende Blattmasse eine gewisse Rückführung dieser Nährstoffe erfolgt.
- auf mit Schwermetallen unbelasteten Böden geringe Mengen an Cadmium, Blei und Quecksilber durch Miscanthus aufgenommen werden.
- auf leichten Böden mit schwach saurer Bodenreaktion von einem erhöhten Entzug an Mikronährstoffen und Schwermetallen auszugehen ist.
- ein Zusammenhang zwischen Mikronährstoff- und Schwermetallkonzentration im Miscanthus und Höhe der N-Düngung nicht beobachtet werden konnte.
- mit Miscanthus als Brennstoff nur geringe Schwermetallfrachten in den Abbrand gelangen.

In Abhängigkeit vom Ertragsniveau wird der Entzug von ausgewählten Makronährstoffen für in voller Nutzung stehende Miscanthusbestände untersucht. Die Berechnungen der Nährstoffentzüge (kg/ha) beruhen auf den im Versuch festgestellten Nährstoffgehalten in der Trockensubstanz des Stängels und der Blätter (Tabelle A11). Zur Ermittlung der Blattmenge wird von einem durchschnittlichen Blattanteil von 25 % an der gesamten oberirdischen Biomasse ausgegangen (BOELCKE, BEUCH, ZACHARIAS, 1998). Diese Menge verbleibt als Vorernteverlust im landwirtschaftlichen Stoffkreislauf. Im Anbau wird – abgeleitet aus den Versuchen – eine mittlere Düngungsintensität

über die 10-jährige Nutzungsdauer des Miscanthusbestandes unterstellt (Tabelle A11). Die Ergebnisse der Nährstoffbilanz sind in Tabelle 26 zusammengestellt.

Betrachtet man die Entzüge der Hauptnährstoffe je Hektar, so werden über die Stängelmasse je nach Ertragsniveau 50 bis 100 kg N/ha jährlich entzogen. Durch eine N-Gabe von jährlich 80 kg N/ha wird dieser Export im Wesentlichen ausgeglichen, zumal über die Blattmasse 17 bis 30 kg N/ha im Kreislauf verbleiben. Bei stabil sehr hohem Ertragsniveau (18 t TM/ha) ist allerdings eine Erhöhung der N-Gabe auf 100 kg N/ha anzuraten.

Der Entzug von Phosphor bewegt sich in einer Größenordnung von 5 bis 11 kg P/ha bei einem Ertragsniveau von 8 bis 18 t TM/ha. Diese Menge an Phosphor ist auch in der Blattmasse gebunden. Eine im zweijährigen Turnus verabfolgte P-Gabe von 20 kg P/ha sichert in der für anlehmige Sande nachgewiesenen Ertragsspanne eine ausgeglichene Bilanz und stabilisiert den zu Beginn der Dauerkultur vorhandenen P-Status des Bodens.

Miscanthus nimmt in stärkerem Maße die K-Vorräte des Bodens in Anspruch. Mit den unterstellten Erträgen von 8 bis 18 t TM/ha Stängel gehen K-Entzüge von 80 bis 180 kg/ha einher.

Dies erfordert im niedrigen und mittleren Ertragsbereich eine K-Düngung von 50 bzw. 100 kg K/ha, wenn man eine Remineralisierung der in der Blattmasse gebundenen und auf dem Acker verbleibenden K-Menge (20 bis 30 kg K/ha) mit einbezieht. Für hohe und sehr hohe Erträge ist ein K-Aufwand von 130 bis 150 kg K/ha erforderlich. Aus arbeitswirtschaftlicher Sicht ist eine zwei- bis dreijährige Vorratsdüngung zu empfehlen.

Die insgesamt niedrigen Entzüge an Calcium, Magnesium und Schwefel verlangen keine speziellen Düngungsmaßnahmen.

Aus der Sicht der CO<sub>2</sub>-Entlastung der Atmosphäre muss die hohe CO<sub>2</sub>-Bindung durch Miscanthus hervorgehoben werden (Tabelle 26). Mit der oberirdischen Biomasse (Stängel und Blatt) werden bei niedrigem Ertrag 16.821 kg CO<sub>2</sub> und bei mittlerem 25.231 kg CO<sub>2</sub> gebunden. Für hohe Erträge beträgt die Rate 32.038 kg CO<sub>2</sub>/ha. Bei sehr hohem Ertragsniveau werden je Hektar 38.039 kg CO<sub>2</sub> gebunden. Diese Brutto-CO<sub>2</sub>-Fixierung ist um den Betrag der CO<sub>2</sub>-Emission beim Anbau und der Aufbereitung zu reduzieren.

**Tabelle 26: Nährstoffbilanz in vollentwickelten Miscanthusbeständen bei mittlerer Düngungsintensität <sup>1)</sup> auf anlehmigem Sandboden**

	Stängel	Blatt (Vorern- teabfall)	Stängel	Blatt	Stängel	Blatt	Stängel	Blatt
Ertrag	niedrig		mittel		hoch		sehr hoch	
t TM/ha	8	2	12	3	15	3,7	18	4,5
Entzug (kg/ha)								
N	51,0	17,2	76,8	25,3	96,0	31,8	115,2	36,1
P	5,2	5,2	7,8	7,8	9,7	9,6	11,7	10,9
K	80,0	19,2	120,0	28,8	150,0	35,5	180,0	40,3
Ca	14,9	4,2	22,4	6,3	28,0	7,8	33,7	8,8
Mg	4,9	1,7	7,4	2,6	9,3	3,2	11,2	3,6
S	12,9	2,2	19,3	3,3	24,1	4,1	28,9	4,6
C	3.742,4	930,0	5.613,6	1.395,0	7.017,0	1.720,5	8.420,4	1.953,0

<sup>1)</sup> mittlere Düngungsintensität:

60 kg N/ha  
20 kg P/ha  
100 kg K/ha

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

Für Miscanthushäcksel ohne künstliche Trocknung können hierfür nach HARTMANN und STREHLER (1995) 4.595 kg CO<sub>2</sub>/ha veranschlagt werden. Das entspricht je nach Ertragshöhe 12 bis 18 % der Brutto-CO<sub>2</sub>-Menge. Im Vergleich zu den anderen Kulturpflanzen besitzt Miscanthus damit ein hohes CO<sub>2</sub>-Bindungsvermögen (GREEF, DIEPENBROCK, 1993).

Zahlreiche Miscanthusarten und -sorten sind für den Zierpflanzenanbau kultiviert und gezüchtet worden (EL BASSAM, JACKS, 1990). Es lag nahe, neben Miscanthus *x giganteus* weitere Arten und Sorten für den landwirtschaftlichen Anbau zu testen. Die Prüfungen beziehen sich auf Miscanthus *sacchariflorus*, Miscanthus *japonicus* und die Sorte ‚Goliath‘. Ausgewählte botanische Merkmale des Stängels, der Blätter, Blüte und Wuchsform dieser Gattungen sind in Tabelle A12 zusammengestellt.

Im mehrjährigen Anbauvergleich erzielt Miscanthus *x giganteus* die höchsten Erträge. Auf dem Standort Kalkreuth folgen Miscanthus *sinensis* ‚Goliath‘ (60 %), Miscanthus *sacchariflorus* (40 %) und Miscanthus *japonicus* (39 %). Auf dem Kippenrekultivierungsstandort rangiert Miscanthus *sinensis* ‚Goliath‘ (84 %) ebenfalls an zweiter Stelle. Miscanthus *japoni-*

*cus* und Miscanthus *sacchariflorus* erreichen nur 61 % bzw. 55 % des Ertrages von Miscanthus *x giganteus* (Abbildung 10 und 11).

Die Entwicklung der ertrags- und bestandsbildenden Elemente „Triebzahl je Pflanze“ und „Wuchshöhe der Halme“ verläuft bei den geprüften Miscanthusgräsern unterschiedlich (Tabelle 27, Tabellen A13 und A14).

Miscanthus *x giganteus* zeigt ein ausgeprägtes Längenwachstum. Die Anzahl der Triebe ist dagegen vergleichsweise gering. Hohe Triebzahlen bei geringerer Wuchshöhe kennzeichnen Miscanthus *sacchariflorus* und Miscanthus *japonicus*. Miscanthus *sinensis* ‚Goliath‘ nimmt eine Zwischenstellung ein. Bei mittlerer Wuchshöhe entwickelt sich der Bestand in stärkerem Maße über die Triebzahl.

Der hier nachgewiesene spezifische Bestandsaufbau der Miscanthusgräser erlaubt eine Zuordnung von Miscanthus *x giganteus* zum „Wuchstyp“. Miscanthus *sacchariflorus* und Miscanthus *japonicus* sind hingegen als „Bestandstyp“ zu bezeichnen. Auch Miscanthus *sinensis* ‚Goliath‘ ist eher diesem Typ zuzurechnen. Die bodenklimatischen Bedingungen beeinflussen dabei entscheidend die Ausprägung der Bestandsmerkmale (Tabelle 27).

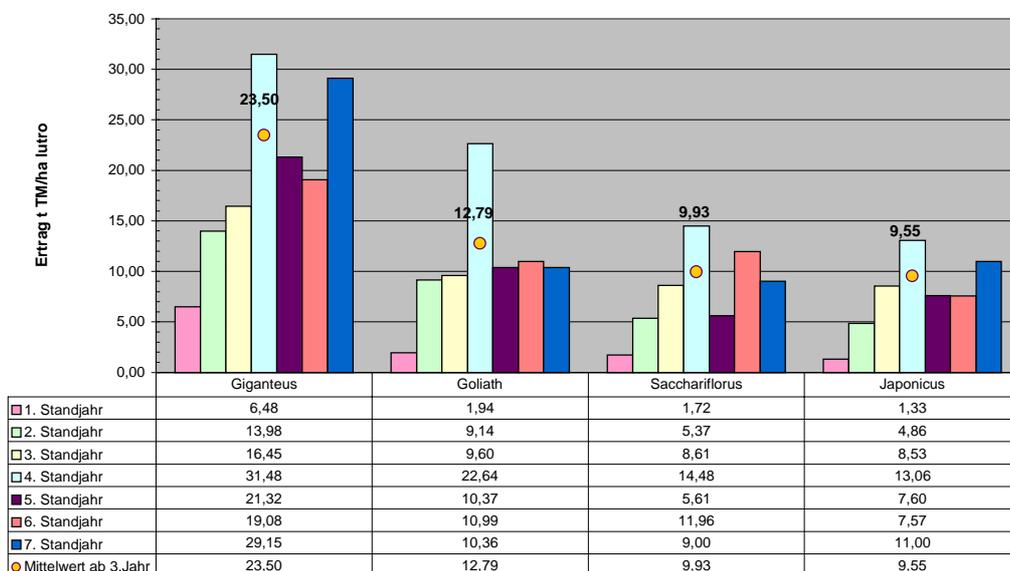


Abbildung 10: Ertragsvergleich verschiedener Miscanthus- Varietäten im Verlauf von sieben Standjahren, Kalkreuth

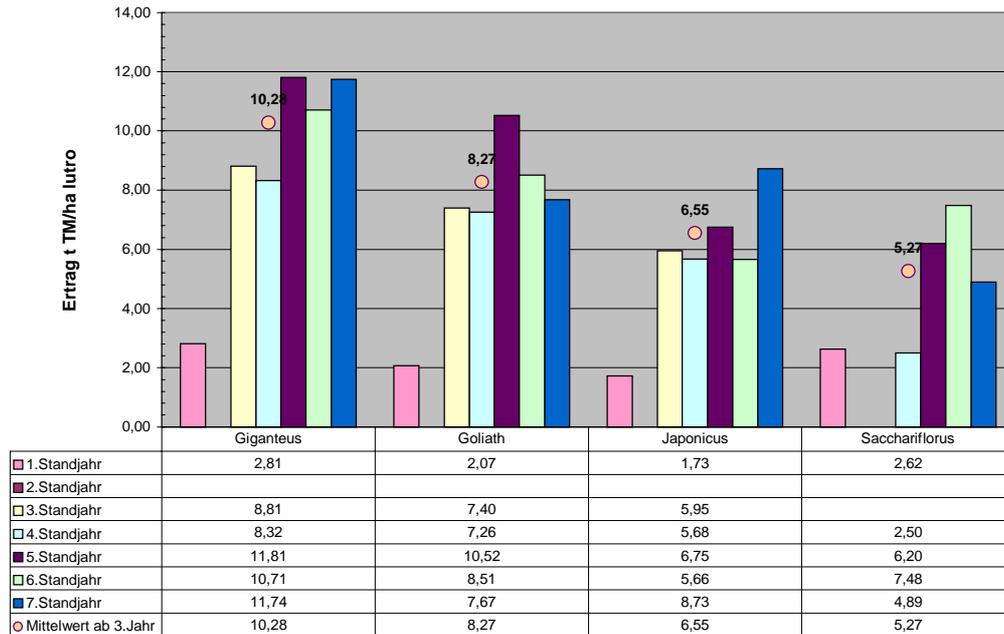


Abbildung 11: Ertragsvergleich verschiedener Miscanthus-Varietäten im Verlauf von sieben Standjahren, Kippenboden Zwenkau

Tabelle 27: Charakteristik bestandsbildender Maßnahmen bei verschiedenen Miscanthusgräsern

Miscanthus	Triebzahl je Pflanze	Wuchshöhe cm	Triebzahl je Pflanze	Wuchshöhe cm
	Standort Zwenkau <sup>1)</sup> (Kippenrekultivierungsboden)		Standort Kalkreuth <sup>2)</sup> (sandiger Lehmboden)	
<i>Miscanthus x giganteus</i>	30	192,4	64,6	299,5
<i>Miscanthus japonicus</i>	51	134,6	104,0	223,4
<i>Miscanthus sacchariflorus</i>	53	162,6	109,2	209,8
<i>Miscanthus sin. 'Goliath'</i>	50	175,8	118,8	232,0

<sup>1)</sup> Mittel 1. bis 6. Standjahr

<sup>2)</sup> Mittel 2. bis 6. Standjahr

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

Die geprüften Miscanthusgräser weisen im Gehalt an Hauptnährstoffen (N, P, K) sowie an Mg, Cl und S nur geringe Unterschiede auf. Auch bezüglich der Schwermetallaufnahme (Hg, Cd, Pb) ist anhand der Ergebnisse keine erhöhte Präferenz einer der geprüften Arten bzw. Sorten zu erkennen (Tabelle 28).

An der Gegenüberstellung der beiden Versuchsstandorte Kalkreuth und Zwenkau wird deutlich, dass die erhöhte Nährstoffzufuhr aus Boden und Düngung in Kalkreuth zu entspre-

chend stärkeren Aufnahmeraten bei den einzelnen Miscanthusgräsern führt. Der geringere bodenbürtige Nährstoffgehalt und die nur im dreijährigen Rhythmus erfolgende mittlere NPK-Gabe bedingen vergleichsweise geringere Nährstoffgehalte in den Pflanzen am Standort Zwenkau. Im ersten Standjahr bilden die Miscanthusgräser eine sehr blattreiche Biomasse aus, die besonders reich an Stickstoff und Kalium, aber auch an Phosphor ist. Ihr Abbrand bedingt hohe Gehalte an Restasche ( $\cong 12\%$ ).

Tabelle 28: Durchschnittliche Gehalte an Nährstoffen und Schwermetallen in der TS (105° C) der Miscanthus-Varietäten in Zwenkau und Kalkreuth vom 1. bis 5. Standjahr

Herkunft	Erntejahr	N [%]	P [%]	K [%]	Mg [%]	C [%]	Cl [%]	S [%]	Hg [ppm]	Cd [ppm]	Pb [ppm]	Hu (wf) [kJ/g]	Rohasche [%]
<b>Zwenkau</b>													
Misc. <i>x giganteus</i>	1997-1999	0,33	0,11	0,55	0,04	45,00	0,04	0,09	0,10	0,08	0,83	17,33	2,88
Misc. <i>japonicus</i>	1997-1999	0,42	0,11	0,41	0,05	44,71	0,03	0,11	0,10	0,07	0,99	17,20	2,83
Misc. <i>sin. ‚Goliath‘</i>	1997-1999	0,40	0,11	0,50	0,05	44,39	0,04	0,10	0,10	0,05	1,12	17,48	2,69
Misc. <i>sacchariflorus</i>	1997-1999	0,52	0,07	0,92	0,05	44,65	0,03	0,12	0,09	0,03	0,95	17,68	2,66
<b>Ø 1. Standjahr</b>	<b>1995</b>	<b>1,34</b>	<b>0,16</b>	<b>1,45</b>	<b>0,09</b>	<b>43,32</b>	<b>1,07</b>	<b>0,16</b>	<b>0,05</b>	<b>0,11</b>	<b>1,64</b>	<b>n.b.</b>	<b>n.b.</b>
<b>Ø 3. bis 5. Standjahr</b>	<b>1997-1999</b>	<b>0,34</b>	<b>0,09</b>	<b>0,54</b>	<b>0,04</b>	<b>44,78</b>	<b>0,04</b>	<b>0,10</b>	<b>0,10</b>	<b>0,06</b>	<b>0,92</b>	<b>17,42</b>	<b>2,76</b>
<b>Kalkreuth</b>													
Misc. <i>x giganteus</i>	1996-1999	0,60	0,05	0,77	0,05	46,23	0,24	0,10	n.b.	n.b.	n.b.	17,62	2,83
Misc. <i>japonicus</i>	1996-1999	0,56	0,05	0,48	0,10	45,26	0,14	0,10	n.b.	n.b.	n.b.	17,26	3,28
Misc. <i>sin. ‚Goliath‘</i>	1996-1999	0,52	0,06	0,65	0,05	45,20	0,17	0,10	n.b.	n.b.	n.b.	17,18	3,25
Misc. <i>sacchariflorus</i>	1996-1999	0,47	0,04	0,55	0,06	45,57	0,20	0,10	n.b.	n.b.	n.b.	17,30	1,79
<b>Ø 1. Standjahr</b>	<b>1995</b>	<b>1,75</b>	<b>0,13</b>	<b>0,99</b>	<b>n.b.</b>	<b>43,75</b>	<b>0,05</b>	<b>0,25</b>				<b>16,19</b>	<b>12,33</b>
<b>Ø 2. bis 5. Standjahr</b>	<b>1996-1999</b>	<b>0,54</b>	<b>0,05</b>	<b>0,61</b>	<b>0,06</b>	<b>45,57</b>	<b>0,19</b>	<b>0,10</b>				<b>17,37</b>	<b>2,79</b>

n. b. nicht bestimmt

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

### Bodenchemische Veränderungen beim mehrjährigen Miscanthusanbau

Über bodenchemische Veränderungen beim mehrjährigen Miscanthusanbau liegen für die Standorte des gemäßigten Klimaraumes wenig Informationen vor (SCHOLZ et al., 1999, KAHLE, 2000).

Für vier verschiedene Standorte der Bodenarten sandiger Lehm, stark lehmiger Sand, Lehm und Mischsubstrat wird nach mehrjährigem Miscanthusanbau (4 bis 7 Jahre) die Veränderung ausgewählter bodenchemischer Parameter im Vergleich zur Bestandsgründung erfasst (Tabellen 29 und 30). Der pH-Wert erfährt beim mehrjährigen Miscanthusanbau keine nachteilige Beeinflussung.

Auf der Mehrzahl der Standorte bleibt das zur Bestandsgründung gemessene standortspezifisch günstige Niveau erhalten. In Methau sinkt nach neunjährigem Anbau der pH-Wert um 0,4 Einheiten von der Versorgungsstufe D (pH 6,1)

auf C (pH 5,7). Hier muss der weitere Verlauf Aufschluss geben, ob sich der pH-Wert auf diesem mittleren Niveau stabilisiert.

Der P-Gehalt des Bodens verbleibt bei moderater jährlicher mineralischer P-Düngung im günstigen Versorgungsbereich. Standortlich sind allerdings unterschiedliche Veränderungen zu verzeichnen. In Spröda wie auch in Zwenkau verringert sich der extrem hohe Ausgangswert (Versorgungsstufe E) nach fünf bzw. sieben Standjahren auf das Niveau der Versorgungsstufe D (guter P-Zustand). Eine nur geringfügige Abnahme ist in Kalkreuth zu beobachten. Der Boden verbleibt nach sieben Standjahren in der Versorgungsstufe D.

Die neunjährige Dauerkultur in Methau zeigt nach anfänglich leichtem Rückgang ab dem 4. Standjahr einen deutlichen Anstieg des P-Gehaltes. Hierfür sind möglicherweise einsetzende Mineralisierungsvorgänge der auf dem Acker als Mulch verbleibenden Miscanthusblätter verantwortlich zu machen.

**Tabelle 29: Entwicklung bodenchemischer Parameter bei langjährigem Miscanthusanbau (*Miscanthus x giganteus*) auf zwei unterschiedlichen Standorten**

Versuchsort	Probenahme	Standjahr	pH	P	K	Mg	Mn	B	Cu
				mg/100 g Boden					
Spröda <sup>1)</sup>	27.02.1992	vor Anlage	6,4	20,0	36,0	10,6	54	1,00	5,2
	1993	1	6,6	14,8	19,0	3,8	26	0,92	6,9
	08.03.1994	2	6,2	14,2	18,3	2,3	16	0,77	4,9
	25.03.1996	4	5,4	14,4	28,5	2,7	39	0,69	5,2
	26.05.1997	5	7,5	10,5	16,3	3,8	-	-	-
Methau <sup>1)</sup>	04.05.1992	vor Anlage	6,1	8,8	26,0	10,4	6	0,77	3,3
	30.04.1993	1	6,6	7,7	23,0	9,1	15	0,98	5,5
	17.03.1994	2	6,0	7,2	17,8	10,0	63	0,77	3,4
	08.03.1995	3	5,7	8,0	19,2	8,1	65	0,90	6,2
	25.03.1996	4	6,0	10,9	17,1	7,5	57	0,78	4,0
	15.04.1997	5	5,7	12,4	18,0	9,4	286 <sup>*</sup>	0,86	3,9
	17.04.1998	6	5,5	11,1	20,7	8,6	186 <sup>*</sup>	0,73	3,6
	09.04.1999	7	5,7	13,9	19,0	8,4	149 <sup>*</sup>	0,76	4,0
	28.04.2000	8	5,3	15,9	21,0	8,3	178 <sup>*</sup>	0,54	3,8

<sup>1)</sup> pro Hektar und Jahr: 60 kg N; 30 kg P; 100 kg K  
<sup>\*</sup> ab 1997 wurde die Methode Schachtschabel nach VDLUFA MB1 angewendet

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

**Tabelle 30: Entwicklung bodenchemischer Parameter bei langjährigem Miscanthusanbau auf Praxisschlägen**

Versuchsort	Probenahme	Standjahr	pH-Wert	P	K	Mg
				mg/ 100 g Boden		
Kalkreuth <sup>1)</sup> (sL, Al 3)	nach Ernte	1	5,8	8,4	23,6	5,7
	23.03.1999	6	6,0	7,7	30,0	6,3
	16.03.2000	7	5,7	7,7	28,0	5,1
Zwenkau <sup>2)</sup> (Kippenrekultivierungsstandort)	19.12.1994	1	6,4	16,9	21,2	7,9
	Herbst 1998	5	5,7	10,2	11,9	3,7
	01.03.2000	7	6,2	8,9	15,0	4,3

<sup>1)</sup> pro Hektar und Jahr: 100 kg N; 20 kg P; 38 kg K

<sup>2)</sup> pro Hektar alle drei Jahre: 60 kg N; 30 kg P; 100 kg K

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

Eine jährliche Kaligabe von 100 kg/ha\*a, wie sie auf den Standorten Methau und Spröda eingesetzt sind, vermag die extrem hohen Anfangsgehalte an DL-löslichem Kalium im Boden der Standorte Spröda, Methau und Zwenkau nicht zu reproduzieren. Der Miscanthusanbau mit relativ starken K-Entzügen bedingt einen Rückgang der Bodengehalte an Kalium, wobei nach 5- bzw. 7-jährigem Anbau noch ein hohes Versorgungsniveau gegeben ist.

In Methau deutet sich ab dem 6. Standjahr wieder ein leichter Anstieg des K-Gehaltes an. Nach Ergebnissen von KAHLE (2000) ist dies wahrscheinlich auf eine K-Einwaschung aus der Blattmuldschicht zurückzuführen. Die Zunahme des K-Gehaltes auf der Miscanthusfläche des Standortes Kalkreuth könnte möglicherweise auch mit einem verstärkten K-Transfer aus der Blattmasse erklärt werden. Die Intensität der Kaliumfreisetzung aus dem Blattmulch ist dabei offensichtlich von den jeweils herrschenden bodenklimatischen Bedingungen abhängig.

Die Mg-Gehalte scheinen sich nach anfangs rückläufiger Entwicklung auf ein dem jeweiligen Standort entsprechendes mittleres Niveau unter den Miscanthusbeständen einzupegeln. Geringe Veränderungen treten im Gehalt der Mikronährstoffe Mangan, Bor und Kupfer nach mehrjährigem Miscanthusanbau auf. Die Ergebnisse machen deutlich, dass bei moderater PK-Düngung unter Anwendung magnesiumhaltiger Kalidünger die Gehalte an diesen Nährstoffen im Boden bei langjährigem Miscanthusanbau im optimalen bis mittleren Versorgungsbereich stabilisiert werden. Diese Aussage ist durch Langzeitbeobachtungen weiter abzuschern.

### 3.2.2 Schnellwachsende Baumarten

Beim Anbau schnellwachsender Baumarten bewegt man sich ebenfalls noch in der Pilotphase. Die Anforderungen an die Baumarten für eine Kurzumtriebsnutzung (Ernterhythmus zwei bis acht Jahre) bestehen nach HOFMANN (1998) in einer leichten Vermehrbarkeit, sicherem Aufwuchs, raschem Jugendwachstum, hoher Konkurrenzverträglichkeit in dichten Beständen, gutem Regenerationsvermögen bei kurzem Ernterhythmus und hoher Resistenz gegen Krankheiten und Witterungsunbilden. Im gemäßigten Klimaraum wurden vor allem Versuche mit Pappeln und Weiden durchgeführt. Pappeln und Weiden sind gut an verschiedene Bodenklimata des gemäßigten Klimaraumes angepasst.

