



Das Lebensministerium



Anbau und Nutzung von Energiehirse

Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft

Heft 2/2008

Freistaat  Sachsen

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

Verbundvorhaben „Energiepflanzen für die Biogasproduktion“

Teilvorhaben:

**Anbau und Nutzung von Energiehirse als Alternative für ertragsschwache
Standorte in Trockengebieten Deutschlands**

Berichtszeitraum: 24.05.2004 – 31.12.2006

Dr. Christian Röhricht, Daniela Zander

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. durch das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz unter dem Förderkennzeichen 22011502 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Inhaltsverzeichnis

1	Problemstellung	1
2	Zielstellung	2
3	Versuchsbedingungen	2
3.1	Versuchsstandorte	2
3.2	Witterungsverhältnisse	4
3.3	Feldversuche	10
3.4	Angewandte Analysenmethoden	15
3.5	Biogasversuche	16
3.5.1	Laborversuche 2004	17
3.5.2	Laborversuche 2005 und 2006	17
4	Wissenschaftlich-technische Ergebnisse	18
4.1	Optimierung der Anbautechnik	18
4.1.1	Einfluss der Sorte auf die Ertragsbildung	18
4.1.1.1	Sortenversuche 2004	18
4.1.1.2	Sortenversuche 2005	21
4.1.1.3	Sortenversuche 2006	25
4.1.1.4	Zusammenfassende Wertung der Sortenversuche	29
4.1.2	Einfluss des Erntetermins auf die Ertragsbildung	30
4.1.2.1	Sudangras (Parzellenversuche)	30
4.1.2.2	Zuckerhirse (Parzellenversuche)	32
4.1.2.3	Mais, Zuckerhirse und Sudangras (Praxisversuche)	34
4.1.2.4	Zusammenfassende Wertung des Faktors Erntetermin	37
4.1.3	Einfluss der N-Düngung auf die Ertragsbildung	37
4.1.3.1	Einfluss der N-Düngung auf die Ertragsleistung von Sudangras	37
4.1.3.2	Einfluss der N-Düngung auf die Ertragsleistung von Zuckerhirse	39
4.1.3.3	Zusammenfassende Wertung der N-Steigerungsversuche	40
4.1.4	Beurteilung des Nährstoffbedarfs	41
4.1.5	Nährstoffaufnahme von Mais und Sorghumhirsen	49
4.1.6	Ergebnisse zum Pflanzenschutz in Mais und Sorghumhirsen	54
4.1.6.1	Auftreten von Krankheiten und Schädlingen in Mais und Sorghumhirsen	54
4.1.6.2	Erste Ergebnisse zur Herbizidprüfung in Sudangras	55
4.1.6.3	Zusammenfassende Bewertung	57
4.2	Nutzung zur Biogaserzeugung	58
4.2.1	Zusammensetzung der Silagen	58
4.2.1.1	Nährstoffgehalte und Nährstoffverhältnisse	58

4.2.1.2	Hemmstoffgehalte	64
4.2.1.3	Theoretische Biogasausbeute	71
4.2.1.4	Biogaspotenzial (Batch-Versuche)	79
4.2.1.5	Biogasproduktion in kontinuierlichen Gärtests.....	91
4.2.1.6	Einsatz in einer Praxisanlage	99
5	Wirtschaftlichkeit der Biomassebereitstellung zur Biogaserzeugung.....	101
6	Zusammenfassung	107
7	Literaturverzeichnis	110
8	Anhang	114
9	Anbautelegramm Zuckerhirse	135
10	Anbautelegramm Sudangras	137

1 Problemstellung

Zu Beginn des Jahrhunderts gab es in Deutschland rund 1 000 Biogasanlagen mit einer durchschnittlichen Leistung von 60 kW (PELLMEYER 2006). In den letzten Jahren hat die Anzahl der Biogasanlagen in Deutschland zugenommen. Im Jahr 2005 waren 2 700 Anlagen mit einer installierten Leistung von 650 MW_{el} in Betrieb (www.biogas.org). Schätzungen ergaben, dass sich bei fortsetzendem Wachstum und ohne Einschränkung der Rahmenbedingungen die Anzahl der Biogasanlagen auf ca. 42 000 mit einer installierten Leistung von ca. 9 500 MW summieren wird (www.biogas.org).

Ein Großteil des Materials ist landwirtschaftlichen Ursprungs wie Ernterückstände, tierische Exkremente, Einstreu und Energiepflanzen. Seit der Novellierung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) ist gerade der Anbau von Energiepflanzen zur Biogaserzeugung durch ein stetiges Wachstum gekennzeichnet. Inzwischen sind 85 % der neuen Anlagen auf nachwachsende Rohstoffe (Nawaro) eingestellt. Hauptsächlich wird Silomais als Co-Substrat (Gärssubstrat) in den Nawaro-Anlagen eingesetzt. Hier stellt der Markt leistungsstarke, so genannte Energiemaissorten, zur Verfügung. Das hohe Ertragspotenzial, die gute Verdaulichkeit, der hohe Energiewert und der hohe Mechanisierungsgrad sind Ursache für die Spitzenstellung des Mais als Biogasrohstoffpflanze.

Die Studie zu den Biomassepotenzialen von GÖMANN, KREINS und BREUER (2006) schätzt, dass sich die Energiemaissflächen in Deutschland im Jahr 2010 auf eine Größe von 1,7 Mio ha im Jahr 2010 ausdehnen wird. Auf Grenzstandorten jedoch, also in Höhenlagen und Trockengebieten, verliert der Mais seine Vorzüglichkeit (Abb. 1). Auf diesen Standorten können andere Fruchtarten (z. B. Gräser) Vorteile gegenüber dem Mais haben (www.maikomitee.de). Aufgrund ihres hohen Biomassebildungspotenzials in kurzer Vegetationszeit und ihrer ausgezeichneten Trockentoleranz können Sorghumhirsen eine mögliche Alternative zum Mais darstellen.

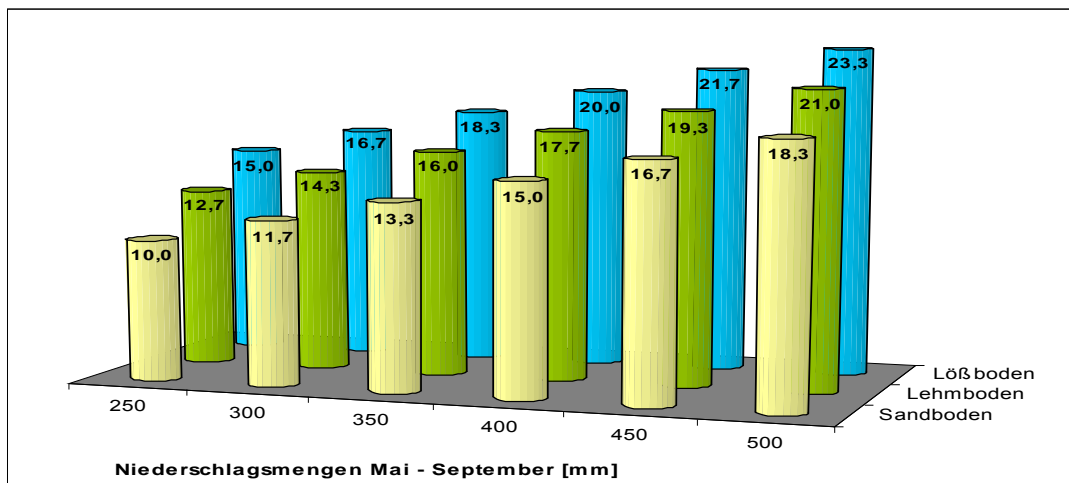


Abbildung 1: TM-Ertrag [t TM/ha] von Mais in Abhängigkeit von Bodenart und Niederschlagsmenge; Quelle: KOCH (2006)

Inwiefern der Maisanbau auf dem Grenzstandort „Trockengebiet“ durch Sorghumhirsen ersetzt oder ergänzt werden kann, soll mit dem Projekt „Anbau und Nutzung von Energiehirse als Alternative für ertragsschwache Standorte in Trockengebieten Deutschlands“ geprüft werden.

2 Zielstellung

Ziel dieses Projektes ist es, den Anbau von Energiepflanzen auf ertragsschwachen Standorten zu optimieren, wobei die Nutzung der Pflanzen zur Biogaserzeugung im Mittelpunkt steht. Als ertragsschwache Standorte werden diluviale Böden, insbesondere Sandböden, in Trockengebieten Deutschlands in die Untersuchungen einbezogen. Im Vergleich zum Silomais, welcher zurzeit als nachwachsender Rohstoff am häufigsten in Biogasanlagen zum Einsatz kommt, werden Sorghumhirsen (Zuckerhirse und Sudangras) hinsichtlich ihrer Eignung als Biogasrohstoff geprüft. Mit den Untersuchungen sollen für ertragsschwache Trockenstandorte Anbaualternativen aufgezeigt werden, die zu einem sicheren Ertrag und Einkommen in den entsprechenden Regionen führen.

3 Versuchsbedingungen

Im Abschnitt „Versuchsbedingungen/Untersuchungsmethodik“ werden die Versuche, die bodenklimatischen Verhältnisse der Versuchsstandorte und die analytischen Methoden zur Bestimmung der Biomassequalität und Biogasausbeute beschrieben.

3.1 Versuchsstandorte

Für die Versuchsjahre 2004, 2005 und 2006 wurden die Standorte Güterfelde, Paschwitz und Sprotta, Thiendorf, Trossin und Wöllnau ausgewählt (Tab. 1).

Tabelle 1: Standortbedingungen (2004 - 2006)

Merkmale	Güterfelde	Paschwitz	Sprotta	Thiendorf	Trossin	Wöllnau
Versuchsjahr	2004/2005/2006	2004	2004	2005/2006	2005/2006	2005
Entstehung	D	D	D	D	D	D
Bodenart	SI	SI	IS	IS	IS	IS
Ackerwertzahl	35	25 - 30	26	30	28	30
Niederschlag (langjähriges Mittel) [mm]	545	550	547	k. A.	547	547
Lufttemperatur (langjähriges Mittel) [°C]	9,6	8,8	8,8	k. A.	8,8	8,8

Im Sinne der Zielstellung handelt es sich um typische D-Süd-Standorte mit leichten Böden und entsprechend niedrigen Ackerwertzahlen. Sie sind weiterhin klimatisch durch hohe Durchschnittstemperaturen und geringe Niederschlagsmengen gekennzeichnet. Sowohl die klimatischen Bedin-

gungen als auch die Bodenverhältnisse rechtfertigen die Zuordnung der Region zu den „Trockengebieten Deutschlands“.

Die pflanzliche Substratproduktion wird unter anderem von dem am Standort abhängigen Ernährungsbedingungen des Bodens bestimmt (BERGMANN et al. 1976). Den Nährstoffchemischen Status der Versuchsflächen gibt Tab. 2 wieder. Die Gehalte an Phosphor und Kalium zeigen mehrheitlich einen guten bis sehr guten Versorgungsstatus an. In Paschwitz (2004) und Thiendorf (2005) ist allerdings ein niedriger bis sehr niedriger Versorgungsgrad bei Phosphor, Kalium und Magnesium (Paschwitz) zu verzeichnen. Die N_{\min} -Gehalte bewegen sich mehrheitlich im standorttypischen Schwankungsbereich von 30 - 35 kg N/ha (FÖRSTER et al. 2005). Die für einzelne Standorte und Versuchsjahre davon abweichenden hohen N_{\min} -Gehalte sind mit einer bereits durchgeführten N-Düngung (Sprotta, 2004), einer Grunddüngung (Trossin, 2005, 2006) und einer verstärkten organischen Düngung (Güterfelde, 2004) zu erklären.

Den differenzierten Bedingungen im Nährstoffgehalt der Versuchsstandorte wurde durch angepasste Düngungsmaßnahmen bei den Versuchskulturen Mais, Zuckerhirse und Sudangras entsprochen.

Tabelle 2: Nährstoffverhältnisse der Standorte (2004 – 2006)

Jahr	Standorte	N _{min} [kg/ha]	P [mg/100g]	K [mg/100g]	Mg [mg/100g]	pH	Humus [%]
2004	Paschwitz	29	3,94 B	5,13 B	3,6 B	5,8 C	1,4
	Sprotta	119	4,98 C	15,9 D	9,8 E	5,8 C	2,4
	Güterfelde	79	8,1 D	7,6 B	7,2 D	6,3 C	-
	Güterfelde (Sortenvergleich)	25	20,1 E	17,1 D	3,6 B	6,7 C	-
	Güterfelde (Ernte + Düngung)	< 60	6,9 C	11,6 C	6,7 D	6,3 C	-
2005	Thiendorf	44	4,40 B	3,80 A	5,8 C	5,4 B	0,89
	Trossin	96	8,20 D	11,6 C	11,4 E	5,9 C	1,7
	Wöllnau	22	6,56 C	11 C	8,4 E	5,3 B	2,6
	Güterfelde (Sortenvergleich)	25	20,1 E	17,1 D	3,6 B	6,7 C	-
	Güterfelde (Ernte + Düngung)	< 60	6,9 C	11,6 C	6,7 D	6,3 C	-
2006	Thiendorf	41,5	5,1 C	4,2 B	4,6 C	5,1 B	0,88
	Trossin	85	9,0 D	12,1 D	9,3 D	6,1 C	-
	Güterfelde (Sortenvergleich)	36	8,48 D	8,18 C	6,98 D	6,25 C	1,85
	Güterfelde (Ernte + Düngung)	36	8,48 D	8,18 C	6,98 D	6,25 C	1,85

A = sehr unterversorgt

B = unterversorgt

C = Erhaltungsdüngung (optimal)

D = überversorgt

E = sehr überversorgt

3.2 Witterungsverhältnisse

Sowohl die Sorghumhirsen als auch der Mais zählen auf Grund ihrer Herkunft aus dem subtropischen/ tropischen Klimaraum zu den wärmeliebenden Pflanzen. Sie stellen hohe Ansprüche an die Keimtemperatur. Ihr Wachstumsoptimum liegt bei Lufttemperaturen von 28 – 30°C. Im Wasserbe-

darf bestehen große Sortenunterschiede. Bestimmte Arten und Sorten gelten als extrem trocken-tolerant. Die Jahreswitterung an den Versuchsstandorten ist deshalb für die Beurteilung des Wachstumsverlaufes und der Ertragsentwicklung der geprüften Arten und Sorten eine wichtige Einflussgröße. Zur Charakteristik der Witterungsbedingungen an den Versuchsstandorten Wöllnau, Paschwitz und Sprotta sind die Daten der nahe gelegenen Wetterstation Spröda der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft herangezogen worden. Für die Darstellung des Witterungsverlaufes am Standort Thiendorf wurden die Aufzeichnungen der etwas nördlich gelegenen Wetterstation in Lampertswalde genutzt. Leider können für diesen Standort keine Aussagen zum langjährigen Mittel getroffen werden. An dem Standort Güterfelde konnten die Aufzeichnungen der am Versuchsfeld stationierten Wetterstationen verwendet werden.

Witterung im Versuchsjahr 2004 an den Versuchsstandorten

Die Jahresniederschlagssummen und Jahresdurchschnittstemperaturen entsprachen 2004 annähernd dem langjährigen Mittel an den drei Versuchsstandorten. Im Niederschlags- und Temperaturverlauf bestanden jedoch in den einzelnen Monaten Abweichungen zum langjährigen Mittel. Der Beginn der Vegetationsperiode, also Ende April bis Anfang Juli, zeigte sich verhältnismäßig kühl und niederschlagsreich. Dies hatte insbesondere bei den Hirsen eine zögerliche Keimung und Jugendentwicklung zur Folge und bedingte einen starken Unkrautdruck, der den Einsatz von Herbiziden notwendig machte. Ab Mitte Juli stiegen die Temperaturen dann deutlich an. In dieser Zeit konnte ein Wachstumsschub bei den Pflanzen beobachtet werden. Die Monate August bis Oktober waren durch eine verhältnismäßig trockene und warme Witterung gekennzeichnet. Sie bildeten günstige Voraussetzungen für die Entwicklung der Kulturen. Die Monatsmittelwerte der Temperaturen und die monatlichen Niederschlagssummen sind im Vergleich zum langjährigen Mittel den Abbildungen 1 und 2 zu entnehmen.

Witterung im Versuchsjahr 2005 an den Versuchsstandorten

Die Witterungsdaten aus dem Versuchsjahr 2005 sind dadurch charakterisiert, dass die Niederschlagsmengen über denen des langjährigen Mittels lagen. Die hohen Niederschlagsmengen sind auf starke Niederschlagsereignisse im Monat Juli – der Hauptvegetationsperiode – zurückzuführen und konnten an allen vier Standorten beobachtet werden. Dieses Witterungsereignis löste bei den Maispflanzen einen kräftigen Wachstumsschub aus. Die Jahresdurchschnittstemperaturen entsprachen 2005 annähernd dem langjährigen Mittel an den vier Versuchsstandorten. Der Temperaturverlauf variierte jedoch in den einzelnen Monaten im Vergleich zum langjährigen Mittel. Die Temperaturen zum Vegetationsbeginn bis Beginn der Hauptwachstumsperiode (April bis Juni) lagen im Bereich des langjährigen Mittels. In den folgenden Monaten Juli und August übertrafen die Lufttemperaturen am Standort Sprotta das langjährige Mittel. Am Standort Güterfelde konnten für diesen Zeitraum nur geringe Differenzen zum langjährigen Mittel ermittelt werden. In diesem Zeitraum konnte an den Versuchsstandorten ein bemerkenswert rasches Wachstum bei den Energiehirsen beobachtet werden. Die Monate September und Oktober waren am Standort Sprotta verhältnismäßig

ßig kühl. In Güterfelde dagegen waren diese beiden Herbstmonate durch Temperaturen gekennzeichnet, die sich deutlich über dem langjährigen Mittel bewegten.

Witterung im Versuchsjahr 2006 an den Versuchsstandorten

Das Versuchsjahr 2006 war durch einen sehr extremen Witterungsverlauf gekennzeichnet. Die Aussaat erfolgt in der ersten Maihälfte, in der warme und trockene Witterungsbedingungen vorherrschten. In der zweiten Monatshälfte folgten zahlreiche intensive Regenereignisse, die das Aufleben der ausgesäten Versuchspflanzen an den Standorten begünstigten. Das langsame Jugendwachstum der Sorghumhirsen und der damit verbundene Unkrautdruck machten einen PSM-Einsatz notwendig. Ende Mai bis Anfang Juni gingen in den Nächten die Temperaturen stark zurück, so dass die Sorghumhirsen vorrangig am Standort Trossin mit Nekrosen und Ausdünnung reagierten. Die Futterhirse „Rona“ war dabei mit 30 % am stärksten betroffen. Ein heftiges Gewitter mit Hagelschlägen am Standort Trossin verursachte starke Schäden an den Maispflanzen.

Der Juni war trotz Hagel und nächtlichen Frösten insgesamt ein sehr sonniger, warmer und sehr trockener Monat. Die Niederschlagsmengen lagen markant unter dem langjährigen Mittel. Der Juli war an allen Standorten durch eine sehr starke Hitze und Trockenheit geprägt. Auf diese extrem von den langjährigen Witterungsbedingungen abweichende Situation reagierte der Mais mit erheblichen Welkeerscheinungen. Die Sorghumhirsen tolerierten diese Stresssituation wesentlich besser als der Mais. Nur vereinzelt konnten Trockenstresssymptome in Form von braunen Blattspitzen und Spitzblättrigkeit beobachtet werden. Stärkere Trockenschäden blieben aus. Dem heißen Juli stand ein nasser und eher kühler August entgegen. Die gemessenen Niederschlagssummen befanden sich leicht unter dem langjährigen Mittel. Die Mitteltemperatur lag deutlich unter dem langjährigen Durchschnitt. Unter diesen Witterungsbedingungen setzte bei den Sorghumhirsen wieder ein rasches Wachstum ein.

Die Trockenheit im Juli in Verbindung mit der kühl-feuchten Witterung im August förderte die Entwicklung und Ausbreitung von Maiszünsler und Beulenbrand an den Maispflanzen. Von den geprüften Maissorten wies die Sorte „Fangio“ den stärksten Befall auf. Die geschädigten Pflanzen bildeten keine Kolben aus. Im Gegensatz zum Mais war der Befall der Sorghumhirsen wesentlich geringer. Nach einem wechselhaften und eher kühlen August folgt ein recht trockener, warmer und sonnenreicher September. Es wurden deutlich höhere Temperaturmittelwerte und eindeutig geringere Niederschlagssummen im Vergleich zum langjährigen Mittel gemessen.

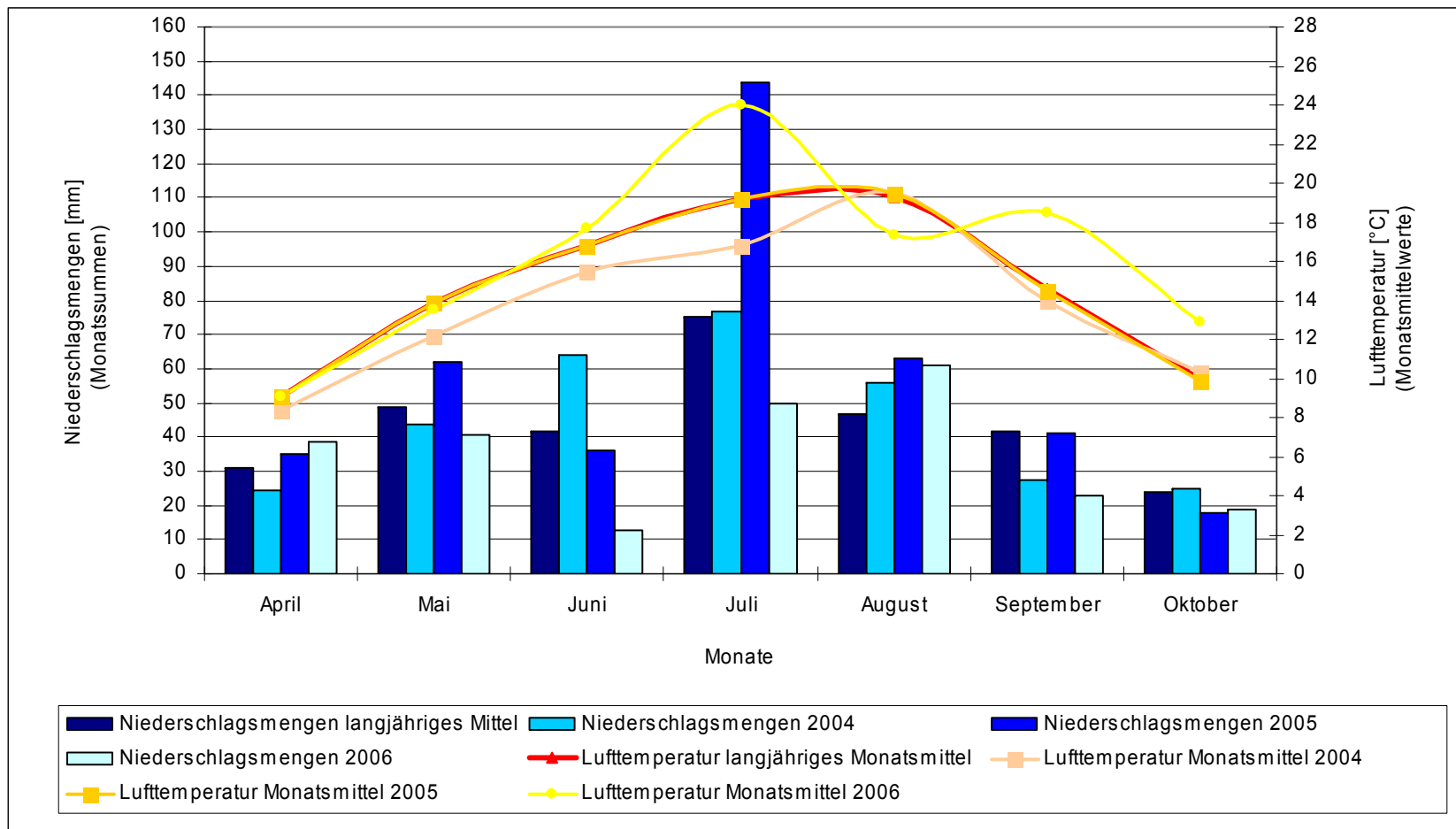


Abbildung 2: Wetterdaten Trossin, Wöllnau und Sprotta 2004/2005/2006 (Wetterdaten Spröda)