Sie lassen sich einfach über Steckhölzer vermehren, vertragen Dichtstand, besitzen ein starkes Jugendwachstum, guten Stockausschlag und eine hohe Resistenz gegenüber Krankheiten. Die Pappelzüchtung orientiert vor allem auf Kreuzungen zwischen verschiedenen Pappelarten: Balsampappeln (*P. trichocarpa*, *P. maximowiczii*), Schwarzpappeln (*P. nigra*, *P. deltoides*) und Aspen (*P. tremula*, *P. tremuloides*). Dadurch sollen Leistung und Resistenzeigenschaften verbessert werden. Bei der Weide existieren vor allem Sorten und Klone der Korbweide (*Salix viminalis*), z. B. „Zieverich“ und „Carmen“, die im Kurzumtrieb erprobt werden.

In einem Großversuch werden verschiedene Pappel- und Weidensorten im Kurzumtrieb auf landwirtschaftlichen Flächen getestet. Die in die Prüfung einbezogenen Klone/Sorten werden in Tabelle 31 näher beschrieben.

Die Versuchsfläche ist ein sandiger Lehmboden alluvialer Herkunft mit guter Wasserversorgung. Im langjährigen Mittel beträgt die Jahresniederschlagssumme 668 mm und die Jahresdurchschnittstemperatur 8,9 °C.

Die Fläche ist im Herbst mit Roundup (4 l/ha) behandelt und anschließend tief gepflügt worden. Im Frühjahr (Mitte April) sind nach intensiver Bodenbearbeitung (Grubber-Eggenkombination) die auf 100 bis 125 cm Wuchshöhe vorgezogenen Jungbäume angepflanzt worden. Dies erfolgte in Doppelreihen mit 0,75 m Abstand. Zwischen den Doppelreihen betrug die Entfernung 1,50 m. Innerhalb der zwei Reihen wurde ein Pflanzenabstand von 0,50 m gewählt. Im Ergebnis dieser Bestandsgründung wurden 17.778 Pflanzen/ha etabliert. Die vorgezogenen Bäume wuchsen sicher an. Der Bestand wurde nicht gedüngt, da der Boden gut mit Nährstoffen versorgt ist. Zur Bestandspflege wurde nur im ersten Standjahr zwischen den Doppelreihen flach gefräst und die Begleitfauna eingemulcht.

Zur Ernte wurden Freischneidegeräte eingesetzt. Die gefällten, entlaubten Bäume wurden gebündelt und zur Ertragsfeststellung gewogen.

#### Wachstumsparameter und Erträge

Der Baumbestand der Versuchsfläche wurde nach zwei- und dreijährigem Umtrieb am 03.03.1997 bzw. 16.03.2000 geerntet. Die Ertragsergebnisse und Wachstumsparameter für beide Umtriebe sind in Abbildung 12 und der

Tabelle A15 zusammengestellt. Der in 1,30 m Höhe am Haupttrieb gemessene Brusthöhendurchmesser (BHD) erreichte bei den Pappelsorten die besten Werte; insbesondere bei „Max 3“ und „Beaupre“. Deutlich schwächere Stammdurchmesser werden bei den geprüften Espensorten und dem Weidenklon gemessen. Auch in der Bildung von Seitentrieben erweisen sich die geprüften Pappelsorten den Espen und Weiden überlegen. Die Schädigungsrate der Bäume durch Wildverbiss ist sehr unterschiedlich ausgeprägt. Am stärksten ist die Sorte „Muhle Larsen“ mit 49 % Schädigungsrate betroffen.

Bei *Salix viminalis* „Klon 722“ und der Pappelsorte „Beaupre“ ist der Schädigungsgrad (8 %) am geringsten. Auch „Max 3“ wird mit 13,5 % nur schwach geschädigt. Einen mittelstarken Verbiss wiesen die übrigen Sorten auf.

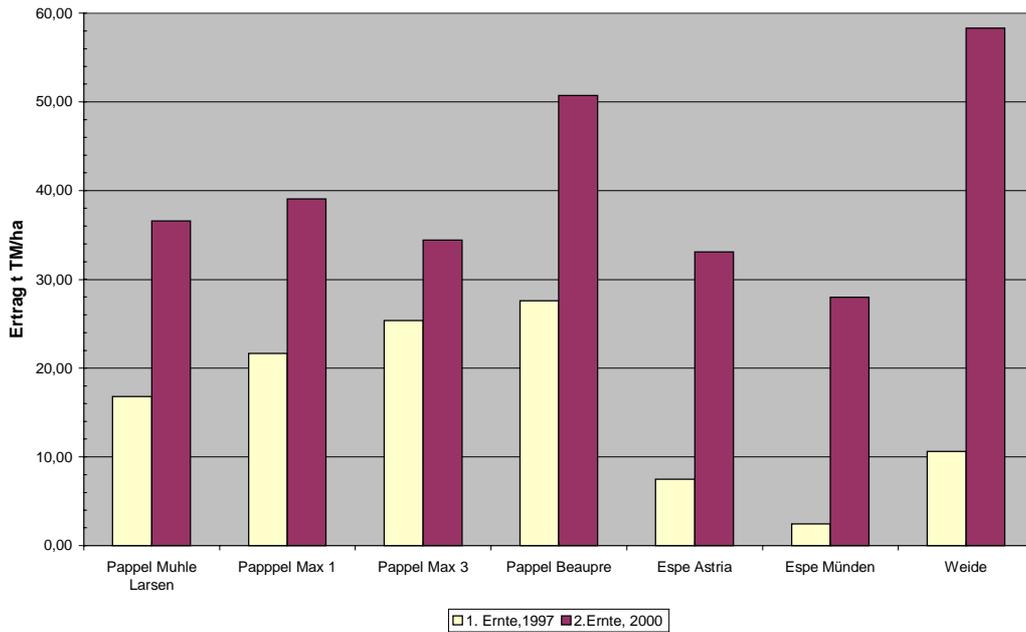
Im zweiten Umtrieb, der auf drei Jahre angelegt war, ist gegenüber dem ersten Umtrieb (zweijähriger Turnus) ein deutlicher Zuwachs des Stammdurchmessers vor allem bei den Espensorten und dem Weidenklon vorhanden. Im Vergleich der Sorten/Klone rangiert „Max 1“ an erster Stelle, gefolgt von der Mehrklonsorte „Münden“. Nach wie vor schwächer sind die Espe „Astria“ und der Weidenklon „722“ zu beurteilen. Die Balsampappelsorten bilden wiederum mehr Nebentriebe als die Espensorten aus.

Auf Grund der Wuchsform und längeren Dauer des zweiten Umtriebes entwickelt die Weide die höchste Anzahl von Nebentrieben.

**Tabelle 31: Charakteristik der geprüften Baumarten**

Baumart	Sektion	Botanische Bezeichnung	Sorte/Klon
Pappel	Tacamahaca	<i>P. trichocarpa</i>	Muhle Larsen
Pappel	Tacamahaca und Aigeiros	<i>P. nigra</i> x <i>P. maximowiczii</i>	Max 1
Pappel	Tacamahaca und Aigeiros	<i>P. nigra</i> x <i>P. maximowiczii</i>	Max 3
Pappel	-----	<i>P. trichocarpa</i> x <i>P. tremuloides</i>	Beaupre
Espe	Leuce	<i>P. tremula</i> x <i>P. tremuloides</i>	Astria
Espe	Leuce	<i>P. tremula</i> x <i>P. tremuloides</i>	Münden 1–20 Mehrklonsorte
Weide	-----	<i>Salix viminalis</i>	722

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft



**Abbildung 12:** Ertragsentwicklung schnellwachsender Hölzer in zwei Umtriebszeiten, Kalkreuth, (AI, SL, BWZ 49)

Die Erträge beider Umtriebe stehen in enger Korrelation zum Brusthöhendurchmesser. Aus den Ergebnissen des ersten Umtriebs ist abzuleiten, dass sich die Pappelsorten „Beaupre“, „Max 3“ und „Max 1“ besonders gut für die Kurzumtriebsnutzung (zwei Jahre) eignen. Sie erzielen in der genannten Reihenfolge die höchsten Erträge. Sehr gering ist die Ertragsleistung der Espen und der Weide.

Sie sind offensichtlich weniger für einen zweijährigen Kurzumtrieb geeignet. Wird eine dreijährige Umtriebszeit gewählt, erreicht der Weidenklon „722“ den höchsten Ertrag vor der Pappelsorte „Beaupre“. Die übrigen Pappelsorten bilden das Mittelfeld, die Sorte „Münden“ ist das Schlusslicht (Tabelle 32).

**Tabelle 32:** Jährliche Ertragsleistung schnellwachsender Baumarten, Großversuch Kalkreuth (AI, SL, BWZ 49), Auswertung 1995 bis 2000

Klon/Sorte	1. Umtrieb (2 Jahre)	2. Umtrieb (3 Jahre)
	Ertrag t TM/ha*a	
Muhle Larsen	8,4	12,2
Max 1	10,8	13,0
Max 3	12,7	11,4
Beaupre	13,8	16,9
Astria	3,8	11,0
Münden	1,2	9,3
Weidenklon 722	5,3	19,4

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

Gemessen an der jährlichen Ertragsleistung sind „Beaupre“, „Max 3“, „Max 1“ und „Muhle Larsen“ für den zwei- und dreijährigen Umtrieb zu empfehlen. Die Weide ist besser für eine längere Kurzumtriebsdauer geeignet. Die Erträge der Balsampappeln und von *Salix viminalis* in mini- und midi-Rotationen bestätigen auch HOFMANN, 1995; DIMITRI und SCHULZKE, 1994).

#### Nährstoffgehalte und -entzüge

Für den zwei- und dreijährigen Umtrieb liegen die Gehalte und Entzüge an Nährstoffen und Schwermetallen vor (Tabelle 33 und 34).

Die Gehalte und Entzüge unterscheiden sich zwischen den Umtrieben und geprüften Klonen. Bei zweijährigem Umtrieb sind in den Espen und dem Weidenklon höhere N-Gehalte in der Trockensubstanz zu beobachten als bei den Pappelsorten. Bei längerer Umtriebszeit werden in den Espen und Weidenklonen mehr ligno-

cellulosehaltige Substanzen gebildet. Die N-Konzentration in der TS verringert sich von ca. 1 % (zweijähriger Umtrieb) auf etwa 0,3 % (dreijähriger Umtrieb). Für die Pappeln, mit Ausnahme der Sorte „Beaupre“, ist ein leichter Anstieg des N-Gehaltes im zweiten Umtrieb eingetreten. Insgesamt liegen die N-Gehalte bei dreijährigem Umtrieb aber auf einem sehr niedrigen Niveau bei allen geprüften Sorten/Klonen. Der N-Entzug je Hektar ist insbesondere bei zweijähriger Umtriebszeit sehr gering. Er liegt mit Ausnahme der ertragsstarken Sorte „Beaupre“ (150 kg N/ha) deutlich unter 100 kg N/ha.

Der bei dreijährigem Ernterhythmus beobachtete starke Ertragszuwachs an Trockenmasse bedingt bei allen Sorten erhöhte N-Entzüge bis zu knapp 200 kg/ha. Dabei zeichnen sich je nach Ertragshöhe und N-Gehalt Unterschiede zwischen den einzelnen Sorten ab. Höhere N-Gehalte und -Entzüge verzeichnen die Pappelsorten „Muhle Larsen“, „Max 1“ und „Max 3“ sowie der Weidenklon. Geringere N-Gehalte und -Entzüge sind bei den Espensorten und der Pappelsorte „Beaupre“ zu verzeichnen.

Die jährlichen N-Entzüge betragen während des dreijährigen Umtriebes bei den geprüften Baumarten 30 bis 60 kg/ha\*a je nach Sorte. Aus der Sicht der Erträge und möglichst niedriger N-Gehalte ist der dreijährige Umtrieb bei allen Sorten zu bevorzugen. Für den zweijährigen Kurzumtrieb sind am ehesten die Pappelsorten „Max 1“, „Max 3“ und „Beaupre“ geeignet. Im Gehalt und Entzug an Phosphor sind zwischen den Sorten und dem Umtriebsrhythmus kaum Unterschiede vorhanden. Nach dreijährigem Wachstum entziehen die Klone relativ geringe P-Mengen (25 bis 50 kg P/ha).

Das den Ascheschmelzpunkt absenkende Kalium ist in vergleichsweise sehr geringer Konzentration in der Erntemasse vorhanden. Der Gehalt liegt in beiden Umtrieben unter 0,4 %. Hervorzuheben ist hierbei, dass die Espen und der Weidenklon nach dreijähriger Standzeit besonders geringe Gehalte  $\leq 0,2$  % K in der Trockensubstanz aufweisen. Die K-Gehalte der übrigen Sorten liegen zwischen 0,3 und 0,4 %. Je Hektar wird somit trotz hoher Erträge insgesamt relativ wenig Kalium mit dem Erntegut exportiert (40 kg K/ha Espensorten und ca. 30 kg K/ha Pappelsorten und Weide).

Ein weiterer für den Abbrand der Biomasse nachteiliger Inhaltsstoff ist das Chlor. Im Vergleich zu halmgutartiger Biomasse weist das Holz der Pappeln, Espen und der Weide eine

äußerst niedrige Konzentration auf, die weit unter dem von OBERNBERGER (1998) für Bio-brennstoffe genannten Grenzwert von 0,2 % Cl in der Trockenmasse liegt.

Bezüglich des Nährstoffes Calcium ist die Konzentration bei den schnellwachsenden Baumarten deutlich höher als bei Getreidestroh und Getreideganzpflanzen. Kalzium erhöht den Schmelzpunkt der Bioasche (HARTMANN, 2001).

Nach den vorliegenden Ergebnissen (Tabellen 33 und 34) liegt die Ca-Konzentration im Erntegut der Baumarten etwa bei 0,5 %. Zwischen den Umtrieben und geprüften Sorten bestehen nur geringe Unterschiede. Legt man die Erträge des dreijährigen Umtriebes zugrunde, werden etwa 169 kg Ca/ha entzogen. Das entspricht einer jährlichen Inanspruchnahme der Ca-Reserven des Bodens von durchschnittlich 56 kg/ha.

Wesentlich geringer ist der Magnesiumgehalt der schnellwachsenden Baumarten. Dies ist günstig zu bewerten, da Magnesium den Ascheschmelzpunkt absenkt. Ebenso sind die äußerst niedrigen Schwefelgehalte im Holz aus der Sicht der SO<sub>x</sub>-Emission während des Abbrandes positiv zu bewerten. Betrachtet man den Nährstoffstatus und pH-Wert der Versuchsfläche, ist nach fünfjährigem Umtrieb ohne Düngung keine Verschlechterung dieser Parameter eingetreten. Die Werte liegen im standortspezifisch optimalen Versorgungsbereich (Tabelle 35). Durch die nährstoffreiche Blattmasse, die auf dem Feld verbleibt, werden die Kreisläufe weitgehend geschlossen (MAKESCHIN, REHFUESS und JUG, 1994). Schnellwachsende Baumarten zeigen auch auf gering mit toxischen Schwermetallen belasteten Böden ein verstärktes Aufnahmevermögen für Cadmium, Blei und Quecksilber (Tabellen 33 und 34).

Besonders auffallend ist der hohe Cadmiumspiegel von 0,6 mg Cd/kg TS nach zwei- bzw. dreijähriger Umtriebszeit. Aus dem durchschnittlich hohen Niveau ragen der Klon "722" (*Salix viminalis*) und die Sorte „Münden“ (Espe) mit Cadmiumgehalten von 0,8 mg/kg TS heraus. An den Entzugszahlen je Hektar wird deutlich, dass sich schnellwachsende Baumarten zum Anbau auf cadmiumbelasteten Böden eignen und langfristig eine Sanierung bewirken können, was insbesondere auf die Weide bei längeren Umtriebszeiten zutrifft.

**Tabelle 33: Gehalte und Entzüge an Nährstoffen und Schwermetallen bei verschiedenen schnellwachsenden Baumarten und Klonen nach zweijährigem Umtrieb (1995-1997), Standort Kalkreuth**

Sorte	TM-Ertrag t/ha	Inhaltsstoffe in der TS												
		N %	P %	K %	Mg %	Cl %	S %	C %	Ca %	Cd mg/kg	Pb mg/kg	B mg/kg	Cu mg/kg	Hg mg/kg
Pappel Muhle Larsen	16,8	0,00	0,087	0,34	0,038	0,008	0,04	47,29	0,37	0,46	1,53	12,32	3,65	<0,1
Pappel Max 1	21,6	0,25	0,103	0,37	0,038	<0,002	0,04	47,34	0,57	0,58	1,72	11,56	3,86	<0,1
Pappel Max 3	25,4	0,30	0,111	0,39	0,048	<0,002	0,04	47,48	0,58	0,51	1,16	11,39	3,35	<0,1
Pappel Beaupre	27,6	0,55	0,089	0,36	0,057	<0,002	0,04	47,28	0,49	0,47	2,13	11,59	2,85	<0,1
Espe Astria	7,5	1,02	0,111	0,35	0,066	<0,002	0,05	47,92	0,49	0,64	2,73	10,84	3,57	<0,1
Espe Münden	2,4	1,19	0,153	0,45	0,071	<0,002	0,07	47,91	0,54	0,83	3,60	13,43	5,63	<0,1
Salix viminalis 722	10,6	1,04	0,121	0,26	0,071	<0,002	0,05	47,58	0,56	0,76	0,55	9,12	3,15	<0,1
	ATS %	Entzüge kg/ha								Entzüge g/ha				
		N	P	K	Mg	Cl	S	C	Ca	Cd	Pb	B	Cu	Hg
Pappel Muhle Larsen	99,8	0,00	14,62	57,13	6,39	1,34	6,22	7.932	62,18	7,73	25,71	206,69	61,17	1,68
Pappel Max 1	99,5	54,07	22,06	80,02	8,22	0,43	8,00	10.187	123,28	12,54	36,98	248,72	83,05	2,15
Pappel Max 3	99,2	76,07	27,89	98,90	12,17	0,50	9,89	11.944	147,07	12,93	29,16	286,54	84,19	2,52
Pappel Beaupre	99,2	151,64	24,26	99,25	15,71	0,55	10,75	12.930	135,09	12,96	58,17	317,06	78,02	2,73
Espe Astria	98,7	75,48	8,22	26,16	4,86	0,15	4,04	3.535	35,87	4,71	20,10	79,96	26,31	0,74
Espe Münden	98,3	28,66	3,67	10,78	1,71	0,05	1,69	1.154	12,98	2,01	8,67	32,33	13,55	0,24
Salix viminalis 722	99,2	109,32	12,74	27,59	7,43	0,21	5,41	5.009	59,43	7,96	5,84	96,05	33,11	1,05

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

**Tabelle 34: Gehalte und Entzüge an Nährstoffen und Schwermetallen bei verschiedenen schnellwachsenden Baumarten und Klonen nach dreijährigen Umtrieb (1997-1999), Standort Kalkreuth**

Sorte	TM-Ertrag t/ha	Inhaltsstoffe in der TS											
		N %	P %	K %	Mg %	Cl %	S %	C %	Ca %	Cd mg/kg	Pb mg/kg	Hg mg/kg	Aschege- halt %
Pappel Muhle Larsen	36,60	0,57	0,11	0,28	0,05	0,01	0,03	51,50	0,44	0,50	1,00	0,045	1,95
Pappel Max 1	39,07	0,42	0,15	0,44	0,06	0,03	0,04	52,00	0,59	0,60	1,10	0,021	2,72
Pappel Max 3	34,41	0,54	0,13	0,41	0,06	0,02	0,03	51,00	0,52	0,60	1,10	0,031	2,54
Pappel Beaupre	50,70	0,25	0,10	0,34	0,06	0,03	0,03	51,00	0,43	0,65	1,00	0,013	2,06
Espe Astria	33,08	0,32	0,08	0,14	0,05	0,01	0,03	51,50	0,44	0,60	1,15	0,029	1,98
Espe Münden	27,96	0,30	0,10	0,16	0,07	0,01	0,03	51,00	0,60	0,70	1,20	0,064	2,47
Salix viminalis 722	58,29	0,36	0,09	0,21	0,04	0,01	0,03	53,00	0,38	0,80	1,05	0,027	1,64
	ATS %	Entzüge kg/ha							Entzüge g/ha				
		N	P	K	Mg	Cl	S	C	Ca	Cd	Pb	Hg	
Pappel Muhle Larsen	90,0	186,09	36,23	90,57	15,97	3,79	8,23	16.962	143,27	16,47	32,94	1,48	
Pappel Max 1	90,1	146,00	51,01	153,04	20,58	10,38	13,54	18.294	207,57	21,11	38,70	0,74	
Pappel Max 3	90,1	165,80	40,29	125,51	17,82	6,51	8,83	15.805	159,60	18,59	34,09	0,96	
Pappel Beaupre	90,1	111,93	45,68	153,04	27,64	13,02	11,65	23.299	196,45	29,70	45,68	0,57	
Espe Astria	89,8	95,07	23,91	42,48	15,45	3,27	7,72	15.300	130,72	17,82	34,16	0,85	
Espe Münden	90,2	74,35	25,08	39,95	16,63	3,02	6,43	12.853	151,22	17,64	30,24	1,61	
Salix viminalis 722	89,5	185,21	46,69	109,56	21,65	6,26	15,13	27.651	198,25	41,74	54,78	1,41	

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

**Tabelle 35: Nährstoffversorgungszustand und pH-Wert des Bodens nach fünfjähriger Nutzungszeit (1995-2000) auf einer Versuchsfläche mit schnellwachsenden Baumarten im Kurzumtrieb**

Boden nach der Ernte am 16.3.2000									
Sorte	NO <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub>	N <sub>min</sub>	pH	P	K	Mg
	0-30 cm		31-60 cm		0-60 cm	mg/100 g Boden			
Pappel Muhle Larsen	9	9	23	3	44	5,7	9,4	23	8,1
Pappel Max 1	16	41	17	4	78	6,4	10,5	28	9,1
Pappel Max3	16	7	10	4	37	6,4	10,2	25	6,9
Pappel Beaupre	25	3	33	3	65	6,7	10,9	28	12,3
Espe Astria	22	1	23	2	49	6,5	12,6	28	15,1
Espe Münden	20	1	11	2	34	6,7	15,9	35	20,7
Weide	20	3	10	3	36	6,7	17,7	33	7,8

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

Die Bleigehalte des Erntegutes erreichen eine Größenordnung von 0,6 bis 3,6 mg/kg TS. Auch hier ist gegenüber Stroh, Getreideganzpflanzen, die auf unbelasteten Böden angebaut werden, eine deutlich erhöhte Konzentration gegeben. Auf Pb-Gehalte in der gesamten Bandbreite verweist auch DIMITRI (1988) im Kurzumtriebsanbau schnellwachsender Baumarten. Beim umtriebsabhängigen Vergleich der Pb-Gehalte fällt auf, dass mit längerer Umtriebszeit die Konzentrationswerte leicht rückläufig sind (Tabelle 33 und 34).

Sehr gering ist hingegen die Hg-Aufnahme bei zweijährigem Umtrieb. Der Quecksilbergehalt nimmt allerdings nach dreijährigem Umtrieb stärker zu und übertrifft die Werte von halmgutartiger Biomasse (Stroh, Getreideganzpflanzen, Heu) deutlich (OBERBERGER, 1998). Die Boraufnahme nach dem zweiten Standjahr ist etwa um den Faktor 4 höher als bei Getreide (3 mg/kg TS), während die Cu-Gehalte denen der Getreidearten und Futtergräser (Heu) entsprechen (MENGEL, 1984; BERGMANN, 1993; HARTMANN, 2001).

Der Abbrand schnellwachsender Baumarten führt aufgrund der insgesamt niedrigen Mineralstoffkonzentration in der Trockenmasse zu geringen Aschemengen von durchschnittlich 2,2 % (Tabelle 34). Hier bestehen klare Vorteile zu halmgutartigen Brennstoffen.

Schnellwachsende Baumarten binden beachtliche Mengen an CO<sub>2</sub>. In der geernteten Trockenmasse der schnellwachsenden Baumarten werden 47,3 bis 53,0 % Kohlenstoff gespeichert (Tabellen 33 und 34).

Die dreijährige Umtriebsperiode führt dabei zu einer höheren C-Akkumulation in der Biomasse. Zwischen verschiedenen Arten und Sorten bestehen im C-Gehalt kaum Unterschiede. Das Kohlenstoffspeichervermögen der Bäume ist um 2 bis 3 % höher als bei einjährigen Halmgut-Pflanzen (HARTMANN, BÖHM, MAIER, 2000).

In Abhängigkeit vom jeweiligen Ertragsniveau werden nach zweijähriger Standzeit bereits 5.000 (Weide) bis 12.900 kg C/ha (Beaupre) gebunden. Eine wesentlich größere Kohlenstoffmenge lagern dreijährige Bestände ein. Besonders ausgeprägt ist dies bei den Espen und dem Weidenklon, was vor allem auf den erheblichen Ertragszuwachs im dreijährigen Umtrieb bei den einzelnen Sorten zurückzuführen ist. Des Weiteren erhöht sich die Einlagerung von Kohlenstoff je Einheit Trockenmasse (Tabelle 33 und 34).

Die vorliegenden Versuchsergebnisse liefern den Nachweis, dass im feldmäßigen Anbau schnellwachsender Baumarten eine hohe Biomasseproduktivität erreicht wird.