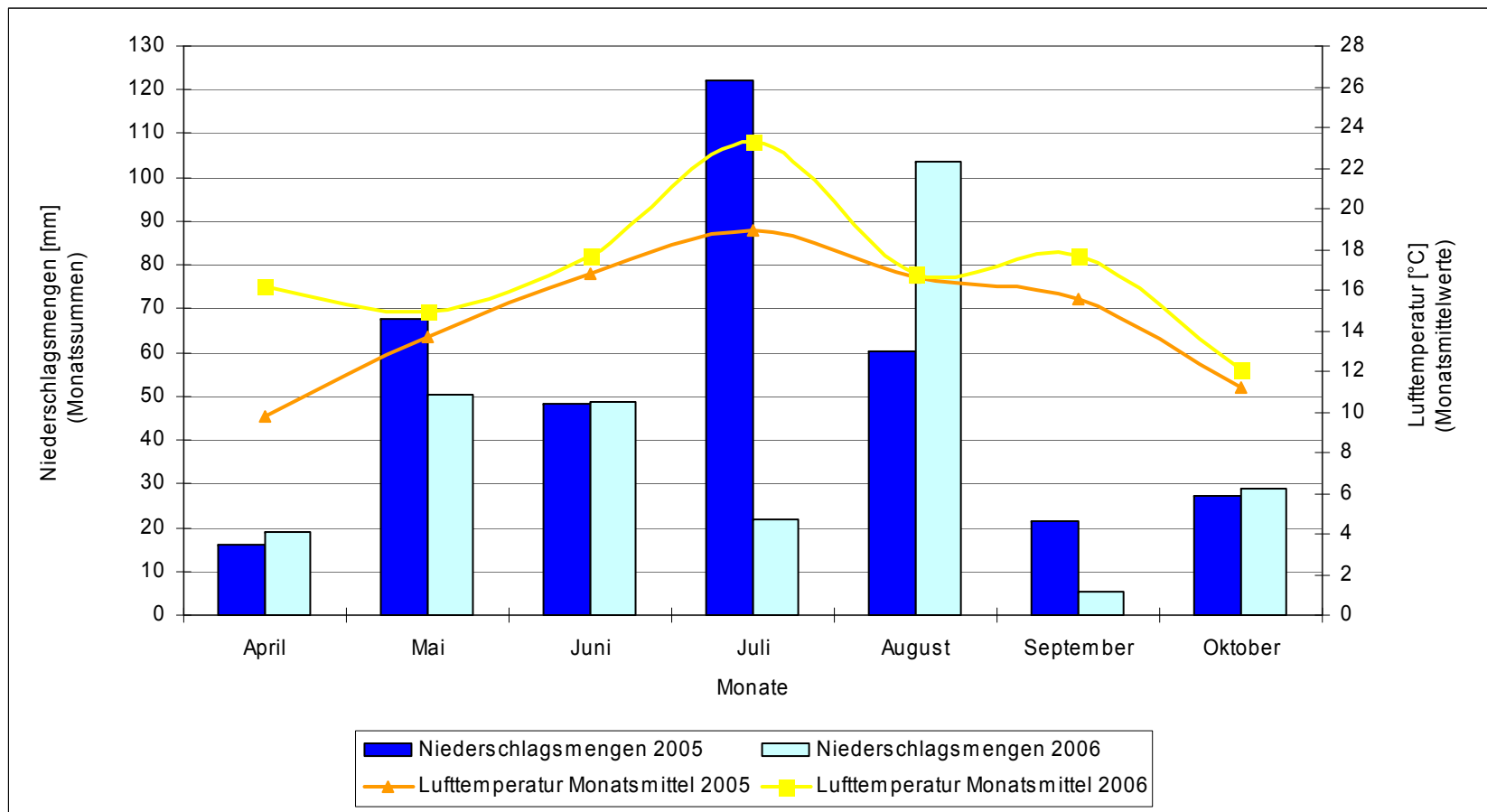


Abbildung 3: Wetterdaten Thiendorf 2005/2006 (Wetterstation Lampertswalde)

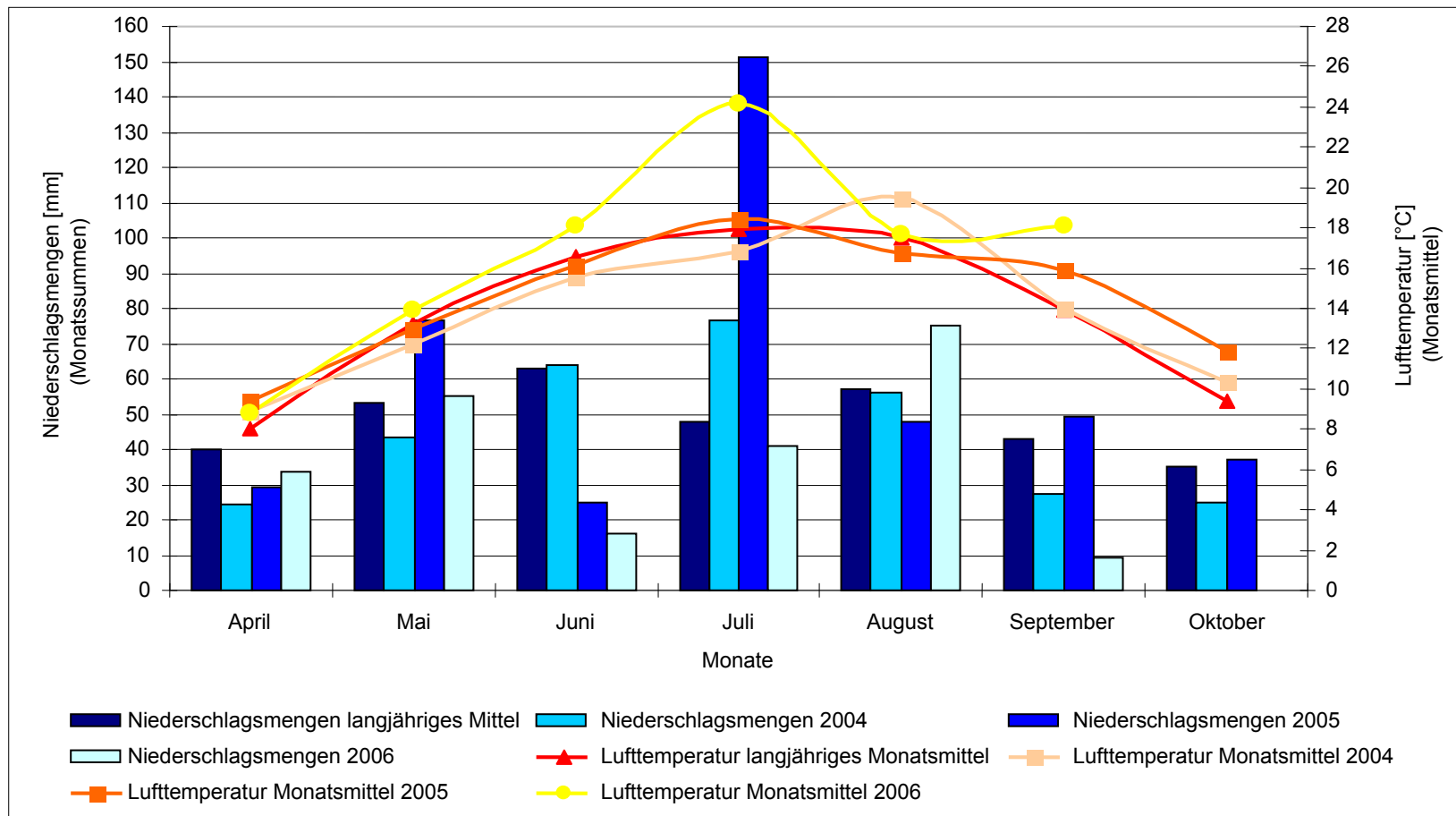


Abbildung 4: Wetterdaten Güterfelde 2004/2005/2006 (Wetterdaten Güterfelde)

Zusammenfassende Bewertung der Witterungsverläufe

Die drei Versuchsjahre (2004 – 2006) wiesen in der Hauptwachstumszeit der Kulturpflanzen auf allen Standorten eine sehr stark voneinander abweichende Witterung auf. So ist das Jahr 2004 als sehr kühles, niederschlagsarmes zu qualifizieren. Eine ausreichende überdurchschnittliche Niederschlagstätigkeit bei hohen Lufttemperaturen ist das Charakteristikum des Versuchsjahres 2005. Die Niederschlagsmenge und -verteilung dieses Jahres entsprach besonders gut dem Wasserbedarf der Maiskultur (Abb. 5). Auf Grund der geringen Datenlage lässt sich für Sorghum noch kein dementsprechendes Diagramm erstellen. Das Jahr 2006 war durch ein kühl-feuchtes Frühjahr und einen extrem warmen und trockenen Sommer und Herbst gekennzeichnet. Diese deutlich voneinander abweichenden Witterungsverläufe lassen es geboten erscheinen, eine jahresspezifische Auswertung der Versuchsergebnisse vorzunehmen (s. Kapitel 4).

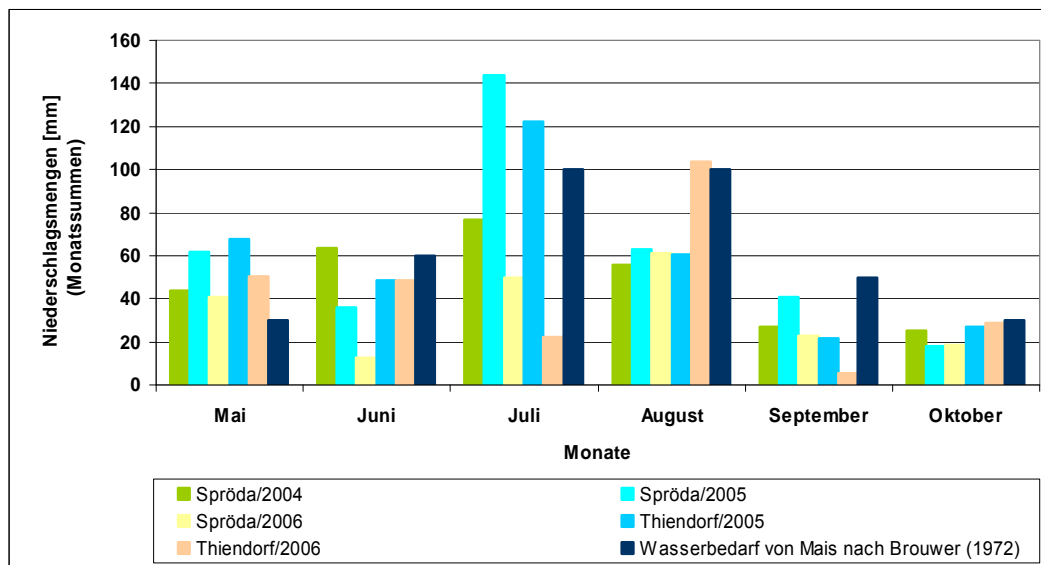


Abbildung 5: Benötigte und verfügbare Niederschlagsmengen für Mais (2004/2005/2006)

3.3 Feldversuche

Abgeleitet aus Literaturrecherchen und Tastversuchen wurde zur Optimierung der Anbautechnik im Rahmen des vorliegenden Projektes der Einfluss folgender Faktoren auf den Trockenmasseertrag, Gehalt an gärchemisch relevanten Inhaltsstoffen in der pflanzlichen Trockensubstanz und die Höhe der Gasausbeute untersucht:

- Sortenwahl
- Erntezeitpunkt
- Stickstoffdüngung.

Hierzu legte man mehrere Großversuche auf Praxisflächen auf den Standorten Sprotta, Paschwitz (2004) und Wöllnau (2005) an.

Auf den Versuchsstationen Trossin (BioChem Agrar) und Thiendorf (Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft) wurden Parzellenversuche in den Jahren 2004 – 2006 angelegt. Der Kooperations-

partner Landesamt für Verbraucherschutz führte in den Jahren 2004 bis 2006 auf der Versuchsstation Güterfelde Parzellenversuche mit oben genannter Fragestellung durch (Tab. 3).

Tabelle 3: Anlage und Fragestellung der Versuche zu Energiehirse und Energiemais

Jahr	Standort	Versuchs-anlage	Größe der Anlage-parzelle	Größe der Ernte-parzelle	Versuchsfrage
2004	Paschwitz	Langparzellen	1 ha	26 m ²	Sortenvergleich
	Sprotta	Langparzellen	1 ha	26 m ²	Erntetermin
	Güterfelde	Langparzellen	12,5 m ²	12 m ²	Sortenvergleich
		Spaltanlage	12,5 m ²	12 m ²	Erntetermin + Düngestufen
2005	Güterfelde	Blockanlage	12,5 m ²	12 m ²	Sortenvergleich
		Blockanlage	12,5 m ²	12 m ²	Erntetermin + Düngestufen
	Thiendorf	Blockanlage	36 m ²	10,4 m ²	Sortenvergleich
	Trossin	Blockanlage	27 m ²	13,5 m ²	Sortenvergleich
	Wöllnau	Langparzellen	750 m ²	65 m ²	Erntetermin
2006	Güterfelde	Blockanlage	12,5 m ²	12 m ²	Erntetermin + Düngestufen
		Blockanlage	12,5 m ²	12 m ²	Sortenvergleich
	Thiendorf	Blockanlage	36 m ²	10,4 m ²	Sortenvergleich
	Trossin	Blockanlage	27 m ²	13,5 m ²	Sortenvergleich

In den Anbauversuchen wurden leistungsstarke, auf einen hohen Massenzuwachs an vergärbare Biomasse ausgerichtete Mais-, Zuckerhirse- und Sudangrassorten verwendet (Tab. 4). Mit diesem Versuchsprogramm wird im Wesentlichen das aktuelle Sortenspektrum an Mais und Sorghumhirsen auf den leichten D-Standorten hinsichtlich Biomasseertrag und Biogasausbeute repräsentativ geprüft.

Tabelle 4: Geprüfte Energiehirse- und Energiemaissorten in Parzellen- und Praxisversuchen

Kultur	Sorte	Sortentyp	Jahr	Züchter
Mais	Novadour	S 280	2004	I.G. Pflanzenzucht GmbH
	Fangio	S 280	2004-2006	
	Gavott	S 250	2004-2006	KWS SAAT AG
Zuckerhirse	Super Sile 10	H	2005	Caussade - Saaten
	Super Sile 15	H	2005-2006	
	Super Sile 18	H	2005	
	Super Sile 20	H	2005-2006	
	Sugargraze	H	2004-2006	Pacific Seeds
	Friggo	H	2004-2006	RAGT Saaten
	Rona	H	2006	GK Gabona Kutato
Sudangras	Vercors	H	2004	I.G. Pflanzenzucht GmbH
	Akklimat	H	2005-2006	GK Gabona Kutato
	GK Csaba	H	2005-2006	
	Lussi	H	2004-2006	Caussade - Saaten
	Susu	H	2004-2006	Feldsaaten - Freudenberger

Die Vorrüchte spiegeln mit Getreide als Winterzwischenfrüchte die typischen Anbaubedingungen für Hauptfutterfrüchte wider (Tab. 5, 6, 7).

In den drei Versuchsjahren erfolgte die Aussaat der Wärme liebenden Kulturen in dem Zeitraum von Mitte Mai bis Anfang Juni. Dabei wurde der Mais mit einer Einzelkornsämaschine gelegt, während die Saat der Hirsesorten mit einer Drillmaschine erfolgte. Für die Aussaat (Saatstärke, Saattiefe, Reihenabstand) wurden die Empfehlungen der Saatgutfirmen genutzt und entsprechend der Nutzungsrichtung zur Energieproduktion modifiziert. Die Höhe der mineralischen Düngung mit Stickstoff, Phosphor und Kalium orientierte sich an den Empfehlungen des Düngungsberatungsprogramms BEFU (FÖRSTER et al. 2004) und der Züchter. In den Versuchen wurden Pflanzenschutzmittel zur Unkrautbekämpfung eingesetzt. Dabei reduzierten die Präparate Artett, Certrol B und Lontrel 100 die Unkräuter, ohne die Bestände an Sudangras bzw. Zuckerhirse zu schädigen (Tab. 5, 6, 7).

Zu beachten ist, dass für Energiehirse derzeit keine Indikationszulassung für Pflanzenschutzmittel vorliegt. Während für Mais probate zugelassene Herbizide auf dem Markt sind, erfolgt derzeit der Einsatz von Herbiziden bei Sudangras und Zuckerhirse auf dem Wege der Genehmigungen im Einzelfall nach §18 b des Pflanzenschutzgesetzes (Stand 2006).

Tabelle 5: Anbautechnische Daten der Sortenversuche 2004/2005/2006 (M = Mais; ZH = Zuckerhirse; SG = Sudangras)

Standort	Jahr	Vorfrucht	Fruchtart	Aussaat	Saatstärke [kg/ha]	Saattiefe [cm]	Reihenabstand [cm]	Düngung [kg/ha]			Pflanzenschutzmittel [l/ha]					
								N	P	K	Gardo Gold	Motivell	Artett	Certrol B	Lontrel 100	
Paschwitz	2004	Getreide	M	17.5.04	28	4-6	70	90 (21.6./ 5.7.)	34 (8.7.)	63 (8.7.)	2,5	-	-	0,3	-	
			ZH		8	3-4	50				1,5					
			SG		30	3	25									
Güterfelde	2004	Feldgras	ZH	3.6.04	8	3-4	25	100 (19.7./ 5.8.)	-	-	-	-	-	-	-	
			SG		30	3	25									
Güterfelde	2005	Feldgras	ZH	19.5.05	8	3-4	50	75 (13.6./ 28.6.)	-	-	-	-	3 (8.6.)	-	0,6 (8.6.)	
			SG		30	3	25									
Thiendorf	2005	Futterrüben	M	20.5.05	28	4-6	45	75 (19.5.)	69 (19.5.)	-	-	-	-	3 (9.6.)	-	-
			ZH		8	3-4	30									
			SG		30	3	30									
Trossin	2005	Winterweizen	M	13.5.05	28	3-4	75	50 (12.5.)	-	-	-	-	-	3 (26.5.)	-	-
			ZH		8	3	50									
			SG		30	3	28									
Güterfelde	2006	Klee gras	ZH	24.5.06	8	3-4	50	100 (21.6.)	-	-	-	-	-	3 (16.6.)	-	-
			SG	23.5.06	30	3	25									
Trossin	2006	Sommergerste	M	6.5.06	28	3-4	75	70 (9.6.)	-	-	-	-	-	1,5 (2.6.)	-	
			ZH	15.5.06	8	3	50	60 (9.6.)	-	-	-	-	-	1,0 (2.6.)	-	
			SG		30	3	28									
Thiendorf	2006	Futtermöhren	M	15.5.06	28	3-4	75	120 (27.6.)	-	-	-	-	-	1,25 (30.6.)	-	
			ZH		8	3	30				-	-	-			
			SG		30	3	28				-	-	-			

Tabelle 6: Anbautechnische Daten der Ernteterminversuche 2004 - 2005 (M = Mais, ZH = Zuckerhirse; SG = Sudangras)

Standort	Jahr	Vorfrucht	Fruchtart	Aussaat	Saatstärke [kg/ha]	Saattiefe [cm]	Reihenabstand [cm]	Düngung [kg/ha]			Pflanzenschutzmittel [l/ha]				
								N	P	K	Gardo Gold	Motivell	Artett	Certrol B	Lontrel 100
Sprotta	2004	Futterroggen	M	25.5.04	28	4-6	75	73 (10.5.)	19 (6.10.03)	91 (6.10.03)	2,5 (15.6.)	0,8 (15.6.)	-	-	-
			ZH		8	3-4	65				-	1,5 (25.6.)			
			SG		30	3	55				-	-			
Wöllnau	2005	Futterroggen	M	23.5.05	28	4-6	75	100 (30.5.)	85 (18.5./ 23.5.)	54 (18.5)	2,5 (17.6.)	0,8 (17.6.)	-	-	-
			ZH		8	3-4	48				-	1,25 (9.6.)			
			SG		30	3	24				-	-			

Tabelle 7: Anbautechnische Daten der N-Steigerungsversuche 2004 - 2006 (ZH = Zuckerhirse; SG = Sudangras)

Standort	Jahr	Vorfrucht	Fruchtart	Aussaat	Saatstärke [kg/ha]	Saattiefe [cm]	Reihenabstand [cm]	Düngung [kg/ha]			Pflanzenschutzmittel [l/ha]				
								N	P	K	Gardo Gold	Motivell	Artett	Certrol B	Lontrel 100
Güterfelde	2004	Feldgras	ZH	3.6.04	8	3-4	50	Dünge- stufen	-	-	-	-	3 (1.6.)	-	-
			SG		30	3	25								
Güterfelde	2005	Feldgras	ZH	19.5.05	8	3-4	50	0; 50;	-	-	-	-	3 (8.6.)	-	0,6 (3.6./15.6.)
			SG		30	3	25								
Güterfelde	2006	Klee-gras	ZH	24.5.06	8	3	50	100; 150	-	-	-	-	3 (16.6.)	-	-
			SG		30	3	25								

3.4 Angewandte Analysemethoden

Die chemisch- analytischen Untersuchungen erstreckten sich auf Pflanze und Boden. Von den Pflanzen der Versuchsflächen wurden in verschiedenen Entwicklungsstadien und zur Ernte repräsentative Proben entnommen. Das Probematerial wurde auf den Gehalt an wichtigen Mineralstoffen und gärchemischen Parametern analysiert.

Die untersuchten Parameter charakterisieren die pflanzliche Substanz hinsichtlich des Gehaltes an Makro- und Mikronährstoffen. Sie geben mit der Bestimmung der Rohproteine, Rohfette, Rohfaser und des Gesamtzuckers Aufschluss über das theoretische Biogasbildungsvermögen der Pflanzen. Mit den Gehalten an Essigsäure, Buttersäure, dem Ammonium und pH-Wert werden die Reaktionsbedingungen zur Umsetzung der vergärbaren Trockensubstanzen beschrieben (Tab. 8).

Tabelle 8: Untersuchungsmethoden zur chemischen Zusammensetzung der Pflanzenproben

Untersuchungsmerkmal	Dimension	Methode
Kohlenstoff	%	DIN – ISO 10694
Kalium	%	PAW 02 315 (RFA)
Phosphor	%	PAW 02 315 (RFA)
Schwefel	%	PAW 02 315 (RFA)
Kupfer	%	PAW 02 315 (RFA)
Zink	%	PAW 02 315 (RFA)
Chrom	%	PAW 02 315 (RFA)
Nickel	%	PAW 02 315 (RFA)
Natrium	%	PAW 02 315 (RFA)
Calcium	%	PAW 02 315 (RFA)
Magnesium	%	PAW 02 315 (RFA)
Rohprotein	%	PAW 02 317 (DUMAS)
Rohasche	%	MB III VDLUFA Nr. 8.1
Rohfett	%	MB III VDLUFA Nr. 5.1.1
Rohfaser	%	MB III VDLUFA Nr. 6.1.1
Gesamtzucker	%	MB III VDLUFA Nr. 7.1.3
Trockensubstanz	g	MB III VDLUFA Nr. 3.1
Essigsäure	%	Hausmethode GC
Buttersäure	%	Hausmethode GC
Ammonium	mg/l	PAW 02 201
pH-Wert	-	PAW 02 201

PAW Prüfanweisung

MB Methodenbuch

RFA Röntgenfluoreszenzabsorptionsspektroskopie

GC Gaschromatographie

VDLUFA Verein Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten

Die Ackerkrume der Versuchsflächen wurde hinsichtlich ihres Nährstoff- und Humusgehaltes sowie des Bodenreaktionszustandes charakterisiert (Tab. 9).

Tabelle 9: Untersuchungsmethoden zur chemischen Zusammensetzung des Bodens

Untersuchungsmerkmal	Dimension	Methode
Phosphor	mg/100g	MB I VDLUFA A 6.2.1.1
Kalium	mg/100g	MB I VDLUFA A 6.2.1.1
Magnesium	mg/100g	MB I VDLUFA A 6.2.4.1
pflanzenverfügbare Stickstoff	kg/ha	MB I VDLUFA A 6.2.4.1
Humus	%	DIN ISO 10 694
pH-Wert	-	MB I VDLUFA a 5.1.1

3.5 Biogasversuche

Zur Bestimmung der Biogasausbeuten der Pflanzenproben (Silagen) wurde zum einen der diskontinuierliche (Batch-Verfahren), zum anderen der kontinuierliche Gärtest angewendet.

In einem **diskontinuierlichen Gärtest** (auch Batch-Versuch) wird der Fermenter mit einer definierten Menge an Substrat vollständig befüllt und luftdicht verschlossen. Bei dem Substrat handelt es sich um zu vergärende pflanzliche Biomasse und vergorenes Impfsubstrat, das in einem bestimmten Verhältnis angesetzt wird. In einem Zeitraum von drei bis vier Wochen wird das Material weitgehend abgebaut. Nach diesem Zeitraum wird der Reaktor bis zu 90 % entleert und mit einer neuen Substratmenge versehen. Eine konstante Gasproduktion ist in einem Batch-Versuch nicht gegeben. Die Gasproduktion steigt langsam nach der Beschickung des Reaktors an und fällt nach dem Erreichen des Maximums wieder ab.

Ein diskontinuierlicher Gärtest eignet sich daher grundsätzlich nur zur Bewertung der maximalen Methan- und Biogasausbeute sowie der anaeroben Abbaubarkeit von Substraten. Außerdem sind Beurteilungen und Bewertungen zur Geschwindigkeit des Abbaus bzw. Hemmwirkung von Stoffen und Stoffgemischen möglich. Zusammenfassend lassen sich mit Hilfe des Batch-Tests grundlegende Aussagen zur Eignung von Substraten für die Biogasproduktion treffen.

Beim **kontinuierlichen Gärtest** wird dem Fermenter eine definierte Menge an Substrat zugeführt. Parallel mit der Zuführung verlässt eine äquivalente Menge an Material den Fermenter durch Verdrängung oder Entnahme. Diese Art der Prozessgestaltung führt zur Bildung einer gleich bleibenden Gasmenge. Ein Anheben der produzierten Gasmenge ist durch eine gesteigerte Zufuhr an Substrat möglich. Die Weiterführung sowie die Prozessstabilität hängen in starkem Maße von dem täglich zu- und abgeführten Material ab. Mit einem derartigen Gärtest lassen sich Raumbelastungen, Verweilzeiten, Prozessführung, Prozessstabilität und Anfahrprozesse simulieren sowie die Bildung und Akkumulation von Stoffwechselzwischenprodukten während des Prozesses ermitteln.

Schlussendlich soll das Ziel eines kontinuierlich ausgeführten Gärtests die Ermittlung von praxisnahen Daten sein.

3.5.1 Laborversuche 2004

Die diskontinuierlichen und kontinuierlichen Gärtests wurden im Versuchsjahr 2004 von der Firma BTN in Nordhausen in Anlehnung an die DIN 38 414 - S8 durchgeführt. Als Verfahren wurde die Monovergärung (pflanzliches Gärsubstrat) ausgewählt.

In der diskontinuierlichen Gärmethodik wurden die Proben in 1 Liter- Standflaschen im Brutschrank bei 37 ± 1 °C mit 500 ml Impfmateriale (weitgehend ausgefaulter Schlamm aus der Biogasanlage van Asten in Nordhausen) angesetzt. Das Verhältnis organische Trockensubstanz (oTS) Impfschlamm : oTS Pflanzensubstrat hat sich mit 2 : 0,1 als günstig für die Gasproduktion erwiesen. Das ursprünglich gewählte Verhältnis von 2 : 1 führte zu einer Versäuerung des Versuchsansatzes mit bis zu 7 000 mg/l Karbonsäuren. Das entwickelte Gasvolumen wurde täglich abgelesen, wobei außerdem durch vorsichtiges Umschwenken eine Durchmischung des Versuchsansatzes erfolgte. Bei jeder Ablesung des Gasvolumens wurden Temperatur und Luftdruck der Umgebung bestimmt, so dass die Umrechnung auf den Normzustand erfolgen konnte. Bezug nehmend auf die DIN 38414- S 8 wird eine Gasproduktion innerhalb von 20 Tagen gefordert. Um auch eventuell später entstehendes Gas (Nachgärung) zu erfassen, wurden die Versuche bis zu 30 Tagen fortgeführt.

In den kontinuierlichen Gärtests standen als Versuchsfementer 2,5-Liter-Gefäße mit Rührer zur Verfügung, welche eine tägliche Zufuhr des Substrates und die Entnahme des verbrauchten Substrates erlaubten. Die Faulraumbelastung wurde auf 2,5 kg oTS/(m³*d) für alle Versuchsvarianten festgelegt. Die Versuchsdurchführung erfolgte nach dem Prinzip der Monovergärung, d. h. nach dem Animpfen mit Gärresten aus der Biogasanlage van Asten (analog der Batch-Versuche) wurde ausschließlich Pflanzenmaterial zugeführt. Die Versuchsdauer betrug drei Monate je Versuch.

Das entstehende Gasvolumen wurde mittels eines Trommelgaszählers gemessen. Die Analyse der Gaszusammensetzung (Methan- und Schwefelwasserstoffgehalt) erfolgte mit Hilfe des Analysenmessgerätes SSM 600 der Firma Schmack Biogas. Die Umrechnung auf den Normzustand wurde analog der Batch-Versuche vorgenommen. Nach ca. vier Wochen Versuchsdauer blieb die täglich entstehende Biogasmenge annähernd konstant. Ab diesem Zeitpunkt wurden aus den täglich gemessenen Werten Mittelwerte gebildet und die entsprechenden Parameter berechnet.

3.5.2 Laborversuche 2005 und 2006

In den Jahren 2005 und 2006 übernahm die BiogasBeratungBornim GmbH die Durchführung der kontinuierlichen und diskontinuierlichen Gärversuche. Der Ablauf der Gärtests erfolgte gemäß VDI-Richtlinie 4630. Hier wurde eine Co-Vergärung angestrebt. Das Mischungsverhältnis für beide Beschickungsmethoden betrug 30 : 70 % (hier Rindergülle).

Im diskontinuierlichen Gärversuch erfolgte die Vergärung in 2-Liter-Gefäßen. Um den Verlauf der Gasbildung darzustellen, wurde täglich die Biogasmenge abgelesen. Weiterhin wurden je Ansatz der pH- Wert, die Trockensubstanz (TS) und die organische Trockensubstanz (oTS) vor und nach dem Gärtest gemessen. Zusätzlich erfolgte die Erfassung des Methan- und Schwefelwasserstoffgehalts. Sofern die tägliche Biogasrate auf einen Anteil von 1 % absank, wurde der jeweilige Gärtest abgebrochen. Die Laboranlage bestand aus gasdichten PE-Flaschen, einem Wasserbad mit Thermostat, Gasmäusen mit Dreiwegehahn und Gasbeuteln mit Ventilen.

Im kontinuierlichen Gärtest betrug die Größe der doppelwandigen Versuchsfermenter 10 Liter. Die Faulraumbelastung wurde in kleinen Schritten von 2 auf 2,5 und 3 kg oTS/(m³*d) erhöht. Die Versuchsdauer je Faulraumbelastung betrug 30 Tage. Im Falle von sehr instabilen Gasbildungsprozessen wurde die Versuchsdauer verlängert. Während der Versuche wurden täglich die Gasmenge und wöchentlich die Gaszusammensetzung, der pH-Wert im Ablauf und die Trockensubstanz (TS) und organische Trockensubstanz (oTS) im Zu- und Ablauf erfasst.

4 Wissenschaftlich-technische Ergebnisse

4.1 Optimierung der Anbautechnik

4.1.1 Einfluss der Sorte auf die Ertragsbildung

4.1.1.1 Sortenversuche 2004

Im Jahr 2004 wurden die Sortenvergleiche an den Standorten Güterfelde und Paschwitz durchgeführt.

Am Standort Güterfelde wurden in zwei Versuchen (Abb. 6) unterschiedliche Zuckerhirsesorten geprüft.

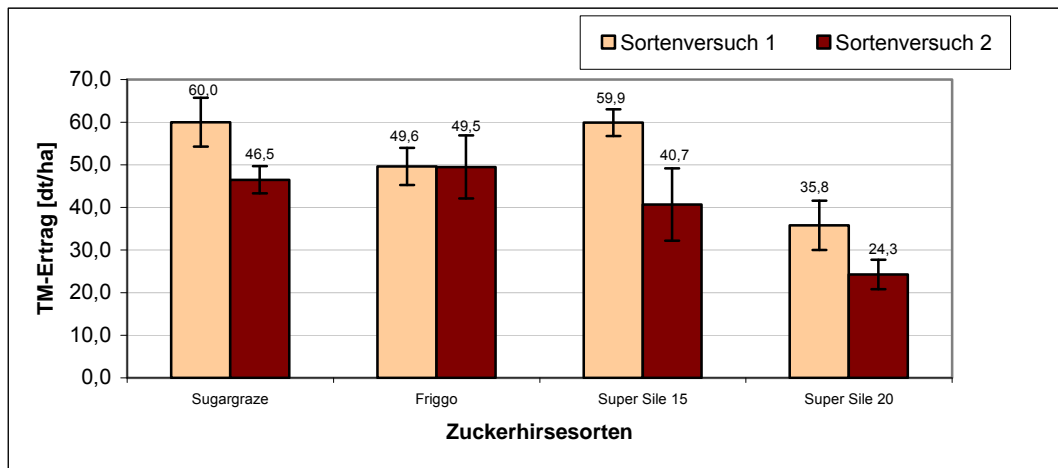


Abbildung 6: TM-Erträge/Zuckerhirse-Sortenversuche Güterfelde 2004

Die Bestandesmerkmale zum Zeitpunkt der Ernte im Entwicklungsstadium des vollen Rispschiebens kennzeichneten vor allem versuchsbedingt einen unterschiedlichen Einlagerungszustand an Trockensubstanz in den Pflanzen. Im Versuch 2 war er bei allen geprüften Sorten zum Teil deutlich geringer als im Versuch 1. Bezüglich der Bestandesdichte je Flächeneinheit und Anzahl gebildeter Triebe pro Pflanze waren die Unterschiede nicht so gravierend (Tab. 10).

In beiden Versuchen wurde bei den einzelnen Sorten ein unterschiedliches Ertragsniveau analysiert. Der gegenüber Versuch 1 nachgewiesene geringere Trockensubstanzgehalt im Versuch 2 führte zu einem Absinken des Ertrages mit Ausnahme der Sorte „Friggo“ (Tab. 10). Eine wesentliche Ursache für die geringe TS-Einlagerung und Ertragsleistung im Versuch 2 war in der Anwendung des Herbizides „Pointer“ gegen Ackerkratzdistel etwa drei Wochen vor Aussaat gegeben. Dies führte zu Wachstumsdepressionen und zeitweisen Schäden an den Pflanzen, die bis zum Längenwachstum der Pflanzen deutlich sichtbar waren. Weiterhin konnten in beiden Versuchen zwischen den Sorten signifikante Ertragsunterschiede festgestellt werden.

Tabelle 10: Merkmale des Bestandes zur Ernte/Zuckerhirse-Sortenversuche Güterfelde 2004

Variante	Versuch	TS - Gehalt [%]	Pflanzendichte [Pfl./m ²]	Triebzahl [Triebe/Pfl.]
Sugargraze	1	24	38	6
	2	18	42	6
Friggo	1	22	32	5
	2	22	42	6
Super Sile 15	1	23	30	7
	2	20	44	6
Super Sile 20	1	23	28	4
	2	16	38	5

Im Praxisversuch am Standort Paschwitz wurden verschiedene Mais- und Sorghumhirsen bezüglich ihrer Ertragsparameter und des Trockenmasseertrages untersucht.

Aus der Analyse der Bestandesmerkmale geht hervor, dass die beiden Energiemaissorten „Novadour“ und „Fangio“ im Vergleich zu den Zuckerhirse- und Sudangrassorten ein wesentlich stärkeres Längenwachstum entfalteten und mehr Trockenmasse bildeten (Tab. 11). Die Vorteile in der Biomasseentwicklung führten zu höheren Erträgen der Maissorten gegenüber den Sorghumsorten (Abb. 7). Dabei erreichten die Sorten der Zuckerhirse bis zu 83 % und die des Sudangrases nur bis zu 50 % der Trockenmasseerträge von Energiemaissorten. Als Ursache für diese Ertragsunterschiede ist der geringe TS- Gehalt bei den Sorten der Zuckerhirse und des Sudangrases zu nennen (Tab. 11). Sie sind begründet in den noch vergleichsweise frühen Entwicklungsstadien dieser Fruchtarten zur Ernte.

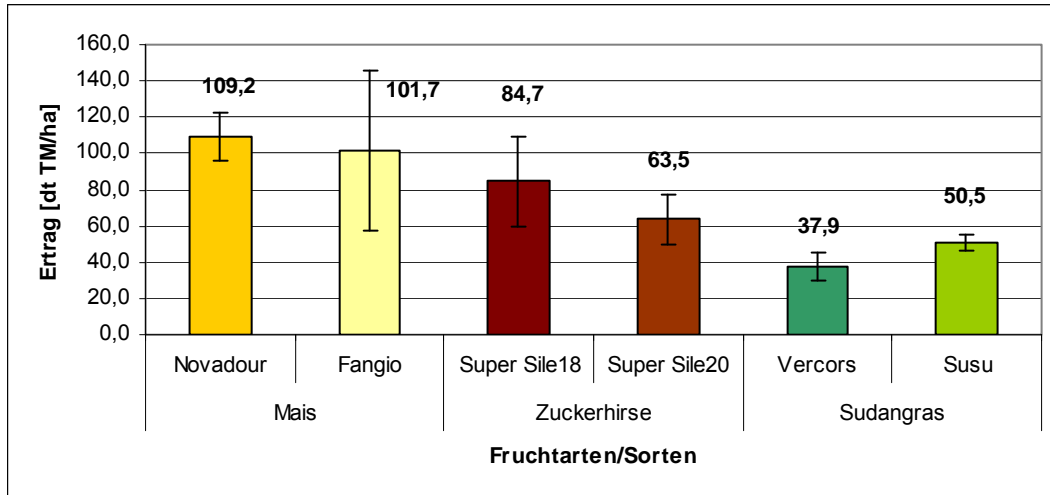


Abbildung 7: TM-Erträge drei Fruchtarten – Sortenvergleich Paschwitz 2004

Während der Mais bereits das Milchreifstadium erreicht hatte, befanden sich die Sudangras- und Zuckerhirsebestände erst im Stadium „Beginn“ bis „Mitte des Rispenschiebens“ (Zuckerhirse) bzw. am „Beginn der Rispenbildung“ (Sudangras). Die Ertragsmerkmale (Tab. 11) unterstreichen diesen unterschiedlichen Entwicklungszustand der Arten und Sorten, der sich sehr deutlich in einem unterschiedlichen Ertragsniveau (Abb. 7) manifestiert.

Tabelle 11: Merkmale des Bestandes zur Ernte drei Fruchtarten - Sortenversuche Paschwitz 2004

Fruchtart	Sorte	TS-Gehalt [%]	Triebzahl [Triebe/Pfl.]	Wuchshöhe [cm]
Mais	Novadour	24	1	196,3
	Fangio	26	1	204,7
Zuckerhirse	Super Sile 18	23	1	124,4
	Super Sile 20	22	1	124,4
Sudangras	Vercors	22	2	140,7
	Susu	17	1	149,8

Ein Vergleich der Sorten zeigte lediglich bei Sudangras signifikante Unterschiede in den Erträgen ($p = 0,05$, $n = 8$, T-Test). Hier brachte „Susu“ trotz wesentlich niedrigeren TS-Gehaltes einen um 33 % höheren TM-Ertrag als die Sorte „Vercors“. Dies ist vermutlich auf die größere Wuchshöhe zurückzuführen (Tab. 11). Die Ergebnisse liefern den Hinweis, dass zur Ausschöpfung des sortenspezifischen Ertragspotenzials der TS-Gehalt maßgebend ist. Bei insgesamt sehr kühler Witterung in der Jugendentwicklung (April - Anfang Juli) zeigten die Sorghumhirschen nur ein geringes Wachstum. Eine stärkere Dynamik im Längenwachstum setzte erst bei höheren Lufttemperaturen im Juli

ein. Wie Abb. 8 zeigt, konnten die Sorghumhirsen den Wachstumsvorsprung der Maissorten nicht mehr kompensieren.

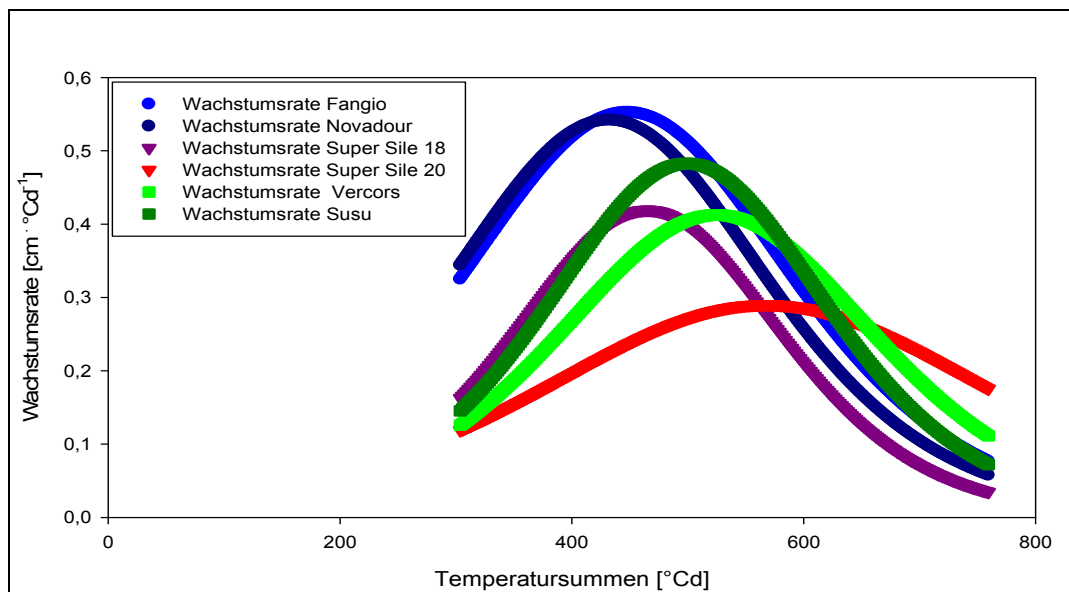


Abbildung 8: Wachstumsraten der geprüften Sorten in Paschwitz 2004

4.1.1.2 Sortenversuche 2005

Das Versuchsjahr 2005 war durch ein für das Pflanzenwachstum allgemein sehr günstiges feucht-warmes Wetter besonders in der Hauptwachstumsperiode gekennzeichnet. Entsprechend der Dynamik auf dem Sortenmarkt wurden neben den im Versuchsjahr 2004 geprüften Sorten auch neue Sorten (Mais: Gavott; Sudangras: Lussi, Akklimat, GK Csaba) in die Versuche einbezogen.

Ein am Standort Güterfelde durchgeführter Versuch mit vier Sudangrassorten führte zu dem Ergebnis, dass die Sorte „Lussi“ nach ca. 103 Wachstumstagen im Vergleich zu den anderen Sorten (Susu, Akklimat, GK Csaba) den höchsten Gehalt an Trockensubstanz in der Biomasse und das intensivste Wachstum (Wuchshöhe) erreicht hatte (Tab. 12). Diesbezüglich waren zwischen den anderen Sorten nur geringe Differenzierungen in den Ertragsparametern zu beobachten.

Tabelle 12: Merkmale des Bestandes zur Ernte Sudangras-Sortenversuche Güterfelde 2005

Sorte	Ernte [d]	BBCH	TS-Gehalt [%]	Triebzahl [Triebe/Pfl.]	Pflanzendichte [Pfl./m ²]	Wuchshöhe [cm]
Susu	103	63	22	4	51	254
Lussi	103	63	27	4	50	304
Akklimat	103	63	24	5	53	234
GK Csaba	103	63	22	4	56	248

Im Ertrag waren zwischen den Sorten keine signifikanten Unterschiede festzustellen (Abb. 9). So erzielte in Korrelation zu den Wachstumsmerkmalen der Tab. 12 „Lussi“ den höchsten Ertrag. Die Sorten „Susu“ und „GK Csaba“ verzeichneten ein geringeres Ertragsniveau. Mit dem niedrigsten Ertrag schnitt die Sorte „Akklimat“ (11 t TM/ha) ab. Dies könnte im Zusammenhang mit der geringeren Wuchshöhe stehen.

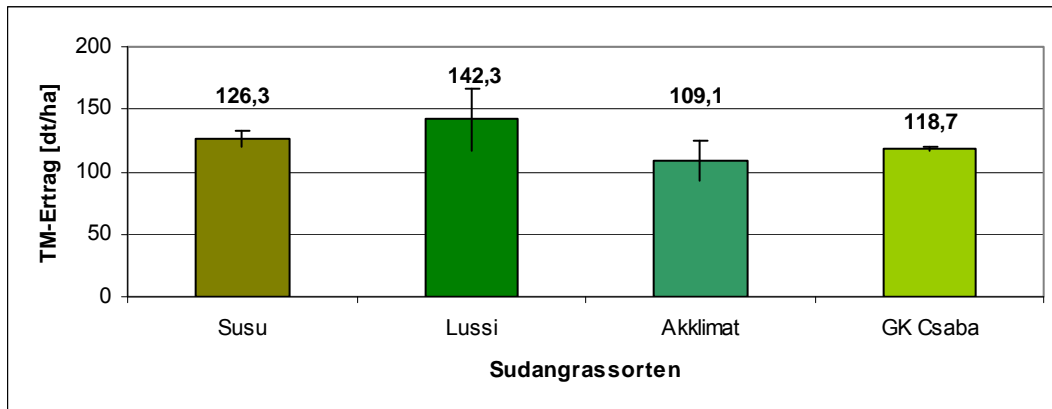


Abbildung 9: TM-Erträge Sudangras-Sortenversuche Güterfelde 2005

[GD_{5%} (Sorte)=25,167]

Von den geprüften Zuckerhirsesorten am Standort Güterfelde ist die Sorte „Sugargraze“ mit einem sehr hohen Ertragsniveau von 208,9 dt TM/ha herauszuheben. Ihr Ertrag lag signifikant über den Erträgen der anderen Sorten, wobei die Sorte „Super Sile 20“ durchaus mit einem sehr beachtlichen Ertragsniveau von ca. 150 dt TM/ha erwähnt werden muss. Die Sorte „Friggo“ erreichte mit 81,3 dt TM/ha den signifikant geringsten Ertrag (Abb. 10).

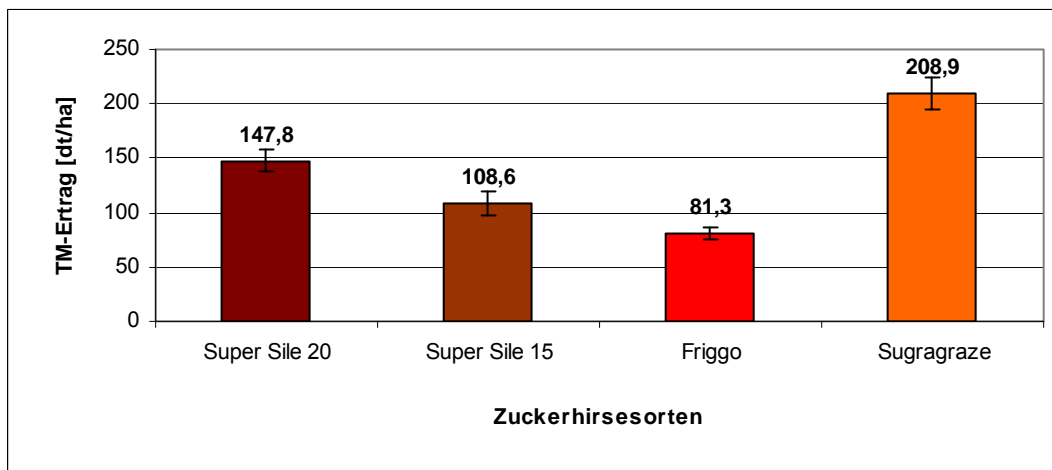


Abbildung 10: TM- Erträge Zuckerhirse-Sortenversuche Güterfelde 2005

[GD_{5%} (Sorte) = 14,852]

Die Ernte der Zuckerhirsesorten erfolgte im Stadium der „Blüte“ (134 Wachstumstage). Trotz des gleichen Entwicklungsstadiums bestanden gravierende Unterschiede in der Wuchshöhe zwischen den Sorten. Die Differenzen in den Ertragsparametern TS-Gehalt, Triebzahl und Pflanzendichte waren dagegen gering. Aus den Parametern ist abzuleiten, dass die Sorten „Sugargraze“ und „Super Sile 20“ ihren hohen Ertrag hauptsächlich über ein verstärktes Längenwachstum realisiert haben (Tab. 13).