Im Einzelnen ist festzustellen, dass

- die Pappeln sowohl im zwei- als auch dreijährigen Umtrieb sehr leistungsstark sind.
- Espen und Weiden erst ab dem dritten Umtrieb hohe Erträge erreichen. Der Weidenklon ist dann am ertragstärksten.
- Holz aus Kurzumtriebsplantagen eine für den Abbrand und das Emissionsverhalten vorteilhafte niedrige Konzentration und Zusammensetzung an Mineralstoffen besitzt

und in dieser Hinsicht den halmgutartigen Brennstoffen überlegen ist.

- frisch geerntetes Holz eine Feuchte von durchschnittlich 47,4 % (zweijähriger Umtrieb) bis 43,3 % (dreijähriger Umtrieb) aufweist.
- im Vergleich der Arten/Sorten die Weide mit 54 % die höchsten Trockensubstanzgehalte zur Ernte erreicht.
- der Anbau äußerst extensiv (minimaler Pflanzenschutz zur Bestandsgründung; ohne Düngung) geführt werden kann.
- die Nährstoffgehalte des Bodens im standortspezifisch optimalen Bereich verbleiben.
- die im landwirtschaftlichen Kreislauf verbleibende Blattmasse einen hohen Rückführungsgrad an Nährstoffen sichert.
- die Pappeln, Espen und insbesondere die Weide verstärkt Cadmium und Blei akkumulieren und auf belasteten Flächen eine biologische Sanierung bewirken können.
- der Anbau zu einer beachtlichen CO<sub>2</sub>-Bindung auf landwirtschaftlichen Nutzflächen führt, wobei insbesondere längere Umtriebszeiten Vorteile bieten.

### 3.2.3 Topinambur

Der Topinambur ist ein Verwandter der Sonnenblume. Sein Anbau ist sowohl ein- als auch mehrjährig möglich. Die Pflanze bildet oberirdisch kräftige, reich beblätterte Stängel. Unterirdisch legt sie Stolonen an, die endständig zu Knollen verdicken. Die abgestorbenen Stängel sind lignocellulosereich und als Baustoff sowie als Brennmaterial geeignet.

Aus den zuckerreichen Knollen kann Ethanol gewonnen werden. Die Hauptzuckerkomponente ist das Inulin, das vielfältige Verwendung in der Ernährung und chemischen Industrie findet. Das Anbauverfahren weist viele Parallelen zu der Kartoffel (Dammkultur, Ernte der Knollen) auf. In den nachfolgend vorgestellten Versuchen ist der Einfluss der Bestandesdichte und N-Düngung auf den Ertrag und die Inhaltsstoffe der Stängel und Knollen untersucht worden.

#### Bestandesdichte

Beim einjährigen Topinamburanbau zur ausschließlichen Knollennutzung sind übereinstimmend mit der Kartoffel Bestände von 40.000 bis 50.000 Pflanzen/ha üblich. Wird der Bestand hingegen über drei Jahre mit jährlicher Ernte der abgestorbenen Stängel und Knollenwerbung im letzten Jahr genutzt, kann eine höhere Bestandesdichte (75.000 Pfl./ha) von Vorteil

sein. Diese Frage wird auf zwei unterschiedlichen Standorten geprüft. (Tabellen 36 und 37). Auf dem nährstoffreichen Lößlehm-Boden (Roda) entwickelt Topinambur deutlich größere Stängel. Sie sind im Durchschnitt 57 cm länger als in den Beständen auf den leichten Sandböden (Spröda). Dicht aufgebaute Bestände (75.000 Pfl./ha) sind auf beiden Standorten um ca. 5 bis 6 cm kleiner als Pflanzen in mitteldichten Pflanzungen (40.000 Pfl./ha).

Der Einfluss der Bestandesdichte auf den Stängelertrag ist standortbezogen differenziert. In Roda führt der dichte Bestand zu Mehrerträgen. Der fruchtbare Lößlehm-Boden ist in der Lage, solche Bestände ausreichend mit Wasser und Nährstoffen zu versorgen. Auf dem nährstoffärmeren, über ein geringes Wasserspeichervermögen verfügenden Sandboden sind in der Regel niedrigere Bestandesdichten günstiger.

Die standortbezogene Wertung der Erträge wird durch den starken Mehлтаubefall 1999 am Standort Spröda beeinflusst. Schaltet man diesen ertragsmindernden Faktor aus, werden aus dem anlehmigen Sand 7 t/ha an Stängeltrockenmasse erreicht. Das entspricht etwa dem mittleren Ertragsniveau des Lößlehm-Bodens. Als Spitzenerträge werden standortspezifisch Stängelerträge von 8 t TM/ha (Spröda) bzw. 10 t TM/ha (Roda) erreicht. Jahresabhängig sind stärkere Ertragsschwankungen auf beiden Standorten zu beobachten.

Bei mehrjährigem Anbau besteht die Tendenz, dass nach dem ersten Standjahr die Stängeldurchmesser abnehmen und die Bestände lageranfälliger werden. Die abgestorbenen Stängel weisen zur Ernte im Durchschnitt der Prüffahre hohe Trockensubstanzgehalte von 75 bis 86 % auf. Im Zuge der Brennstoffaufbereitung ist damit eine zusätzliche Trocknung nicht notwendig.

Die geringen Gehalte an Mineralstoffen, insbesondere an Chlor und Schwefel sowie Kalium, sichern einen schadstoffarmen Abbrand und geringen Ascheanfall. Nach den Ergebnissen (Tabelle 36) übt die Bestandesdichte keinen Einfluss auf die Mineralstoffkonzentration aus. Bestimmend sind Standort- und Jahresbedingungen. Hier zeichnen sich teilweise sehr starke Schwankungen ab.

Im letzten Nutzungsjahr (1999) wurden neben den Stängeln auch die Knollen geerntet (Tabelle 37). Bei diesem Nutzungssystem ist mit mittleren Knollenerträgen zu rechnen.

Tabelle 36: Einfluss der Bestandesdichte auf den Stängelertrag von Topinambur bei dreijähriger Nutzung auf unterschiedlichen Standorten

Jahr	Bestandsdichte Pflanzen/ha	Trockensubstanz z. Ernte % TS	Trockenmasse - Ertrag (atro) dt/ha	Wuchshöhe Stängel z. Ernte cm	Inhaltsstoffe in % TS						Rohasche %	
					N	P	K	Mg	Cl	S		C
<b>Spröda</b>												
1997	a	76,70	72,40	n.b.	0,71	0,03	0,64	0,17	0,07	0,08	46,4	n.b.
	b	78,00	75,50	n.b.	0,73	0,03	0,50	0,19	0,04	0,08	46,8	n.b.
1998	a	84,80	79,20	186	0,64	0,13	0,67	0,21	0,08	0,11	46,1	n.b.
	b	69,20	64,40	177	0,66	0,12	0,52	0,20	0,09	0,11	46,4	n.b.
1999	a <sup>1)</sup>	81,50	30,40	182	0,90	0,08	0,11	0,16	0,03	0,13	46,0	5,18
	b <sup>1)</sup>	77,00	25,90	180	0,88	0,07	0,11	0,15	0,03	0,11	45,5	5,31
<b>Mittel</b>	<b>a</b>	<b>82,60</b>	<b>60,67</b>	<b>184,0</b>	<b>0,75</b>	<b>0,08</b>	<b>0,47</b>	<b>0,18</b>	<b>0,08</b>	<b>0,11</b>	<b>46,17</b>	<b>5,18</b>
	<b>b</b>	<b>74,73</b>	<b>55,27</b>	<b>178,5</b>	<b>0,76</b>	<b>0,07</b>	<b>0,38</b>	<b>0,18</b>	<b>0,05</b>	<b>0,10</b>	<b>46,23</b>	<b>5,31</b>
<b>Roda</b>												
1997	a	86,63	49,10	258	0,31	0,03	0,49	0,16	0,008	0,078	46,7	4,33
	b	86,88	55,70	252	0,29	0,03	0,44	0,16	0,006	0,078	46,8	5,25
1998	a	84,50	88,90	239	0,30	0,05	0,12	0,13	0,001	0,06	47,9	3,14
	b	84,40	99,00	243	0,30	0,05	0,13	0,13	0,001	0,06	47,9	3,23
1999	a <sup>2)</sup>	86,50	68,80	225	0,38	0,06	0,07	0,11	0,003	0,053	46,6	3,48
	b <sup>2)</sup>	87,50	71,10	210	0,37	0,06	0,07	0,11	0,004	0,053	46,6	3,29
<b>Mittel</b>	<b>a</b>	<b>85,88</b>	<b>68,90</b>	<b>240,7</b>	<b>0,33</b>	<b>0,05</b>	<b>0,23</b>	<b>0,13</b>	<b>0,004</b>	<b>0,06</b>	<b>47,07</b>	<b>3,65</b>
	<b>b</b>	<b>86,26</b>	<b>75,30</b>	<b>235,0</b>	<b>0,32</b>	<b>0,05</b>	<b>0,21</b>	<b>0,13</b>	<b>0,004</b>	<b>0,06</b>	<b>47,10</b>	<b>3,92</b>

a 40000 Pflanzen/ha  
b 75000 Pflanzen/ha

<sup>1)</sup> starker Mehltaubefall  
<sup>2)</sup> Totallager

n. b. nicht bestimmt

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

Auf beiden Versuchsstandorten beeinträchtigte Mäusefraß die Knollenausbeute im mehrjährigen Anbau zum Teil sehr erheblich (Standort Spröda). Unter diesem Vorbehalt sind bei mittleren Pflanzenzahlen je Hektar höhere Erträge an Knollen als in dicht gepflanzten Beständen zu erwarten. Der Gehalt an frei fermentierbaren Zuckern in der Trockensubstanz der Knollen beträgt 50 % am Standort Spröda und 70 % am Standort Roda.

Die Knollen sind im Vergleich zum Stängel besonders reich an Stickstoff und Kalium. Mittlere Knollenerträge (65 dt TM/ha) entziehen etwa 70 kg N/ha und 163 kg K/ha. Bilanzierungen zeigen, dass über die Stängelerträge relativ geringe Nährstoffmengen exportiert werden.

An Stickstoff und Kalium sind es je nach Ertragsniveau 30 bis 55 kg/ha. Noch geringer sind die Entzüge an Phosphor und Magnesium. Die Nährstoffe werden also vorrangig in den Knollen gespeichert.

Insgesamt leitet sich aus diesen Angaben ein niedriger bis mittlerer Nährstoffbedarf ab. Die Stängeltrockenmasse bindet nach vorliegenden Erträgen etwa 3.000 bis 4.700 kg Kohlenstoff je Hektar. Bei dreijähriger Nutzung eines Topinamburbestandes wird in den einzelnen Nutzungsjahren mittlere Nitrathinterlassenschaft nach der Ernte im Boden gemessen.

Ein nitratvermindernder Einfluss der Bestandesdichte ist dabei nicht zu erkennen (Tabelle 38).

**Tabelle 37: Einfluss der Bestandesdichte auf den Knollenertrag von Topinambur im letzten Nutzungsjahr nach dreijähriger Anbauperiode mit Stängelernte 1999**

Bestandesdichte	Trockensubstanz z. Ernte %	Ertrag atro Trockenmasse dt/ha	Inhaltsstoffe in % TS					
			N	P	K	Mg	ffZ <sup>1)</sup>	Inulin
<b>Spröda</b>								
a	24,39	2,04 <sup>*)</sup>	2,35	0,30	3,18	0,07	52,32	26,32
b	24,00	1,88 <sup>*)</sup>	2,30	0,29	3,02	0,08	49,50	23,65
<b>Roda</b>								
a	24,20	65,63 <sup>**)</sup>	1,10	0,31	2,50	0,06	69,90	25,08
b	23,23	50,99 <sup>**)</sup>	1,08	0,29	2,40	0,06	70,37	22,38

a 40.000 Pflanzen/ha <sup>\*)</sup> starker Mäusefraß <sup>\*\*)</sup> zum Teil Mäusefraß      Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft  
b 75.000 Pflanzen/ha <sup>1)</sup> ffZ- frei fermentierbare Zucker

**Tabelle 38: Einfluss eines mehrjährigen Anbaues von Topinambur auf den Nitratgehalt in der Bodenschicht von 0 bis 60 cm bei mittlerer Düngung**

Jahr	Bestandesdichte	Nitrat - N (NO <sub>3</sub> ) Bodenschicht		
		0 - 30 cm	30 - 60 cm	0 - 60 cm
<b>Spröda</b>				
1997 vor Anlage		14	47	61
1998 nach der Ernte	a	29	13	42
	b	27	61	88
1999 nach der Ernte	a	14	16	30
	b	34	14	48
<b>Roda</b>				
1997 vor Anlage		18	6	24
1998 nach der Ernte	a	32	17	49
	b	31	13	44
1999 nach der Ernte	a	22	14	36
	b	20	22	42

a 40.000 Pflanzen/ha    b 75.000 Pflanzen/ha      Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

## N-Düngung

Auf dem anlehmgigen Sandboden steigt der Ertrag an Stängel- und Knollentrockenmasse bis zu einer Aufwandhöhe von 120 kg N/ha. Die Knollen reagieren dabei mit einem stärkeren Ertragszuwachs als die Stängel auf die zusätzliche N-Düngung (Tabelle 39). Wird der N-Aufwand weiter erhöht, sinkt der Knollenertrag. Beim Stängelertrag setzt noch eine weitere Steigerung ein.

Erst die höchste geprüfte N-Gabe (200 kg N/ha) wirkt ertragsenkend. Aus der Sicht des Gesamtertrages (Knollen und Stängel) sollte auf eine maximale N-Gabe von 120 kg N/ha orientiert werden, wenn zu Vegetationsbeginn eine durchschnittliche  $N_{\min}$ -Konzentration von 40 bis 50 kg N/ha im Boden vorliegt. Allerdings entsteht bei diesem N-Aufwand ein negativer Sal-

do in der N-Bilanz, wenn Knollen und Stängel geerntet werden (Tabelle 39). Werden höhere N-Gaben appliziert, ist der N-Saldo leicht positiv. Allerdings sinkt dann der Ertrag. Weiterhin ist auch ein stärkeres Anwachsen der N-Konzentration in der Knolle und im Stängel zu beobachten. Dies bedeutet Nachteile beim Abbrand der Stängel (Zunahme der  $NO_x$ -Emission). In den Knollen sinkt dadurch der Gehalt an Gesamtzucker (schädlicher Stickstoff). Hinzu kommt eine stärkere Belastung des Bodens mit Nitratstickstoff. Der N-Gehalt in der Stängeltrockenmasse (1 % in der TS), besonders aber auch die Kaliumkonzentration (1,8 % in der TS) liegen höher als in dem Versuch mit variiertem Bestandesdichte. Dies deutet auf eine stärkere Schwankungsbreite vor allem in der Kaliumaufnahme durch die Pflanze und Umlagerung der Nährstoffe vom Stängel in die Speicherorgane (Knolle) hin (Tabelle 40).

**Tabelle 39:** Wirkung steigender mineralischer N- Gaben auf den Stängel- und Knollenertrag von Topinambur (Mittel 1992-1995) Versuchsstation Spröda, anlehmgiger Sand

N-Düngung kg/ha	Ertrag (dt TM/ha)			N in der TS (%)		Gesamt- gehalt Zucker (Knolle) % in d. TS	Nmin (kg/ha) nach d. Ernte (0 bis 60 cm Boden- schicht)	N-Saldo kg/ha
	Stängel	Knollen	Gesamt	Stängel	Knollen			
0	49,1	57,8	106,9	0,92	1,48	61,28	39,3	-130
60	49,9	64,1	114,0	1,03	1,57	63,35	25,7	-96
80	50,2	65,0	115,2	1,02	1,56	62,38	23,3	-76
120	50,4	73,1	123,5	1,04	1,68	60,00	22,7	-55
180	51,9	69,1	121,0	1,07	1,76	58,19	49,3	1
200	50,1	64,9	115,0	1,28	1,76	59,92	70,3	18

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

**Tabelle 40:** Mineralstoffgehalte von Topinambur in Abhängigkeit vom Erntetermin, Versuchsstation Spröda, anlehmgiger Sand

Erntetermin	Stängel	Knolle	Verhältnis Stängel : Knolle
<b>Kalium</b>			
Herbst	1,80	2,10	1:1,2
Frühjahr	0,40	3,10	1:7,7
<b>Stickstoff</b>			
Herbst	1,04	1,68	1:1,6
Frühjahr	0,75	2,30	1:3,1

Herbst: Oktober, November, Frühjahr: März

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

Die Umlagerungsprozesse können über einen späten Erntetermin so gesteuert werden, dass möglichst viele Mineralstoffe in die Speicherorgane verlagert werden. Für die Festbrennstoffnutzung der Stängel ist somit eine möglichst späte Ernte zu empfehlen. Stängel und Knollen binden in dem N-Steigerungsversuch zum Zeitpunkt der Ernte etwa 2.247 kg C/ha im Stängel und 2.835 kg C/ha in den Knollen bei mittlerer N-Düngung (120 kg N/ha).

Nachfolgend lassen sich die Ergebnisse der Anbauversuche wie folgt zusammenfassen:

- Bei mehrjährigem Anbau werden jährlich Stängelenerträge von 6 bis 7 t Trockenmasse/ha\*a geerntet. Auf leichten anlehmigen Sanden ist dabei mit etwas geringeren Erträgen als auf dem Lösslehm Boden zu rechnen. Im Interesse stabiler Erträge sollte die Nutzungsdauer auf drei Jahre begrenzt werden. Eine höhere Bestandesdichte (75.000 Pflanzen/ha) ist nicht zu empfehlen. Der Aufbau mitteldichter Pflanzungen (40.000 Pflanzen/ha) ist aus wirtschaftlichen Erwägungen für beide Standorte vorteilhaft.
- Bei dreijähriger Nutzung des Stängelaufwuchses in Kombination mit Knollenernte im dritten Standjahr werden mittlere Knollenerträge (270 dt/ha) erreicht. Allerdings kann Mäusefraß den Knollenertrag ganz erheblich schmälern.
- N-Gaben bis zu einer Höhe von 120 kg N/ha steigern den Ertrag an Stängel- und Knollentrockenmasse (System jährliche Doppelnutzung). Bei höheren Aufwendungen (180 und 200 kg N/ha) sinkt der Gesamtertrag (Stängel und Knolle), der N-Gehalt in der Trockenmasse nimmt zu und der Gesamtzuckeranteil der Knolle sinkt. Zu empfehlen sind deshalb niedrige bis mittlere N-Gaben.
- Die Mineralstoffgehalte der Stängel unterliegen starken Schwankungen in Abhängigkeit vom Erntetermin. Ein später Erntetermin (Frühjahr) bedingt eine intensive Verlagerung von Stickstoff und Kalium in die Knolle. Dadurch verbessern sich die Brennstoffeigenschaften der Stängeltrockenmasse erheblich.

#### 4 Gesamtwertung des Energiepflanzenanbaus

Die Wertung des Energiepflanzenanbaus erfolgt unter dem Aspekt der Ertrags- und Energieleistung, der Brennstoffqualität und der Bereitstellungskosten. Auf der Grundlage dieser Kriterien wird versucht, Umfang und Struktur

eines Energiepflanzenanbaus in Sachsen aufzuzeigen.

#### 4.1 Erträge

Aus den Versuchen leitet sich ab, dass mehrjährige Energiepflanzen (Miscanthus und schnellwachsende Baumarten) durchschnittliche Erträge von 14 t TM/ha sicher erreichen. Für den Anbau von Miscanthus sind mittlere Böden (sandige Lehme, anlehmige Sande, mittlere Lössböden) und Kippenrekultivierungsböden geeignet. Die standortbezogene nachgewiesene Ertragsspanne reicht von 10 t TM/ha (Kippenrekultivierungsstandort) bis 18 t TM/ha (sandiger Lehm). Damit verbunden sind Energieerträge von 150 bis 250 GJ/ha und eine CO<sub>2</sub>-Fixierung, die pro Jahr 17.000 bis 25.000 kg CO<sub>2</sub>/ha beträgt (Tabelle 41).

Im Ergebnis der Sorten- und Herkunftsprüfungen sind die Sorten Miscanthus *x giganteus* und ‚Goliath‘ für den Anbau vorzusehen.

Die schnellwachsenden Baumarten erzielen im Kurzumtrieb (3-jährige Rotation) 11 bis 17 t TM/ha\*a. Auf den mittleren Böden sind die Pappelsorten ‚Muhle Larsen‘, ‚Max 1, 2 und 3‘ sowie ‚Beaupre‘ ertragsstark. Ebenso erzielt der Weidenklon ‚722‘ (*Salix viminalis*) im dreijährigen Umtrieb hohe Erträge. Der feldmäßige Anbau schnellwachsender Baumarten im Kurzumtrieb ist nach Versuchserfahrungen auf einem breiten Bodenspektrum erfolgreich möglich. Jedoch sollten die Flächen mindestens die Bodenwertzahl 30 und eine Gründigkeit von 70 cm aufweisen.

Auf Grund des hohen C-Gehaltes (51,3 % C in der TS) binden schnellwachsende Baumarten im dreijährigen Umtrieb 26.399 kg CO<sub>2</sub>/ha\*a bei mittleren Erträgen von 14 t TM/ha. Das sind im Durchschnitt 1.093 kg CO<sub>2</sub>/ha\*a mehr als bei Miscanthus (Tabelle 41). Noch günstiger gestaltet sich die CO<sub>2</sub>-Bindung bei Weiden (*Salix viminalis*), die nach dreijähriger Rotation 53 % C in der Trockensubstanz aufweisen. Bei nachgewiesenen Erträgen von 15 t TM werden somit pro Jahr fast 30.000 kg CO<sub>2</sub>/ha\*a gebunden.

Von den geprüften einjährigen Energiepflanzen ist Ganzpflanzengetreide hervorzuheben. Die züchterisch ausgereiften Wintertriticalesorten erreichen auf Standorten mit mittlerer bis hoher Bonität Gesamterträge (Korn und Stroh) von 15 t TM/ha. Für leichte D- und V-Standorte sind im Mittel 8 bzw. 10 t TM/ha an Gesamtbiomasse zu ernten. Das entspricht Energieerträgen von 135 bis 250 GJ/ha.

Bei einem C-Gehalt von knapp 45 % C in der Trockensubstanz bindet Ganzpflanzengetreide je nach Ertragsniveau 13.000 bis 24.600 kg CO<sub>2</sub>/ha.

Die Ganzpflanzenerträge der älteren Getreideart Dinkel (Sorte „Roquin“) erreichten auf einem Lösslehmboden 8,1 t TM/ha und auf einem leichten diluvialen Boden 7,3 t TM/ha bei einem mittleren Korn-Stroh-Verhältnis von 1 : 0,64 bzw. 1 : 0,88. Der Dinkel liefert somit wesentlich geringere Erträge als Wintertriticale. In der Konzentration der Inhaltsstoffe ergeben sich keine Unterschiede zu Wintertriticale.

Für einjährige Futtergräser werden bei ein- bis zweischnittiger Nutzung 6 bis 8 t TM/ha erzielt. In dieser Größenordnung werden auch Stängelenerträge bei Topinambur nachgewiesen. Die aufgezeigten Erträge der Energiepflanzen werden bei moderater N-Düngung und niedrigem bis mittlerem Pflanzenschutzaufwand erzielt.

Auf Grund der standortlichen Anbaubreite und Ertragsleistung können mit den genannten Energiepflanzen standort- und verwertungsangepasste Anbausysteme zur Festbrennstoffbereitstellung entwickelt werden.

#### 4.2 Inhaltsstoffe

Mineralstoffgehalt und Restfeuchte sind wichtige Qualitätseigenschaften der Festbrennstoffe. Hier bestehen zwischen den Energiepflanzen deutliche Unterschiede (Tabelle 42).

Der N-Gehalt (NO<sub>x</sub>-Emission) ist in den Futtergräsern, Getreideganzpflanzen und im Getreidekorn auch bei moderater N-Düngung vergleichsweise hoch (1 bis 1,7 %). Im Getreidestroh, Miscanthus sowie im Topinamburstängel liegen die N-Gehalte um ca. 50 % niedriger als im Getreidekorn.

Noch günstiger sind schnellwachsende Baumarten zu bewerten. In diesem Zusammenhang bieten längere Umtriebszeiten deutliche Vorteile. Sie sichern höhere Anteile des N-armen Holzkörpers an der Gesamtbiomasse.

Ein weiterer aus der Sicht des Abbrandes kritischer Nährstoff ist Kalium. Es senkt den Ascheschmelzpunkt und fördert so die Verschlackungsneigung. Holzartige Biomasse weist im Vergleich zu halmgutartiger Biomasse sehr niedrige K-Gehalte auf. Innerhalb der halmgutartigen Energiepflanzen sind die K-Gehalte bei Getreidekorn und im Topinambur-

stängel am niedrigsten (0,3 bis 0,5 %). Für Ganzpflanzengetreide, Stroh und Miscanthus sind Gehalte um 1 % zu erwarten. Futtergräser weisen eine K-Konzentration von 1,5 % auf.

Das in der Biomasse gebundene Chlor wird während der Verbrennung freigesetzt und trägt zur Bildung von korrosiv wirkender Salzsäure im Rauchgas bei. Die als kritisch einzustufende Konzentrationschwelle von 0,2 % Cl wird bei Getreideganzpflanzen, Getreidestroh und mehr noch bei Weidelgras und Miscanthus überschritten. Sehr günstig sind hier schnellwachsende Baumarten und Topinambur zu bewerten. Die Schwefelgehalte der untersuchten Energiepflanzen sind besonders im Vergleich zu fossilen Energieträgern äußerst niedrig. Höhere Gehalte weisen die Gräser gegenüber dem Holz auf. Längere Umtriebszeiten senken die Schwefelgehalte im Holz.

Die nicht vollständig für alle geprüften Energiepflanzen vorliegenden Angaben zur Konzentration an Mikronährstoffen und Schwermetallen liefern die Information, dass Miscanthus auf nichtbelasteten Böden geringe Aufnahmeleistungen an Cadmium, Blei und Quecksilber aufweist.

Die angebauten Sorten der Pappeln und Weiden zeigen besonders bei Cadmium eine verstärkte Disposition zur Akkumulation in der Trockensubstanz auf. Auch die erhöhten Aufnahmeleistungen der schnellwachsenden Baumarten an Bor und Kupfer zeigen an, dass ausreichend mit Mikronährstoffen versorgte Böden für den Anbau vorzusehen sind.

Der Wassergehalt zum Erntezeitpunkt ist bei den Energiepflanzen sehr unterschiedlich. Niedrige Wassergehalte bedeuten einen hohen Energiewirkungsgrad. Angestrebt werden deshalb Restfeuchten von unter 20 % im Brennstoff. Diese Voraussetzung erfüllt Getreide bereits zum Erntezeitpunkt weitestgehend.

Bei Miscanthusstängeln sind Restfeuchten von 35 % im Mittel zu erwarten. Futtergräser erreichen durch Feldtrocknung (Heugewinnung) Trockensubstanzgehalte von 86 %. Erntefrisches Holz weist noch einen Wassergehalt von ca. 50 % auf. Dies erfordert eine Trocknung im Lager. Von den Energiepflanzen verbrennen Holz und Getreidekorn relativ aschearm (2 % Aschegehalt).

Hohe Aschegehalte entstehen bei den mineralienreichen Biobrennstoffen Getreidestroh, Getreideganzpflanzen (4 bis 5 % Asche) und Futtergräsern (7 % Asche).

Tabelle 41: Wertung des Energiepflanzenanbaus in Sachsen

Energiepflanze	Standort	Ernteprodukt	Mittleres Ertragsniveau t TM/ha	Ertragsspanne t TM/ha	Mittlerer Bruttoenergieertrag		Brutto-CO <sub>2</sub> -Bindung kg/ha
					MJ/kg TS (wf)	GJ/ha	
Wintertriticale	D	Ganzpflanze	8	6 - 12	16,84	134,72	13.159
	Lö		15	10 - 17		252,60	24.673
	V		10	8 - 14		168,40	16.449
Deutsches und Wel-sches Weidelgras	D	Heu (einschnittig)	6	3 - 8	16,92	101,52	9.607
	Lö		8	6 - 10		135,36	12.810
	V		7	5 - 10		118,44	11.209
Miscanthus x <i>gigan-teus</i>	D anlehmiger Sand	Halm	14	7 - 18	16,92	236,88	23.619
	Lö Vorgebirge		12	9 - 15		203,04	20.245
	D sandiger Lehm		15	10 - 20		253,80	25.307
	Rekultivierungsfläche		10	7 - 12		169,20	16.871
Topinambur	Lö	Häcksel	8	7 - 10	16,97	135,76	13.696
	D		6	4 - 8		119,82	10.272
Schnellwachsende Baumarten Pappel (3-jähr. Umtrieb) Weide (3-jähriger Umtrieb)	D (BWZ 30) Lö	Hackschnitzel	14	11 - 17	17,24	241,36	26.514
		Hackschnitzel	15	12 - 18			

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

Tabelle 42: Wertung des Energiepflanzenanbaus für sächsische Standortbedingungen - Brennstoffeigenschaften

Energiepflanze	Erntezeitpunkt	Ernteprodukt	TS zur Ernte %	Gehalt in % TS								Gehalt in mg/ kg TS						Asche % Brennstoff
				C	N	P	K	Ca	Mg	Cl	S	B	Cu	Mn	Cd	Pb	Hg	
<i>Wintertriticale</i>	Milchwachsreife	Ganzpflanze	86,0	44,82	1,00	0,15	1,07	0,18	0,07	0,25	0,08	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	4,15
		Korn	88,0	44,95	1,69	0,30	0,54	n.b.	0,08	0,04	0,12	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	1,88
		Stroh	85,0	45,80	0,57	0,09	1,11	0,24	0,05	0,23	0,07	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	5,10
<i>Weidelgras</i>		Ganzpflanze	38,6	43,63	1,27	0,21	1,50	n.b.	0,14	0,41	0,15	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	7,22
<i>Miscanthus</i>	Winter/Frühj.	Stängel	65,7	45,97	0,61	0,09	0,86	0,16	0,06	0,41	0,14	3,52	2,16	40,61	0,14	1,83	0,02	3,10
<i>Topinambur</i>	Spätherbst	Stängel	82,0	46,65	0,54	0,06	0,32	n.b.	0,16	0,03	0,08	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	4,52
<b>Schnellwachsende Hölzer</b>			<b>2-jähriger Umtrieb</b>															
<i>Pappelklone</i>	Winter/ Frühjahr	Schwachholz	45,3	47,35	0,28	0,10	0,37	0,51	0,05	<0,002	0,04	11,72	3,43	n.b.	0,51	1,63	<0,1	2,14
<i>Aspenklone</i>			48,0	47,92	1,11	0,13	0,40	0,51	0,07	<0,002	0,06	12,13	4,60	n.b.	0,74	3,16	<0,1	2,28
<i>Salix viminalis</i>			54,2	47,58	1,04	0,12	0,26	0,56	0,07	<0,002	0,05	9,12	3,15	n.b.	0,76	0,55	<0,1	1,99
			<b>3-jähriger Umtrieb</b>															
<i>Pappelklone</i>	Winter/ Frühjahr	Schwachholz	41,4	51,38	0,44	0,12	0,36	0,49	0,06	0,02	0,03	n.b.	n.b.	n.b.	0,59	1,05	0,03	2,32
<i>Aspenklone</i>			41,7	51,25	0,31	0,09	0,15	0,52	0,06	0,01	0,03	n.b.	n.b.	n.b.	0,65	1,18	0,05	2,23
<i>Salix viminalis</i>			53,7	53,00	0,36	0,09	0,21	0,38	0,04	0,01	0,03	n.b.	n.b.	n.b.	0,80	1,05	0,03	1,64

n. b. nicht bestimmt

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

Bezieht man in die Wertung der Energiepflanzen neben dem Ertrag auch den Faktor Brennstoffqualität mit ein, bestehen insgesamt bei den schnellwachsenden Baumarten Vorteile gegenüber den Getreideganzpflanzen und Gräsern. Die höheren Mineralstoffgehalte von Stroh, Miscanthus, Getreideganzpflanzen und vor allem der Futtergräser verlangen zwingend eine spezifische Anpassung der Feuerungsanlagen, um einen emissionsarmen, störungsfreien Abbrand mit gutem Energiewirkungsgrad zu erzielen. Solche Ansätze sind mit wassergekühlten Brennmulden, Wanderrosten mit unterschiedlichen Temperaturzonen für mittlere und kleine Leistungsbereiche bereits in der Entwicklung.

Die Pelletierung von Stroh, Gräsern und Ganzpflanzen unter Verwendung emissionsreduzierender Zuschlagstoffe kann zu weiteren Verbesserungen im Abbrand führen. Dies wird die Wettbewerbsfähigkeit halmgutartiger Biomasse als Brennstoff verbessern.

#### 4.3 Wirtschaftlichkeit

Die Brennstoffbereitstellungskosten sind in Heizanlagen zu 30 % an den Wärmegestehungskosten beteiligt (ORTMAIER, 2001). Sie umfassen die Kosten des Anbaus, der Ernte, des Transportes, der Aufbereitung und der Lagerung. In Tabelle 43 sind für verschiedene

landwirtschaft- und forstliche biogene Festbrennstoffe Durchschnittswerte der Bereitstellungskosten zusammengestellt. Sie basieren auf insgesamt 47 Literaturangaben (Tabelle A16). Vergleicht man zunächst die Kosten der verschiedenen Festbrennstoffe untereinander wird deutlich, dass aus Reststoffen (Waldrestholz, Stroh) hergestellte Festbrennstoffe die niedrigsten Bereitstellungskosten aufweisen. Die Kosten für zu Ballen gepresstes Getreidestroh liegen im Durchschnitt bei 88 DM/t. Hackschnitzel aus Waldrestholz verursachen Kosten von 96 DM/t (Tabelle 43).

Die Herstellung von Festbrennstoffen aus Energiepflanzen (Ganzpflanzengetreide, Miscanthusstroh, schnellwachsende Baumarten) ist um den Faktor 2 teurer. Das Pelletieren der biogenen Festbrennstoffe verursacht gegenüber der Ballen- und Häcksellinie zusätzliche Kosten von 60 bis 80 DM/t. Auf Energieäquivalente (Rohöl, Kilowattstunde) umgerechnete Kosten lassen für Reststoffe im Vergleich zu Heizöl EL eine gute Wettbewerbsposition erkennen. Energiepflanzen besitzen noch Nachteile. Ebenso schlagen die Pelletierung mit höheren energieäquivalenten Preisen zu Buche (Tabelle 43). Kostenanalysen zeigen, dass die vergleichsweise hohen Anbaukosten der mehrjährigen Energiepflanzen Miscanthus sinensis und schnellwachsende Baumarten wesentlich von den Pflanzgutpreisen verursacht werden.

**Tabelle 43: Durchschnittliche Bereitstellungskosten für feste Biobrennstoffe, zusammengestellt nach Literaturangaben (Anhang A16)**

	Anzahl Literaturstellen	DM/t TM	DM/t ROE	DM/MWh
Strohballen	9	87,6	251,2	21,27
Strohpellets	1	120,0	607,1	51,40
Ganzpflanzen-Ballen	7	185,9	518,9	43,94
Ganzpflanzen-Pellets	3	275,9	819,2	69,36
Waldrestholz (Hackschnitzel) vollmechanisiert	3	96,2	257,2	21,78
Miscanthus-Ballen	11	171,3	474,9	40,21
Miscanthus-Pellets	1	229,8	661,5	56,01
Schnellwachsende Hölzer (Hackschnitzel)	11	153,2	446,5	37,81
Rapsstroh	1	140,0	430,0	36,41
Topinambur-Häcksel		76,0	222,7	18,86
Heizöl mit Steuer				40,00
Heizöl ohne Steuer				18,00

1 t ROE = 41,868 MJ = 11,81 MWh

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

Über preiswertere Jungpflanzen und Steckhölzer (0,20 DM/Stück) kann eine erhebliche Kostenersparnis erzielt werden (Tabellen 44 und 45). Mit verstärkter Nachfrage nach Biobrennstoffen sind solche Effekte zu erwarten.

**Tabelle 44: Kostenentwicklung bei mehrjährigen Energiepflanzen in Anhängigkeit vom Pflanzenpreis, Beispiel: Miscanthus sinensis**

Kosten Biomasse DM/t	Preis Pflanzgut DM/Jungpflanze
229	1,20
209	1,00
189	0,80
169	0,60
149	0,40
129	0,20
119	0,10

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

#### 4.4 Anbaukonzept Energiepflanzen

An Energie- und Industriepflanzen werden in Sachsen auf Stilllegungsflächen (45.280 ha, Stand 2000) hauptsächlich Ölpflanzen (Raps) für Kraft- und Schmierstoffe angebaut (Tabelle 46). Der Anbau lignocellulosehaltiger Energiepflanzen wie Getreideganzpflanzen, schnellwachsende Baumarten und Miscanthus sinensis spielt hingegen eine untergeordnete Rolle.

In diesem Abschnitt wird ein mittelfristiges Anbauszenarium (2010) für diese Pflanzen entwickelt. Dabei werden nachfolgende agrar- und allgemeine wirtschaftspolitische Rahmenbedingungen unterstellt. Auf Grund des Produktivitätsfortschritts bleibt der Flächenbedarf für die landwirtschaftliche Nahrungs- und Futtermittelproduktion mittelfristig konstant. Nach Schätzungen von DAMBROTH, 1986 werden künftig eine bis drei Millionen Hektar Ackerland in Deutschland nicht mehr zur Nahrungsgüterproduktion benötigt.

**Tabelle 45: Schnellwachsende Baumarten im Kurzumtrieb - Kostenanalyse**

Kostenposition	A	B
	DM/ha*a	DM/ha*a
Bestandsgründung		
Bodenvorbereitung einschl. Unkrautbekämpfung	415	415
Steckling		
<b>A Zukauf 0,44 DM/Steckling</b>	<b>4840</b>	
<b>B Eigenerzeugung 0,20 DM/Steckling</b>		<b>2200</b>
Pflanzkosten (maschinell) einschl. Nachpflanzung	1199	770
Zaunbau	1500	1500
<b>Gesamt</b>	<b>7.954</b>	<b>4.743</b>
Jahreskosten		
Bestandsgründung	795	475
Düngung u. Pflege	250	250
Ernte (vollmechanisiert)	780	780
Transport zum Lager (7 DM/t)	84	84
Lagerung (10 DM/t)	120	120
Trocknung Kaltbelüftung (10 DM/t)	120	120
Umwidmung der in Anlage( Bodenfräse)	200	200
<b>Gesamt</b>	<b>2.349</b>	<b>2.029</b>
<b>Gesamt DM/t Hackschnitzel</b>	<b>196</b>	<b>169</b>

Anbaubedingungen: 11000 Pflanzen/ ha\*a, 10 Jahre Nutzungsdauer, 5-jähriger Umtrieb

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

**Tabelle 46: Anbau nachwachsender Rohstoffe auf stillgelegten Flächen im Freistaat Sachsen**

Kulturart	Anbaufläche in ha								Verarbeitungsprodukte
	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	
<b>Flächenstilllegung</b>	<b>15 %</b>	<b>15 %</b>	<b>12 %</b>	<b>10 %</b>	<b>5 %</b>	<b>5 %</b>	<b>10 %</b>	<b>10 %</b>	
00-Raps	5.177	10.187	39.890	31.666	14.455	21.850	50.610	45.280	Biodiesel/ RME (Rapsmethylester), Oleochemie
Eruca-Raps	--	24	--	--	1.704	1.545	2.970	3.140	Schmierstoffe
Sonnenblumen	--	3.167	3.267	875	500	295	360	295	
Öllein	314	614	287	56	91	20	--	43	Grundstoff für Lacke und Linoleum (Chemische Industrie)
Krambe	--	--	--	--	11	--	--	--	Oleochemie
Winterweizen	811	1.910	1.011	--	--	--	--	--	stärkehaltige Produkte, Konditionierungsmittel für die Papier- und Baustoffherstellung
Roggen	--	--	31	--	--	--	--	--	Biogaserzeugung
Silomais	--	--	--	--	--	--	--	9	Versuchszwecke
Mais	--	15	78	13	--	--	--	--	Stärke/ Amylose
Flachs/ Hanf	--	--	10	--	--	6	--	--	technische Fasern
Kamille	41	10	--	--	--	--	--	--	Extrakte
Johanniskraut	--	--	--	--	--	--	4	--	Apothekerwaren
Miscanthus/Pappeln	7	13	24	20	19	44	61	73	Versuchszwecke
<b>Summe</b>	<b>6.350</b>	<b>15.940</b>	<b>44.620</b>	<b>32.630</b>	<b>16.780</b>	<b>23.760</b>	<b>54.005</b>	<b>48.840</b>	

Quelle: BLE, Sächsischer Agrarbericht, 2000

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

In Sachsen ist mittelfristig von einer Stilllegungsfläche in der jetzigen Größenordnung (40 bis 50 Tha) auszugehen. Auf den Energiemärkten ist mit einem Preisanstieg für Erdöl und Erdgas zu rechnen. Die Wettbewerbskraft erneuerbarer Energien nimmt dadurch zu. Weltweite Abkommen zum Klimaschutz fordern rechtsverbindlich Maßnahmen zur Senkung der Kohlendioxidemission. Von diesen Rahmenbedingungen ausgehend, sind Energiepflanzen neben land- und forstwirtschaftlichen Reststoffen ein wichtiger Baustein, überschüssige Agrarflächen wirtschaftlich und umweltfreundlich zu nutzen und die Kohlendioxidemission weiter zu senken.

Tabelle 47 zeigt eine mögliche Anbaustruktur auf. Sie orientiert schwerpunktmäßig auf den Anbau ertragreicher Getreideganzpflanzen, schnellwachsende Baumarten und Miscanthus. Einheimische Gräser und Topinambur finden in geringem Umfang Berücksichtigung. Wie in den vorangegangenen Abschnitten dargestellt, sind für den Anbau dieser Energiepflanzen die meisten landwirtschaftlichen Standorteinheiten und Regionen Sachsens geeignet. Eine stärkere Anbaukonzentration der Energiepflanzen ist jedoch auf den ertragsschwächeren Standorten (D-Standorten, Kippensubstratflächen) als alternative Einkommensquelle der Landwirtschaft vorgesehen. Diluviale Böden in den Qualitätsstufen D1 bis D6 nehmen 26 % der

Landesfläche ein (Tabellen 48 und A17). An Kippensubstratböden sind seit 1994 9.700 ha einer landwirtschaftlichen Nutzung wieder zugeführt worden (GÖTZE, SEIFERT, 2000). Hier könnte sich bei zurückgehenden Marktfruchterlösen der Anbau von Energiepflanzen progressiv entwickeln. Im Konzept sind insgesamt 8.000 ha Anbaufläche vorgesehen mit Schwerpunkt des Anbaus mehrjähriger Energiepflanzen (Tabelle 48).

Für den Anbau schnellwachsender Baumarten und Gräser (Miscanthus) bieten besonders grundwasserbeeinflusste Sandgebiete (z. B. Oberlausitzer Heide- und Teichgebiet, Teile der Muskauer Heide und der Düben-Dahlener Heide) gute Voraussetzungen.

An Sandgebiete ohne Grundwassereinfluss ist Energiegetreide namentlich Winterroggen und Wintertriticale gut angepasst (Tabelle 48; Abbildung A1). Dies sind vor allem die Naturräume der Düben-Dahlener Heide, Elsterwerdaer-Herzberger Niederung und der Königsbrück-Ruhlander Heiden. Die Lößböden Sachsens erstrecken sich als geschlossene Areale über das Lößhügelland, Leipziger Land und Oberlausitzer Gefilde (Abbildung A1).

Insgesamt beträgt ihr Anteil an der Landesfläche 40,6 %, wobei die Lößböden mittlerer Bonität (L04-L07) überwiegen (Tabelle A17).

**Tabelle 47: Anbaukonzept lignocellulosehaltiger Energiepflanzen in Sachsen**

Energiepflanzen	Mittlerer Ertrag <sup>1)</sup> t TM/ha	Energie <sup>1)</sup> MJ/kg luftr.	Anbaukonz. %	ha	t TM/a	GJ/a
Getreideganzpflanzen	10,9	15,0	40,0	5.742	62.592	938.882
schnellwachs. Gräser (Misc. <i>sinensis</i> , 'Goliath')	13,4	14,5	25,0	3.589	48.093	697.343
Schnellwachs. Baumarten (Pappel, Korbweide) Kurzumtrieb	13,4	16,0	25,0	3.589	48.093	769.482
einheimische Futtergräser	6,5	14,5	8,0	1.149	7.465	108
Topinambur (Stängelmasse)	6,0	15,0	2,0	287	1.723	26
<b>Gesamt</b>				<b>14.356 <sup>2)</sup></b>	<b>167.966</b>	<b>2.405.841 = 56.608 t <sup>3)</sup> Heizöläquiv.</b>

<sup>1)</sup> leichte und mittlere D-, L0- und V-Böden, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft  
Rekultivierungsböden für Miscanthus u. schnellwachsende Baumarten

<sup>2)</sup> 2 % des Ackerlandes

<sup>3)</sup> 1t Heizöl = 42,5 GJ

**Tabelle 48: Mittelfristiges Anbaukonzept für Energiepflanzen für unterschiedliche Regionen Sachsens**

Standortliche Räume	Energiepflanzen	Anbaufläche ha	Naturräume
grundwasserbeeinflusste diluviale Böden Kippensubstratböden	Ganzpflanzen (Winterroggen, Wintertriticale) schnellwachsende Baumarten ( <u>Pappel</u> , <u>Weide</u> ) <i>Miscanthus sinensis</i> ( <i>giganteus</i> , „Goliath“)	8.000	Oberlausitzer Heide- und Teichgebiet Teile der Muskauer Heide sowie Teile der Düben-Dahleener Heide
Sandgebiete ohne Grundwassereinfluss	Ganzpflanzen ( <u>Winterroggen</u> , Wintertriticale)	1.400	Teile der Düben-Dahleener Heide Elterwerda-Herzberger Niederung Königsbrück-Ruhlander Heiden
Lößböden	Ganzpflanzen ( <u>Wintertriticale</u> , <u>Winterweizen</u> , Wintergerste) einjährige Gräser schnellwachsende Baumarten ( <u>Pappel</u> , <u>Weide</u> ) <i>Miscanthus sinensis</i> ( <i>giganteus</i> , „Goliath“)	3.600	Leipziger Land Nordsächsisches Platten- und Hügelland Mittelsächsisches und Mulde-Lößhügelland Oberlausitzer Gefilde Bergland, Östliche Oberlausitz
Verwitterungsstandorte	Ganzpflanzen (Wintertriticale) schnellwachsende Baumarten	1.550	Bergland Mittelgebirge

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

Auf diesen Standorten konkurriert der Energiepflanzenanbau mit einer sehr leistungsstarken Marktfruchtproduktion. Die Böden sichern allerdings auch für alle Energiepflanzen beste Wachstumsbedingungen, so dass mittelfristig ein Anbauumfang von ca. 3.600 ha Energiepflanzenanbau angenommen wird (Tabellen 47 und 48). Auf den Kippensubstratböden sind nach den Versuchserfahrungen vor allem *Miscanthus sinensis* und schnellwachsende Baumarten (Pappeln) zu etablieren. Im Bergland (V-Standorte) wiederum können Ganzpflanzengetreide (Wintertriticale) und in gewissem Umfang schnellwachsende Baumarten, namentlich Pappeln und Weiden angebaut werden (Tabelle 48).

Im Ergebnis dieser Anbaustruktur und der aus Tabelle 41 für die sächsischen Standorte abgeleiteten mittleren Erträge der verschiedenen Energiepflanzen kann bei einem Anbauumfang von insgesamt 14.356 ha mit einem jährlichen

Biomasseaufkommen von 168.000 t Trockenmasse gerechnet werden. Mit diesem Biomasseaufkommen sind jährlich ca. 57.000 t Heizöl energieäquivalent zu ersetzen (Tabelle 47).

Gemeinsam mit dem Aufkommen an land- und forstwirtschaftlichen Reststoffen sowie Industrie- und Althölzern (TWISTEL, RÖHRICHT, 2000) verkörpert die Biomasse aus dem Energiepflanzenanbau ein energetisches Potenzial von 26,4 PJ/a. Es entspricht ca. 4 % des jährlichen Primärenergieverbrauches in Sachsen. Käme dieses Potenzial vollständig zum Tragen, ließe sich die CO<sub>2</sub>-Emission aus dem Primärenergieverbrauch in Sachsen um 1,5 Mio. t vermindern (Tabelle 49).

Das mittelfristige Szenarium bringt diesbezüglich zum Ausdruck, dass zunächst das abbrandtechnisch gut beherrschbare und preislich günstige Holz (Altholz, Industrierestholz, Waldrestholz) stärker als Brennstoff genutzt wird.

Tabelle 49: Potenzial an ausgewählten Reststoffen und Energiepflanzen zur energetischen Nutzung im Freistaat Sachsen

	nachhaltiges techn. Potenzial		mittelfristiges Szenarium Nutzungsgrad des techn. Potenzials			Netto-CO <sub>2</sub> -Minderung <sup>2)</sup> techn. Potenzial	
	t/a	PJ/a	%	t/a	PJ/a	gesamt t CO <sub>2</sub> /a	mittelfristig t CO <sub>2</sub> /a
Getreidestroh	701.730	10,00	30	210.519	3,00	584.000	175.200
Rapsstroh	161.000	2,30	40	644.000	0,92	134.320	53.728
Biogas <sup>4)</sup>	209.055.978	4,18	80	167.244.782	3,344	244.112	195.289,6
Waldrestholz ab Derbholz > 7 cm	290.000	4,64	60	174.000	2,784	270.976	162.585,6
Industrierestholz	90.000	1,44	80	72.000	1,152	84.096	67.276,8
Altholz	100.000	1,60	80	80.000	1,28	93.440	74.752
Energiepflanzen <sup>1)</sup>	167.965	2,40	60	100.779	1,44	140.160	84.096
		<b>26,56</b> = 4,12% PJ von 637,8 PJ PEV <sup>3)</sup>			<b>13,92</b> = 2,16% PJ von 637,8 PJ PEV	<b>1.551.104</b> 3,93 % Gesamt- CO <sub>2</sub> - Emission v. 1999 (39,5 Mt/a)	<b>812.928</b> 2,06 % Gesamt- CO <sub>2</sub> - Emission v. 1999 (39,5 Mt/a)

<sup>1)</sup> Anbau auf 2,0 % AL= 14.365 ha (Ganzpflanzen, schnellwachsende Baumarten, Miscanthus, einjährige Energiegräser)

<sup>2)</sup> mittlere CO<sub>2</sub>- Minderung gegenüber Erdgas, Heizöl, Braunkohle = 58.400 t CO<sub>2</sub>/PJ

<sup>3)</sup> PEV= Primärenergieverbrauch

<sup>4)</sup> Angabe des Potenzials in m<sup>3</sup>

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

Im Rahmen des Energiepflanzenanbaues werden sich in der ersten Phase vorrangig Kurzumtriebsplantagen mit schnellwachsenden Baumarten etablieren. Bei der Verbrennung von Stroh und Getreideganzpflanzen sowie Miscanthus wird zunächst auf den Einsatz in Pilotanlagen orientiert mit dem Ziel, Energieumwandlungstechniken zu entwickeln, die mit den im Vergleich zum Holz schwierigeren halmgutartigen Brennstoffen einen stabilen emissionsarmen Abbrand sichern.

Insgesamt sind die aufgezeigten Biomassepotenziale vorrangig in dezentralen Anlagen kostengünstig einzusetzen.