Tabelle 13: Merkmale des Bestandes zur Ernte Zuckerhirse-Sortenversuch Güterfelde 2005

Sorte	Ernte [d]	BBCH	TS - Gehalt [%]	Triebzahl [Triebe/Pfl.]	Pflanzendichte [Pfl./m ²]	Wuchshöhe [cm]
Super Sile 20	134	63	25	4	12	204
Super Sile 15	134	63	24	3	13	150
Friggo	134	63	25	4	14	118
Sugargraze	134	63	24	5	14	225

Am Standort Thiendorf wies die Prüfung verschiedener Mais-, Sudangras- und Zuckerhirsesorten darauf hin, dass die Maissorten (Fangio, Gavott) den Sorten der Zuckerhirse und des Sudangrases im Ertrag überlegen sind. Für die Maissorten wurden 30 % höhere Erträge als bei den Hirsen gemessen (Abb. 11). Im Wesentlichen war der Mehrertrag der Maissorten auf die höhere TS-Bildung gegenüber den Hirsen zurückzuführen. Sie hatten zum Erntezeitpunkt ein gegenüber den Hirsen bereits weiter fortgeschrittenes Reifestadium erreicht (Tabelle 14). Auch diese Untersuchungen unterstreichen die Forderungen nach einer arten- und sortenspezifischen Erntetermingestaltung, die sich am TS-Gehalt orientiert, um das Ertragspotenzial optimal zu nutzen.

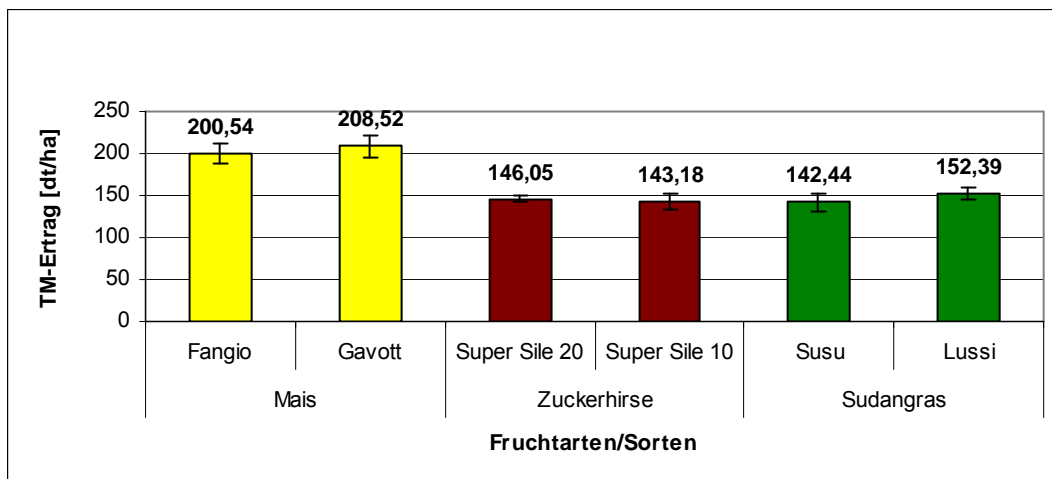


Abbildung 11: TM- Erträge drei Fruchtarten Sortenversuche Thiendorf 2005

[GD_{5%} (Fruchtart) = 24,664; GD_{5%} (Sorte) = 20,138; GD_{5%} (Fruchtart * Sorte) = 34,880]

Tabelle 14: Merkmale des Bestandes zur Ernte Sortenvergleich Thierendorf 2005

Fruchtart	Sorte	Ernte [d]	BBCH	TS-Gehalt [%]	Pflanzendichte [Pfl./m ²]	Wuchshöhe [cm]
Mais	Fangio	146	91	39	14	306
	Gavott	146	91	42	16	287
Zuckerhirse	Super Sile 20	146	71 – 75	26	17	253
	Super Sile 10	146	71 – 75	22	19	187
Sudangras	Susu	103	56 – 59	22	19	249
	Lussi	103	56 - 59	30	18	283

Parallel zum Versuch in Thierendorf wurde ein weiterer Sortenvergleich am Standort Trossin durchgeführt. Im Ertragsvergleich schnitten die beiden Maissorten ebenfalls am besten ab. Jedoch wurde deutlich, dass die Zuckerhirsesorte „Super Sile 20“ ein vergleichbares Ertragsniveau aufweist. Die übrigen geprüften Sorten der Zuckerhirse und des Sudangrases lagen wie auch am Standort Thierendorf deutlich niedriger im Ertragsniveau (Abb. 12).

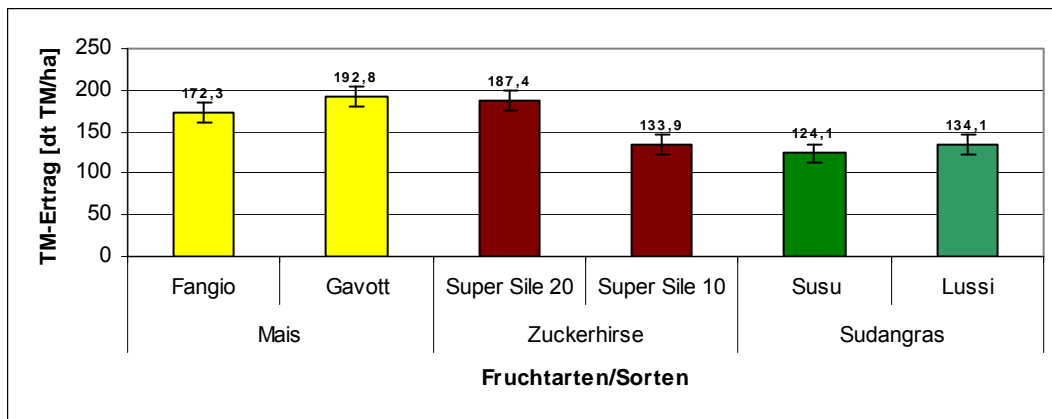


Abbildung 12: TM- Erträge drei Fruchtarten - Sortenvergleich Trossin 2005

[GD_{5%} (Fruchtart) = 15,933; GD_{5%} (Sorte) = 13,009; GD_{5%} (Fruchtart * Sorte) = 22,532]

Die aufgezeigten Ertragsdifferenzen zwischen den Sorten sind aus den erfassten Bestandesmerkmalen nicht eindeutig ableitbar. Sie liegen übereinstimmend mit anderen Ergebnissen für alle geprüften Sorten in einem günstigen Bereich (Tab. 15).

Tabelle 15: Merkmale des Bestandes zur Ernte drei Fruchtarten - Sortenvergleich Trossin 2005

Fruchtart	Sorte	Ernte [d]	BBCH	TS-Gehalt [%]	Pflanzendichte [Pfl./m ²]	Wuchshöhe [cm]
Mais	Fangio	144	91	35	11	281
	Gavott	123	91	26	11	276
Zuckerhirse	Super Sile 20	144	85 – 86	28	24	276
	Super Sile 10	144	85 - 86	26	20	178
Sudangras	Susu	118	71 – 75	30	24	301
	Lussi	123	71 - 75	27	27	303

4.1.1.3 Sortenversuche 2006

Das Versuchsjahr 2006 war in der Hauptwachstumsperiode der Kulturpflanzen durch eine sehr warme und trockene Witterungsperiode geprägt. Deutliche Niederschlagsdefizite und hohe Lufttemperaturen waren insbesondere in den Monaten Juni, Juli und September zu beobachten (Abb. 2, 3 und 4). Trotz sommerlicher Trockenheit und vereinzelter Trockenstresssymptomen (vertrocknete Blätter) zeigten die Ergebnisse des Sortenversuches mit vier verschiedenen Sudangrassorten in Güterfelde sehr gute Erträge (Abb. 13). Der Pflanzenbestand des Versuches wurde nach 107 Tagen geerntet. Die Sorte „Lussi“ erzielte mit 151 dt TM/ha den signifikant höchsten Trockenmasseertrag im Vergleich zu den Sorten „Susu“, „Akklimat“ und „GK Csaba“. Aus der Analyse der Ertragsparameter zum Erntezeitpunkt geht hervor, dass „Lussi“ den hohen Ertrag im Wesentlichen über die Wuchshöhe und den Trockensubstanzgehalt realisierte (Tab. 16).

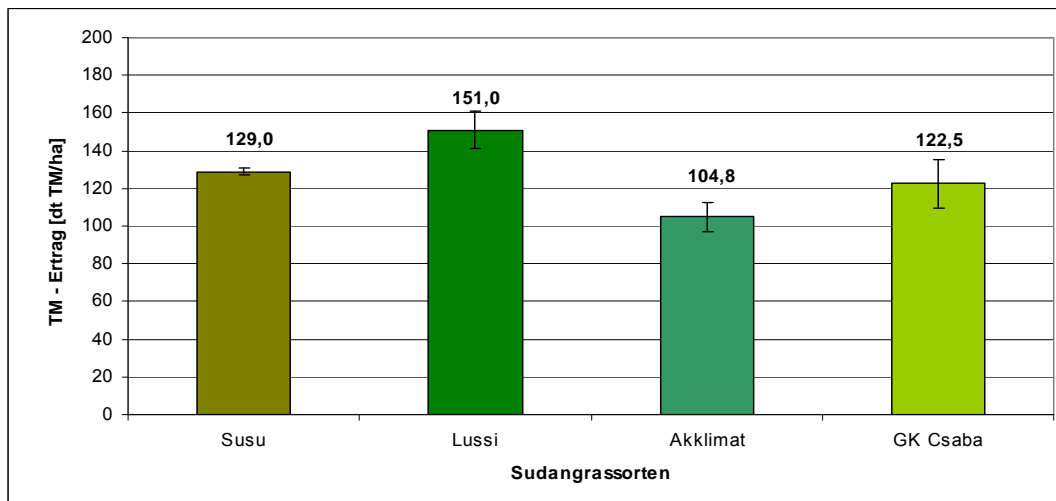


Abbildung 13: TM-Erträge Sudangras-Sortenversuche Güterfelde 2006
[GD_{5%} (Sorte) = 12,426]

Tabelle 16: Merkmale des Bestandes zur Ernte Sudangras-Sortenversuche Güterfelde 2006

Sorten	Ernte [d]	BBCH	TM-Gehalt [%]	Triebzahl [Tr./Pfl.]	Pflanzendichte [Pfl./m ²]	Wuchshöhe [cm]
Susu	107	63 ¹⁾	25	8	15	260
Lussi	107	63 ¹⁾	34	8	16	270
Akklimat	107	63 ¹⁾	26	7	13	234
GK Csaba	107	63 ¹⁾	25	6	13	220

1) Haupttriebe = BBCH 63; Nebentriebe = BBCH 53 – 63; sehr heterogener Entwicklungsstand zur Ernte

Auch die am Standort Güterfelde geprüften Zuckerhirsesorten erzielten unter den extrem trockenen und warmen Witterungsbedingungen ein hohes Ertragsniveau. Dabei erreichte die Sorte „Sugargraze“ mit beachtlichen 158 dt TM/ha den höchsten Ertrag. Ebenso zeigten die Sorten „Super Sile 20“ und „Super Sile 15“ eine hohe Trockentoleranz. Sie erzielten eine Ertragsleistung von 130 bis 140 dt TM/ha. Im Vergleich dazu limitierte die Trockenheit den Ertrag der französischen Sorte „Friggo“ auf 30 dt TM/ha (Abb. 14).

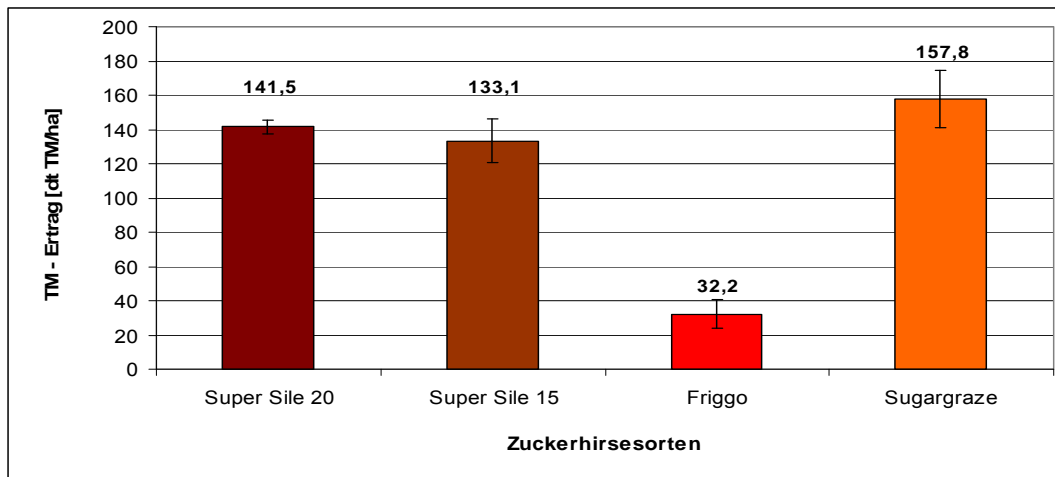


Abbildung 14: TM-Erträge Zuckerhirse-Sortenversuch Güterfelde 2006
[GD_{5%} (Sorte) = 12,884]

Wie die Analyse der Ertragsmerkmale deutlich macht, sind die gesamten Ertragsunterschiede der Sorten ganz wesentlich auf die Parameter Triebzahl und Längenwachstum zurückzuführen (Tab. 17). Trotz der anhaltenden Trockenheit entwickelten die Sorten „Sugargraze“, „Super Sile 15“ und „Super Sile 20“ im Gegensatz zur Sorte „Friggo“ normal dichte und hohe Bestände zum Zeitpunkt der Ernte. Im Trockensubstanzgehalt unterschieden sich die Sorten hingegen nicht.

Tabelle 17: Merkmale des Bestandes zur Ernte Zuckerhirse-Sortenversuch Güterfelde 2006

Sorten	Ernte [d]	BBCH	TS-Gehalt [%]	Triebzahl [Tr./Pfl.]	Pflanzendichte [Pfl./m ²]	Wuchshöhe [cm]
Super Sile 20	63	53	26	7	11	233
Super Sile 15	116	53	25	5	11	158
Friggo	116	63	25	6 (n. r.)	n. r.	105
Sugargraze	116	34	23	6	12	235

n.r. = nicht repräsentativ, zu lückiger Bestand, heterogene Reifestadien

Die am Standort Trossin 2006 unter Einbeziehung von leistungsstarken Energiemaissorten durchgeführten Sortenprüfungen mit Sorghumhirsen belegten ebenfalls einen Ertragsvorteil der Zuckerhirsensorten (Abb. 15). Signifikant gesichert entfiel der höchste Ertrag auf die Zuckerhirsensorten „Super Sile 20“ und „Rona“. Die Maissorten, aber auch die Sudangrassorten realisierten unter den ungünstigen trockenen Wachstumsbedingungen um 30 - 40 % (Maissorten) bzw. 26 und 30 % (Sudangrassorten) geringere Erträge.

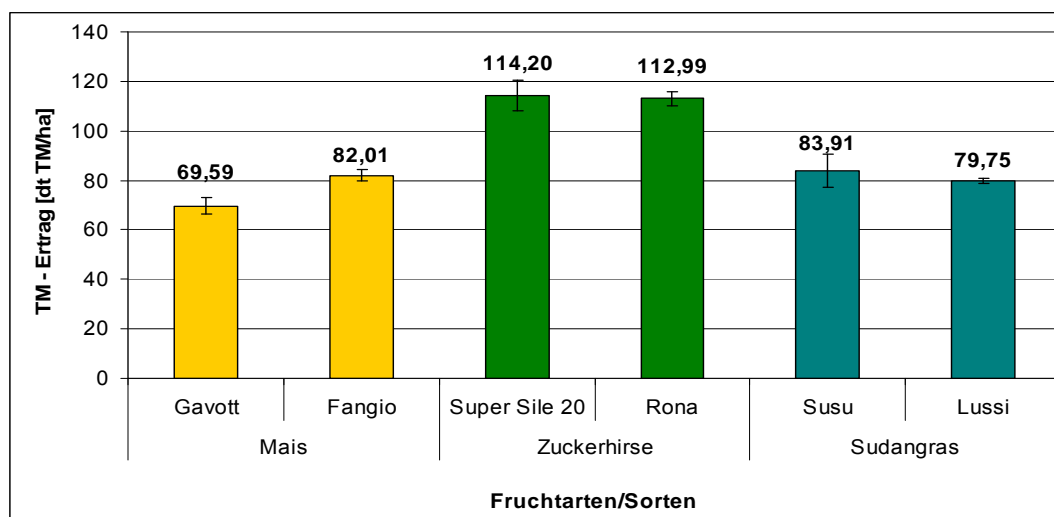


Abbildung 15: TM - Erträge drei Fruchtarten - Sortenvergleich Trossin 2006
 $[GD_{5\%} (\text{Fruchtart}) = 4,699; GD_{5\%} (\text{Sorte}) = 3,837; GD_{5\%} (\text{Fruchtart} * \text{Sorte}) = 6,645]$

Die bestandes- und ertragsbildenden Parameter liefern keine eindeutige Erklärung für die aufgezeigten Ertragsunterschiede (Tab. 18). Zu bemerken ist allerdings, dass ein Hagelschlag zum Zeitpunkt des Jugendwachstums die Bestände der Maissorten stärker schädigte als die der Sorghumhirsen. Ertragsmindernd im Mais wirkte sich ebenfalls der Befall mit Maiszünsler und Maisbeulenbrand aus. Die Befallsquote war in den Sorghumhirsenbeständen deutlich niedriger.

Tabelle 18: Merkmale des Bestandesn drei Fruchtarten - Sortenversuch Trossin 2006

Fruchtart	Sorte	Ernte [d]	BBCH	TS [%]	Triebzahl [Triebe/Pfl]	Pflanzdichte [Pfl./m ³]	Wuchshöhe [cm]
Mais	Fangio	143	71 – 75	38	1	13	133
	Gavott	143	71 – 75	36	1	12	110
Zuckerhirse	Super Sile 20	137	61 - 71	27	17	10	147
Futterhirse	Rona	137	61 – 71	30	14	7	159
Sudangras	Susu	130	61 – 71	29	12	21	190
	Lussi	130	61 - 71	38	11	23	201

Am Standort Thiendorf führte der Vergleich zwischen Mais und Sorghumhirsesorten zu der Aussage, dass die Sudangrassorten „Lussi“ und „Susu“ am besten auf den witterungsbedingten Trockenstress in der Hauptvegetationsperiode reagierten. Sie erreichten Erträge von 80 dt TM/ha (Susu) bis 90 dt TM/ha (Lussi) Im Vergleich dazu fielen die Erträge der Zuckerhirse- und Maissorten deutlich geringer aus (Abb. 16).

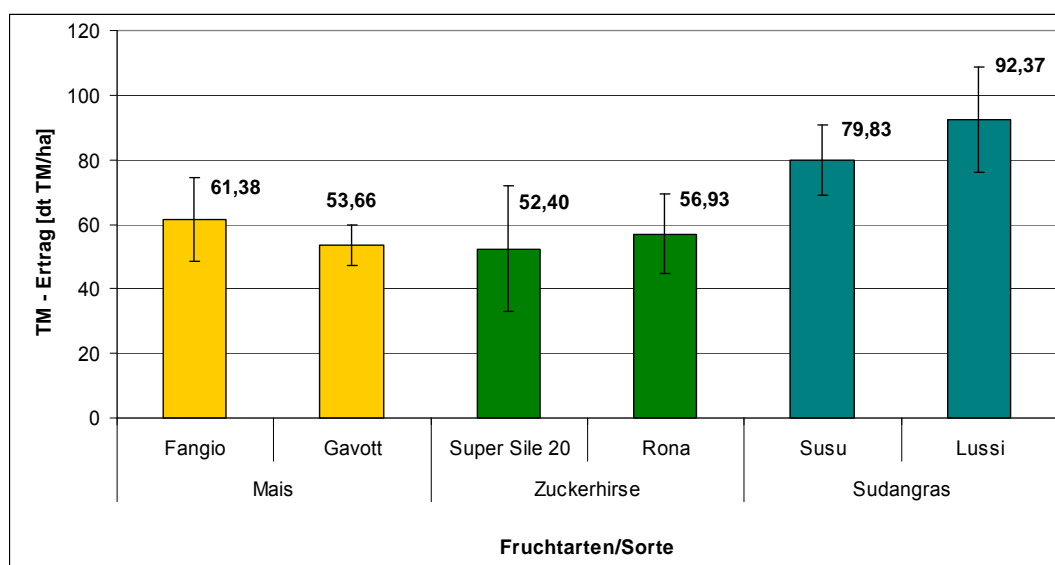


Abbildung 16: TM-Erträge drei Fruchtarten - Sortenvergleich Thiendorf 2006
 [GD_{5%} (Fruchtart) = 18,336; GD_{5%} (Sorte) = 14;972 GD_{5%} (Fruchtart * Sorte) = 25,932]

Aus der Analyse der Bestandesparameter ist abzuleiten, dass der Mehrertrag der Sudangrassorten auf die vermehrte Ausbildung und das größere Längenwachstum der Halme zurückzuführen war (Tab. 19). Die schwächere Ertragsleistung der Zuckerhirse war zum Teil durch einen erheblichen Unkrautdruck (Kamille, Melde) in der Jugendentwicklung der Hirsebestände zu erklären. Dies führte

zu einer geringen Wuchshöhe und Bestandesdichte. Das niedrige Ertragsniveau der Maissorten ist, ähnlich wie am Standort Trossin, mit fehlenden Niederschlägen und dadurch bedingter schwacher Pflanzenentwicklung sowie einem hohen Schädlingsbefall (Maiszünsler, Beulenbrand) zu erklären.

Tabelle 19: Merkmale des Bestandes zur Ernte drei Fruchtarten - Sortenvergleich Thiendorf 2006

Fruchtart	Sorte	Ernte [d]	BBCH	TS-Gehalt [%]	Pflanzendichte [Pfl./m ²]	Wuchshöhe [cm]
Mais	Fangio	108	71 – 75	32	1	162
	Gavott	108	71 – 75	34	3	130
Zuckerhirse	Super Sile 20	115	61 - 71	31	11	110
Futterhirse	Rona	103	61 - 71	31	6	142
Sudangras	Susu	118	61 - 71	35	23	156
	Lussi	120	61 - 71	37	31	187

4.1.1.4 Zusammenfassende Wertung der Sortenversuche

Die dreijährigen Ergebnisse (2004 bis 2006) zur Sortenprüfung erlauben folgende zusammenfassenden Schlussfolgerungen:

- Die Ertragsuntersuchungen im Zeitraum von 2004 bis 2006 lassen deutliche jahreswitterungsabhängige Einflüsse bei den geprüften Fruchtarten und Sorten erkennen.
- Unter den feucht-kühlen Witterungsbedingungen (2004) realisierten die Sorghumhirsen (Zuckerhirse, Sudangras) mit 50 - 80 dt TM/ha nur ein geringes Ertragsniveau. Für die Energiemaissorten wurde auf den leichten diluvialen Böden ein Ertrag von durchschnittlich 110 dt TM/ha nachgewiesen. Hauptursache für diesen Ertragsunterschied war die sehr langsame und zögerliche Jugendentwicklung der Sorghumhirsen bei kühler Witterung. Hier war gegenüber den Energiemaissorten ein deutlicher Entwicklungsrückstand festzustellen. Die Zuckerhirsesorte „Super Sile 18“ zeigte von den Sorghumhirsen die beste Anpassung an diese Witterungsbedingungen. Sie erreichte einen Ertrag von 85 dt TM/ha.
- Die feucht-warme Witterung des Jahres 2005 trug dazu bei, dass die Ertragspotenziale der Sorten insgesamt besser ausgeschöpft wurden. Dabei erwiesen sich wiederum die Energiemaissorten (Gavott: 180 t TM/ha; Fangio: 160 t TM/ha) den Zuckerhirse- und Sudangrassorten überlegen. Die Erträge der Zuckerhirsesorte „Sugargraze“ (200 dt TM/ha) und der Sudangrassorte „Lussi“ (140 t TM/ha) weisen auf ein beachtliches Ertragspotenzial der Sorghumhirsen hin.
- Wertet man die Ertragsergebnisse des Trockenjahres 2006, ergeben sich signifikante Ertragsvorteile sowohl für die Zuckerhirse- als auch Sudangrassorten. In diesem Jahr kam die hohe Trockentoleranz der Sorghumarten deutlich zum Tragen. Insbesondere die Sorten „Sugargraze“, „Super Sile 20“ (Zuckerhirse) und „Lussi“ (Sudangras) erreichen je nach

Standort noch mittlere bis hohe Erträge (90 - 150 dt TM/ha). Die Maissorten konnten nur 60 - 70 % des Ertragsniveaus der Sorten Sorghumhirsen erreichen.

- Im Fazit mehrjähriger Sortenprüfungen ist festzustellen, dass die Energiemaissorten in Jahren mit ausreichend Niederschlägen den Sorghumhirsen ertragsüberlegen sind. Diese erreichen etwa 60 - 67 % des Ertragsniveaus der Energiemaissorten, das im Mittel mit 140 dt TM/ha auf den leichten diluvialen Böden zu veranschlagen ist. Bei großer Trockenheit mindern die Sorghumhirsen auf Grund ihrer Trockentoleranz das Ertragsrisiko auf leichten Böden in erheblichem Maße. Sie sichern unter solchen Bedingungen ein mittleres bis hohes Ertragsniveau.
- Aus den dreijährigen Untersuchungen sind für den Anbau auf leichten Böden die Zuckerhirsesorten „Sugargraze“ und „Super Sile 20“ und die Sudangrassorte „Lussi“ zu empfehlen. Diese Sorten besitzen die beste Ertragsstabilität und Anpassung an sehr unterschiedliche Witterungsbedingungen. Die Ertragsergebnisse der genannten Sorghumhirsen weisen zudem auf ein erhebliches Ertragspotential der Zuckerhirse und Sudangräser für die gemäßigte Klimazone hin. Hier werden mittelfristig gute Chancen gesehen, die Biodiversität im Anbau von Energiepflanzen zu erhöhen.

4.1.2 Einfluss des Erntetermins auf die Ertragsbildung

4.1.2.1 Sudangras (Parzellenversuche)

Der Einfluss eines variierenden Erntetermins wurde für das Sudangras am Standort Güterfelde untersucht. Aus den Ergebnissen der Versuchsjahre 2004, 2005 und 2006 geht hervor, dass mit der Verlagerung des Erntezeitpunktes vom „Beginn des Rispschiebens“ (1. Ernte) zum „vollen Rispschieben“ (2. Ernte) ein signifikanter Ertragszuwachs einhergeht, der jahresspezifisch unterschiedlich hoch ausfällt (Abb. 17, 18 und 19). Im Mittel beträgt er 29 dt TM/ha im feucht-kühlen Versuchsjahr 2004 (Abb.17), 96 dt TM/ha unter den sehr warmen und niederschlagsreichen Bedingungen im Versuchsjahr 2005 (Abb. 18) und 50 dt TM/ha im sehr warmen und niederschlagsarmen Jahr 2006 (Abb.19). Der Jahresvergleich macht gleichzeitig deutlich, dass die Sorghumhirsen auf die für ihr Wachstum günstigen Bedingungen mit einer entsprechenden Ertragssteigerung reagieren. Betrachtet man die Ertragsparameter beim Sudangras in Abhängigkeit vom Faktor Erntetermin, so ist die mit der Verlagerung des Erntetermins hin zum „vollen Rispschieben“ verbundene Ertragssteigerung in den drei Versuchsjahren vor allem auf die erhöhte Trockensubstanzeinlagerung und Zunahme der Wuchshöhe zurückzuführen (Tab. 20, 21 und 22).

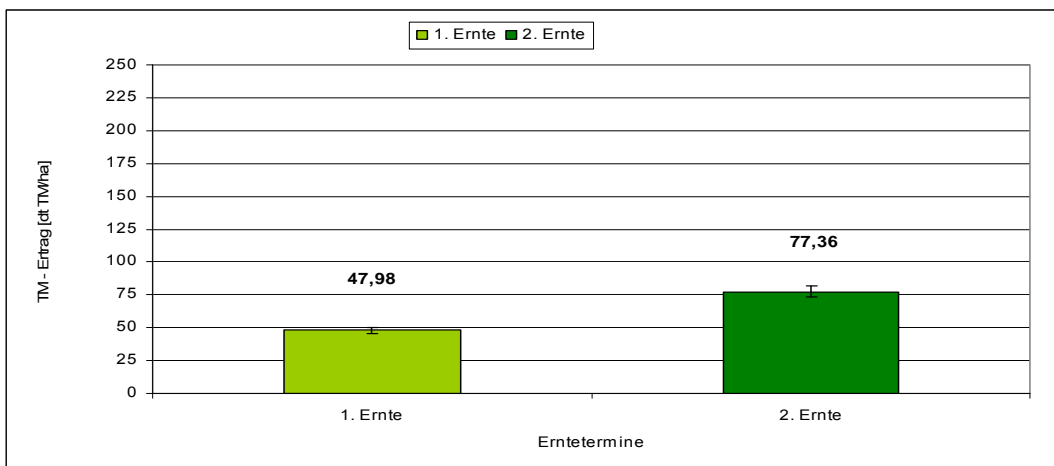


Abbildung 17: Einfluss des Erntetermins auf die Ertragsbildung von Sudangras (Susu) Güterfelde 2004

[GD_{5%} (Erntetermin) = 7,710]

Tabelle 20: Merkmale des Bestandes zu zwei Ernteterminen Sudangras (Susu) Güterfelde 2004

Ernte	Ernte [d]	BBCH	TS-Gehalt [%]	Pflanzendichte [Pfl/m ²]	Triebzahl [Tr./Pfl.]	Wuchshöhe [cm]
1. Ernte	82	53	19,6	42,8	4	70
2. Ernte	132	57	25,1	54,5	5	155

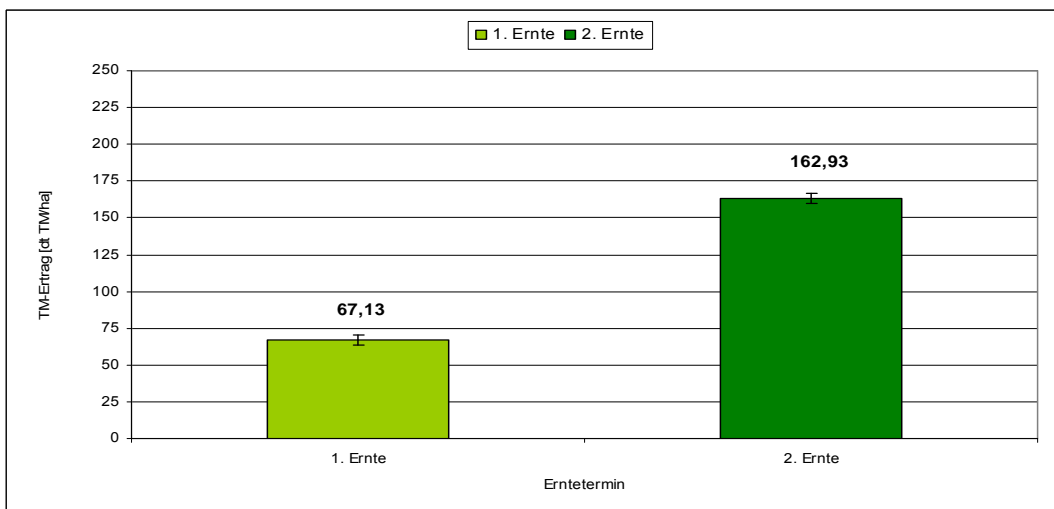
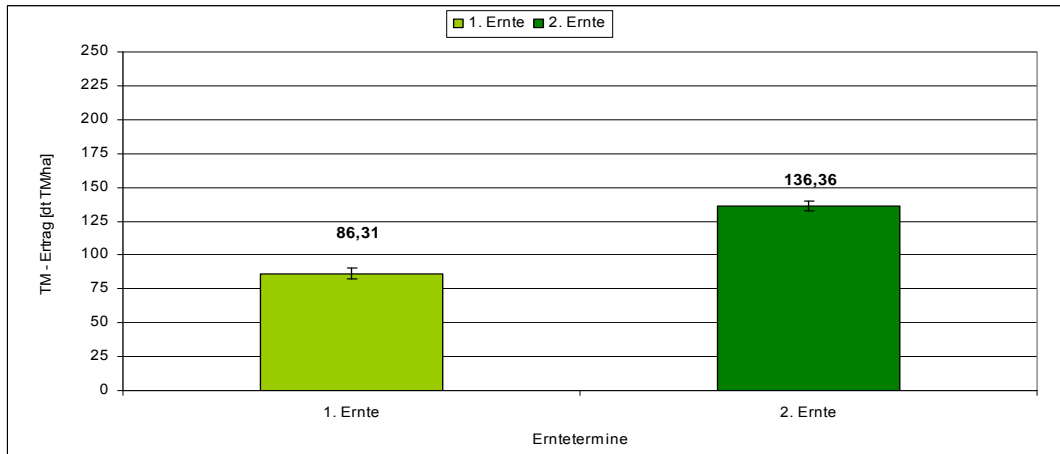


Abbildung 18: Einfluss des Erntetermins auf die Ertragsbildung von Sudangras (Susu) Güterfelde 2005

[GD_{5%} (Erntetermin) = 6,712]

**Tabelle 21: Merkmale des Bestandes zu zwei Ernteterminen Sudangras (Susu)
Güterfelde 2005**

Ernte	Ernte [d]	BBCH	TS-Gehalt [%]	Pflanzendichte [Pfl/m ²]	Triebzahl [Tr./Pfl.]	Wuchshöhe [cm]
1. Ernte	54	53	16,6	53,0	5	202
2. Ernte	134	65	27,0	53,0	3	280



**Abbildung 19: Einfluss des Erntetermins auf die Ertragsbildung von Sudangras (Susu)
Güterfelde 2006**

[GD_{5%} (Erntetermin) = 6,331]

**Tabelle 22: Merkmale des Bestandes zu zwei Ernteterminen bei Sudangras (Susu)
Güterfelde 2006**

Ernte	Ernte [d]	BBCH	TS-Gehalt [%]	Pflanzendichte [Pfl/m ²]	Triebzahl [Tr./Pfl.]	Wuchshöhe [cm]
1. Ernte	84	53	18,3	17,5	7	211
2. Ernte	115	63	26,0	18,3	8	285

4.1.2.2 Zuckerhirse (Parzellenversuche)

Die in den Jahren 2005 und 2006 angelegten Versuche mit Zuckerhirse (Super Sile 20), in denen ebenfalls zwei Erntetermine geprüft wurden, lieferten keine signifikanten Ertragsunterschiede zwischen dem frühen Erntetermin (Ernte nach 106 und 110 Tagen) und der späten Ernte nach 139 und 130 Tagen (Abb. 20 und 21; Tab. 23 und 24).

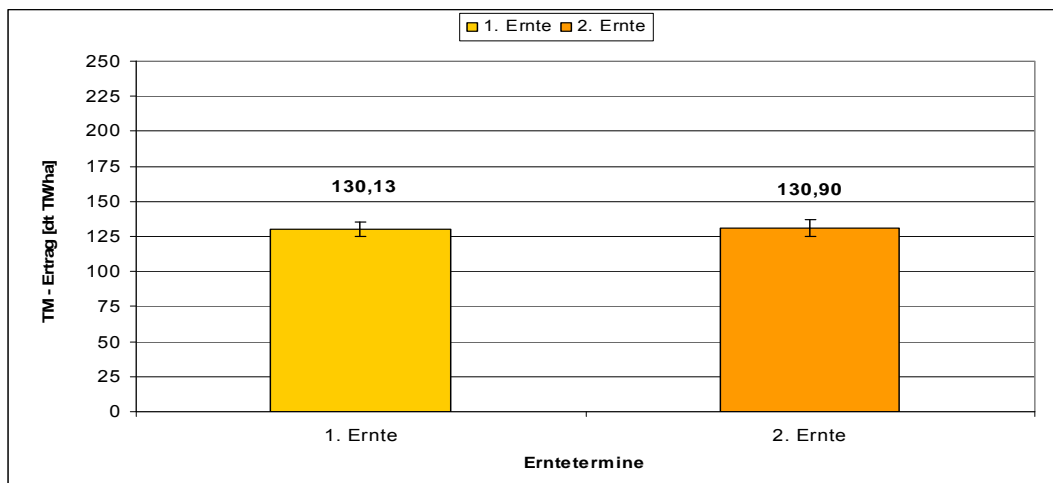


Abbildung 20: Einfluss des Erntetermins auf die Ertragsbildung von Zuckerhirse Super Sile 20, Güterfelde 2005
 [GD_{5%} (Erntetermin) = 7,215]

Die Erträge aus dem Versuchsjahr 2005 waren mit 130 dt TM/ha nahezu gleich. Über den ausgebliebenen positiven Ertragseffekt des späten Erntetermins liefert die Analyse der Ertragsparameter Aufschluss (Tabelle 23). Sie zeigt, dass mit der Verlängerung der Wachstumsdauer kein signifikanter Zuwachs des Trockensubstanzgehaltes, der Triebzahl je Pflanze und der Wuchshöhe des Bestandes verbunden war.

Tabelle 23: Merkmale des Bestandes zu zwei Ernteterminen Zuckerhirse- Sorten-versuche, Güterfelde 2005

Ernte	Ernte [d]	BBCH	TS-Gehalt [%]	Pflanzendichte [Pfl/m ²]	Triebzahl [Tr./Pfl.]	Wuchshöhe [cm]
1. Ernte	106	63	23	14	4	208
2. Ernte	139	63	25	14	4	207

Im Versuchsjahr 2006 reagierte die Zuckerhirsesorte Super Sile 20 mit einer Reduzierung des durchschnittlichen Trockenmasseertrages 8 dt TM/ha auf die Ernteterminverlagerung (Abb. 21). Mit Hilfe der Ertragsparameter lässt sich dieses Ertragsminderung nicht eindeutig erklären (Tab. 24).

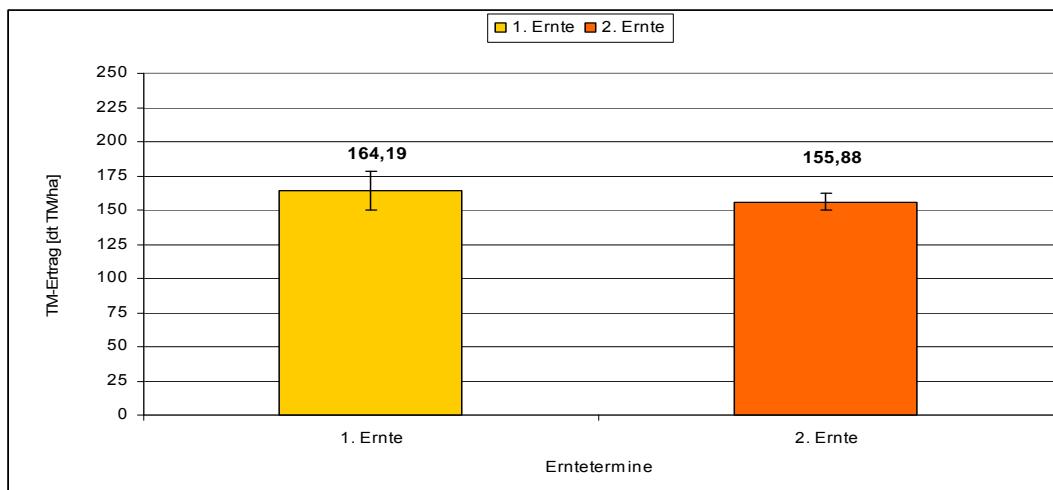


Abbildung 21: Einfluss des Erntetermins auf die Ertragsbildung von Zuckerhirse Super Sile 20, Güterfelde 2006

[GD_{5%} (Erntetermin) = 15,004]

Tabelle 24: Merkmale des Bestandes zu zwei Ernteterminen bei Zuckerhirse (Super Sile 20), Güterfelde 2006

Ernte	Ernte [d]	BBCH	TM-Gehalt [%]	Pflanzendichte [Pfl/m ²]	Triebzahl [Tr./Pfl.]	Wuchshöhe [cm]
1. Ernte	110	63	25,6	11	7	265
2. Ernte	130	63	25,7	11	6	280

4.1.2.3 Mais, Zuckerhirse und Sudangras (Praxisversuche)

Im Praxisversuch in Sprotta wurde der signifikante Einfluss des Erntetermins auf den TM-Ertrag bei Sudangras ebenfalls nachgewiesen ($p = 0,05$, $n = 8$, T-Test). Die Ernte zum „vollen Rispschieben“ (2. Ernte) brachte eine Verdopplung des TM-Ertrages im Vergleich zur Ernte zu „Beginn des Rispschiebens“ (Abb. 22). Dies war vor allem auf die starke Zunahme des TS-Gehaltes in der Biomasse von 16,0 auf 30,9 % zurückzuführen (Tab. 25). Der Frischmasseertrag des Sudangrases (250 - 300 dt/ha) unterschied sich hingegen zu den beiden Ernteterminen nicht signifikant ($p = 0,05$, $n = 8$, T-Test). Auch bei den übrigen geprüften Fruchtarten übte der Erntetermin einen positiven Einfluss auf wichtige Ertragsparameter aus (Tab. 25).

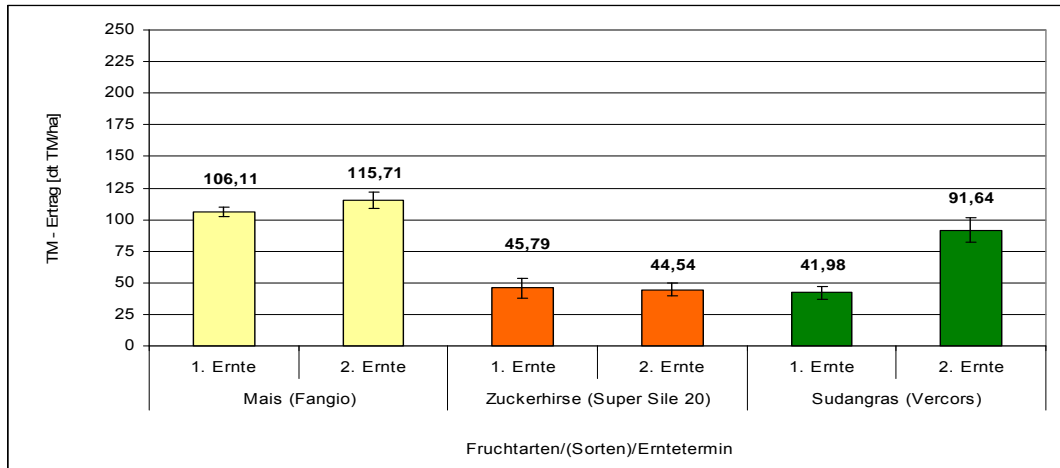


Abbildung 22: Einfluss des Erntetermins auf die Ertragsbildung von Mais, Zuckerhirse, Sudangras Sprotta 2004

Aus der Entwicklung des TS-Gehaltes und des Höhenzuwachses bei Mais resultierte ebenso wie beim Sudangras eine signifikante Erhöhung des TM-Ertrages zum zweiten Erntetermin (Tab. 25, Abb. 22; $p = 0,05$, $n = 8$, T-Test). Für die Zuckerhirse konnte diese positive Ertragsentwicklung jedoch nicht nachgewiesen werden. Der Ertrag verblieb auf dem Niveau wie zum Zeitpunkt der ersten Versuchsernte, obwohl eine deutliche Zunahme der Wuchshöhe der Zuckerhirsepflanzen zu verzeichnen war. Dies könnte auf eine ungleichmäßige Bestandesdichte auf dem Praxisschlag zurückzuführen sein.

Tabelle 25: Merkmale des Bestandes zu zwei Ernteterminen bei Mais, Zuckerhirse und Sudangras, Sprotta 2004

Fruchtart	Sorte	Erntetermin	TS-Gehalt [%]	Triebzahl [Triebe/Pfl.]	Wuchshöhe [cm]
Mais	Fangio	1. Ernte	25,5	1	248
		2. Ernte	31,2	1	247
Zuckerhirse	Super Sile 20	1. Ernte	18,6	3	114
		2. Ernte	20,0	3	159,
Sudangras	Vercors	1. Ernte	16,0	5	157
		2. Ernte	30,8	9	169

Die Variation des Erntetermins im Sinne der Ertragsoptimierung wurde im Vergleich zwischen Mais- und Sorghumsorten am Standort Wöllnau im Versuchsjahr 2005 fortgesetzt (Abb. 23). Es konnte wie im Jahr 2004 ebenfalls ein ertragssteigernder Effekt eines späten Erntetermins (2. Ernte) für alle Arten nachgewiesen werden (RÖHRICHT und HERRMANN 2004). Der gegenüber dem ersten Erntetermin resultierende Mehrertrag fiel bei den Arten und Sorten differenziert aus.

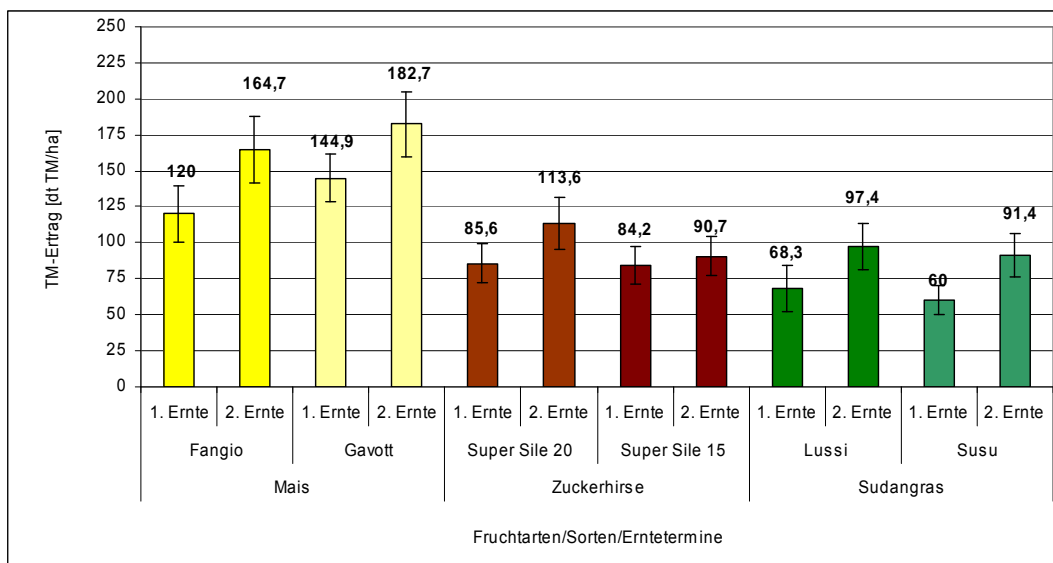


Abbildung 23: Einfluss des Erntetermins auf die Ertragsbildung von Mais, Zuckerhirse, Sudangras, Wöllnau 2005

Einen sehr starken Zuwachs (40 - 50 %) beobachtete man bei Sudangras durch Verlagerung der Ernte vom „Beginn“ zum „vollen Rispschieben“. Bei den Maissorten nahm der Ertrag um 26 % (Gavott) bzw. 37 % (Fangio) zu, wenn die Ernte statt im Milchreifestadium erst zur Teigreife erfolgte. Die Zuckerhirsesorten reagierten sehr differenziert mit knapp 8 % (Super Sile 15) und 32 % (Super Sile 20) auf die Verlängerung der Wachstumszeit (Beginn Rispschieben → Milchreife). Die Ertragsparameteranalyse zeigt, dass die Mehrerträge hauptsächlich auf die zusätzliche Synthese von Trockenmasse bei längerer Wachstumszeit zurückzuführen waren. Beim Sudangras war auch ein verstärkter Höhenzuwachs festzustellen (Tab. 26).