## 5 Zusammenfassung/Schlussfolgerungen

1. Zur Gewinnung lignocellulosehaltiger Festbrennstoffe sind verschiedene Kulturpflanzen geeignet. Monokultureffekten wird dadurch entgegengewirkt.
2. Die Gräserart *Miscanthus sinensis* und schnellwachsende Baumarten (Populus-

Klone und Weiden) sind mehrjährig nutzbare Energiepflanzen, die ab drittem Standjahr standortabhängig ein Ertragsniveau von 10 bis 18 t TM/ha erreichen.

3. Für den Anbau dieser ertragsstarken Energiepflanzen kommt eine breite Palette von Bodenarten in Frage. Hohe Erträge werden auf sandigen Lehmen und anlehmigen Sanden nachgewiesen. Prädestiniert sind weiterhin Lößböden. Mit standortbezogen guten Erträgen stellen diese mehrjährigen Energiepflanzen auch eine Anbaualternative auf rekultivierten Kippenböden dar.
4. Im mehrjährigen Ertragsvergleich verschiedener Miscanthusarten und -sorten schneiden *Miscanthus x giganteus* und *Miscanthus sinensis* „Goliath“ am besten ab. Die Erträge von *Miscanthus sachariflorus* und *Miscanthus japonicus* liegen deutlich niedriger (40 bis 60 % des Ertragsniveaus von *Miscanthus x giganteus*).
5. Bei den schnellwachsenden Baumarten sind die *Populus*-Klone mit guter Anbau-eignung für den Kurzumtrieb hervorzuheben. Sie erzielen bereits bei zweijähriger

- Rotation hohe Erträge und sind den Espen und Weiden deutlich überlegen. Für längere Umtriebszeiten (ab 3-jährigem Ernterhythmus) erweisen sich auch Weidenklone (*Salix viminalis*) als ertragsstark.
6. Miscanthus und schnellwachsende Baumarten erlauben eine extensive Bestandesführung. Hohe Erträge werden mit einem niedrigen Düngeraufwand erreicht. Der Einsatz von Pflanzenschutzmaßnahmen beschränkt sich nur auf die Etablierungsphase der Bestände.
  7. Nährstoffbilanzen und mehrjährige Ergebnisse zur Veränderung bodenchemischer Parameter belegen, dass bei Miscanthus und schnellwachsenden Baumarten ein niedriges NPK-Düngungsniveau ausgeglichene Bilanzen sichert und die Nährstoffgehalte im Boden auf einem mittleren Niveau verbleiben.
  8. Das Ertragsniveau von Getreideganzpflanzen (Wintertriticale) bewegt sich im Mittel zwischen 8 bis 15 t TM/ha. Die angegebene Ertragsspanne charakterisiert leichte Sande bis tiefgründige Lehme als Anbaustandorte. Die energetische Nutzungsrichtung dieser Kulturarten erlaubt eine niedrigere Intensität in der Düngung und im Pflanzenschutz (Wegfall einer Fungizidbehandlung bei Getreide) als zur Nahrungs- und Futterproduktion. Allerdings sind dann die N- und K-Salden meist negativ. Sie müssen in der Fruchtfolge ausgeglichen werden.
  9. Futtergräser zur Festbrennstoffbereitstellung erreichen bei ein- bis zweischnittiger Nutzung jährlich 6 bis 10 t TM/ha auf D- und Lößböden. Der Schnitttermin sollte in einem möglichst späten Entwicklungsstadium (nach der Vollblüte) der Gräser erfolgen, um eine hohe Trockensubstanzanreicherung zu gewährleisten.
  10. Für die Höhe und Sicherheit des Ertrages ist der erste Schnitt maßgebend. Der zweite Aufwuchs weist meist witterungsbedingte stärkere Ertragsrisiken auf. Die N-Düngung ist je Schnitt auf 60 bis 80 kg zu begrenzen.
  11. Der mehrjährige Anbau (drei Nutzungsjahre) von Topinambur stellt eine sehr extensive Form der Gewinnung von lignocellulosehaltiger Biomasse (Topinamburstängel) dar. Der Ertrag an Stängeltrockenmasse ist jedoch vergleichsweise niedrig (5 bis 6 t TM/ha). Für den Anbau kommen leichte Böden in Frage. Mit der Doppelnutzung (Knolle und Stängel) sind hohe N- und K-Entzüge mit der geernteten Trockenmasse verbunden.
  12. Bezüglich der Eignung der Energiepflanzen als Festbrennstoff konnte festgestellt werden, dass der Energiegehalt der wasserfreien halmgut- und holzartigen Biomasse annähernd gleich ist (16,8 bis 17,4 MJ/kg). Im Bezug auf emissions- und abbrandbelastende Mineralstoffe wie Stickstoff, Kalium, Chlor und Schwefel ergibt sich entsprechend abnehmender Mineralstoffkonzentration folgende Rangfolge: Futtergräser→Getreideganzpflanze→Miscanthus→Topinamburstängel→Holz. Ausgereiftes, trockenes Holz besitzt gute Abbrandeigenschaften. Die hohen Gehalte an Mineralstoffen (Kalium, Chlor) und Staub der halmgutartigen Brennstoffe verlangen spezielle Anpassungen der Feuerungsanlagen, um einen emissionsarmen Abbrand zu sichern.
  13. Zur Verminderung der Mineralstoffkonzentration in der Biomasse der Energiepflanzen zeichnen sich aus den Versuchen folgende anbautechnische Maßnahmen ab:
    - Reduktion des Düngeraufwandes,
    - keine direkte Kalidüngung zu einjährigen Energiepflanzen,
    - Einsatz von sulfat- statt chlorhaltigen K-Düngern bei mehrjährigen Energiepflanzen,
    - Ernte von Miscanthus, Topinambur und schnellwachsenden Baumarten erst ausgangs des Winters,
    - Ernte von Ganzpflanzengetreide mit anschließender Feldliegezeit im Schwad,
    - Wahl einer längeren Umtriebszeit bei schnellwachsenden Baumarten.
  14. Die in den Versuchen ermittelten Entzüge an Haupt- und Mikronährstoffen der Energiepflanzen bilden eine repräsentative Grundlage für standortspezifische Richtwerte zur Nährstoffbilanzierung und für Düngungsempfehlungen.
  15. Eine Literaturanalyse und kalkulatorische Berechnungen der Bereitstellungskosten führen zu der Aussage, dass Brennstoffe (Ballen, Hackschnitzel) aus holz- und halmgutartigen Reststoffen für etwa 90 DM/t TM bereitgestellt werden können. Auf der Basis von ein- und mehrjährigen Energiepflanzen hergestellte Festbrennstoffe (Ballen, Hackschnitzel) verursachen Kosten von durchschnittlich 170 DM/t TM. Verdichtet man die Biomasse zu Pellets oder Briketts, entstehen zusätzliche Mehrkosten von ca. 34 bis 48 % im Vergleich zu Ballen bzw. Hackschnitzeln. Die auf 47 Literaturangaben beruhende Kostenanalyse zeigt

- aber auch eine erhebliche Schwankungsbreite in Abhängigkeit von dem Pflanzgutpreis, der Intensität des Anbaus, der Transportentfernung, Art der Lagerung und Mechanisierung des Ernteverfahrens usw. auf. Hier leiten sich Möglichkeiten einer weiteren Kostenreduktion ab.
16. Im Vergleich zum Heizöl sind Brennstoffe aus Getreidestroh und Waldrestholz gemessen an der aktuellen Preissituation kostengünstiger mit 0,26 DM/kg Rohöläquivalent. Die Kostengleichheit für Brennstoffe (Ballen, Hackschnitzel) aus Energiepflanzen liegt bei einem Heizölpreis von etwa 0,50 DM/l.
  17. Auf der Grundlage der anbautechnischen Versuche wird nach den Kriterien Ertragsniveau, Standorteignung, Beherrschung des Produktionsverfahrens, Nutzungsgrad konventioneller Ernteverfahren, Flächenbindung, Wirtschaftlichkeit, Qualität der Biomasse als Brennstoff ein mittelfristiges Anbaukonzept für ein- und mehrjährige Energiepflanzen in Sachsen vorgeschlagen. Es beinhaltet insgesamt einen Anbauumfang von 14.356 ha ( $\approx$  2 % des Ackerlandes). Der Schwerpunkt liegt im Anbau von Getreideganzpflanzen (40 %). Miscanthus und schnellwachsende Baumarten werden zu jeweils 25 % diese Fläche in Anspruch nehmen. Futtergräser sollten auf 8 % und Topinambur auf 6 % der Fläche angebaut werden. Standort- und regional bedingt, ist diese durchschnittliche Anbaustruktur weiter zu untersetzen.
  18. Im Ergebnis der Umsetzung dieses Anbaukonzeptes würden etwa 168.000 t TM/a über Energiepflanzen bereitgestellt werden können. Das entspricht einem Energieertrag von 56.600 t Heizöl/a, das sind 52 % des energetischen Potenzials des gesamten Waldrestholzaufkommens (Derbholz  $\geq$  7 cm) in Sachsen. Vom verstärkten Energiepflanzenanbau (insbesondere der schnellwachsenden Baumarten und Gräser) geht ein beachtliches CO<sub>2</sub>-Minderungspotenzial aus. Der Vergleich zeigt die großen Möglichkeiten des Energiepflanzenanbaus bei der weiteren Einführung regenerativer Energieträger in Sachsen auf.
  19. Nach einer Gesamtbilanz können über das technische Potenzial an Reststoffen (Stroh, Restholz des Waldes und der Holzverarbeitenden Industrie, Altholz) und einen Energiepflanzenanbau von 14.356 ha ca. 4 % des Primärenergieverbrauches in Sachsen nachhaltig abgesichert werden.

## 6 Literatur

- ASCHERFELD, S., 1992: Holzhackschnitzel als Papierrohstoff: Eine Alternative zur Getreideproduktion. Agrarmarktstudien; 37
- BERGMANN, W., 1993: Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. 3., erw. Aufl., Gustav Fischer Verlag, Jena
- BOELCKE, B., 2000: Ertragsniveau und Nährstoffentzüge langjährig genutzter Bestände von *Miscanthus x giganteus* im Nordosten Deutschlands. - In: Miscanthus – vom Anbau bis zur Verwertung: Tagung 23./24. Februar 2000 in Bonn. Wehle, Witterschlick/Bonn, S. 38-42
- BOELCKE, B.; BEUCH, S.; ZACHARIAS, S., 1998: Effects of a *Miscanthus* - cultivation on the soil fertility and the soil water reservoir. - In: Biomass for Energy and Industry. C.A.R.M.E.N., Rimpf/Würzburg, S. 911-913
- DAMBROTH, M., 1986: Der Industripflanzenanbau, eine Produktionsalternative zur Lösung der Marktprobleme: Nicht immer an Ethanol denken - das Ziel kann viel weiter gesteckt werden. Badische Bauernzeitung 39 (37), S. 27-32
- DAMBROTH, M., 1993: Biomasse als Energiequelle - Züchtung, Anbau und Ertrag. - In: Flaig, H.; Mohr, H. (Hrsg.) Energie aus Biomasse – eine Chance für die Landwirtschaft. -Springer Verlag, Berlin; Heidelberg; New York, S. 51-66
- DEUTER, M.; ABRAHAM, J., 2000: Wissensstand in der *Miscanthus*-Züchtung. - In: Miscanthus – vom Anbau bis zur Verwertung: Tagung 23./24. Februar 2000 in Bonn. Wehle, Witterschlick/Bonn, S. 8-14
- DEIMLING, S. et al., 2000: Leitfaden Bioenergie: Planung, Betrieb und Wirtschaftlichkeit von Bioenergieanlagen. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, Gülzow
- DIEPENBROCK, W. et al., 1995: Energiebilanz im Ackerbaubetrieb. KTBL-Arbeitspapier; 211
- DIMITRI, L., 1988: Bewirtschaftung schnellwachsender Baumarten im Kurzumtrieb zur Energiegewinnung. Schriften des Forschungsinstitut für schnellwachsende Baumarten Hann. Münden; Bd. 4

- DIMITRI, L.; SCHULZKE, R., 1994: Teilprojekt Züchterische Maßnahmen zur Steigerung und Sicherung der Produktion und Anbautechnik der Biomasseproduktion in forstlichen Schnellwuchsplantagen. - In: Modellvorhaben „Steigerung und Sicherung der Produktion durch den Anbau schnellwachsender Baumarten auf landwirtschaftlichen Flächen und Bewirtschaftung in kürzeren Umtriebszeiten“ Verbundforschungsprojekt „Oldenburg“ Abschlussbericht 1988–1993. Forschungsinstitut für schnellwachsende Baumarten Hann. Münden
- DÖLLER, W., 1996: Alternative Feldfrüchte. Deutsche Zuckerrübenzeitung (5), S. 13
- EL BASSAM, N., 1993: Möglichkeiten und Grenzen der Bereitstellung von Energie aus Biomasse. Landbauforschung Völkenrode (2-3), S. 101-111
- EL BASSAM, N.; GREEF, J. M., 2000: 10-jährige Anbauversuche zu Miscanthus in Deutschland und der EU. - In: Miscanthus – vom Anbau bis zur Verwertung: Tagung 23./24. Februar 2000 in Bonn. Wehle, Witterschlick/Bonn, S. 32-37
- EL BASSAM, N.; JACKS, I., 1990: Miscanthus sinensis als Energiepflanze und Celluloselieferant. - In: Miscanthus sinensis. KTBL-Arbeitspapier; 158, S.14-25
- GERSTENKORN, H., 1992: Kosten-Nutzen-Untersuchung „Anbau und thermische Verwertung von Biomasse“: Zwischenbericht; Arbeitsbericht 1/92. Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig-Völkenrode
- GÖTZE, H.; SEIFERT, K., [Bearb.] 2000: Statusbericht zur Rekultivierung im Freistaat Sachsen 1999/2000. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Dresden
- GREEF, J.M.; DIEPENBROCK, W., 1993: Modellrechnungen zum CO<sub>2</sub>-Bindungsvermögen landwirtschaftlicher Kulturpflanzen. Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften; Bd. 6, S. 121-124
- HARTMANN, H., 1995: Biomasse im Vergleich zu anderen Verfahren der erneuerbaren Energienutzung – eine Systemanalyse. - In: 4. Symposium Biobrennstoffe und umweltfreundliche Heizanlagen vom 12./13. September 1995. OTTI, Regensburg, S. 19-29
- HARTMANN, H., 1996: Bereitstellung von Biomasse. - In: Energieversorgung und Landwirtschaft, Nutzung erneuerbarer Energien. KTBL-Arbeitspapier; 235, S. 43-56
- HARTMANN, H., 2001: Brennstoffzusammensetzung und -eigenschaften. - In: Kaltschmitt, M.; Hartmann, H., (Hrsg.) Energie aus Biomasse. Springer Verlag, Berlin; Heidelberg; New York, S. 248-272
- HARTMANN, H.; BÖHM, T.; MAIER, L., 2000: Naturbelassene biogene Festbrennstoffe: Umweltrelevante Eigenschaften und Einflussmöglichkeiten. Abschlussbericht. Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen, München. Umwelt & Entwicklung; Bd. 154
- HARTMANN, H.; STREHLER, A., 1995: Die Stellung der Biomasse im Vergleich zu anderen erneuerbaren Energieträgern aus ökologischer, ökonomischer und technischer Sicht. Schriftenreihe „Nachwachsende Rohstoffe“; Bd. 3
- HOFMANN, M., 1995: Schnellwachsende Baumarten für den Kurztrieb – Aspekte der Pflanzenzüchtung und Ergebnisse zur Kloneignung auf verschiedenen Standorten. - In: Tagungsband Statusseminar Schnellwachsende Baumarten am 23./24.10.1995 in Kassel. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, Gülzow, S. 17-22
- HOFMANN, M., 1998: Bewirtschaftung schnellwachsende Baumarten auf landwirtschaftlichen Versuchsflächen im Kurztrieb. Forschungsinstitut für schnellwachsende Baumarten Hann. Münden; Merkblatt 11
- HOTZ, A.; KOLB, W.; KUHN, W., 1993: Chinaschilf wächst nicht in den Himmel. DLG-Mitteilungen (1), S. 50-53
- JACKS-STERRENBURG, I., 1995: Untersuchungen zur Ertragsphysiologie von Miscanthus sinensis Anderss. hinsichtlich einer Verwendung als Energiepflanze. Gießen, Univ., Diss.
- KAHLE, P., 2000: Auswirkungen eines mehrjährigen Miscanthus - Anbaus auf ausgewählte Bodeneigenschaften. - In: Miscanthus - vom Anbau bis zur Verwertung: Tagung 23./24. Februar 2000 in Bonn. Wehle, Witterschlick/Bonn, S. 43-47

- KALTSCHMITT, M. et al., 1994: Energetische Nutzung von Biomasse - Potentiale, Technik, Kosten. KTBL-Arbeitspapier; 199
- KALTSCHMITT, M.; BECHER, S., 1994: Biomassenutzung in Deutschland - Stand und Perspektiven. Schriftenreihe „Nachwachsende Rohstoffe“; Bd. 2, S. 9-25
- KALTSCHMITT, M.; REINHARDT, G. A. (Hrsg.) 1997: Nachwachsende Energieträger. Viehweg und Sohn, Braunschweig; Wiesbaden
- KALTSCHMITT, M.; WIESE, A. (Hrsg.) 1993: Erneuerbare Energieträger in Deutschland: Potentiale und Kosten. Springer-Verlag, Berlin; Heidelberg; New York
- KATALYMOW, M. W., 1969: Mikronährstoffe/ Mikronährstoffdüngung. Landwirtschaftsverlag, Berlin
- Klimatologische Grundlagen für die Landes- und Regionalplanung, 1997: Materialien zur Landesentwicklung (1), Beilage Karte 1, Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landesentwicklung, Dresden
- KOLLOCH, H.-P., 1990: Ökonomische Untersuchungen zur Ernte und zum Einsatz von Stroh und Schwachholz als Energieträger in Großfeuerungsanlagen (1 MW bis 10 MW). München, TU, Diss.
- KÜPPERS, J.-G., 1995: Ökonomische Aspekte der Kurzumtriebswirtschaft. - In: Tagungsband Statusseminar Schnellwachsende Baumarten am 13./24.10.1995 in Kassel. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, Gülzow, S. 83-93
- LEWANDOWSKI, I.; CLIFTON-BROWN, J. C., 2000: Einflüsse auf die Beschaffenheit der Biomasse von Miscanthus. - In: Miscanthus – vom Anbau bis zur Verwertung : Tagung 23./24. Februar 2000 in Bonn. Wehle, Witterschlick/Bonn, S. 53-57
- LEWANDOWSKI, I.; HARTMANN, H., 2000[a]: Anfall und Produktion halmgutartiger Biomasse. - In: Leitfaden Bioenergie: Planung, Betrieb und Wirtschaftlichkeit von Bioenergieanlagen. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, Gülzow, S. 59-64
- LEWANDOWSKI, I.; HARTMANN, H., 2000[b]: Energieträgerrelevante Merkmale biogener Festbrennstoffe. - In: Leitfaden Bioenergie: Planung, Betrieb und Wirtschaftlichkeit von Bioenergieanlagen. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, Gülzow, S. 78-79
- MALETTI, R., 1997: Energetische Nutzung nachwachsender Rohstoffe. 3. Internationale Fachtagung, TU Bergakademie Freiberg [Vortrag]
- MAKESCHIN, F.; REHFUESS, K.E.; JUG, A., 1994.: Modellvorhaben „Steigerung der Biomasseproduktion durch den Anbau schnellwachsender Baumarten auf landwirtschaftlichen Flächen und deren Bewirtschaftung in kürzeren Umtriebszeiten“ Teilprojekt Ernährungs- und Standortkunde. - In: Abschlussbericht 1988 – 1993 „Kurzumtrieb schnellwachsender Baumarten“. Forschungsinstitut für Schnellwachsende Baumarten Hann. Münden
- MENGEL, K., 1984: Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze. 6., verb. Aufl., Gustav Fischer Verlag, Jena
- METZ, R.; WILKE, B.-M., 1992: Dekontamination von schwermetallbelasteten Rieselfeldböden durch Anbau von Energiepflanzen am Beispiel des Elementes Cadmium. - In: Ökologische Aspekte extensiver Landwirtschaft: Kurzfassung der Vorträge, S. 208. VDLUFA-Verlag, Darmstadt
- MÜNZER, W., 1993: Mehrjährige Ergebnisse zum Anbau von Chinaschilf. - In: Tagungsband zum Fachgespräch Miscanthus vom 22.04.1993. C.A.R.M.E.N., Rimpf/Würzburg, S. 53-60
- OBERNBERGER, J., 1998: Nutzung fester Biomasse in Verbrennungsanlagen unter besonderer Berücksichtigung des Verhaltens aschebildender Elemente. Schriftenreihe thermischer Biomassenutzung; Bd. 1
- ORTMAIER, E.; LEUCHTWEIS, Chr., 1998: Ökonomische Aspekte der Biomassenutzung. - In: Biomasse - nachwachsende Energie. Kontakt und Studium; Bd. 539, S. 131-174
- ORTMAIER, E., 2001: Wirtschaftliche Potenziale von Biomasseheizwerken. - In: Zukunftsfähige Strategien zur Ressourcenschonung : 9. Symposium „Im Kreislauf der Natur“. Würzburg, 2./3. Juli 2001. C.A.R.M.E.N., Straubing, S. 39-54

- OSTER, W.; SCHWEIGER, P., 1992: Ergebnisse 3-jähriger Anbauversuche mit Schilfpflanzen. Informationen für die Pflanzenproduktion (3), Landesanstalt für Pflanzenbau, Forchheim
- RIEHL, G. et al., 1998: Extensivierung von Wirtschaftsgrünland in Sachsen. - In: Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Dresden (3), S. 95-101
- RÖHRICHT, CHR., 1998: Potenzial an land- und forstwirtschaftlicher Biomasse zur stofflich/energetischen Nutzung im Freistaat Sachsen. - In: Stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe: 5. Internationale Tagung 28./29.10.1998 in Chemnitz. Institut für allgemeinen Maschinenbau und Kunststofftechnik, Chemnitz, S. 23-28
- RÖHRICHT, CHR. et al., 2000[a]: Anbauempfehlungen Topinambur (*Helianthus tuberosus*) als Industrierohstoff: Managementunterlage. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Dresden
- RÖHRICHT, CHR. et al., 2000[b]: Untersuchungen zur Anbaueignung und Ertragsfähigkeit von *Miscanthus sinensis* in Sachsen. - In: *Miscanthus* – vom Anbau bis zur Verwertung: Tagung 23./24. Februar 2000 in Bonn. Wehle, Witterschlick/Bonn, S. 92-96
- RÖHRICHT, CHR.; REXROTH, E.; BEESE, G.; LANGE, I.; KRÜGER, CHR., 1994: Produktionsverfahren Dinkel. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Dresden [Internes Arbeitsmaterial]
- SCHOLZ, V. et al., 1997: Energie aus Biomasse - Stand und Möglichkeiten der energetischen Nutzung von Biomasse im Land Brandenburg. Arbeitsgruppe Bioenergie, Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten des Landes Brandenburg, Brandenburg
- SCHOLZ, V.; PAGEL, R.; ELLERBROCK, R., 1998: Comparative studies of the ecological production of annual and perennial energy crops. - In: Biomass for Energy and Industry. C.A.R.M.E.N., Rimpf/Würzburg, S. 988-990
- SCHOLZ, V. et al., 1999: Umwelt- und technologiegerechter Anbau von Energiepflanzen. Forschungsbericht des ATB; (1), Institut für Agrartechnik Bornim, Potsdam-Bornim
- SCHWARZ, K.-U., 2000: *Miscanthus* - Verwertung in Dänemark. - In: *Miscanthus* – vom Anbau bis zur Verwertung: Tagung 23./24. Februar 2000 in Bonn. Wehle, Witterschlick/ Bonn, S. 84-88
- SCHWEIGER, P.; OSTER, W., 1991: Nachwachsende Rohstoffe: Ergebnisse der Anbauversuche mit *Miscanthus* und *Arundo donax*. Informationen für die Pflanzenproduktion (7), Landesanstalt für Pflanzenbau, Forchheim
- SCHWEIGER, P.; STOLZENBURG, K., 1994: Anbau von Chinaschilf zur stofflichen und energetischen Verwertung. Informationen für die Pflanzenproduktion (5), Landesanstalt für Pflanzenbau, Forchheim
- STREHLER, A.; BLUDAU, D.; TUROWSKI, P., 1992: Verfahrensrelevante Untersuchungen zu Bereitstellung und Nutzung jährlich erntbarer Biomasse als Festbrennstoff unter besonderer Berücksichtigung technischer, wirtschaftlicher und umweltbezogener Aspekte. Gelbes Heft; 44. Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, München
- TWISTEL, G.; RÖHRICHT, CHR., 2000: Erfassung des Potenzials an land- und forstwirtschaftlicher Biomasse zur stofflich/energetischen Nutzung für unterschiedliche Verwaltungseinheiten des Freistaates Sachsen. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft (2), Dresden
- WELLIE-STEPHAN, O., 1998: Development of Grasses Adapted for Production of Bioenergy. - In: Biomass for Energy and Industry. C.A.R.M.E.N., Rimpf/Würzburg, S. 1050-1051
- WARBURG, O., 1926: Die Pflanzenwelt. 3. Bd., Bibliographisches Institut, Leipzig
- WINTZER, D. et al., 1993: Technikfolgenabschätzung zum Thema Nachwachsende Rohstoffe. Schriftenreihe des BMELF, Reihe A: Angewandte Wissenschaft, Sonderheft
- WINTZER, D. et al., 1994: Modellversuch „Wärme- und Stromversorgung aus nachwachsenden Rohstoffen“. Auswertung von 30 Machbarkeitsstudien. Schriftenreihe „Nachwachsende Rohstoffe“; Bd. 1

## Anhangsverzeichnis

- Tabelle A1: Witterungsdaten zum Versuchsstandort Kalkreuth
- Tabelle A2: Witterungsdaten zum Versuchsstandort Spröda
- Tabelle A3: Witterungsdaten zum Versuchsstandort Methau
- Tabelle A4: Witterungsdaten zum Versuchsstandort Zwenkau
- Tabelle A5: Witterungsdaten zum Versuchsstandort Roda
- Tabelle A6: NO<sub>3</sub>-Gehalte in der Bodenschicht 0 bis 60 cm nach der Ernte von *Miscanthus x giganteus* in Abhängigkeit von N-Düngung und Jahreseinfluss
- Tabelle A7: Nährstoffgehalte und -entzüge an Mineralstoffen sowie Rohaschegehalte im Miscanthuserntegut, N-Steigerungsversuch Methau 1992 bis 2000
- Tabelle A8: Nährstoffgehalte und -entzüge an Mineralstoffen sowie Rohaschegehalte im Miscanthuserntegut, N-Steigerungsversuch Spröda 1992 bis 1998
- Tabelle A9: Mikronährstoff- und Schwermetallgehalte im Stroh von *Miscanthus x giganteus*, Methau 1992 bis 2000
- Tabelle A10: Mikronährstoff- und Schwermetallgehalte im Stroh von *Miscanthus x giganteus*, Spröda 1992 bis 1998
- Tabelle A11: Richtwerte zum Nährstoffgehalt und Ertragsniveau sowie zur Düngung von *Miscanthus*
- Tabelle A12: Charakteristik der Halme und Blätter verschiedener *Miscanthus*arten
- Tabelle A13: Entwicklung der Triebzahl und Wuchshöhe von verschiedenen *Miscanthus*-Varietäten (Kippenrekultivierungsstandort Zwenkau)
- Tabelle A14: Entwicklung der Triebzahl und Wuchshöhe von verschiedenen *Miscanthus*-Varietäten ab 2. Standjahr (Versuchsstandort Kalkreuth)
- Tabelle A15: Wachstumsparameter und Erträge schnellwachsender Baumarten nach zwei Kurzumtriebsrotationen, Großversuch am Standort Kalkreuth
- Tabelle A16: Bereitstellungskosten im Anbau nachwachsender Rohstoffe, Zusammenstellung nach Literaturdaten und eigenen Berechnungen
- Tabelle A17: Anteile der natürlichen Standorteinheiten an der Landesfläche des Freistaates Sachsen
- 
- Abbildung A1: Naturräumliche Gliederung Sachsens
- Abbildung A2.1: Temperaturverlauf in den Monaten Juni bis August 1999, Spröda
- Abbildung A2.2: Niederschlagsverteilung in den Monaten Juni bis August 1999, Spröda

Tabelle A1: Witterungsdaten zum Versuchsstandort Kalkreuth

Niederschlagssumme in mm							
Monat	1994	1995	1996	1997	1998	1999	langj. Mittel <sup>1)</sup>
Januar	49,3	24,0	0,8	9,0	28,0	25,8	45,7
Februar	22,0	32,0	18,2	34,8	19,4	35,6	38,6
März	104,1	58,1	21,6	27,7	51,5	23,9	41,4
April	83,5	53,5	24,0	36,9	34,6	<sup>1)</sup>	52,8
Mai	70,5	61,9	37,5	57,8	14,0		63,4
Juni	22,8	16,2	47,8	31,7	66,8		74,5
Juli	25,4	34,1	138,7	123,9	61,2		68,7
August	137,1	90,7	111,3	24,3	93,0		76,0
September	77,1	93,9	40,8	33,8	76,9		51,3
Oktober	28,6	11,5	41,6	65,0	58,5		45,1
November	32,4	39,1	32,0	28,0	45,2		51,5
Dezember	38,4	31,6	31,2	50,0	17,0		57,7
<b>Jahressumme</b>	<b>691,2</b>	<b>546,6</b>	<b>545,5</b>	<b>522,9</b>	<b>566,1</b>		<b>666,7</b>
<b>Summe Mai bis Sept.</b>	<b>332,9</b>	<b>296,8</b>	<b>376,1</b>	<b>271,5</b>	<b>311,9</b>		<b>333,9</b>
Durchschnittstemperatur in ° C							
Monat	1994	1995	1996	1997	1998	1999	langj. Mittel <sup>1)</sup>
Januar	3,8	0,1	-4,1	-3,4	2,4	2,2	-0,7
Februar	-0,4	5,4	-2,8	4,7	4,9	0,2	0,4
März	6,8	4,0	1,0	5,6	4,9	5,4	3,9
April	8,3	8,7	8,7	6,1	10,3	<sup>1)</sup>	8,1
Mai	12,9	12,7	12,1	13,7	14,9		13,1
Juni	16,6	15,1	16,1	16,8	18,2		16,5
Juli	22,1	21,2	16,5	18,1	18,2		18,0
August	18,8	19,3	18,1	20,5	17,6		17,7
September	14,4	14,1	11,4	14,4	14,1		14,2
Oktober	8,0	11,9	10,3	7,8	9,6		9,8
November	7,2	2,6	5,4	3,9	2,0		4,4
Dezember	3,8	-1,9	-3,9	2,4	1,0		1,0
<b>Jahresdurchschnitt</b>	<b>10,2</b>	<b>9,4</b>	<b>7,4</b>	<b>9,2</b>	<b>9,8</b>		<b>8,1</b>
<b>Ø Mai bis Sept.</b>	<b>17,0</b>	<b>16,5</b>	<b>14,8</b>	<b>16,7</b>	<b>16,6</b>		<b>15,9</b>

<sup>1)</sup> Im April 1999 wurde die Wetterstation nach Forchheim umgesetzt

<sup>2)</sup> langj. Mittel von Dresden-Klotzsche

Tabelle A2: Witterungsdaten zum Versuchsstandort Spröda

Niederschlagssumme in mm										
Monat	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	langj. Mittel
Januar	30,5	55,0	40,0	22,5	0,3	3,0	19,5	10,0	20,9	37
Februar	28,5	26,5	15,5	30,2	4,6	26,0	7,5	19,9	28,9	32
März	83,0	13,0	93,5	25,0	6,0	18,0	40,5	34,5	48,5	36
April	21,5	22,5	80,5	67,7	15,4	17,0	38,0	31,0	6,9	44
Mai	20,5	106,5	99,5	31,8	51,9	51,0	18,5	56,5	56,3	53
Juni	56,0	69,0	20,5	56,9	18,3	31,0	62,0	63,5	22,1	65
Juli	104,0	127,5	47,0	49,4	107,1	107,0	53,0	62,0	42,5	55
August	24,5	28,5	156,0	43,1	51,4	23,0	24,5	42,0	48,6	60
September	43,5	70,5	69,5	76,0	31,7	20,0	75,6	16,0	42,8	41
Oktober	60,0	6,0	27,0	3,3	28,6	33,0	76,5	22,5	33,3	37
November	35,5	32,0	41,5	28,1	33,6	12,0	28,1	60,0	11,9	42
Dezember	43,0	76,0	28,0	15,1	12,0	40,0	6,4	32,5	10,1	45
<b>Jahres-summe</b>	<b>550,5</b>	<b>633,0</b>	<b>718,5</b>	<b>449,1</b>	<b>360,9</b>	<b>381,0</b>	<b>450,1</b>	<b>450,4</b>	<b>372,8</b>	<b>547</b>
<b>Summe Mai-Sept.</b>	<b>248,5</b>	<b>402,0</b>	<b>392,5</b>	<b>257,2</b>	<b>260,4</b>	<b>232,0</b>	<b>233,6</b>	<b>240,0</b>	<b>212,3</b>	<b>274</b>
Durchschnittstemperatur in °C										
Monat	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	langj. Mittel
Januar	1,3	2,6	3,6	0,4	-4,3	-2,7	3,3	3,4	1,3	-0,4
Februar	3,7	-0,6	-0,4	5,3	-2,8	4,8	5,3	0,8	4,7	0,3
März	5,4	4,1	6,8	3,7	0,8	5,7	5,2	5,9	5,7	3,8
April	9,1	11,2	9,1	8,7	8,8	6,4	10,2	9,8	11,1	8,0
Mai	15,1	16,0	13,4	12,3	11,7	13,5	14,9	14,4	15,8	12,9
Juni	18,6	16,3	17,0	15,1	16,0	16,7	17,8	16,0	18,2	16,2
Juli	19,9	16,6	22,8	21,2	16,5	18,3	18,0	20,6	16,6	17,9
August	20,7	16,6	18,6	19,6	18,0	20,9	17,9	18,5	19,1	17,7
September	14,2	12,4	14,1	13,9	11,6	14,7	14,1	18,6	14,6	14,2
Oktober	6,9	8,3	8,1	12,3	10,1	8,3	9,2	9,9	11,8	9,6
November	5,5	-0,5	7,0	3,1	5,3	3,8	2,1	4,0	6,6	4,5
Dezember	1,3	3,3	4,2	-2,1	-3,4	2,1	1,1	3,0	3,3	1,0
<b>Jahres-durchschnitt</b>	<b>10,1</b>	<b>8,9</b>	<b>10,4</b>	<b>9,5</b>	<b>7,4</b>	<b>9,4</b>	<b>9,9</b>	<b>10,4</b>	<b>10,7</b>	<b>8,8</b>
<b>Ø Mai-Sept.</b>	<b>17,7</b>	<b>15,6</b>	<b>17,2</b>	<b>16,4</b>	<b>14,8</b>	<b>16,8</b>	<b>16,5</b>	<b>17,6</b>	<b>16,9</b>	<b>15,8</b>

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

Tabelle A3: Witterungsdaten zum Versuchsstandort Methau

Niederschlagssumme in mm										
Monat	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	langj. Mittel
Januar	48,0	57,0	44,3	37,7	0,4	16,0	36,6	32,3	51,4	51
Februar	38,0	26,0	15,8	40,3	19,4	49,0	25,2	70,3	64,0	46
März	66,8	17,5	135,1	25,2	16,3	41,0	68,8	38,2	143,1	49
April	31,2	31,0	64,3	89,0	12,4	49,0	27,9	30,4	31,1	61
Mai	22,2	74,5	86,1	81,5	80,1	72,0	21,9	71,1	42,0	60
Juni	39,0	80,2	37,0	88,7	23,1	43,0	96,1	104,1	24,1	72
Juli	111,0	128	40,9	59,1	118,5	160,0	104,4	75,6	64,8	64
August	40,0	71,7	81,6	88,5	59,7	35,0	54,4	26,2	75,4	76
September	27,2	45,3	80,5	116,4	75,6	28,0	91,7	20,9	63,8	52
Oktober	43,5	33,1	31,9	18,4	47,7	57,0	75,9	47,3	45,4	46
November	48,0	39,7	56,9	72,9	45,5	17,0	57,1	62,4	27,9	55
Dezember	39,0	83,7	57,2	30,1	29,0	62,0	25,0	38,8	25,7	61
<b>Jahresumme</b>	<b>553,9</b>	<b>687,7</b>	<b>731,6</b>	<b>747,8</b>	<b>527,7</b>	<b>629,0</b>	<b>685,0</b>	<b>617,6</b>	<b>658,7</b>	<b>693</b>
<b>Summe Mai-Sept.</b>	<b>239,4</b>	<b>399,7</b>	<b>326,1</b>	<b>434,2</b>	<b>357,0</b>	<b>338,0</b>	<b>368,5</b>	<b>297,9</b>	<b>270,1</b>	<b>324</b>
Durchschnittstemperatur in °C										
Monat	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	langj. Mittel
Januar	1,2	2,6	2,8	-0,3	-4,3	-2,7	2,5	2,3	0,1	-0,7
Februar	3,5	-0,5	-0,9	4,6	-2,7	3,9	4,4	-1,0	3,6	0,0
März	5,1	3,8	5,9	3,2	0,0	5,3	4,3	5,3	4,5	3,2
April	8,7	10,8	8,1	8,0	8,5	5,6	9,9	8,9	10,9	7,5
Mai	15,0	15,6	12,4	12,3	11,0	13,1	14,1	14,2	15,4	12,5
Juni	18,9	14,8	15,8	14,1	15,4	15,9	16,8	15,9	17,3	15,7
Juli	19,7	16,3	21,2	20,7	15,6	17,0	16,6	19,7	15,3	17,2
August	20,8	16,3	18,4	18,7	17,5	20,0	16,8	17,9	18,7	16,9
September	13,7	12,6	13,3	13,1	10,2	14,1	13,4	17,6	14,1	13,7
Oktober	6,8	8,2	7,2	12,1	9,7	7,5	8,5	8,8	11,6	9,5
November	5,5	-0,9	6,2	2,3	4,6	3,5	1,3	3,2	6,5	4,3
Dezember	1,2	3,0	3,0	-2,5	-3,9	1,7	0,7	2,0	3,1	0,8
<b>Jahresdurchschnitt</b>	<b>10,0</b>	<b>8,6</b>	<b>9,4</b>	<b>8,9</b>	<b>6,8</b>	<b>8,7</b>	<b>9,1</b>	<b>9,6</b>	<b>10,1</b>	<b>8,4</b>
<b>Ø Mai-Sept.</b>	<b>17,6</b>	<b>15,1</b>	<b>16,2</b>	<b>15,8</b>	<b>13,9</b>	<b>16,0</b>	<b>15,5</b>	<b>17,1</b>	<b>16,2</b>	<b>15,2</b>

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

Tabelle A4: Witterungsdaten zum Versuchsstandort Zwenkau (Leipzig)

Niederschlagssumme in mm								
Monat	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	langj. Mittel
Januar	24,9	44,6	1,3	7,0	24,6	20,3	40,0	32,4
Februar	23,5	65,3	12,1	39,0	17,7	37,9	44,9	30,2
März	112,5	42,8	14,6	33,0	29,1	34,9	59,9	33,4
April	88,7	108,1	12,8	32,0	40,7	63,2	14,2	43,1
Mai	102,2	68,0	73,4	42,0	16,8	61,5	39,7	49,2
Juni	14,4	107,7	27,2	41,0	83,5	47,2	52,9	61,9
Juli	48,2	46,9	109,6	174,0	84,0	90,2	53,1	47,3
August	171,4	122,6	27,4	45,0	65,7	33,9	96,3	59,0
September	79,3	123,8	51,8	19,0	96,4	16,6	47,0	43,9
Oktober	37,1	1,7	41,2	35,0	86,7	22,5	41,4	34,4
November	53,5	23,7	57,4	16,0	49,1	62,2	21,9	37,3
Dezember	50,1	17,6	27,0	64,0	17,5	32,2	20,7	39,6
<b>Jahressumme</b>	<b>805,8</b>	<b>772,8</b>	<b>455,8</b>	<b>547,0</b>	<b>611,8</b>	<b>522,6</b>	<b>532,0</b>	<b>511,7</b>
<b>Summe Mai-Sept.</b>	<b>415,5</b>	<b>469,0</b>	<b>289,4</b>	<b>321,0</b>	<b>346,4</b>	<b>249,4</b>	<b>289,0</b>	<b>261,3</b>
Durchschnittstemperatur in °C								
Monat	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	langj. Mittel
Januar	4,1	0,8	-3,9	-2,5	3,3	3,6	1,4	-0,4
Februar	-0,1	5,7	-2,2	5,0	5,3	1,2	4,8	0,3
März	7,4	4,4	1,2	6,1	5,9	6,4	6,1	3,8
April	9,4	9,4	9,3	6,9	11,0	10,0	11,8	8,0
Mai	13,9	13,2	12,2	14,5	15,9	15,2	16,4	12,9
Juni	17,4	15,6	16,4	17,5	18,6	16,7	18,6	16,2
Juli	23,0	21,8	16,8	18,6	18,3	20,7	16,8	17,9
August	19,2	19,8	18,6	21,5	18,1	18,6	19,6	17,7
September	14,6	13,9	11,8	14,8	14,4	18,6	14,9	14,2
Oktober	7,6	12,5	10,0	8,1	9,4	10,0	11,9	9,6
November	7,3	3,4	5,6	4,3	2,3	4,1	6,9	4,5
Dezember	4,6	-1,6	-3,1	2,4	1,5	3,2	3,6	1,0
<b>Jahresdurchschnitt</b>	<b>10,7</b>	<b>9,9</b>	<b>7,7</b>	<b>9,8</b>	<b>10,3</b>	<b>10,7</b>	<b>11,1</b>	<b>8,8</b>
<b>Ø Mai-Sept.</b>	<b>17,6</b>	<b>16,9</b>	<b>15,2</b>	<b>17,4</b>	<b>17,1</b>	<b>18,0</b>	<b>17,3</b>	<b>15,8</b>

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

Tabelle A5: Witterungsdaten zum Versuchsstandort Roda

<b>Niederschlagssumme mm</b>									
<b>Monat</b>	<b>1993</b>	<b>1994</b>	<b>1995</b>	<b>1996</b>	<b>1997</b>	<b>1998</b>	<b>1999</b>	<b>2000</b>	<b>langj. Mittel</b>
Januar	22,0	35,7	45,0	0,6	23,0	37,5	28,8	62,0	47
Februar	8,0	17,5	42,9	28,9	40,0	27,7	72,4	64,9	44
März	15,0	111,8	30,3	24,7	55,0	57,7	37,2	114,2	45
April	23,0	65,8	96,3	31,7	48,0	37,6	32,5	27,9	54
Mai	81,0	82,3	67,9	98,0	44,0	27,2	80,0	42,7	61
Juni	86,0	21,3	107,7	23,9	55,0	99,4	89,2	17,4	78
Juli	90,0	53,4	102,0	127,6	134,0	92,3	123,0	64,0	80
August	110,0	128,5	88,8	29,0	25,0	58,3	24,9	72,2	70
September	48,0	80,1	100,6	73,6	20,0	86,3	24,0	67,3	63
Oktober	34,0	28,9	15,9	57,8	53,0	79,8	35,9	46,9	61
November	39,0	47,3	74,2	41,1	13,0	62,3	64,0	27,8	53
Dezember	79,0	51,0	30,1	31,0	61,0	21,3	40,4	19,3	56
<b>Jahres-summe</b>	<b>635,0</b>	<b>723,6</b>	<b>801,7</b>	<b>567,9</b>	<b>571,0</b>	<b>687,4</b>	<b>652,3</b>	<b>626,6</b>	<b>712</b>
<b>Summe Mai-Sept.</b>	<b>415,0</b>	<b>365,6</b>	<b>467,0</b>	<b>352,1</b>	<b>278,0</b>	<b>363,5</b>	<b>341,1</b>	<b>263,6</b>	<b>352</b>
<b>Durchschnittstemperatur °C</b>									
<b>Monat</b>	<b>1993</b>	<b>1994</b>	<b>1995</b>	<b>1996</b>	<b>1997</b>	<b>1998</b>	<b>1999</b>	<b>2000</b>	<b>langj. Mittel</b>
Januar	-1,4	3,6	0,0	-4,0	-2,3	3,0	3,4	1,0	-0,8
Februar	-0,6	-0,3	5,2	-2,4	4,7	5,0	0,3	4,6	-0,2
März	8,0	7,0	3,6	0,4	6,0	5,1	5,9	5,4	3,4
April	7,0	8,7	8,5	8,6	6,3	10,3	9,5	11,3	8,0
Mai	11,6	12,9	12,5	11,5	13,7	14,5	14,3	15,6	12,9
Juni	15,2	16,6	14,6	15,7	16,3	17,4	15,6	18,0	16,8
Juli	16,6	21,7	20,6	16,1	17,5	17,4	19,4	16,2	18,1
August	16,4	18,5	18,8	17,8	20,2	17,3	17,9	19,2	17,6
September	13,2	14,2	13,6	11,0	14,5	13,9	18,1	14,8	14,1
Oktober	8,9	8,3	12,4	10,0	8,0	9,2	9,6	11,9	9,0
November	3,8	7,2	2,9	5,3	4,1	2,0	3,9	6,9	3,6
Dezember	0,3	4,2	-2,1	-3,5	2,3	1,2	2,8	3,5	0,8
<b>Jahresdurchschnitt</b>	<b>8,2</b>	<b>10,2</b>	<b>9,2</b>	<b>7,2</b>	<b>9,3</b>	<b>9,7</b>	<b>10,1</b>	<b>10,7</b>	<b>8,6</b>
<b>Ø Mai-Sept.</b>	<b>14,6</b>	<b>16,8</b>	<b>16,0</b>	<b>14,4</b>	<b>16,4</b>	<b>16,1</b>	<b>17,1</b>	<b>16,8</b>	<b>15,9</b>

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

**Tabelle A6: NO<sub>3</sub>- Gehalte in der Bodenschicht 0 - 60 cm nach der Ernte von *Miscanthus x giganteus* in Abhängigkeit von N-Düngung und Jahreseinfluss**

Jahr		N-Düngung (kgN/ha)	NO <sub>3</sub> (kg/ha) in 0 - 60 cm nach Ernte	
			Methau (L)	Spröda (SI)
1. Standjahr	1992/93	0	40	43
2. Standjahr	1993/94	0	15	36
3. Standjahr	1994/95	0	14	10
4. Standjahr	1995/96	0	11	12
5. Standjahr	1996/97	0	26	18
6. Standjahr	1997/98	0	102	10
7. Standjahr	1998/99	0	50	Versuchsabbruch
8. Standjahr	1999/2000	0	31	
1. Standjahr	1992/93	60	82	54
2. Standjahr	1993/94	60	35	36
3. Standjahr	1994/95	60	36	18
4. Standjahr	1995/96	60	12	7
5. Standjahr	1996/97	60	31	28
6. Standjahr	1997/98	60	44	15
7. Standjahr	1998/99	60	72	Versuchsabbruch
8. Standjahr	1999/2000	60	64	
1. Standjahr	1992/93	120	103	54
2. Standjahr	1993/94	120	32	36
3. Standjahr	1994/95	120	45	38
4. Standjahr	1995/96	120	20	28
5. Standjahr	1996/97	120	49	54
6. Standjahr	1997/98	120	82	27
7. Standjahr	1998/99	120	99	Versuchsabbruch
8. Standjahr	1999/2000	120	70	
1. Standjahr	1992/93	180	127	67
2. Standjahr	1993/94	180	36	36
3. Standjahr	1994/95	180	108	92
4. Standjahr	1995/96	180	19	97
5. Standjahr	1996/97	180	77	150
6. Standjahr	1997/98	180	21	62
7. Standjahr	1998/99	180	100	Versuchsabbruch
8. Standjahr	1999/2000	180	81	

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

Tabelle A7: Nährstoffgehalte und -entzüge an Mineralstoffen sowie Rohaschegehalte im Miscanthuserntegut, N-Steigerungsversuch Methau 1992 - 2000