Tabelle 26: Merkmale des Bestandes zu zwei Ernteterminen bei Mais, Zuckerhirse, Sudangras, Wöllnau 2005

Fruchtart	Sorte	Erntetermin	Ernte [d]	BBCH	TS-Gehalt [%]	Triebe [Tr./Pfl.]	Pflanzendichte [Pfl/m ²]	Wuchshöhe [cm]
Mais	Fangio	1. Ernte	107	71	24	1	13	300
		2. Ernte	135	85	31	1	13	280
	Gavott	1. Ernte	121	75	31	1	12	258
		2. Ernte	135	85	37	1	12	256
Zuckerhirse	Super Sile 20	1. Ernte	107	53-57	22	5	6	202
		2. Ernte	135	71	24	5	7	215
	Super Sile 15	1. Ernte	107	53-57	26	5	9	150
		2. Ernte	135	71	27	4	5	150
Sudangras	Lussi	1. Ernte	80	53-55	18	3	13	198
		2. Ernte	107	59	35	3	13	296
	Susu	1. Ernte	80	53-55	14	7	12	174
		2. Ernte	121	59	25	4	12	242

4.1.2.4 Zusammenfassende Wertung des Faktors Erntetermin

Die dreijährigen Versuchsergebnisse lassen erkennen, dass der Wahl des Erntetermins sowohl beim Energiemais als auch bei den Sorghumarten eine wichtige Rolle zukommt. Aus den Untersuchungen ist abzuleiten, dass im Interesse eines hohen Ertrages für Mais das Stadium der Teigreife, für Zuckerhirse das der Milchreife und für Sudangras das des vollen Rispschiebens als Erntezeitpunkt anzustreben ist. Dadurch werden optimale Trockensubstanz- (TS)-Gehalte für die Silierung und Umsetzung in Biogas erreicht. Im Mittel kann mit folgendem Zuwachs an Trockensubstanz gegenüber einem frühen Erntetermin gerechnet werden:

- Energiemais: von 24 - 27 % TS (Milchreife) auf 31 - 37 % TS (Teigreife)
- Zuckerhirse: von 19 - 26 % TS (Beginn Rispschieben) auf 20 - 27 % TS (Milchreife)
- Sudangras von 14 - 20 % TS (Beginn Rispschieben) auf 26 - 35 % TS (volles Rispschieben)

Parallel zur Trockensubstanzzunahme steigt der Trockenmasseertrag an. Er nimmt bei Mais durchschnittlich um ca. 30 % (45 dt TM/ha) und bei Sudangras um 51 % (48 dt TM/ha) zu. Der Ertrag der Zuckerhirse wird hingegen durch die Verlagerung des Erntetermins nur geringfügig um 7 % (6 dt TM/ha) gesteigert. Aus ertraglicher Sicht toleriert die Zuckerhirse somit auch vergleichsweise frühe Schnitzeitpunkte (Beginn des Rispschiebens). Durch die Optimierung des Erntetermins werden von den ertragsdeterminierenden Parametern der Pflanze vor allem der Trockensubstanzgehalt und die Wuchshöhe positiv beeinflusst.

4.1.3 Einfluss der N-Düngung auf die Ertragsbildung

Der Stickstoff zählt zu den wichtigsten Pflanzennährstoffen. Er beeinflusst in starkem Maße den Ertrag und die Qualität der landwirtschaftlichen Kulturpflanzen. Zur Wirkung steigender N-Gaben auf den Ertrag moderner Sorten der Sorghumarten liegen vergleichsweise wenige Ergebnisse vor.

4.1.3.1 Einfluss der N-Düngung auf die Ertragsleistung von Sudangras

An Hand nunmehr dreijähriger Versuchsergebnisse am Standort Güterfelde kann die N-düngungsabhängige Ertragsentwicklung von Sudangras (Sorte „Susu“) wie folgt beurteilt werden:

Bei hohem Gehalt an pflanzenaufnehmbaren Stickstoff (N_{\min}) in der Ackerkrume zu Vegetationsbeginn (79 kg N/ha, 2004; 60 kg N/ha, 2005; 36 kg N/ha, 2006) ging von der zusätzlichen mineralischen N-Düngung in den drei Versuchsjahren nur eine geringe ertragssteigernde Wirkung aus (Abb. 24, 25 und 26).

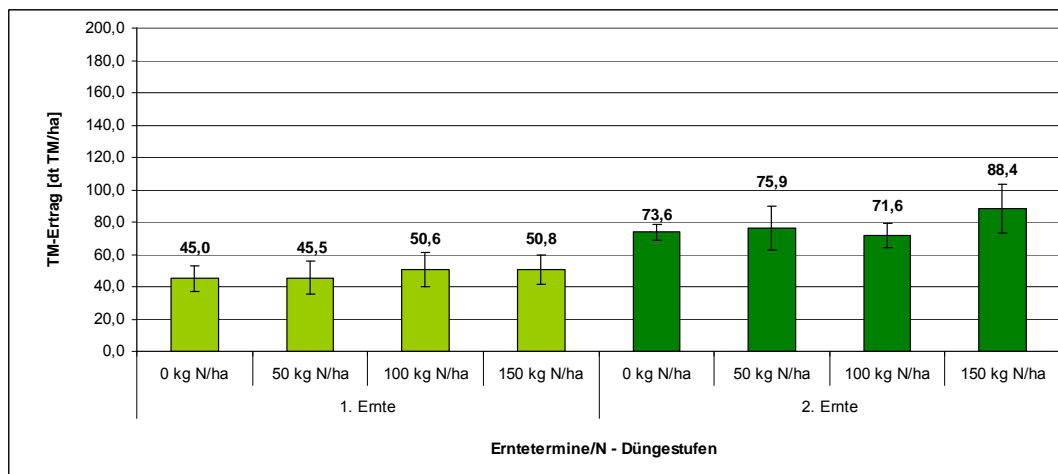


Abbildung 24: Einfluss der N-Düngung auf die Ertragsbildung bei Sudangras (Susu) Güterfelde 2004

Der Erntetermin (1. Ernte zum Beginn des Rispschiebens; 2. Ernte zum vollen Rispschieben) prägte dagegen in den drei Versuchsjahren deutlich die Ertragshöhe (Kapitel 4.1.2). Mit dem späten Erntezeitpunkt war eine bessere Ausschöpfung des Ertragspotenzials verbunden. Dadurch wurde auch der zusätzliche Mineraldüngerstickstoff effektiver verwertet, in dem je Kilogramm N ein höherer Erzeugungswert nachgewiesen werden konnte (Abb. 24, 25 und 26).

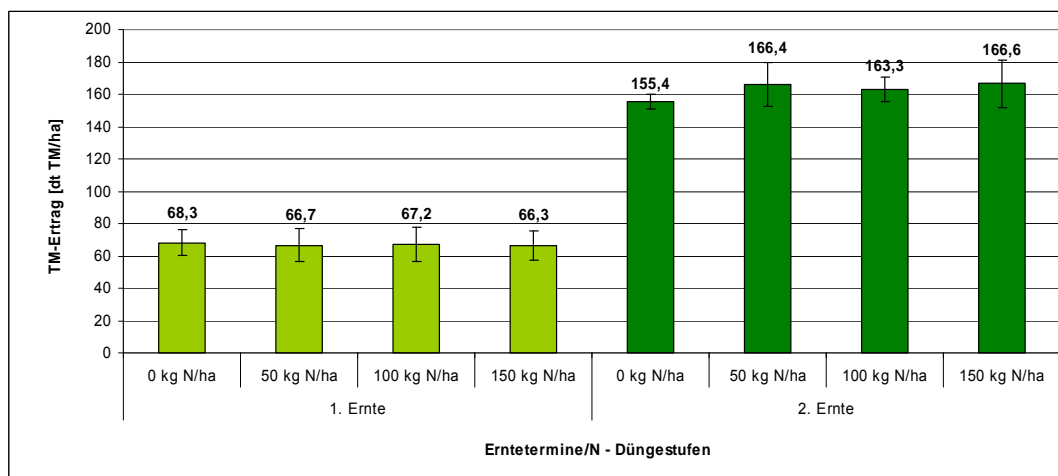


Abbildung 25: Einfluss der N-Düngung auf die Ertragsbildung von Sudangras (Susu) Güterfelde 2005

So stieg der Erzeugungswert der N-Düngegaben durch die Ernteterminverlagerung im Durchschnitt von 5 auf 8 kg TS/kg N an (Abb. 24). In den Versuchsjahren 2005 und 2006 bewirkte die Verlängerung der Wachstumszeit überhaupt erst einen positiven Ertragseffekt der zusätzlichen N-Gaben. Er ist mit einem durchschnittlichen Ertragszuwachs von 9 - 10 dt/ha allerdings nur schwach ausgeprägt.

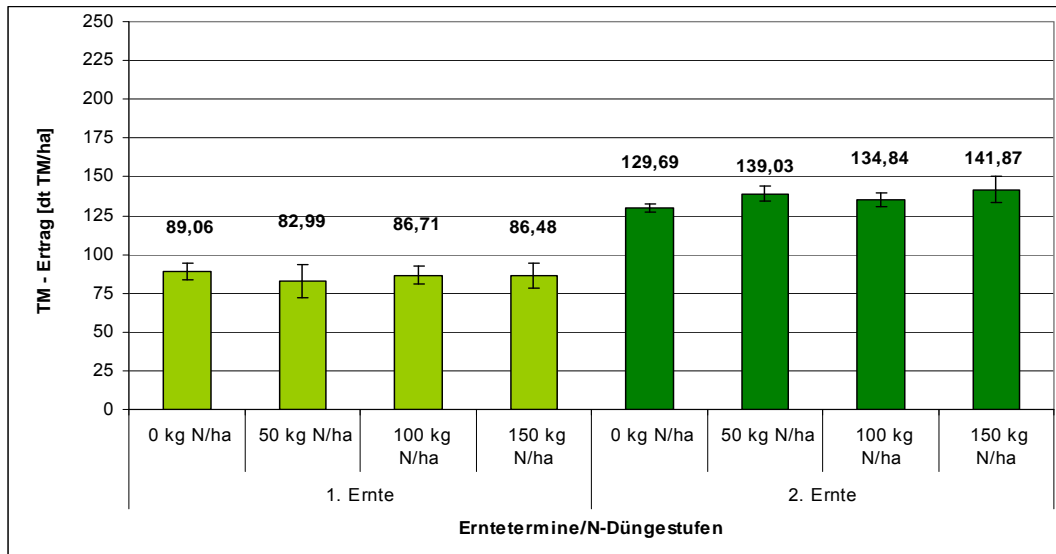


Abbildung 26: Einfluss der N-Düngung auf die Ertragsbildung von Sudangrass (Susu) Güterfelde 2006

Im Fazit sind bei einem hohen N_{\min} - Gehalt im Boden zu Vegetationsbeginn (Tab. 2) zur Ertragsbildung maximal 50 - 80 kg N/ha an zusätzlicher Düngergabe in Verbindung mit einem optimalen Erntezeitpunkt erforderlich.

4.1.3.2 Einfluss der N-Düngung auf die Ertragsleistung von Zuckerhirse

Bei der Wertung der zweijährigen N-Steigerungsversuche zur Zuckerhirse (Sorte „Super Sile 20“) am Standort Güterfelde ist ebenfalls der für einen leichten diluvialen Boden relativ hohe N_{\min} -Gehalt (60 – 74 kg N/ha, Bodentiefe 0 – 60 cm) in der Ackerkrume zu Vegetationsbeginn zu beachten. Davon ausgehend war die Ertragswirkung der geprüften mineralischen N-Gaben gegenüber der Kontrollvariante insgesamt niedrig einzustufen. In Wechselwirkung zum Faktor „Erntetermin“ zeichnete sich zum ersten Erntetermin (Beginn Rispschieben) eine Ertragssteigerung bis zur höchsten geprüften N-Gabe ab (Abb. 27 und 28). Sie betrug im Durchschnitt der N-Gaben 15 bis 20 dt TM/ha. Wird die Wachstumszeit der Zuckerhirse mit Wahl des zweiten Erntetermins (Milchreifestadium) verlängert, sinkt der N-düngungsabhängige Mehrertrag stark ab. Die zusätzliche N-Gabe sollte dann auf maximal 50 kg N/ha begrenzt werden. Durch die längere Wachstumszeit wird offensichtlich der pflanzenverfügbare N-Vorrat des Bodens besser zur Stoffproduktion genutzt, so dass ein geringerer zusätzlicher N-Aufwand zum Ertragsmaximum benötigt wird. Auf die ernteterminabhängige Ertragswirkung steigender N-Gaben bei Hirsearten weisen die Untersuchungen von LEIBLE (1986) hin. Die erst zweijährigen Untersuchungen zur Ertragswirkung der Mineraldüngung sind für leichte Böden weiter abzusichern und zu erweitern.

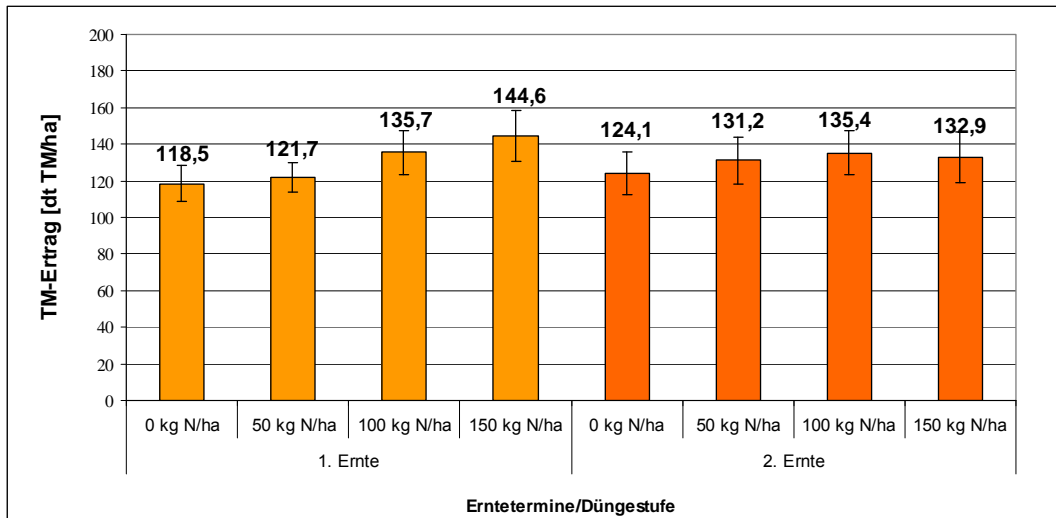


Abbildung 27: Einfluss der N-Düngung auf die Ertragsleistung von Zuckerhirse (Super Sile 20), Güterfelde 2005

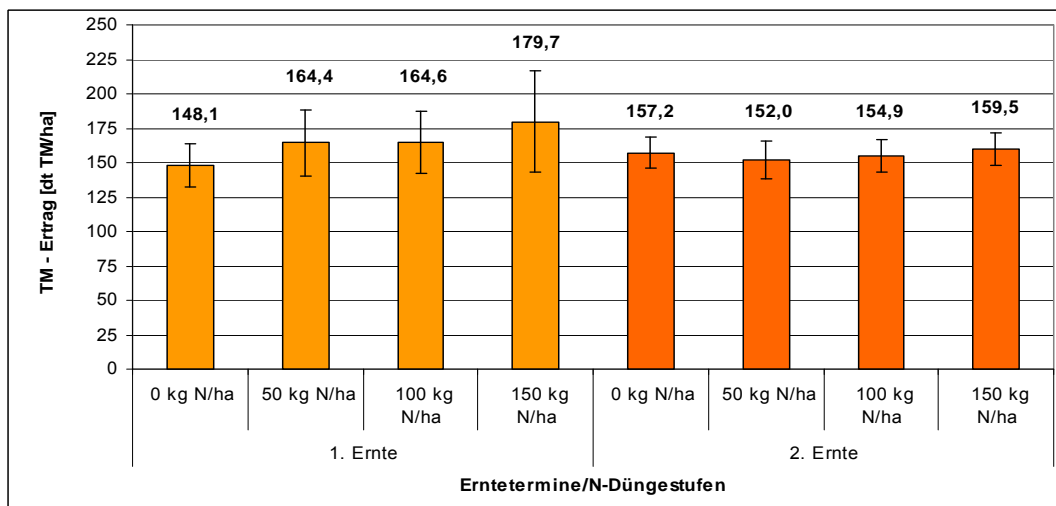


Abbildung 28: Einfluss der N-Düngung auf die Ertragsleistung von Zuckerhirse (Super Sile 20), Güterfelde 2006

4.1.3.3 Zusammenfassende Wertung der N-Steigerungsversuche

Mit Hilfe der Versuche konnte festgestellt werden, dass der N_{\min} -Gehalt im Boden zu Vegetationsbeginn auch für die modernen Sorghumhirsesorten eine wichtige Kenngröße bei der Bemessung der zusätzlichen N-Gabe darstellt. Bei einem N_{\min} -Gehalt ≥ 60 kg N/ha in der Ackerkrume sind maximal 50 bis 100 kg N/ha zum Sudangras bzw. zur Zuckerhirse erforderlich. In Verbindung mit einer optimalen Nutzung der Vegetationszeit werden diese Gaben effizient zur Ertragssteigerung genutzt, so dass nur sehr geringe N-Bilanzüberschüsse zu erwarten sind (Anhangstab. A1 - A6).

Die Versuche erlauben auch den Hinweis, dass die Zuckerhirse in der Ertragsentwicklung stärker als das Sudangras auf zusätzliche N-Gaben anspricht.

4.1.4 Beurteilung des Nährstoffbedarfs

Zum Nährstoffentzug von Hirsen unter mitteleuropäischen Klimabedingungen liegen in der Literatur im Vergleich zu etablierten Kulturarten wenige Erkenntnisse vor. In den drei Praxisversuchen Paschwitz, Sprotta (2004) und Wöllnau (2005) wurden zur Ernte die Gehalte an Makronährstoffen in den Pflanzen und die ertragsbedingten Entzüge ermittelt. In den Jahren 2005 und 2006 wurde diese Analyse auch auf die Parzellenversuche in Trossin, Thiendorf und Güterfelde ausgedehnt. Damit liegt nunmehr eine breite Datenbasis zur mineralischen Zusammensetzung der Sorghumhirsen zum Zeitpunkt der Silagereife auf leichten diluvialen ertragsschwachen Standorten vor.

Zunächst werden die Nährstoffgehalte in der Trockensubstanz und die Nährstoffentzüge je Hektar für die Energiemaissorten vorgestellt (Tab. 27). Im Gehalt der Hauptnährstoffe Stickstoff (N), Phosphor (P), Kalium (K) und Magnesium (Mg) zeichnen sich dabei zwischen den einzelnen Maissorten nur geringe Unterschiede ab. Alle Sorten besitzen eine deutlich stickstoff- und kaliumbetonte mineralische Zusammensetzung der Trockenmasse von durchschnittlich 1,56 % N i. d. TS und 1,38 % K i. d. TS. Phosphor (0,23 % i. d. TS) und Magnesium (0,19 % i. d. TS) sind in weitaus geringeren Anteilen vorhanden. Im Vergleich der Nährstoffentzüge sind die höchsten Entzüge für Kalium und Stickstoff und die geringsten Entzüge für Phosphor und Magnesium festzustellen. Die Nährstoffentzüge je Hektar markieren dabei deutliche vom Ertragsniveau abhängige Unterschiede. Danach ist in Jahren mit hohem Ertragsniveau mit N- und K-Entzügen von bis zu 230 kg/ha auszugehen. Mit derartigen Entzügen ist vor allem bei der leistungsstarken Sorte „Gavott“ auf diluvialen Böden zu rechnen. Die Phosphor- und Magnesiumentzüge belaufen sich unter diesen Bedingungen auf 50 bzw. 40 kg/ha. Im Durchschnitt der dreijährigen Prüfungen kann man von mittleren Entzügen zwischen 160 und 170 kg/ha Kalium und Stickstoff ausgehen (Tab. 27).

Die Konzentration an Hauptnährstoffen der untersuchten Zuckerhirsensorten bewegt sich etwa auf dem gleichen Niveau wie bei den Maissorten. Auch hier prägen die Gehalte an Stickstoff und Kalium die mineralische Zusammensetzung der Trockenmasse. Im Vergleich zu Mais ist aber mit höheren Kaliumgehalten (Mais: 1,4 % i.d.TS; Zuckerhirse: 1,8 % i.d.TS) zu rechnen. Ebenso ist von leicht höheren Phosphor- und besonders Magnesiumgehalten in der Zuckerhirse auszugehen (Tab. 27, Tab. 28).

Tabelle 27: Nährstoffgehalte und Nährstoffentzüge von Mais (Sortenversuche 2004 - 2006)

Jahr	Sorte	TM-Ertrag [dt TM/ha]	Nährstoffgehalte [% i. d. TS]				Nährstoffentzüge [kg/ha]			
			N	P	K	Mg	N	P	K	Mg
2004	Novadour	109	1,79	0,19	1,83	0,17	195	21	200	18
	Fangio	102	1,67	0,20	1,59	0,14	170	20	161	15
2005	Fangio	190	1,10	0,19	1,20	0,16	208	35	228	30
	Gavott	197	1,16	0,25	1,18	0,19	228	48	231	36
2006	Fangio	72	1,75	0,26	1,25	0,24	125	18	89	17
	Gavott	62	1,88	0,28	1,23	0,24	116	17	76	15
Statistische Maßzahlen:										
Minimalwert (min)		62	1,10	0,19	1,18	0,14	116	17	76	15
Maximalwert (max)		197	1,88	0,28	1,83	0,24	228	48	231	36
Spannweiten (w)		135	0,78	0,09	0,66	0,10	112	31	155	22
Mittelwert (MW)		122	1,56	0,23	1,38	0,19	174	27	164	22
Median (Me)		105	1,71	0,22	1,24	0,18	183	21	181	18
Standardabweichung (S)		58,27	0,34	0,04	0,27	0,04	45,38	12,46	68,32	9,1 4

Zwischen den Sorten sind ähnlich wie beim Mais nur geringe Unterschiede in der Nährstoffkonzentration festzustellen. Stärker ausgeprägt sind standort- und jahresabhängige Effekte (Tab. 28). Die mittleren Nährstoffentzüge je Hektar liegen mit Ausnahme von Kalium und Magnesium in gleicher Größenordnung wie beim Mais. Für Kalium und Magnesium ist auf Grund der höheren Gehalte in der Trockenmasse bei der Zuckerhirse mit Entzügen von 200 kg K/ha und 33 kg Mg/ha zu rechnen. Bei sehr hohen Erträgen (15 - 20 t TM/ha), wie sie bei den Sorten „Sugargraze“ und „Super Sile 20“ beobachtet wurden, werden mit dem Erntegut 300 bis knapp 400 kg Kalium/ha entzogen.

Tabelle 28: Nährstoffgehalte und Nährstoffentzüge von Zuckerhirse (Sortenversuche 2004 - 2006)

Jahr	Sorte	TM-Ertrag [dt TM/ha]	Nährstoffgehalte [% i. d. TS]				Nährstoffentzüge [kg/ha]			
			N	P	K	Mg	N	P	K	Mg
2004	Super Sile 18	85	1,72	0,23	2,08	0,26	146	19	176	14
	Super Sile 20	64	1,98	0,20	1,84	0,35	126	13	117	22
2005	Super Sile 10	139	1,07	0,18	1,51	0,22	148	24	209	30
	Super Sile 15	109	1,59	0,30	1,95	0,21	172	32	211	23
	Super Sile 20	160	1,14	0,21	1,74	0,25	183	34	279	41
	Friggo	81	1,95	0,42	2,18	0,29	158	34	177	23
	Sugargraze	209	1,24	0,24	1,82	0,25	259	51	381	53
2006	Super Sile 15	133	1,85	0,30	2,08	0,42	246	39	276	55
	Super Sile 20	102	1,89	0,24	1,86	0,34	193	25	190	34
	Friggo	32	1,52	0,18	1,62	0,39	49	6	52	12
	Sugargraze	158	1,67	0,21	1,86	0,45	264	33	293	72
	Rona	85	1,65	0,21	1,42	0,26	137	17	119	22
Statistische Maßzahlen:										
Minimalwert (min)		32	1,07	0,18	1,42	0,21	49	6	52	12
Maximalwert (max)		209	1,98	0,42	2,18	0,45	264	51	381	72
Spannweiten (w)		177	0,92	0,25	0,76	0,24	215	45	329	60
Mittelwert (MW)		113	1,61	0,24	1,83	0,31	173	27	207	33
Median (Me)		105	1,66	0,22	1,85	0,28	165	28	199	26
Standardabweichung (S)		48,89	0,31	0,07	0,23	0,08	61,78	12,38	90,27	18,38

Auch die untersuchten Sudangrassorten weisen im Durchschnitt mit dem Mais vergleichbare Gehalte an den Hauptnährstoffen auf (Tab. 29). Somit ist das Nährstoffprofil ebenfalls durch hohe N- und K- Gehalte und niedrige P- und Mg- Konzentrationen in der Trockenmasse bestimmt. In diesem Zusammenhang ist im Mittel der Untersuchungen auf höhere K-Gehalte als beim Mais hinzuweisen (Tab. 27, Tab. 29). Im Vergleich zur Zuckerhirse liegen sie jedoch etwas niedriger. Die sortenspezifischen Unterschiede sind ebenfalls gering. Aus ertraglicher Sicht bewegen sich die Entzüge pro Hektar für Stickstoff und Kalium bei mittlerem Ertragsniveau (11 t TM/ha) in der Größenordnung von 160 kg N/ha und 170 kg K/ha. Für Phosphor und Magnesium ist von mittleren Entzügen von 24 und 27 kg/ha auszugehen. Werden hohe Erträge erreicht, ist nach vorliegenden Daten mit Nährstoffentzügen je Hektar von 230 kg N und 260 kg K und bis 40 kg Phosphor und Kalium auszugehen (Tabelle 29). Die hohen Entzugswerte sind vor allem bei der ertragsstarken Sorte „GK Csaba“ zu erwarten.