	N-Stufe kg/ha	Ertrag dt TM/ha	Inhaltsstoffe in der TS (%)							Rohasche	Entzug kg/ha			
			N	P	K	Mg	Ca	Cl	S		N	P	K	Mg
1992/93 (1. Standjahr)	0	9,81	1,66	0,10	0,57	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	15,40	0,89	5,30	n.b.
	60	10,38	1,44	0,08	0,67	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	14,12	0,83	6,54	n.b.
	120	10,86	1,71	0,10	0,52	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	17,48	1,00	5,32	n.b.
	180	12,27	1,63	0,10	0,80	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	18,89	1,12	9,32	n.b.
1993/94 (2. Standjahr)	0	44,64	0,50	0,07	0,57	n.b.	n.b.	0,33	0,16	n.b.	20,98	2,77	23,66	n.b.
	60	48,80	0,97	0,08	0,59	n.b.	n.b.	0,20	0,23	n.b.	43,92	3,66	26,84	n.b.
	120	89,28	0,61	0,06	0,65	n.b.	n.b.	0,35	0,17	n.b.	50,89	4,91	54,46	n.b.
	180	86,40	0,59	0,06	0,78	n.b.	n.b.	0,27	0,18	n.b.	47,52	4,58	63,07	n.b.
1994/95 (3. Standjahr)	0	67,30	0,68	0,07	0,76	0,08	0,18	n.b.	n.b.	n.b.	44,42	4,31	49,13	5,32
	60	71,51	0,63	0,06	0,76	0,10	0,14	n.b.	n.b.	n.b.	43,62	4,15	52,91	6,86
	120	84,76	0,62	0,05	0,68	0,12	0,16	n.b.	n.b.	n.b.	50,86	4,49	55,94	10,17
	180	99,96	0,66	0,06	0,83	0,08	0,12	n.b.	n.b.	n.b.	63,97	5,90	80,97	8,10
1995/96 (4. Standjahr)	0	114,76	0,57	0,73	0,60	0,02	0,09	0,18	0,18	n.b.	63,12	8,15	66,56	2,64
	60	154,53	0,49	0,44	0,59	0,03	0,08	0,27	0,17	n.b.	72,63	6,64	88,08	4,64
	120	169,28	0,42	0,06	0,49	0,03	0,08	0,22	0,16	n.b.	69,40	9,82	81,25	4,91
	180	132,30	0,55	0,04	0,52	0,05	0,10	0,27	0,18	n.b.	70,12	5,03	67,47	6,48
1996/97 (5. Standjahr)	0	108,72	0,49	0,10	0,86	0,05	0,10	0,32	0,09	n.b.	51,10	10,87	90,24	5,00
	60	117,66	0,56	0,07	1,07	0,06	0,11	0,34	0,11	n.b.	62,36	8,24	118,84	6,94
	120	130,80	0,62	0,07	0,82	0,08	0,11	0,34	0,09	n.b.	77,17	9,03	102,02	9,94
	180	134,59	0,62	0,07	0,86	0,07	0,12	0,40	0,09	n.b.	79,41	8,48	110,36	8,61
1997/98 (6. Standjahr)	0	94,86	0,29	0,07	0,76	0,05	0,08	0,41	0,07	2,60	26,56	5,88	68,30	4,36
	60	105,00	0,50	0,06	0,83	0,06	0,08	0,36	0,08	3,21	51,45	6,51	85,05	5,67
	120	113,96	0,50	0,05	0,59	0,07	0,09	0,27	0,07	2,17	55,84	5,47	64,96	7,29
	180	130,72	0,54	0,06	0,82	0,06	0,10	0,24	0,08	2,57	66,67	7,19	100,65	7,71
1998/99 (7. Standjahr)	0	146,15	0,25	0,09	0,86	0,04	0,08	0,35	0,07	2,90	36,54	13,59	124,23	5,99
	60	152,04	0,40	0,07	0,87	0,05	0,07	0,45	0,07	2,82	60,82	10,03	132,27	7,91
	120	152,88	0,42	0,06	0,83	0,08	0,12	0,33	0,07	2,72	62,68	9,48	123,83	11,16
	180	147,47	0,48	0,06	0,61	0,09	0,12	0,39	0,07	1,49	70,78	8,41	89,95	12,53
1999/2000 (8. Standjahr)	0	93,96	0,21	0,08	0,72	0,03	0,09	0,23	0,05	n.b.	18,79	7,52	64,83	2,82
	60	96,88	0,27	0,10	0,86	0,04	0,08	0,30	0,06	n.b.	25,19	8,72	78,47	3,88
	120	119,04	0,51	0,07	0,65	0,07	0,16	0,24	0,06	n.b.	57,14	8,33	72,61	8,33
	180	126,74	0,50	0,07	0,68	0,08	0,15	0,27	0,06	n.b.	59,57	8,87	81,12	10,14
<b>Mittel 2. - 8. Standjahr</b>	<b>0</b>	<b>95,77</b>	<b>0,43</b>	<b>0,17</b>	<b>0,73</b>	<b>0,05</b>	<b>0,10</b>	<b>0,30</b>	<b>0,10</b>	<b>2,75</b>	<b>37,36</b>	<b>7,58</b>	<b>69,56</b>	<b>4,36</b>
	<b>60</b>	<b>106,63</b>	<b>0,55</b>	<b>0,13</b>	<b>0,80</b>	<b>0,06</b>	<b>0,09</b>	<b>0,32</b>	<b>0,12</b>	<b>3,02</b>	<b>51,43</b>	<b>6,85</b>	<b>83,21</b>	<b>5,98</b>
	<b>120</b>	<b>122,86</b>	<b>0,53</b>	<b>0,06</b>	<b>0,67</b>	<b>0,07</b>	<b>0,12</b>	<b>0,29</b>	<b>0,10</b>	<b>2,44</b>	<b>60,57</b>	<b>7,36</b>	<b>79,30</b>	<b>8,63</b>
	<b>180</b>	<b>122,60</b>	<b>0,56</b>	<b>0,06</b>	<b>0,73</b>	<b>0,07</b>	<b>0,12</b>	<b>0,30</b>	<b>0,11</b>	<b>2,03</b>	<b>65,43</b>	<b>6,92</b>	<b>84,80</b>	<b>8,93</b>

n.b. nicht bestimmt

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

**Tabelle A8: Nährstoffgehalte und -entzüge an Mineralstoffen sowie Rohaschegehalte im Miscanthuserntegut, N-Steigerungsversuch Spröda 1992 - 1998 (Versuchsende)**

	N-Stufe kg/ha	Ertrag dt TM/ha	Inhaltsstoffe in der TS (%)							% Rohasche	Entzug kg/ha			
			N	P	K	Mg	Ca	Cl	S		N	P	K	Mg
1992/93 (1. Standjahr)	0	28,50	1,38	0,09	0,51	0,08	0,30	n.b.	n.b.	n.b.	37,91	2,48	39,97	2,14
	60	44,70	1,07	0,08	0,56	0,08	0,30	n.b.	n.b.	n.b.	46,94	3,62	24,59	3,40
	120	42,43	1,33	0,10	0,72	0,09	0,31	n.b.	n.b.	n.b.	54,31	4,12	29,28	3,73
	180	46,66	1,36	0,10	0,94	0,08	0,34	n.b.	n.b.	n.b.	61,12	4,62	42,46	3,78
1993/94 (2. Standjahr)	0	56,70	0,84	0,07	0,56	n.b.	0,25	0,24	0,24	n.b.	45,36	3,97	30,05	n.b.
	60	118,57	0,59	0,06	0,71	n.b.	0,15	0,36	0,20	n.b.	67,58	6,88	81,81	n.b.
	120	136,16	0,61	0,06	0,77	n.b.	0,14	0,31	0,19	n.b.	78,97	7,76	100,76	n.b.
	180	134,64	0,68	0,06	0,59	n.b.	0,24	0,24	0,20	n.b.	86,17	7,27	75,40	n.b.
1994/95 (3. Standjahr)	0	44,25	0,48	0,06	0,73	0,06	0,26	n.b.	n.b.	n.b.	20,36	2,61	30,68	2,66
	60	107,30	0,49	0,05	0,68	0,06	0,17	n.b.	n.b.	n.b.	51,50	5,58	70,82	6,44
	120	82,15	0,45	0,05	0,94	0,06	0,19	n.b.	n.b.	n.b.	36,15	4,03	75,58	4,93
	180	123,00	0,43	0,05	0,84	0,06	0,16	n.b.	n.b.	n.b.	51,66	6,40	99,63	7,38
1995/96 (4. Standjahr)	0	90,09	0,51	0,07	1,00	0,04	0,13	0,67	0,17	n.b.	45,05	6,04	89,19	3,78
	60	137,63	0,46	0,05	0,97	0,06	0,12	0,68	0,16	n.b.	61,93	6,61	132,13	7,57
	120	132,33	0,55	0,05	0,87	0,03	0,16	0,52	0,17	n.b.	71,46	6,35	112,48	4,37
	180	125,11	0,87	0,10	0,86	0,05	0,18	0,48	0,20	n.b.	106,35	11,76	105,09	6,38
1996/97 (5. Standjahr)	0	113,52	0,94	0,12	1,55	0,08	0,26	0,76	0,12	n.b.	101,03	12,49	166,87	8,85
	60	190,08	0,91	0,13	1,59	0,08	0,22	0,75	0,12	n.b.	163,47	22,81	285,12	13,88
	120	198,92	1,05	0,10	1,42	0,08	0,28	0,62	0,12	n.b.	196,93	18,30	266,55	15,32
	180	207,48	1,08	0,08	1,36	0,07	0,22	0,56	0,13	n.b.	211,63	16,60	265,57	13,90
1997/98 (6. Standjahr)	0	59,02	0,72	0,08	1,13	0,08	0,33	0,54	0,12	4,38	40,72	4,66	63,74	4,49
	60	131,34	0,66	0,08	1,10	0,09	0,29	0,55	0,12	3,25	80,12	10,11	133,97	10,51
	120	138,69	0,61	0,07	0,97	0,08	0,26	0,33	0,12	3,47	79,05	8,74	126,21	9,99
	180	133,35	0,64	0,07	0,99	0,07	0,26	0,47	0,12	3,45	81,34	8,67	125,35	9,47
<b>Mittel 2. - 6. Standjahr</b>	<b>0</b>	<b>72,72</b>	<b>0,70</b>	<b>0,08</b>	<b>1,00</b>	<b>0,07</b>	<b>0,25</b>	<b>0,55</b>	<b>0,16</b>	<b>4,38</b>	<b>50,50</b>	<b>5,95</b>	<b>76,11</b>	<b>4,95</b>
	<b>60</b>	<b>136,98</b>	<b>0,62</b>	<b>0,07</b>	<b>1,01</b>	<b>0,07</b>	<b>0,19</b>	<b>0,59</b>	<b>0,15</b>	<b>3,25</b>	<b>84,92</b>	<b>10,40</b>	<b>140,77</b>	<b>9,60</b>
	<b>120</b>	<b>137,65</b>	<b>0,65</b>	<b>0,06</b>	<b>0,99</b>	<b>0,06</b>	<b>0,21</b>	<b>0,45</b>	<b>0,15</b>	<b>3,47</b>	<b>92,51</b>	<b>9,04</b>	<b>136,32</b>	<b>8,65</b>
	<b>180</b>	<b>144,72</b>	<b>0,74</b>	<b>0,07</b>	<b>0,93</b>	<b>0,07</b>	<b>0,21</b>	<b>0,44</b>	<b>0,16</b>	<b>3,45</b>	<b>107,43</b>	<b>10,14</b>	<b>134,21</b>	<b>9,28</b>

n.b. nicht bestimmt

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

Tabelle A9: Mikronährstoff- und Schwermetallgehalte im Stroh von *Miscanthus x giganteus*, Methau 1992 - 2000

	N-Stufe kg/ha	Ertrag dt TM/ha	Inhaltsstoffe in der TS						Entzüge					
			Cu mg/kg	Mn mg/kg	B mg/kg	Cd mg/kg	Pb mg/kg	Hg mg/kg	Cu g/ha	Mn g/ha	B g/ha	Cd g/ha	Pb g/ha	Hg g/ha
1992/93 (1. Standjahr)	0	9,81	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
	60	10,38	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
	120	10,86	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
	180	12,27	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
1993/94 (2. Standjahr)	0	44,64	n.b.	n.b.	n.b.	0,20	1,33	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	0,85	5,58	n.b.
	60	48,80	n.b.	n.b.	n.b.	0,14	2,38	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	0,63	10,83	n.b.
	120	89,28	n.b.	n.b.	n.b.	0,73	1,56	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	6,07	13,03	n.b.
	180	86,40	n.b.	n.b.	n.b.	0,16	1,31	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	1,30	10,63	n.b.
1994/95 (3. Standjahr)	0	67,30	1,55	52,33	3,67	n.b.	n.b.	n.b.	10,10	339,87	23,82	n.b.	n.b.	n.b.
	60	71,51	1,19	33,81	3,08	n.b.	n.b.	n.b.	8,22	234,54	21,38	n.b.	n.b.	n.b.
	120	84,76	1,03	34,53	3,06	n.b.	n.b.	n.b.	8,48	284,79	25,26	n.b.	n.b.	n.b.
	180	99,96	0,78	43,83	2,57	n.b.	n.b.	n.b.	7,60	425,83	24,99	n.b.	n.b.	n.b.
1995/96 (4. Standjahr)	0	114,76	2,39	43,30	3,20	n.b.	n.b.	n.b.	26,62	481,99	35,58	n.b.	n.b.	n.b.
	60	154,53	5,75	25,83	3,10	n.b.	n.b.	n.b.	86,07	386,33	46,36	n.b.	n.b.	n.b.
	120	169,28	3,19	30,93	3,81	n.b.	n.b.	n.b.	52,31	507,83	62,63	n.b.	n.b.	n.b.
	180	132,30	2,27	49,38	4,12	n.b.	n.b.	n.b.	29,24	635,04	52,92	n.b.	n.b.	n.b.
1996/97 (5. Standjahr)	0	108,72	2,34	39,50	2,94	0,09	0,98	0,02	24,46	413,14	30,77	0,98	10,22	0,22
	60	117,66	2,43	23,21	2,76	0,11	0,83	0,03	27,06	258,85	30,83	1,18	9,30	0,35
	120	130,80	1,86	43,16	2,40	0,08	0,57	0,03	23,15	536,28	29,82	1,05	7,06	0,39
	180	134,59	1,38	54,74	2,43	0,06	0,61	0,03	17,63	699,87	31,09	0,81	7,81	0,40
1997/98 (6. Standjahr)	0	94,86	1,05	48,37	< 0,03	0,11	n.b.	0,00	9,49	436,36	0,28	0,95	n.b.	0,01
	60	105,00	1,02	38,89	0,16	0,14	n.b.	0,00	10,50	399,00	1,68	1,47	n.b.	0,03
	120	113,96	1,03	31,86	< 0,04	0,12	n.b.	0,00	11,40	353,28	0,46	1,37	n.b.	0,05
	180	130,72	1,06	49,84	< 0,04	0,10	n.b.	0,00	13,07	614,38	0,52	1,18	n.b.	0,03
1998/99 (7. Standjahr)	0	146,15	2,02	47,47	6,46	0,10	n.b.	< 0,01	29,23	686,91	93,54	1,43	n.b.	0,15
	60	152,04	1,01	41,21	5,40	0,12	n.b.	< 0,01	15,20	623,36	81,65	1,82	n.b.	0,15
	120	152,88	1,03	61,73	6,78	0,13	n.b.	< 0,01	15,29	917,28	100,75	1,96	n.b.	0,15
	180	147,47	1,01	84,68	6,21	0,13	n.b.	< 0,01	14,75	1238,71	90,84	1,90	n.b.	0,15
1999/2000 (8. Standjahr)	0	93,96	2,09	51,31	0,21	0,08	n.b.	< 0,01	18,79	460,40	1,88	0,75	n.b.	0,09
	60	96,88	1,06	54,97	< 0,04	0,16	n.b.	< 0,01	9,69	503,78	0,39	1,45	n.b.	0,10
	120	119,04	1,06	48,68	< 0,05	0,13	n.b.	< 0,01	11,90	547,58	0,60	1,43	n.b.	0,12
	180	126,74	1,06	65,82	0,13	0,16	n.b.	< 0,01	12,67	785,80	1,52	1,90	n.b.	0,13

n.b. nicht bestimmt

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

Tabelle A10: Mikronährstoff- und Schwermetallgehalte im Stroh von *Miscanthus x giganteus*, Spröda 1992 - 1998 (Versuchsende)

	N-Düngung kg/ha	Ertrag dt TM/ha	Inhaltsstoffe in der TS						Entzüge					
			Cu mg/kg	Mn mg/kg	B mg/kg	Cd mg/kg	Pb mg/kg	Hg mg/kg	Cu g/ha	Mn g/ha	B g/ha	Cd g/ha	Pb g/ha	Hg g/ha
1992/93 (1. Standjahr)	0	28,50	4,46	52,33	5,49	n.b.	n.b.	n.b.	143,93	15,11	12,26	n.b.	n.b.	n.b.
	60	44,70	3,69	44,52	5,32	n.b.	n.b.	n.b.	194,45	23,24	16,14	n.b.	n.b.	n.b.
	120	42,43	4,85	39,50	5,72	n.b.	n.b.	n.b.	161,23	23,34	19,81	n.b.	n.b.	n.b.
	180	46,66	3,89	46,11	5,39	n.b.	n.b.	n.b.	207,62	24,26	17,50	n.b.	n.b.	n.b.
1993/94 (2. Standjahr)	0	56,70	1,89	46,90	5,89	0,22	3,93	n.b.	10,21	252,88	31,75	1,19	21,21	n.b.
	60	118,57	1,29	27,44	2,67	0,09	2,46	n.b.	14,94	316,58	30,83	1,07	28,34	n.b.
	120	136,16	4,52	22,15	2,30	0,08	2,05	n.b.	58,96	288,66	29,96	1,09	26,69	n.b.
	180	134,64	2,18	40,65	2,32	0,18	6,25	n.b.	27,74	518,36	29,62	2,29	79,71	n.b.
1994/95 (3. Standjahr)	0	44,25	1,99	35,53	6,30	n.b.	n.b.	n.b.	8,41	150,45	26,68	n.b.	n.b.	n.b.
	60	107,30	1,54	22,56	5,38	n.b.	n.b.	n.b.	16,10	236,06	56,33	n.b.	n.b.	n.b.
	120	82,15	1,23	9,23	4,72	n.b.	n.b.	n.b.	9,86	73,94	37,79	n.b.	n.b.	n.b.
	180	123,00	1,03	19,59	4,74	n.b.	n.b.	n.b.	12,30	233,70	56,58	n.b.	n.b.	n.b.
1995/96 (4. Standjahr)	0	90,09	2,85	43,48	4,35	n.b.	n.b.	n.b.	25,41	387,40	38,74	n.b.	n.b.	n.b.
	60	137,63	2,75	34,38	3,84	n.b.	n.b.	n.b.	37,44	467,95	52,30	n.b.	n.b.	n.b.
	120	132,33	2,70	25,51	4,39	n.b.	n.b.	n.b.	35,07	330,82	56,90	n.b.	n.b.	n.b.
	180	125,11	3,33	35,93	5,13	n.b.	n.b.	n.b.	40,54	437,89	62,56	n.b.	n.b.	n.b.
1996/97 (5. Standjahr)	0	113,52	3,24	56,49	4,64	0,12	1,21	0,08	34,85	607,33	49,84	1,25	13,05	0,91
	60	190,08	1,89	48,30	3,85	0,08	0,89	0,03	33,83	864,86	69,00	1,52	15,97	0,57
	120	198,92	1,80	29,72	4,48	0,06	1,15	0,06	33,82	556,96	83,94	1,19	21,48	1,19
	180	207,48	1,71	39,77	4,49	0,08	1,75	0,04	33,40	778,05	87,76	1,66	34,23	0,83
1997/98 (6. Standjahr)	0	59,02	2,10	52,47	2,55	0,16	n.b.	0,02	11,80	295,09	14,34	0,89	n.b.	0,12
	60	131,34	2,15	50,54	< 0,17	0,13	n.b.	0,01	26,27	617,30	2,23	1,58	n.b.	0,13
	120	138,69	2,12	30,79	< 0,17	0,11	n.b.	0,01	27,74	402,20	2,36	1,39	n.b.	0,14
	180	133,35	2,11	41,14	< 0,17	0,12	n.b.	0,01	26,67	520,07	2,27	1,47	n.b.	0,13

n.b. nicht bestimmt

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

**Tabelle A11: Richtwerte zum Nährstoffgehalt und Ertragsniveau sowie zur Düngung von Miscanthus (Durchschnitt 2. - 7. Standjahr bei mittlerer Düngungsintensität, Nährstoffgehalte anlehmiger Sandboden Spröda)**

Nährstoff	ME	Stroh	Blatt <sup>1)</sup>
N	% TS	0,640	0,860
P	% TS	0,065	0,260
K	% TS	1,000	0,960
Ca	% TS	0,187	0,210
Mg	% TS	0,062	0,087
S	% TS	0,161	0,110
C	% TS	46,780	46,500 <sup>2)</sup>

Düngung 10-jährige Nutzungsdauer:

N 80 kg N/ha\*a (jährlich)

P 10 kg P/ha\*a (Vorratsdüngung aller 2 Jahre)

K 50 kg K/ha\*a (Vorratsdüngung aller 2 Jahre)

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

standortspezifischer Ertrag (t/ha)		
Ertragsniveau	Stroh	Blattmasse (Vorernteverluste 25 %) <sup>3)</sup>
niedrig	8	2,0
mittel	12	3,0
hoch	15	3,7

<sup>1)</sup> nach JACKS-STERRENBURG, 1995

<sup>2)</sup> nach BOELCKE, BEUCH, ZACHARIAS, 1998

<sup>3)</sup> nach BOELCKE, 2000

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

Tabelle A12: Charakteristik der Halme und Blätter verschiedener Miscanthusarten

Merkmal	<i>Miscanthus x giganteus</i>	<i>Miscanthus japonicus</i>	<i>Miscanthus ,Goliath‘</i>	<i>Miscanthus sacchariflorus</i>
Halm	1 - 2 cm Durchmesser	0,5 - 1 cm Durchmesser	0,5 - 1 cm Durchmesser	0,5 - 1 cm Durchmesser
Blatt				
Spreite	3 cm breit	1,5 cm breit	1,5 - 2 cm breit	1,0 - 1,5 cm breit
Grund	buschig behaart			unbehaart
Häutchen	2 mm lang, zerschlitzt	kurz, gefranst	5 - 6 mm lang, gefranst	kurz, sehr wenig gefranst
Scheide	stark behaart	stachlig behaart		stachlig behaart, rötlich
Oberseite	stark u. scharf gerieft, 3 mm breiter weißer Hauptnerv	glänzend, 2 mm breiter Hauptnerv	glatt, glänzend, 2 mm breiter Hauptnerv	2 mm breiter Hauptnerv
Unterseite		borstig behaart		kaum behaart
Wuchs- und Bestockungsform	Horste, Triebbildung vom Rand beginnend	Horste, Triebbildung von der Mitte beginnend	Horste, Triebbildung von der Mitte beginnend	Ausläufer
Blütenstand	silbrige Federfahnen (Ährentrauben nicht beobachtet )	beigefarbene Ährentraube ab Mitte August, Rispe fächerförmig	rosafarbene Ährentraube ab Anfang September, Wedel heben sich vom Laubbusch deutlich ab	Ährentraube, Blüte nicht beobachtet

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

Tabelle A13: Entwicklung der Triebzahl und Wuchshöhe von verschiedenen Miscanthus-Varietäten, Kippenrekultivierungsstandort Zwenkau

Miscanthus-Varietät	Triebe/ Pflanze	Wuchshöhe cm								
	1. Standjahr 1995		3. Standjahr 1997		4. Standjahr 1998		5. Standjahr 1999		6. Standjahr 2000	
<i>M. x giganteus</i>	30	93	34	202	28	205	30	233	28	229
<i>M. japonicus</i>	24	62	35	158	58	148	71	185	67	120
<i>M. sin. ‚Goliath‘</i>	29	120	39	216	49	204	69	205	66	134
<i>M. sacchariflorus</i>	45	101	--	154	--	140	--	209	46	209

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

Tabelle A14: Entwicklung der Triebzahl und Wuchshöhe von verschiedenen Miscanthus-Varietäten ab 2. Standjahr, Versuchsstandort Kalkreuth

Miscanthus-Varietät	Triebe/ Pflanze	Wuchshöhe cm								
	2. Standjahr 1996		3. Standjahr 1997		4. Standjahr 1998		5. Standjahr 1999		6. Standjahr 2000	
<i>M. x giganteus</i>	40	285	50	300	75	316	76	282	82	297
<i>M. japonicus</i>	73	220	79	216	112	261	129	213	127	207
<i>M. sin. ‚Goliath‘</i>	77	220	62	215	133	270	167	233	155	222
<i>M. sacchariflorus</i>	63	200	116	180	89	243	*)	196	123	230

\*) keine Zählung möglich

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

Tabelle A15: Wachstumsparameter und Erträge schnellwachsender Baumarten nach zwei Kurzumtriebsrotationen am Versuchsstandort Kalkreuth

1995 - 1997 (Ernte: 03.03.1997)					
Sorte	TS % z. Ernte	TM-Ertrag t/ha	Stammdurchmesser mm (Haupttrieb)	Nebentriebe über 2 m	Wildverbiss %
	lutro	lutro	in Brusthöhe (1,3 m)	Anzahl	
Pappel Muhle Larsen	46,5	16,8	34,2	17,3	49,2
Pappel Max 1	44,4	21,6	32,9	16,8	22,8
Pappel Max 3	44,4	25,4	36,1	18,3	13,5
Pappel Beaupre	46,0	27,6	38,0	17,4	7,8
Espe Astria	50,2	7,5	23,3	8,9	24,2
Espe Münden	45,8	2,4	20,0	-	18,5
Weide	54,2	10,6	20,0	-	7,8
1997 - 2000 (Ernte: 16.03.2000)					
Pappel Muhle Larsen	41,6	36,6	36,6	2,4	keine neuen Schädigungen
Pappel Max 1	39,6	39,1	47,4	2,3	
Pappel Max 3	40,6	34,4	41,9	1,8	
Pappel Beaupre	44,1	50,7	39,8	1,9	
Espe Astria	43,3	33,1	34,7	0,6	
Espe Münden	40,1	28,0	44,7	0,8	
Weide	53,7	58,3	27,2	9,7	

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

Tabelle A16: Bereitstellungskosten im Anbau nachwachsender Rohstoffe -Zusammenstellung nach Literaturangaben

Energiepflanze	Ernteprodukt	Ertrag lutro		kg ROE/ ha	Kosten DM/				Bemerkung
		t TM/ha	GJ/ha		t TM lutro	GJ	t ROE	ha	
<b>Wintzer et al., 1993</b>									
Stroh	Ballen	5,5	90,1	2152,00	45,0	2,75	115,14	247,5	
einj. Energiegräser	Heuballen	8,8	144,5	3451,32	265,0	16,18	677,42	2332	
Miscanthus	Ballen	16,0	267,8	6396,29	214,0	12,78	535,07	3424	
<b>Kaltschmitt et al., 1994</b>									
GP-Getreide	Ballen	12,0	179,5	4287,28	207,2	13,87	580,71	2487	
Miscanthus	Ballen	15,0	249,4	5956,82	187,33	11,30	473,11	2810	
Schnellw. Baumarten (Kurzumtrieb)	Hackschnitzel	12,0	214,8	5130,41	214,7	12,00	502,42	2576	
<b>Wintzer et al., 1994</b>									
GP-Getreide	Ballen	8,89	137,8	3291,30	165,15	9,99	418,26		
Miscanthus	Ballen	18,04	256,2	6119,23	197,94	11,56	483,99		
einj. Energiegräser	Heuballen	5,75	81,6	1948,98	225,2	14,05	588,25		
Stroh	Ballen	3,33	47,3	1129,74	99,55	5,98	250,37		
Schnellw. Baumarten (Kurzumtrieb)	Hackschnitzel	10,67	165,4	3950,51	200,93	12,63	528,79		
Topinambur	Stängel	10,0	142,0	3391,61	84,00	4,76	199,29		
<b>Scholz et al., 1997</b>									
Getreidestroh	Ballen	4,00	56,8	1356,64	90,0	6,2	259,58		teilmechanisiertes Verfahren, Schwachholz BHD 12 cm, Seilwinde, Rücken mit Klemm- bankschl., Prozessor Waldstraße, Lagern Waldstraße, Transp., Hacken, Lager
Waldrestholz	Hackschnitzel	0,774	12,0	286,62	123,49	8,33	348,76		

Fortsetzung Tabelle A16 auf nächster Seite

Energiepflanze	Ernteprodukt	Ertrag lutro		kg ROE/ ha	Kosten DM/				Bemerkung
		t TM/ha	GJ/ha		t TM lutro	GJ	t ROE	ha	
<b>Ascherfeld, 1992</b>									
Schnellw. Baumarten (KU)	Hackschnitzel	12,0	186,0	4442,53	80	5,16	216,04	960	Vollmechanisiertes Verfahren: Fäll-Rücke- maschine, Rücken m. Klemmbankschlepper; Großhacker an Waldstraße (50 - 70 m³/h), Abtransport LKW Lagerhalle
	intensiv	15,0	232,5	5553,17	186	12,00	502,42	2790	
<b>Kolloch, 1990</b>									
Vollbaumnutzung	<b>Hackschnitzel</b>								
BHD 12 cm	vollmechanisiert				70				
	teilmechanisiert				130				
	<b>HD-Ballen</b> Verfahren I				60 - 100				Verfahren I: Pressen HD-Ballen, Laden mit Ballenwagen, Transport, einlagern, Abtrans- port
	Verfahren II				50 - 80				Verfahren II: Pressen HD-Ballen, Laden mit an der Presse angebaute Ballenschleuder, sonst wie I
	<b>Rundballen</b> Verfahren I				50 - 75				Verfahren I: Rundballen Pressen 1,5 m Durchmesser, Be- u. Entladen, Lagern unter Folie, Transport LKW
	Verfahren II				40 - 65				Verfahren II: Rundballen 1,8 m Durchmes- ser, sonst wie I
	<b>Quaderballen</b> Verfahren I				45 - 75				
	Verfahren II				50 - 85				

Fortsetzung Tabelle A16 auf nächster Seite

Energiepflanze	Ernteprodukt	Ertrag lutro		kg ROE/ ha	Kosten DM/				Bemerkung
		t TM/ha	GJ/ha		t TM lutro	GJ	t ROE	ha	
<b>Ortmaier u. Leuchtweis, 1998</b>									
Ganzpflanze Getreide		15,0	213,0	5109,60	92,7	6,53	273,40	1391 (v.K.)	Quaderballen I: Presse Anschaffungskosten 110.000 DM; sonst wie Rundballenlinie Quaderballen II: Presse Anschaffungskosten 160.000 DM; sonst wie Rundballenlinie
<b>Hartmann u. Strehler, 1995</b>									
Ganzpflanze Getreide	Rundballen	14,0	197,0	4705,26	209,2	14,8	619,65		
	Quaderballen	14,0	197,0	4705,26	207,3	14,7	615,46		
	stat. Pellets	14,0	197,0	4705,26	236,8	16,8	703,38		
schnellw. Baumarten	Hackschnitzel	12,0	216,0	5159,07	168,0	11,0	460,55		
Waldrestholz	Hackschnitzel				90,0	5,80	242,83		
Miscanthus	Rundballen	20,0	292,0	6974,30	210,5	14,5	607,09		
	Quaderballen				207,0	14,2	594,53		
	stat. Pellets				229,8	15,8	661,51		
Getreidestroh	Rundballen				100,5	7,0	293,08		
	Quaderballen				97,0	6,7	280,52		
	stat. Pellets				119,8	14,5	607,09		

Fortsetzung Tabelle A16 auf nächster Seite

Energiepflanze	Ernteprodukt	Ertrag lutro		kg ROE/ ha	Kosten DM/				Bemerkung
		t TM/ha	GJ/ha		t TM lutro	GJ	t ROE	ha	
<b>Gerstenkorn, 1992</b>									
Hafer	Quaderballen	8,2	116,4	2780,17	150	10,53	440,87	1226	
		10,4	147,7	3527,75	135	9,37	392,30	1384	
Getreidestroh	Quaderballen	4,0	56,8	1356,64	94 - 114	6,65 - 8,06	278,4 - 337,4	378 - 458	Nährstoff- u. Humuswert
Rapsstroh	Quaderballen	4,0	56,8	1356,64	138 - 158	9,70 - 11,09	406,1 - 464,3	551 - 630	Nährstoff- u. Humuswert
Feldgras (Heu)	Quaderballen	7,5	106,5	2543,71	173	12,21	511,21	1301	2 Schnitte/a (4-jährige Nutzung)
		10,5	149,1	3561,19	145	10,25	429,15	1528	2 Schnitte/a (4-jährige Nutzung)
Miscanthus (1,25 DM/Jungpflanze)	Quaderballen	11,9	169,0	4036,50	202	14,22	595,36	2404	12-jährige Nutzung; 1,25 DM/Jungpfl.
		15,8	224,4	5359,70	167	11,81	494,46	2650	
		19,8	281,2	6716,35	146	10,29	430,82	2896	
Miscanthus (0,25 DM/Jungpflanze)	Quaderballen	11,9	169,0	4036,50	107	7,48	313,17	1265	12-jährige Nutzung; 0,25 DM/Jungpfl.
		15,8	224,4	5359,70	95	6,73	281,77	1511	
		19,8	281,2	6716,35	89	6,25	261,68	1757	
Pappel-Schnellwuchs- plantage	Hackschnitzel	10,5	162,7	3886,02	194	12,53	524,61	2039	16-jährige Nutzung, Ernte manuell Bügelsäge, Zangenschlepper, mobiler Großhacker, Eigenwerbung Stecklinge
		7,9	122,4	2923,47	241	15,52	649,79	1900	
		15,8	244,9	5849,34	144	9,28	388,54	2272	
<b>Riehl et al., 1998</b>									
Grünland	Heu	4,8	68,2	1628,93	270,7	22,46	940,36	1532	

Fortsetzung Tabelle A16 auf nächster Seite

Energiepflanze	Ernteprodukt	Ertrag luto		kg ROE/ ha	Kosten DM/				Bemerkung
		t TM/ha	GJ/ha		t TM luto	GJ	t ROE	ha	
<b>Küppers, 1995</b>									
schnellw. Baumarten Kurzumtrieb	Hackschnitzel	12,0	186,0	4442,53	85	5,48	229,44	1020	13211 Pflanzen; 0,18 DM/Steckling, Umtrieb 3 Jahre; mit Zaunbau, Nachbes- serung 10 %; Rekultivierung alter Stöcke
<b>Deimling et al., 2000</b>									
Waldrestholz	HS motormanuell				215 (43 DM/Sm <sup>3</sup> )	12,4 (33 % H <sub>2</sub> O)	519,16		
	HS voll- mechanisiert				75 (15 DM/Sm <sup>3</sup> )	4,3	180,03		
Schwachholz (BHD 12 cm)	HS motormanuell				149 (30 DM/Sm <sup>3</sup> )	8,6 (33 % H <sub>2</sub> O)	360,06		
	HS voll- mechanisiert				117 (23 DM/Sm <sup>3</sup> )	6,8	284,70		
Holz Kurzumtrieb	Hackschnitzel	8,6	133,3	3183,82	104	13,1 (50 % H <sub>2</sub> O)	548,47	1793	Pflanzgut 0,30 DM/Stck; 14300 Pfl./ha; 22-jährige Nutzung; Vollernter Claas; me- chanisiertes Pflanzen; ohne Prämie
		14,3	221,6	5292,83	68	8,6	360,06		
Getreidestroh	Ballen (KTBL- Meth.)	5,1	72,4	1729,24	80	5,5 (15 % H <sub>2</sub> O)	230,27	481	Bergekosten inkl. Humus- u. Nährstoffwert
	B (Maschinenring)	5,1	72,4	1729,24	97	6,7	280,52	583	
Energiegetreide (Triticale)	Ballen	11,6	164,7	3933,79	195	13,8 (15 % H <sub>2</sub> O)	577,77	2250	ohne Stilllegungsprämie
		14,1	200,2	4781,69	168	11,9	498,23	2371	ohne Stilllegungsprämie
	Pellet	12,2	173,2	4136,81	308	21,8	912,72	3765	ohne Stilllegungsprämie
		14,9	211,6	5053,98	283	20,1	841,55	4222	ohne Stilllegungsprämie

Fortsetzung Tabelle A16 auf nächster Seite

Energiepflanze	Ernteprodukt	Ertrag lutro		kg ROE/ ha	Kosten DM/				Bemerkung
		t TM/ha	GJ/ha		t TM lutro	GJ	t ROE	ha	
Miscanthus	Ballen	13,7	194,5	4645,55	157,0	10,6 (15 % H <sub>2</sub> O)	443,80	2516	ohne Stilllegungsprämie 15 Jahre Nutzung
		17,3	245,7	5868,44	130,0	8,8	368,44	2648	
	Häcksel	13,7	194,5	4645,55	166,0	11,2	468,92	2665	
		17,3	245,7	5868,44	139,0	9,4	393,56	2831	
<b>Röhricht, 1998</b>									
Miscanthus	Ballen	15,0	213,0	5087,42	182,0	12,85	538,42	2737	Jungpflanze 0,50 DM/Stück
		20,0	284,0	6783,22	137,0	9,64	403,61	2737	
<b>Röhricht et al., 2000 [a]</b>									
Topinamburstängel	Häcksel	6,0	85,2	2034,97	75,7	5,32	222,74	454	3-jährige Nutzung mit Düngewert, ohne anteilige Anbaukosten
					139,5	9,82	411,14	837	3-jährige Nutzung mit Düngewert, mit anteiligen Anbaukosten (30 %)

HS - Hackschnitzel  
ROE - Rohöleinheit (41,868 MJ/kg)  
KU - Kurzumtrieb

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

**Tabelle A17: Anteile der natürlichen Standorteinheiten an der Landesfläche des Freistaates Sachsen**

<b>Naturraum</b>	<b>Standort-einheit</b>	<b>Fläche im Naturraum (ha)</b>	<b>prozentualer Flächenanteil der Standorteinheit im jeweiligen Naturraum</b>
Altenburg-Zeitzer Lößhügelland	Lö4	7375,42	44,5
Altenburg-Zeitzer Lößhügelland	Lö5	5389,02	32,5
Altenburg-Zeitzer Lößhügelland	Lö6	3825,70	23,1
Dresdner Elbtalweitung	D3	1127,63	3,2
Dresdner Elbtalweitung	D4	961,70	2,8
Dresdner Elbtalweitung	D5	5338,70	15,3
Dresdner Elbtalweitung	D6	924,57	2,6
Dresdner Elbtalweitung	Lö3	230,68	0,7
Dresdner Elbtalweitung	Lö4	24822,34	71,1
Dresdner Elbtalweitung	Lö5	11,89	0,0
Dresdner Elbtalweitung	Lö6	1499,86	4,3
Düben-Dahlener Heide	AI3	2076,28	2,3
Düben-Dahlener Heide	D1	1031,71	1,1
Düben-Dahlener Heide	D2	6291,04	6,9
Düben-Dahlener Heide	D3	22986,53	25,3
Düben-Dahlener Heide	D4	48313,67	53,1
Düben-Dahlener Heide	D5	5299,11	5,8
Düben-Dahlener Heide	D6	2322,17	2,6
Düben-Dahlener Heide	Lö4	959,88	1,1
Düben-Dahlener Heide	Lö5	1675,92	1,8
Elsterwerda-Herzberger Elsterniederung	AI3	3452,18	18,0
Elsterwerda-Herzberger Elsterniederung	D2	1015,24	5,3
Elsterwerda-Herzberger Elsterniederung	D3	5516,47	28,7
Elsterwerda-Herzberger Elsterniederung	D4	8744,96	45,6
Elsterwerda-Herzberger Elsterniederung	D5	216,83	1,1
Elsterwerda-Herzberger Elsterniederung	Lö4	249,47	1,3
Erzgebirgsbecken	Lö5	6714,81	7,4
Erzgebirgsbecken	Lö6	14284,97	15,7
Erzgebirgsbecken	V5	11854,68	13,0
Erzgebirgsbecken	V6	58127,02	63,8
Erzgebirgsbecken	V7	121,53	0,1

Fortsetzung Tabelle A17 auf nächster Seite

Großenhainer Pflege	D2	745,80	1,6
Großenhainer Pflege	D3	7865,95	16,4
Großenhainer Pflege	D4	24760,96	51,6
Großenhainer Pflege	D5	8008,29	16,7
Großenhainer Pflege	D6	274,16	0,6
Großenhainer Pflege	Lö3	57,61	0,1
Großenhainer Pflege	Lö4	2878,45	6,0
Großenhainer Pflege	Lö5	3405,31	7,1
Hallesches Lößhügelland	Lö1	1038,54	39,2
Hallesches Lößhügelland	Lö2	1608,47	60,8
Königsbrück-Ruhlander Heiden	D1	5636,94	11,5
Königsbrück-Ruhlander Heiden	D2	23835,37	48,4
Königsbrück-Ruhlander Heiden	D3	11498,77	23,4
Königsbrück-Ruhlander Heiden	D4	8248,22	16,8
Königsbrück-Ruhlander Heiden	D5	2,83	0,0
Königsbrück-Ruhlander Heiden	Lö5	0,22	0,0
Leipziger Land	D4	5620,16	3,7
Leipziger Land	D5	12311,04	8,2
Leipziger Land	D6	7543,01	5,0
Leipziger Land	Lö1	8298,29	5,5
Leipziger Land	Lö2	6211,55	4,1
Leipziger Land	Lö3	7703,60	5,1
Leipziger Land	Lö4	57387,62	38,2
Leipziger Land	Lö5	45103,73	30,0
Luckau-Calauer Becken	D3	450,90	100,0
Mittelerzgebirge	V5	24532,38	18,3
Mittelerzgebirge	V6	4803,80	3,6
Mittelerzgebirge	V7	12221,70	9,1
Mittelerzgebirge	V8	37727,12	28,1
Mittelerzgebirge	V9	54979,05	40,9
Mittelsächsisches Lößhügelland	Lö3	43187,52	76,9
Mittelsächsisches Lößhügelland	Lö4	11665,24	20,8
Mittelsächsisches Lößhügelland	Lö5	1218,69	2,2
Mittelsächsisches Lößhügelland	V7	122,78	0,2
Mulde-Lößhügelland	Lö3	9912,47	6,1
Mulde-Lößhügelland	Lö4	49287,75	30,4

Fortsetzung Tabelle A17 auf nächster Seite

Mulde-Lößhügelland	Lö5	17268,89	10,7
Mulde-Lößhügelland	Lö6	74560,63	46,0
Mulde-Lößhügelland	V6	1793,04	1,1
Mulde-Lößhügelland	V7	9138,02	5,6
Mulde-Lößhügelland	V8	3,28	0,0
Muskauer Heide	D1	8106,85	15,2
Muskauer Heide	D2	32625,47	61,3
Muskauer Heide	D3	12527,82	23,5
Niederlausitzer Grenzwall	D2	223,49	6,8
Niederlausitzer Grenzwall	D3	3061,91	93,2
Nordsächsisches Platten- und Hügelland	D3	697,75	0,7
Nordsächsisches Platten- und Hügelland	D4	4252,03	4,2
Nordsächsisches Platten- und Hügelland	D5	13949,30	13,7
Nordsächsisches Platten- und Hügelland	D6	653,20	0,6
Nordsächsisches Platten- und Hügelland	Lö3	6459,77	6,3
Nordsächsisches Platten- und Hügelland	Lö4	17790,83	17,5
Nordsächsisches Platten- und Hügelland	Lö5	57931,90	56,9
Oberlausitzer Bergland	Lö4	323,28	0,8
Oberlausitzer Bergland	Lö5	4149,92	10,0
Oberlausitzer Bergland	Lö6	23253,64	55,9
Oberlausitzer Bergland	V7	13006,37	31,3
Oberlausitzer Bergland	V8	870,46	2,1
Oberlausitzer Gefilde	D3	542,60	1,2
Oberlausitzer Gefilde	D4	1854,29	4,0
Oberlausitzer Gefilde	D5	2472,84	5,3
Oberlausitzer Gefilde	Lö4	20491,28	43,9
Oberlausitzer Gefilde	Lö5	17393,96	37,2
Oberlausitzer Gefilde	Lö6	3164,94	6,8
Oberlausitzer Gefilde	V5	793,98	1,7
Oberlausitzer Heide- und Teichgebiet	D1	3584,48	2,9
Oberlausitzer Heide- und Teichgebiet	D2	52866,03	42,9
Oberlausitzer Heide- und Teichgebiet	D3	47259,34	38,3
Oberlausitzer Heide- und Teichgebiet	D4	14466,84	11,7
Oberlausitzer Heide- und Teichgebiet	D5	1980,89	1,6
Oberlausitzer Heide- und Teichgebiet	Lö4	1427,61	1,2
Oberlausitzer Heide- und Teichgebiet	Lö5	1737,68	1,4

Fortsetzung Tabelle A17 auf nächster Seite

Osterzgebirge	Lö6	13250,01	8,1
Osterzgebirge	V6	1205,85	0,7
Osterzgebirge	V7	60912,23	37,4
Osterzgebirge	V8	36495,17	22,4
Osterzgebirge	V9	50873,86	31,3
Östliche Oberlausitz	D3	217,35	0,3
Östliche Oberlausitz	D4	4837,04	5,8
Östliche Oberlausitz	D5	865,26	1,0
Östliche Oberlausitz	Lö4	19500,96	23,5
Östliche Oberlausitz	Lö5	44381,19	53,5
Östliche Oberlausitz	Lö6	12388,41	14,9
Östliche Oberlausitz	V7	805,90	1,0
Riesa-Torgauer Elbtal	AI3	17178,98	45,6
Riesa-Torgauer Elbtal	D2	822,42	2,2
Riesa-Torgauer Elbtal	D3	1687,44	4,5
Riesa-Torgauer Elbtal	D4	6252,54	16,6
Riesa-Torgauer Elbtal	D5	6181,74	16,4
Riesa-Torgauer Elbtal	Lö4	1734,57	4,6
Riesa-Torgauer Elbtal	Lö5	3799,39	10,1
Sächsische Schweiz	D4	48,84	0,1
Sächsische Schweiz	Lö4	7930,39	19,8
Sächsische Schweiz	Lö5	1580,80	4,0
Sächsische Schweiz	Lö6	24769,39	61,9
Sächsische Schweiz	V7	3776,61	9,4
Sächsische Schweiz	V8	1905,76	4,8
Senftenberg-Finsterwalder Becken und Platten	D1	4023,57	53,8
Senftenberg-Finsterwalder Becken und Platten	D2	3449,80	46,2
Vogtland	V5	65041,33	56,8
Vogtland	V6	36775,76	32,1
Vogtland	V8	4468,84	3,9
Vogtland	V9	8158,03	7,1
Weißenfelsler Lößhügelland	Lö1	2467,65	97,4
Weißenfelsler Lößhügelland	Lö4	66,85	2,6
Westerzgebirge	V5	26167,98	33,9
Westerzgebirge	V6	376,28	0,5

Fortsetzung Tabelle A17 auf nächster Seite

Westerzgebirge	V8	4420,75	5,7
Westerzgebirge	V9	46304,29	59,9
Westlausitzer Hügel- und Bergland	D2	23,02	0,0
Westlausitzer Hügel- und Bergland	D3	7566,93	8,6
Westlausitzer Hügel- und Bergland	D4	17663,48	20,0
Westlausitzer Hügel- und Bergland	D5	3892,66	4,4
Westlausitzer Hügel- und Bergland	D6	177,92	0,2
Westlausitzer Hügel- und Bergland	Lö4	10753,49	12,2
Westlausitzer Hügel- und Bergland	Lö5	22991,06	26,0
Westlausitzer Hügel- und Bergland	Lö6	20709,01	23,4
Westlausitzer Hügel- und Bergland	V7	4704,32	5,3
Zittauer Gebirge	Lö4	40,91	1,2
Zittauer Gebirge	Lö6	265,10	7,8
Zittauer Gebirge	V7	3114,03	91,1

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

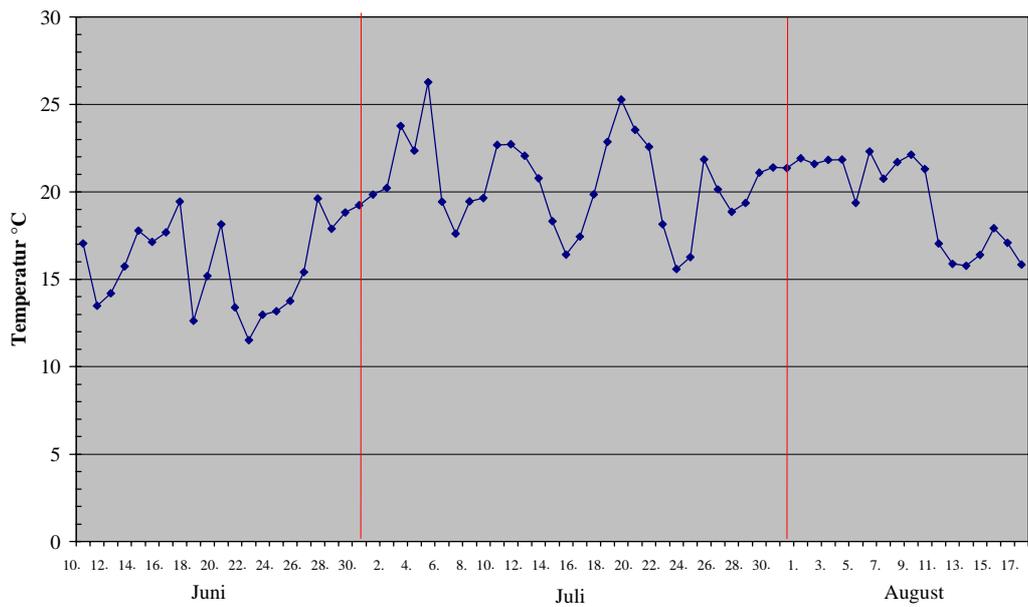


Abbildung A2.1: Temperaturverlauf in den Monaten Juni bis August 1999, Spröda

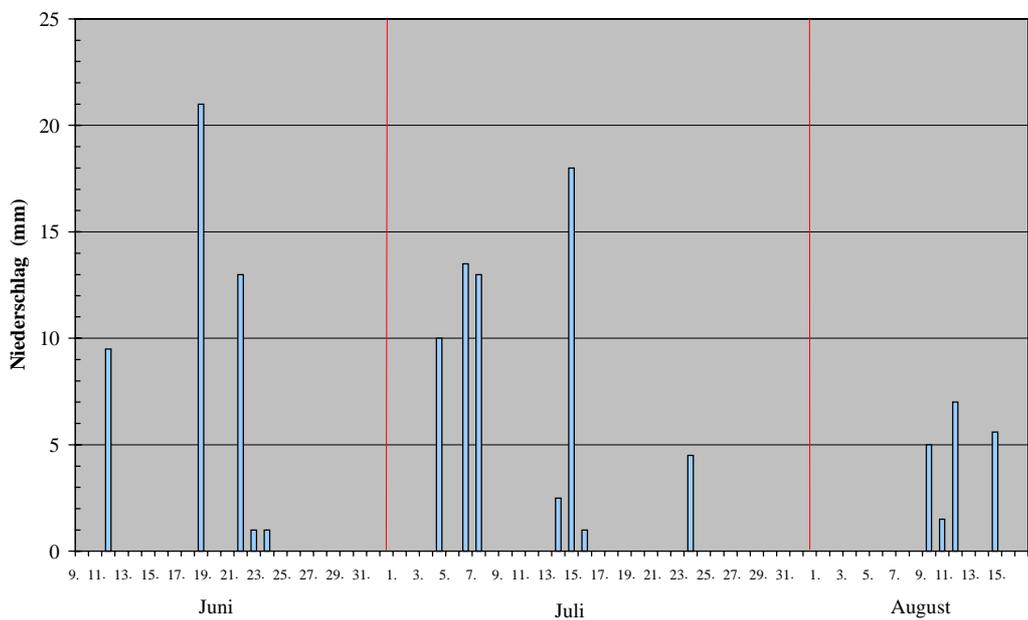


Abbildung A2.2: Niederschlagsverteilung in den Monaten Juni bis August 1999, Spröda

## Impressum

- Herausgeber:** Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft  
Öffentlichkeitsarbeit  
August-Böckstiegel-Straße 1, 01326 Dresden  
**Internet:** WWW.LANDWIRTSCHAFT.SACHSEN.DE/LFL
- Redaktion:** Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft  
Fachbereich Bodenkultur und Pflanzenbau  
Dr. habil. Christian Röhricht, Dipl.-Ing. Sophia Kiesevalter und  
Dipl.-Ing agr. Angelika Groß-Ophoff  
Gustav-Kühn-Straße 8  
04159 Leipzig  
Telefon: 0341 / 9174 -0, Telefax: 0341 / 91 74 - 111
- Endredaktion:** Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft  
Öffentlichkeitsarbeit  
Thomas Freitag, Gisela Hauptmann
- Redaktionsschluss:** März 2002
- Bildnachweis:** Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft
- Satz:** Christlich-Soziales Bildungswerk Sachsen e. V. Miltitz
- Druck:** Sächsisches Digitaldruck Zentrum GmbH Dresden
- Auflage:** 1. Auflage, 300 Stück
- Bezug:** Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft  
Öffentlichkeitsarbeit  
August-Böckstiegel-Straße 1, 01326 Dresden-Pillnitz  
Telefax: 03 51 / 26 12 - 151  
E-Mail: Gisela.Hauptmann@pillnitz.lfl.smul.sachsen.de
- Schutzgebühr:** 12,78 EUR

### Rechtshinweis

Alle Rechte, auch die der Übersetzung sowie des Nachdruckes und jede Art der phonetischen Wiedergabe, auch auszugsweise, bleiben vorbehalten. Rechtsansprüche sind aus vorliegendem Material nicht ableitbar.

### Verteilerhinweis

Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staatsregierung im Rahmen ihrer verfassungsmäßigen Verpflichtung zur Information der Öffentlichkeit herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von deren Kandidaten oder Helfern im Zeitraum von sechs Monaten vor einer Wahl zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle Wahlen. Erlaubt ist jedoch den Parteien, diese Informationsschrift zur Unterrichtung ihrer Mitglieder zu verwenden.