Tabelle 29: Nährstoffgehalte und Nährstoffentzüge von Sudangras (Sortenversuche 2004 - 2006)

Jahr	Sorte	TM-Ertrag	Nährstoffgehalte				Nährstoffentzüge			
		[dt TM/ha]	[% i. d. TS]				[kg/ha]			
			N	P	K	Mg	N	P	K	Mg
2004	Susu	38	2,02	0,19	1,28	0,26	102	10	65	13
	Vercors	51	2,02	0,18	1,49	0,19	77	7	57	7
2005	Lussi	143	1,11	0,21	1,37	0,18	158	30	196	26
	Susu	131	1,32	0,25	1,75	0,24	172	33	229	32
	Akklimat	109	1,49	0,31	2,08	0,27	163	34	227	30
	GK Csaba	119	1,59	0,31	2,16	0,21	188	37	256	24
2006	Lussi	108	1,45	0,17	1,40	0,23	156	18	150	25
	Susu	98	1,64	0,18	1,53	0,29	160	18	149	28
	Akklimat	105	1,83	0,18	1,72	0,37	192	19	181	39
	GK Csaba	123	1,85	0,25	1,61	0,35	228	31	148	43
Statistische Maßzahlen:										
Minimalwert (min)		38	1,11	0,17	1,28	0,18	77	7	57	7
Maximalwert (max)		143	2,02	0,31	2,16	0,37	228	37	256	43
Spannweiten (w)		105	0,91	0,14	0,88	0,19	151	30	199	36
Mittelwert (MW)		102	1,63	0,22	1,64	0,26	160	24	166	27
Median (Me)		108	1,62	0,20	1,57	0,25	162	24	166	27
Standardabweichung (S)		33,37	0,30	0,05	0,29	0,06	43,28	10,57	66,56	10,76

Ergänzend zu der arten- und sortenspezifischen Analyse des Mineralstoffgehaltes (Hauptnährstoffe) wurde der Einfluss des Erntetermins untersucht (Tab. 30.). Tendenziell ist zu beobachten, dass die Nährstoffkonzentration in der Trockenmasse der untersuchten Mais- und Sorghumsorten mit der Wahl des späten Erntetermins (2. Ernte) zurückgeht. Die mit dem 2. Erntetermin verbundene Zunahme an Trockenmasse löst in der Nährstoffkonzentration den so genannten Verdünnungseffekt aus. Besonders stark ist dieser Effekt bei Sudangras ausgeprägt. Neben der Standortwahl kann somit über die Wahl des Erntetermins Einfluss auf ein für den Fermentationsprozess optimales C:N:P:S-Verhältnis im Substrat genommen werden.

Tendenziell sind durch die Optimierung des Erntetermins und der damit verbundenen Steigerung des Trockenmasseertrages höhere Entzüge bei allen untersuchten Hauptnährstoffen (N, P, K, Mg) je Hektar verbunden (Tab. 30).

Tabelle 30: Nährstoffgehalte und Nährstoffentzüge von Mais, Zuckerhirse und Sudangras zu zwei Ernteterminen (Praxisversuche 2004 - 2005)

Jahr	Fruchtart/ Sorte	Standort	TM-Ertrag [dt TM/ha]	Nährstoffgehalt [% i. d. TS]				Nährstoffentzug [kg/ha]			
				N	P	K	Mg	N	P	K	Mg
2004	Mais/ Fangio/1E	Paschwitz	106	1,25	0,21	2,16	0,13	133	22	229	13
	Mais/ Fangio/2E	Paschwitz	116	1,10	0,21	1,56	0,12	127	24	181	13
2005	Mais/ Fangio/1E	Wöllnau	120	1,52	0,26	1,58	0,17	183	31	189	21
	Mais/ Fangio/2E	Wöllnau	165	1,35	0,23	1,33	0,16	223	38	219	26
	Mais/ Gavott/1E	Wöllnau	145	1,39	0,26	1,31	0,15	201	38	190	21
	Mais/ Gavott/2E	Wöllnau	183	1,31	0,30	1,25	0,18	239	54	229	33
2004	ZH/Super Sile 20/1E	Paschwitz	46	2,38	0,29	3,20	0,37	109	13	147	17
	ZH/Super Sile 20/2E	Paschwitz	45	1,81	0,23	2,83	0,32	81	10	126	14
2005	ZH/Super Sile 15/1E	Wöllnau	84	1,93	0,32	2,53	0,33	162	27	213	28
	ZH/Super Sile 15/2E	Wöllnau	91	1,68	0,31	2,06	0,31	152	28	187	28
	ZH/Super Sile 20/1E	Wöllnau	86	1,57	0,28	1,91	0,28	134	24	163	24
	ZH/Super Sile 20/2E	Wöllnau	114	1,63	0,29	1,67	0,30	186	33	189	34
2004	SG/Ver- cors/1E	Paschwitz	42	2,39	0,25	3,58	0,28	100	11	151	12
	SG/Ver- cors/2E	Paschwitz	92	1,31	0,20	1,87	0,19	120	18	171	17
2005	SG/ Susu/1E	Wöllnau	60	2,09	0,37	2,36	0,34	125	22	142	20
	SG/ Susu/2E	Wöllnau	91	1,52	0,21	1,39	0,20	139	19	127	18
	SG/ Lussi/1E	Wöllnau	68	2,36	0,46	2,56	0,50	161	31	175	34
	SG/ Lussi/2E	Wöllnau	97	1,44	0,30	1,58	0,34	141	29	154	34

ZH...Zuckerhirse; SG...Sudangras; 1E...1 Ernte; 2E...2 Ernte

Der Einsatz steigender N-Gaben löst sowohl beim Sudangras als auch bei der Zuckerhirse eine Zunahme des N-Gehaltes in der Trockensubstanz der Pflanzen aus (Tab. 31 und 32). Dieser Zusammenhang wird für Sudangras und Zuckerhirse mit hoher Bestimmtheit durch lineare Regressionsfunktionen beschrieben (Abb. 27 und 28). Die für differenzierte Erntetermine ermittelten Funktionen bringen zum Ausdruck, dass mit längerer Wachstumszeit (2. Ernte) der N-Gehalt in der Trockensubstanz abnimmt. Gleichzeitig wird deutlich, dass die geprüften Gaben generell zu einem linearen Anstieg des N-Gehaltes in der Trockensubstanz führen.

Die Funktionen sind geeignet, den von der N-Düngung und dem Erntetermin abhängigen N-Gehalt im Erntegut von Sudangras und Zuckerhirse abzuschätzen.

Tabelle 31: Nährstoffgehalte und Nährstoffzüge zu zwei Ernteterminen mit je vier N-Düngestufen bei Sudangras (Susu, Güterfelde (2005, 2006))

Jahr	Fruchtart/ Sorte	Variante	TM-Ertrag	Nährstoffgehalt [% i. d. TS]				Nährstoffentzug [kg/ha]			
			[dt TM/ha]	N	P	K	Mg	N	P	K	Mg
2005	SG/Susu	1Ernte/ 0kgN	68,3	1,48	0,24	2,02	0,27	101	16	138	18
	SG/Susu	1Ernte/ 50kgN	66,7	1,86	0,25	1,95	0,30	124	16	130	20
	SG/Susu	1Ernte/ 100kgN	67,2	1,98	0,24	1,93	0,29	133	16	130	20
	SG/Susu	1Ernte/ 150kgN	66,3	2,12	0,25	2,03	0,31	140	16	135	21
	SG/Susu	2Ernte/ 0kgN	155,4	1,12	0,26	1,54	0,29	174	40	240	45
	SG/Susu	2Ernte/ 50kgN	166,4	1,25	0,25	1,49	0,30	208	41	249	50
	SG/Susu	2Ernte/ 100kgN	163,3	1,38	0,23	1,52	0,33	226	38	249	54
	SG/Susu	2Ernte/ 150kgN	166,6	1,42	0,23	1,53	0,34	237	39	254	57
2006	SG/Susu	1Ernte/ 0kgN	89,1	1,55	0,28	1,84	0,31	138	25	164	27
	SG/Susu	1Ernte/ 50kgN	83,0	1,65	0,28	1,92	0,34	137	24	159	28
	SG/Susu	1Ernte/ 100kgN	86,7	1,88	0,29	2,00	0,39	163	25	173	34
	SG/Susu	1Ernte/ 150kgN	86,5	1,94	0,28	2,02	0,41	168	24	175	36
	SG/Susu	2Ernte/ 0kgN	129,7	1,07	0,25	1,48	0,29	139	32	192	38
	SG/Susu	2Ernte/ 50kgN	139,0	1,28	0,21	1,46	0,30	178	29	203	42
	SG/Susu	2Ernte/ 100kgN	134,8	1,48	0,21	1,50	0,34	199	28	202	46
	SG/Susu	2Ernte/ 150kgN	141,9	1,56	0,20	1,44	0,34	222	28	204	49

Tabelle 32: Nährstoffgehalte und Nährstoffentzüge zu zwei Ernteterminen mit je vier N-Düngestufen bei Zuckerhirse (Super Sile 20), Güterfelde (2005, 2006)

Jahr	Fruchtart/ Sorte	Variante	TM-Ertrag [dt TM/ha]	Nährstoffgehalt [% i. d. TS]				Nährstoffentzug [kg/ha]			
				N	P	K	Mg	N	P	K	Mg
2005	ZH/Super Sile 20	1Ernte/ 0kgN	118,5	1,35	0,24	1,83	0,29	160	28	217	34
	ZH/Super Sile 20	1Ernte/ 50kgN	121,7	1,51	0,28	1,98	0,34	183	34	241	42
	ZH/Super Sile 20	1Ernte/ 100kgN	135,7	1,73	0,30	2,11	0,36	235	41	286	49
	ZH/Super Sile 20	1Ernte/ 150kgN	144,6	1,82	0,25	1,82	0,31	263	36	263	45
	ZH/Super Sile 20	2Ernte/ 0kgN	124,1	1,18	0,28	1,86	0,35	147	34	230	44
	ZH/Super Sile 20	2Ernte/ 50kgN	131,2	1,40	0,30	1,76	0,38	183	39	231	50
	ZH/Super Sile 20	2Ernte/ 100kgN	135,4	1,35	0,28	1,69	0,36	183	38	229	49
	ZH/Super Sile 20	2Ernte/ 150kgN	132,9	1,53	0,27	1,76	0,39	203	35	234	52
2006	ZH/Super Sile 20	1Ernte/ 0kgN	148,1	1,13	0,26	1,95	0,33	167	39	288	49
	ZH/Super Sile 20	1Ernte/ 50kgN	164,5	1,31	0,25	1,92	0,35	215	41	316	58
	ZH/Super Sile 20	1Ernte/ 100kgN	164,6	1,63	0,26	1,98	0,39	268	43	326	65
	ZH/Super Sile 20	1Ernte/ 150kgN	179,7	1,67	0,24	2,01	0,44	300	43	362	78
	ZH/Super Sile 20	2Ernte/ 0kgN	157,2	1,12	0,20	1,55	0,25	176	31	243	39
	ZH/Super Sile 20	2Ernte/ 50kgN	152,0	1,05	0,19	1,42	0,27	159	29	216	41
	ZH/Super Sile 20	2Ernte/ 100kgN	154,9	1,24	0,18	1,36	0,30	193	28	211	47
	ZH/Super Sile 20	2Ernte/ 150kgN	159,5	1,50	0,18	1,42	0,31	239	28	227	50

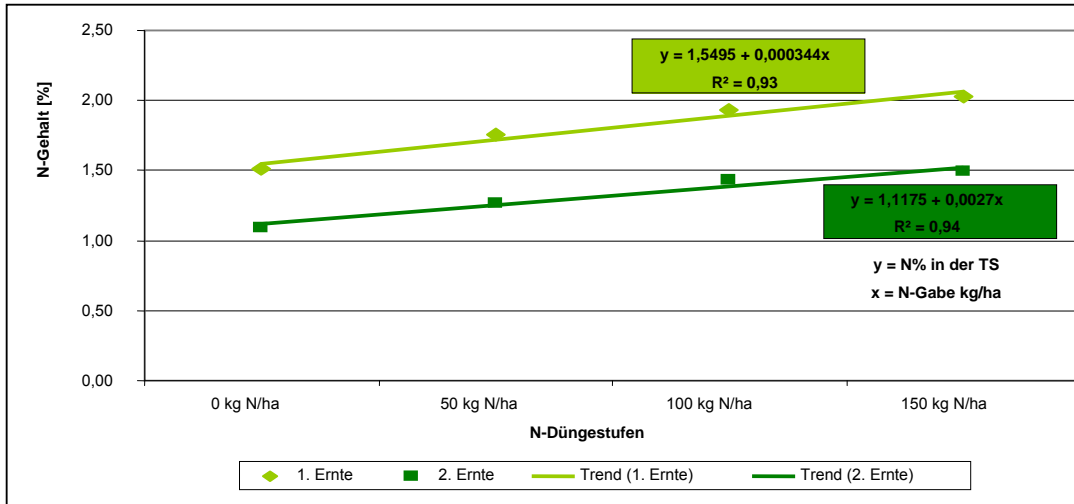


Abbildung 27: Stickstoffgehalte zu zwei Ernteterminen mit je vier Düngestufen bei Sudangras (Susu), Güterfelde (2005, 2006)

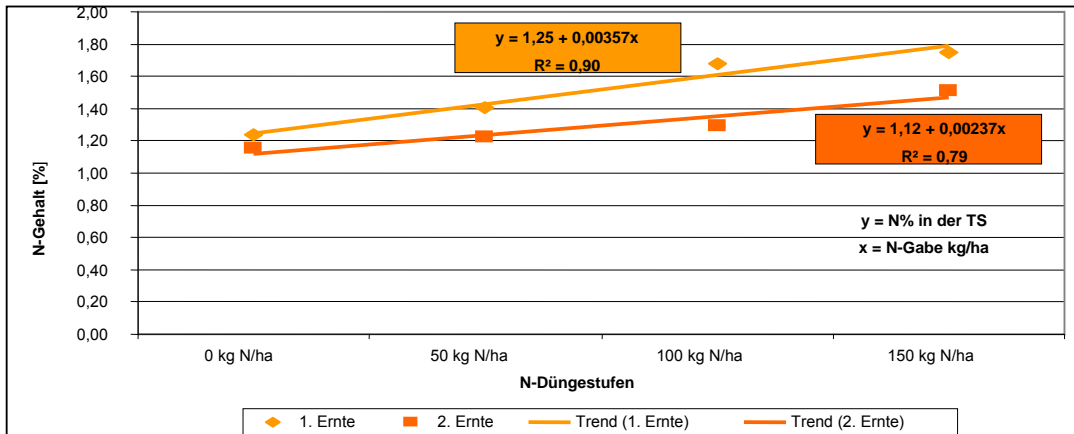


Abbildung 28: Stickstoffgehalte zu zwei Ernteterminen mit je vier Düngestufen bei Zuckerhirse (Super Sile 20), Güterfelde (2005, 2006)

Zusammenfassende Wertung des Nährstoffbedarfs der Versuchspflanzen

Die mehrjährigen Untersuchungen über die Nährstoffgehalte in der Trockenmasse zum Erntezeitpunkt (Silageproduktion) bilden eine repräsentative Grundlage, um entsprechende Richtwerte für Energiemais, Zuckerhirse und Sudangras abzuleiten (Tab. 33). Für die Nährstoffbedarfsermittlung sind die durchschnittlichen Gehalte in der Trockenmasse heranzuziehen. Sie bringen zum Ausdruck, dass zwischen den Arten nur geringe Unterschiede bestehen. Bei der Zuckerhirse ist jedoch von einem erhöhten Kalium- und Magnesiumbedarf auszugehen. Die angegebene Standardabweichung beschreibt die durch Sorten, Boden- und Klimabedingungen sowie anbautechnische Faktoren verursachte mögliche Schwankungsbreite in der Nährstoffkonzentration.

Aus anbautechnischer Sicht kann vor allem mit der Wahl des Erntetermins die Höhe der Nährstoffkonzentration in der Trockenmasse und damit die Vergärungseigenschaften beeinflusst werden. So ist nach den Untersuchungsergebnissen bei frühem Schnitzeitpunkt (Beginn Milchreife (Mais), Beginn Rispenstadien) von höheren Nährstoffgehalten in der Trockenmasse (kg/dt TM, Mittelwert plus Standardabweichung) auszugehen als bei spätem Erntetermin (Milch-Teigreife, volles Rispenstadien). Hier sind die Mittelwerte der Nährstoffgehalte (%TS) etwa um den Wert der Standardabweichung zu reduzieren.

Durch die Verlagerung des Erntezeitpunktes wurde ein Ertragszuwachs nachgewiesen, der zu höheren, über den Durchschnittswerten liegenden, hektarbezogenen Nährstoffentzügen führt.

N-Steigerungsversuche bei Sudangras und Zuckerhirse führen zu der Aussage, dass bei hohem N_{\min} -Gehalt zu Vegetationsbeginn von steigenden N-Gaben kaum eine ertragssteigernde Wirkung ausgeht. Der N-Gehalt in der Trockenmasse steigt hingegen linear an und kann zu qualitativen Nachteilen (hohe N-Konzentration) beim Vergärungsprozess führen. Eine am N_{\min} -Gehalt im Boden und an der Ertragsleistung orientierte N-Düngung beugt diesen Nachteilen vor.

Für einen ertragreichen Anbau sollten deshalb landwirtschaftliche Flächen ausgewählt werden, die mindestens über einen mittleren Versorgungsgrad (Versorgungsstufe C) an Kalium, Phosphor und Magnesium verfügen.

Tabelle 33: Durchschnittliche Nährstoffgehalte und Nährstoffentzüge von Mais, Zuckerhirse, Sudangras auf diluvialen Böden zum Zeitpunkt der Siloreife (Sortenversuche 2004, 2005, 2006)

Fruchtart	n		Nährstoffgehalt [kg/dt TM]				Nährstoffentzug [kg/ha]			
			N	P	K	Mg	N	P	K	Mg
Mais	10	MW	1,52	0,23	1,31	0,20	172	28	161	23
		STABW	0,34	0,04	0,22	0,05	48,62	12,89	68,14	9,73
Zuckerhirse	15	MW	1,55	0,24	1,84	0,30	187	30	230	37
		STABW	0,37	0,07	0,20	0,08	57,29	11,55	71,96	16,60
Sudangras	18	MW	1,52	0,21	1,58	0,25	161	24	172	27
		STABW	0,29	0,06	0,28	0,07	41,11	9,96	58,27	10,80

MW... Mittelwert; STABW ... Standardabweichung

4.1.5 Nährstoffaufnahme von Mais und Sorghumhirsen

In Abhängigkeit von den verschiedenen Entwicklungsstadien der Pflanzen wird die Veränderung des TS-Gehaltes und der Nährstoffkonzentration untersucht, um die Phasen der verstärkten Trockensubstanzbildung und des erhöhten Nährstoffbedarfes der Sorghumarten genauer zu bestimmen (Tab. 34 u. 36). In den Stadien der Blattbildung und Bestockung besteht demzufolge ein be-

sonders hoher Bedarf an Stickstoff und Kalium. Aber auch für Phosphor und Magnesium ist dies die Phase einer verstärkten Aufnahme durch die Pflanzen. Analysen der Mikronährstoffe Bor, Kupfer und Mangan, welche für die Ausbildung der Blüten- und Körnerstände notwendig sind, zeigen ebenfalls einen erhöhten Bedarf der Pflanze im 6-8-Blattstadium bis zur Blüte an. Aus den Werten leitet sich ab, dass die Böden ausreichend mit Makro- und Mikronährstoffen (Versorgungsstufe C) versorgt sein müssen. Aufgrund der kurzen Vegetationszeit bis zur Siloreife ist es zweckmäßig, die Düngung (Stickstoff, Phosphor, Kalium) zu Vegetationsbeginn auszubringen. Dies fördert die Jugendentwicklung.

Tabelle 34: Nährstoffgehalte in den Pflanzen zu verschiedenen Entwicklungsstadien
Praxisversuch, Paschwitz 2004

Fruchtart/ Sorte	Datum	Entwicklungs- stadium	TS- Gehalt %	Makronährstoffe				Mikronährstoffe		
				N %	P %	K %	Mg %	B mg/kg	Cu mg/kg	Mn mg/kg
Mais Novadour	29.7.04	10 Blätter	11,0	3,28	0,36	4,19	0,17	5,89	7,81	35,80
	16.8.04	frühe Milchreife	20,2	2,09	0,20	2,19	0,15	6,67	6,55	45,67
	1.9.04	Milchreife	22,3	1,47	0,21	1,52	0,11	4,05	4,20	32,61
Mais Fangio	29.7.04	10 Blätter	11,0	3,39	0,37	4,07	0,22	6,60	8,80	34,58
	16.8.04	frühe Milchreife	20,4	2,05	0,24	2,17	0,14	9,18	7,01	34,78
	1.9.04	Milchreife	21,9	1,38	0,18	1,43	0,15	2,97	4,23	24,30
Zuckerhirse SuperSile18	29.7.04	8 Blätter, 3 Triebe	13,3	3,76	0,44	3,59	0,33	3,57	11,60	37,03
	16.8.04	Rispenschwellen	21,7	1,19	0,21	2,25	0,19	2,20	5,59	30,59
	1.9.04	Rispenschieben	19,4	0,98	0,16	1,49	0,17	1,14	3,62	25,94
Zuckerhirse SuperSile20	29.7.04	7 Blätter, 2 Triebe	14,8	3,35	0,37	2,85	0,36	4,40	9,84	21,19
	16.8.04	Rispenschwellen	20,6	1,91	0,21	1,77	0,33	3,23	6,01	20,57
	1.9.04	Rispenschieben	25,1	2,33	0,23	1,79	0,36	0,87	5,91	23,87
Sudangras Susu	29.7.04	6 Blätter, 4 Triebe	17,9	3,96	0,39	3,39	0,37	4,32	12,50	34,64
	16.8.04	9 Blätter, 2 Triebe	24,3	1,53	0,23	2,39	0,20	4,34	6,26	29,80
Sudangras Vercors	29.7.04	6 Blätter, 4 Triebe	13,4	2,16	0,33	2,73	0,21	3,60	8,29	44,40
	16.8.04	Schossen	22,7	1,88	0,17	1,73	0,21	2,96	6,04	27,17

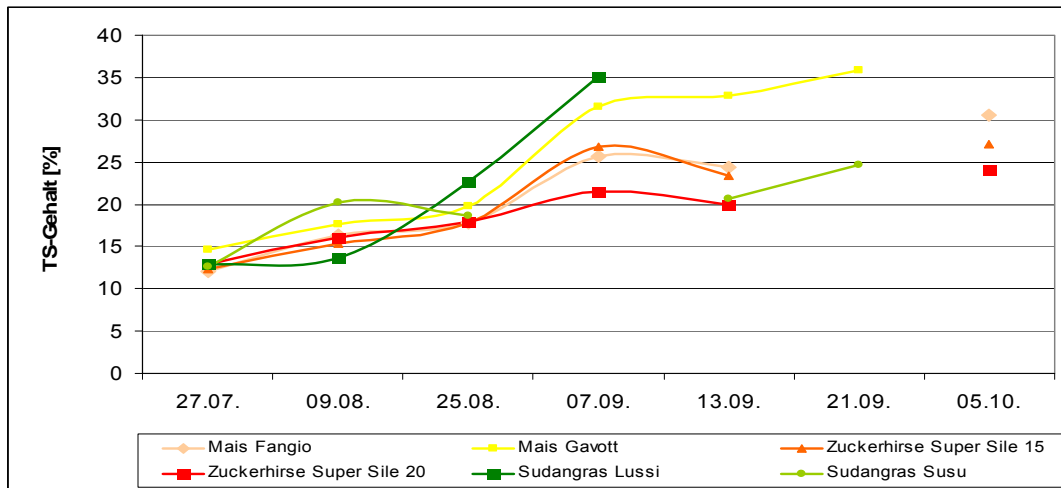
Die Trockensubstanzbildung und Nährstoffkonzentration zu den verschiedenen Entwicklungsstadien ist auch im Versuchsjahr 2005 untersucht worden. (Tab. 35, Abb. 31). Mit voranschreitender Entwicklung und einer parallel dazu verlaufenden Erhöhung des TS-Gehaltes nehmen die Konzentrationen der Nährstoffe in der Pflanzenmasse ab. Die Ergebnisse zeigen aber auch, dass beim Sudangras nach 82 Tagen, also zu „Beginn des Rispenschiebens“, die Gehalte an Makronährstoffen noch leicht ansteigen. Die Werte sinken dann anschließend in den kommenden vier Wochen, wenn das Stadium des „vollen Rispenschiebens“ erreicht ist. Besonders in den ersten Wochen, in denen sich die Bestockung und die Blattbildung vollziehen, nehmen die Pflanzen intensiv Mangan,

Kupfer und Bor auf. Von diesen Mikronährstoffen ist Mangan am höchsten in der Biomasse konzentriert.

**Tabelle 35: Nährstoffgehalte in den Pflanzen zu verschiedenen Entwicklungsstadien
Praxisversuch, Wöllnau 2005**

Fruchtart/ Sorte	Datum	Entwicklungs- stadium	TS- Gehalt	Makronährstoffe				Mikronährstoffe		
				N	P	K	Mg	B	Cu	Mn
				%	%	%	%	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Mais Fangio	27.7.05	Schossen	12,0	2,89	0,36	4,12	0,26	4,65	7,24	64,93
	9.8.05	k. A.	16,4	1,83	0,25	2,55	2,55	0,11	5,41	32,32
	25.8.05	Beginn Blüte	17,8	2,71	0,22	1,85	1,85	0,63	5,41	25,41
	13.9.05	Ende Blüte	25,6	1,58	0,26	1,52	1,52	0,19	5,02	42,26
	21.9.05	frühe Milchreife	24,4	1,52	0,26	1,58	1,58	4,16	5,01	38,49
	5.10.05	frühe Teigreife	30,6	1,35	0,23	1,33	1,33	3,92	4,96	27,98
Mais Gavott	27.7.05	Beginn Blüte	14,6	2,49	0,38	3,55	0,28	4,38	7,60	40,69
	9.8.05	Ende Blüte	17,7	1,90	0,26	2,01	0,16	1,23	5,54	25,43
	25.8.05	frühe Milchreife	19,8	1,49	0,24	1,49	0,15	0,44	5,43	28,19
	7.9.05	späte Milchreife	31,5	1,39	0,26	1,31	0,15	5,89	5,25	26,58
	13.9.05	frühe Teigreife	32,8	1,47	0,24	1,27	0,20	0,72	5,61	44,39
	5.10.05	späte Teigreife	35,8	1,31	0,30	1,25	0,18	3,72	4,95	26,24
Zucker- hirse Super Sile15	27.7.05	6 – 8 Blätter	12,3	2,77	0,50	3,65	0,52	1,96	13,73	118,92
	9.8.05	9 Blätter	15,4	2,92	0,38	2,74	0,35	2,73	7,70	82,00
	25.8.05	Beg. Rispensch.	17,8	2,00	0,30	2,09	0,25	0,11	6,37	71,87
	7.9.05	Beg. Rispensch.	26,8	1,93	0,32	2,53	0,33	5,20	6,24	49,09
	13.9.05	volles Rispensch.	23,3	1,48	0,25	1,74	0,27	0,11	6,26	66,67
	5.10.05	frühe Milchreife	27,1	1,68	0,31	2,06	0,31	2,96	5,88	50,43
Zucker- hirse Super Sile20	27.7.05	6 – 8 Blätter	12,9	3,58	0,52	4,29	0,50	0,98	12,07	66,38
	9.8.05	8 Blätter	16,1	2,80	0,30	3,10	0,35	2,13	6,80	56,37
	25.8.05	Beginn Rispensch.	17,9	2,13	0,32	2,08	0,32	0,11	6,69	45,97
	7.9.05	Beginn Rispensch.	21,5	1,57	0,28	1,91	0,28	2,25	6,50	78,04
	13.9.05	volles Rispensch.	19,9	1,66	0,29	2,32	0,31	0,07	6,10	66,63
	5.10.05	frühe Milchreife	24,1	1,63	0,29	1,67	0,30	2,77	6,24	45,38
Sudan- gras Lussi	27.7.05	7 – 10 Blätter	12,9	3,15	0,34	3,60	0,38	2,48	12,77	56,06
	9.8.05	8 – 11 Blätter	13,6	2,12	0,26	1,81	0,20	0,11	6,24	46,24
	12.8.05	Beginn Rispensch.	14,4	2,36	0,46	2,56	0,50	1,57	8,12	71,69
	25.8.05	volles Rispensch.	22,7	1,87	0,22	1,80	0,21	0,11	5,96	31,17
	7.9.05	volles Rispensch.	35,1	1,44	0,30	1,58	0,34	2,76	6,68	62,72
Sudan- gras Susu	27.7.05	6 – 8 Blätter	12,6	3,07	0,37	3,62	0,38	2,49	12,83	56,30
	9.8.05	8 Blätter	20,2	2,25	0,29	2,84	0,33	2,66	6,67	44,35
	12.8.05	Beginn Rispensch.	18,0	2,09	0,37	2,36	0,34	0,64	7,02	42,23
	25.8.05	Beginn Rispensch.	18,7	1,78	0,26	1,62	0,35	0,11	6,14	54,07
	13.9.05	volles Rispensch.	20,6	1,56	0,24	1,73	0,32	0,11	6,38	60,53
	21.9.05	volles Rispensch.	24,6	1,52	0,21	1,39	0,20	0,56	5,89	33,02

Die Ergebnisse kennzeichnen von der „vollen Blattbildung“ bis zum beginnenden Eintritt der generativen Phase bei den untersuchten Mais- und Sorghumhirsesorten eine starke Dynamik in der Trockensubstanzbildung, verbunden mit einem hohen Bedarf insbesondere an Stickstoff und Kalium. Hingewiesen werden muss auch auf die Tatsache, dass in diesen Entwicklungsstadien der Bedarf an Mikronährstoffen hoch ist. Für Mais konnten auf den leichten Böden in etwa die zu den einzelnen Stadien als ausreichend gekennzeichneten Grenzwertbereiche für die untersuchten Makro- und Mikronährstoffe in der Trockensubstanz nachgewiesen werden. (BERGMANN und NEUBERT 1976).



**Abbildung 29: Trockensubstanzbildung bei Mais, Zuckerhirse und Sudangras
Wöllnau, 2005**

**Tabelle 36: Nährstoffgehalte in den Pflanzen zu verschiedenen Entwicklungsstadien
Parzellenversuch Trossin 2006**

Fruchart/ Sorte	Datum	Entwicklungs- stadium	TS- Gehalt	Makronährstoffe				Mikronährstoffe		
				N	P	K	Mg	B	Cu	Mn
			%	%	%	%	mg/kg	mg/kg	mg/kg	
Mais Fangio	31.7.06	Beginn Kol- bensch.	19	2,25	0,22	2,27	0,23	10,27	6,19	78,76
	14.8.06	Kolbenschie- ben	18	2,29	0,24	2,03	0,20	5,07	4,82	68,42
	21.8.06	frühe Milch- reife	20	1,78	0,16	1,53	0,19	4,94	2,73	58,78
	12.9.06	frühe Milch- reife	35	1,72	0,24	1,21	0,19	6,49	3,14	68,53
Mais Gavott	31.7.06	Beginn Kol- bensch.	23	2,11	0,18	2,03	0,20	10,30	5,84	80,84
	14.8.06	Kolben- schieben	18	2,27	0,24	1,69	0,20	4,82	4,81	77,43
	21.8.06	frühe Milch- reife	20	1,99	0,23	1,53	0,19	4,54	4,92	75,93
	12.9.06	Milchreife	35	1,80	0,28	1,27	0,19	8,07	4,72	87,75
Zucker- hirse Super Sile 20	31.7.06	8 – 10 Blätter	28	2,19	0,11	1,88	0,18	10,43	5,89	82,02
	14.8.06	Rispen- schwollen	20	3,70	0,32	2,41	0,25	2,86	10,29	134,68
	21.8.06	Beginn Rispen-sch.	17	3,06	0,30	2,45	0,26	2,54	10,32	127,04
	26.9.06	Milchreife	27	1,83	0,20	1,85	0,27	4,53	5,96	125,84
Futter- hirse Rona	31.7.06	8 – 10 Blätter	25	2,16	0,14	1,79	0,22	9,23	6,12	78,38
	14.8.06	Rispen- schwollen	20	2,83	0,27	2,01	0,24	2,35	7,55	84,68
	21.8.06	Beginn Rispen-sch.	17	2,71	0,26	1,98	0,25	2,09	7,80	85,16
	12.9.06	Milchreife	30	1,78	0,25	1,47	0,24	3,96	5,88	94,24
Sudan- gras Susu	31.7.06	6 – 9 Blätter	27	1,90	0,11	1,61	0,19	7,92	5,99	63,45
	14.8.06	Beginn Rispen-sch.	22	2,70	0,23	1,69	0,25	2,52	8,06	97,67
	21.8.06	Rispen- schieben	21	2,44	0,25	1,95	0,25	2,52	8,68	93,28
	26.9.06	volles Rispen-sch.	30	1,72	0,20	1,69	0,26	6,23	6,99	162,34
Sudan- gras Lussi	31.7.06	7 – 9 Blätter	26	1,72	0,10	1,58	0,16	5,96	5,58	57,64
	14.8.06	Beginn Rispen-sch.	23	2,17	0,18	1,47	0,16	1,82	4,58	78,17
	21.8.06	Rispen-schie- ben	22	2,44	0,21	1,60	0,17	0,91	5,51	80,13
	26.9.06	volles Rispen-sch.	29	1,46	0,17	1,36	0,18	4,12	4,86	97,79

Die Trockensubstanzbildung im Jahr 2006 war durch den außergewöhnlichen Witterungsverlauf in der Vegetationsperiode gekennzeichnet (Tab. 38, Abb. 32). Im sehr warmen und trockenen Juli lagen die TS-Gehalte höher als in den vorangegangenen Jahren. Im August sank der gemessene TS-Gehalt in den Pflanzen. Dies war auf die nasse und kühle Witterung in diesem Monat zurückzuführen, die eine Neuanlage von Trieben zur Folge hatte. Bei den Sorghumhirsen war der Rückgang

der TS-Gehalte besonders deutlich ausgeprägt. Parallel dazu stiegen die Nährstoffgehalte in diesem Monat in der Trockensubstanz an.

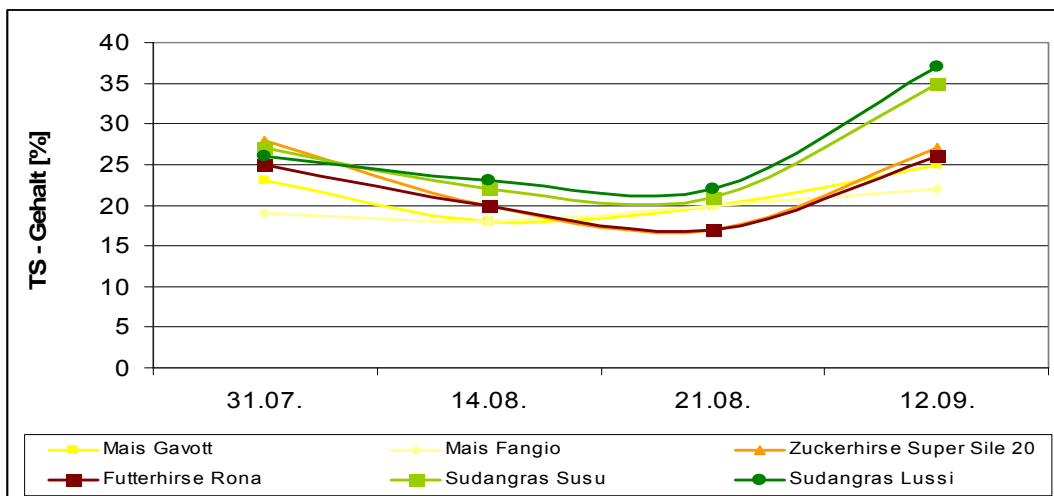


Abbildung 30: Trockensubstanzbildung bei Mais, Zuckerhirse und Sudangras
Trossin, 2006

Zusammenfassende Wertung der Nährstoffgehalte im Entwicklungsverlauf der Versuchspflanzen

Mit vorliegenden Untersuchungen konnten für leistungsstarke Sorten der Zuckerhirse und des Sudangrases erste Ergebnisse zur TS-Entwicklung und Nährstoffkonzentration während des Wachstums vorgelegt werden. Für die Zuckerhirsen und das Sudangras, ist vergleichbar mit Mais, insbesondere das 7-10-Blattstadium eine Phase erhöhten Nährstoffbedarfes. Der optimal mit Nährstoffen versorgte Boden (Versorgungsstufe C) ist deshalb eine wichtige Voraussetzung, um hohe und stabile Erträge bei Sorghum zu erreichen.

4.1.6 Ergebnisse zum Pflanzenschutz in Mais und Sorghumhirsen

4.1.6.1 Auftreten von Krankheiten und Schädlingen in Mais und Sorghumhirsen

Zum Befall mit Schaderregern bei Sorghumhirsen können im gemäßigten Klimaraum noch keine gesicherten Aussagen vorgenommen werden. In den Sortenversuchen an den Standorten Wöllnau und Trossin wurde der Befall der Mais-, Zuckerhirse- und Sudangrassorten mit den in Deutschland bedeutenden Schädlingen Maiszünsler (*Ostrinia nubilalis*) und dem Maisbeulenbrand (Pilz *Ustilago maydis*) bonitiert (Tab. 37).

Die Raupen des Maiszünslers zerstören durch Fraß das Stängelmark und die Leitungsbahnen. Verminderte Standfestigkeit der Pflanzen und hohe Ertragsverluste können die Folge sein (ZELLNER et al., 2007). Der Befall mit dem Pilz *Ustilago maydis* führt zur Beulenausbildung an allen Pflanzenteilen. Stresssituationen (lange Trockenheit) begünstigen die Infektion der Pflanzen. Mit Maisbeulenbrand belastete Silage zeigte einen geringen Futterwert (Abbau von Kohlenhydraten) und höhe-

re Gargasverluste (RICHTER 2006). Die zweijährig durchgeführten Bonituren an den Mais-, Zuckerhirse- und Sudangrassorten lassen erkennen, dass die Hirsesorten in weit geringerem Maße mit diesen Schaderregern befallen werden als der Mais (Tab. 37).

Der Befall war standort- und jahresabhängig differenziert. Im Jahr 2005 breitete sich am Standort Trossin der Maiszünsler sehr stark in Maissorten aus, während die Hirsesorten kaum befallen wurden. Das Versuchsjahr 2006 mit starker Trockenheit führte neben dem Zünslerbefall auch zu einer vermehrten Infektion mit Maisbeulenbrand. Auch in diesem Jahr führten die Bonituren zu dem Ergebnis, dass fast ausschließlich die Maisbestände geschädigt wurden. Diese ersten Ergebnisse gilt es durch weitere Bonituren zum Befall mit Schadinsekten und -pilzen im Sorghumhirseanbau zu verifizieren.

Tabelle 37: Ergebnisse der Schädlingsbonituren von 2005 bis 2006 (Angaben in % der befallenen Pflanzen)

Jahr	Schädlinge	ME	Standort	Mais		Zuckerhirse	Futterhirse	Sudangras	
				Fangio	Gavott	Super Sile 20	Rona	Susu	Lussi
2005	Maiszünsler	[%]	Wöllnau	18,8	20,0	10,0	-	8,8	8,8
		[%]	Trossin	70,0	67,0	15,0	7,0	5,0	24,0
2006	Maiszünsler	[%]	Trossin	45,0	52,5	16,3	7,5	2,5	6,3
	Beulenbrand	[%]	Trossin	72,5	46,3	0,0	0,0	0,0	0,0

4.1.6.2 Erste Ergebnisse zur Herbizidprüfung in Sudangras

Für den Anbau von Sorghumhirsen sind für die Praxis wirtschaftliche und sichere Herbizidanwendungen zu entwickeln, da die Pflanzen besonders in der Jugendphase einem starken Unkrautdruck ausgesetzt sein können.

In einem 2006 begonnenen Herbizidversuch werden verschiedene Pflanzenschutzmittel in Sudangrasbeständen (Sorte Susu) geprüft (DITTRICH 2006). Es wurden elf verschiedene Herbizide im Sudangras angewendet und im Laufe der Vegetationszeit nach ihrer Wirkung bonitiert. Für diese Herbizidprüfung wurde eine randomisierte Blockanlage mit vier Wiederholungen am Standort Dresden angelegt. Die Termine zu den Behandlungen, Bonituren und der Ernte sind in detaillierter Form in Tab. 38 aufgeführt.

Zum Behandlungszeitpunkt mit verschiedenen Herbiziden wurden folgende Unkräuter im Kulturpflanzenbestand festgestellt: Weißer Gänsefuß (BBCH 59), Franzosenkraut- Arten (BCCH 55), Acker- Hellerkraut (BBCH 75), schwarzer Nachtschatten (BBCH 61), gewöhnliches Hirtentäschelkraut (BBCH 75) und Borstenhirsearten (BBCH 37 - 59).

Tabelle 38: Daten zur Herbizidprüfung in Sudangras (2006)

Herbizide		Menge	Behandlungs- termin	Kultur BBCH	Herbizid- bonitur	Schad- bonitur	Ernte- termin
		[l, kg/ha]					
1.	unbeh. Kontrolle	0	20.6.2006	15	4.7.06	26.6;4.7.06	25.9.06
2.	Basagran	2	20.6.2006	15	4.7.06	26.6;4.7.06	25.9.06
3.	Certrol B	1,5	20.6.2006	15	4.7.06	26.6;4.7.06	25.9.06
4.	Mais-Banvel WG	0,5	20.6.2006	15	4.7.06	26.6;4.7.06	25.9.06
5.	Artett	3,5	20.6.2006	15	4.7.06	26.6;4.7.06	25.9.06
6.	Artett	3	20.6.2006	15	4.7.06	26.6;4.7.06	25.9.06
7.	Artett	2,5	20.6.2006	15	4.7.06	26.6;4.7.06	25.9.06
8.	Stomp SC	2,5	20.6.2006	15	4.7.06	26.6;4.7.06	25.9.06
9.	Dual Gold	1,2	20.6.2006	15	4.7.06	26.6;4.7.06	25.9.06
10.	Click	1,5	20.6.2006	15	4.7.06	26.6;4.7.06	25.9.06
11.	Spektrum	1,2	20.6.2006	15	4.7.06	26.6;4.7.06	25.9.06
12.	U 46 D-Fluid	1,5	20.6.2006	15	4.7.06	26.6;4.7.06	25.9.06

Quelle: DITTRICH (2006), Wirksamkeit von Herbiziden in Gräsern und Zwischenfrüchten – Versuchsjahr 2006

Im Vergleich der Herbizidwirkung gegen zweikeimblättrige Unkräuter erzielte die Verwendung von Artett die höchsten Wirkungen (Tab. 39). Unter Berücksichtigung der Aufwandmengen von Artett überzeugt vor allem die Variante mit 3,5 l/ha. Auch die Mittel Certrol B und Click erreichten hohe Wirkungsraten. Bei der Bekämpfung von einkeimblättrigen Ackerkräutern (Borstenhirsearten) wies das Pflanzenschutzmittel Dual Gold die höchste Wirksamkeit auf. Spritzschäden und Ausdünnungen am Sudangras konnten während der gesamten Vegetationszeit nicht festgestellt werden.

Tabelle 39: Ergebnisse der Unkrautbonituren im Herbizidversuch (2006)

Herbizide		Aufwand- menge	Weißer Gänse- fuß	Franzo- senkraut- arten	Acker- heller- kraut	Schwarzer Nacht- schatten	gew. Hir- tentäschel- kraut	Borsten- hirse- arten
		[l, kg/ha]	59 ¹⁾	55 ²⁾	75 ³⁾	61 ⁴⁾	75 ⁵⁾	37-59 ⁶⁾
1.	unbeh. Kontrolle	0	3	6	2	3	5	4
2.	Basagran	2	5	5	46	100	45	0
3.	Certrol B	1,5	94	96	86	75	79	0
4.	Mais-Banvel WG	0,5	88	93	48	81	0	19
5.	Artett	3,5	100	99	100	100	100	0
6.	Artett	3	100	94	100	100	100	0
7.	Artett	2,5	99	91	100	100	100	0
8.	Stomp SC	2,5	99	0	93	83	71	0
9.	Dual Gold	1,2	13	44	0	25	0	100
10.	Click	1,5	99	95	100	100	100	13
11.	Spektrum	1,2	18	51	0	25	0	88
12.	U 46 D-Fluid	1,5	95	88	96	85	71	13

[Herbizide Wirkung [%] in Behandelt; Deckungsgrad [%] in Unbehandelt]; 1), 2), 3), 4), 5), 6) ... BBCH – Stadien der Unkräuter

Quelle: DITTRICH (2006), Wirksamkeit von Herbiziden in Gräsern und Zwischenfrüchten – Versuchsjahr 2006

Die Anwendung der geprüften Pflanzenschutzmittel ergab keine signifikanten Mehrerträge (Tukey-Test). Die höchsten gemessenen Mehrerträge wurden durch die Anwendung von U 46 D-Fluid, (122 %) gefolgt von Artett mit 2,5 l/ha (115 %), Click (113 %) und Certrol B (112 %) erreicht (Tab. 40).

Tabelle 40: Ernteergebnisse der Herbizidversuche (2006)

Herbizide		Aufwandmenge	FM- Ertrag	TM- Ertrag		Mehrertrag
		[l, kg/ha]	[dt FM/ha]	[dt TM/ha]	rel. [%]	[dt TM/ha]
1.	unbeh. Kontrolle	0	320,5	145,1	100	
2.	Basagran	2	330,3	157,0	108	11,9
3.	Certrol B	1,5	362,0	162,4	112	17,3
4.	Mais- Banvel WG	0,5	330,8	152,7	105	7,6
5.	Artett	3,5	323,8	143,3	99	-1,8
6.	Artett	3	351,8	162,9	112	17,8
7.	Artett	2,5	365,3	166,2	115	21,1
8.	Stomp SC	2,5	346,8	156,2	108	11,1
9.	Dual Gold	1,2	330,5	155,3	107	10,2
10.	Click	1,5	357,8	163,7	113	18,6
11.	Spektrum	1,2	343,5	153,4	106	8,3
12.	U 46 D- Fluid	1,5	389,0	176,8	122	31,7

Quelle: DITTRICH (2006), Wirksamkeit von Herbiziden in Gräsern und Zwischenfrüchten – Versuchsjahr 2006

Auf der Grundlage der Ergebnisse zur Herbizidwirksamkeit und zu den Trockenmassenerträgen eignen sich die Pflanzenschutzmittel Artett und Certrol B (zweikeimblättrige Ackerkräuter) sowie Dual Gold (einkeimblättrige Ackerkräuter) für eine sichere Ackerunkrautbekämpfung in Sudangrasbeständen. Der Einsatz von Artett ist jedoch auf leichten Böden nicht mehr gestattet. Die Verwendung von Certrol B bedarf einer Genehmigung nach § 18 b des Pflanzenschutzgesetzes.

4.1.6.3 Zusammenfassende Bewertung

Wie erste Ergebnisse zeigen, werden die Sorghumhirsen (Sudangras, Zuckerhirse) in geringerem Maße durch die im Maisanbau bedeutenden Schaderreger Maiszünsler (*Ostrinia nubilalis*) und Maisbeulenbrand (Pilz *Ustilago maydis*) befallen. Ihr Anbau liefert somit wertvolle Ansatzpunkte des vorbeugenden Pflanzenschutzes. Allerdings sind diese Aussagen weiter abzusichern.

Für den Praxisanbau von Sudangras konnte aus einem Test mit verschiedenen Herbiziden eine wirksame Strategie gegen zweikeimblättrige Unkräuter mit den Präparaten Artett (2,5 l/ha, BBCH 15) und Certrol B (1,5 kg/ha, BBCH 15) abgeleitet werden. Das Herbizid Dual Gold (1,2 l/ha, BBCH 15) bekämpfte vollständig Hirsunenkräuter. Die Anwendung bei Sorghumhirsen erfolgt nach § 18 b des Pflanzenschutzgesetzes (Stand 2006).

4.2 Nutzung zur Biogaserzeugung

4.2.1 Zusammensetzung der Silagen

Energiepflanzen werden meist in Form von Silagen für die Biogasproduktion genutzt. Sie sind so gut lagerfähig und ermöglichen eine kontinuierliche Beschickung des Fermenters. Die Silagequalität, das Nährstoffverhältnis sowie der Gehalt an Hemmstoffen sind wichtige Parameter, die die Höhe der Biogasausbeuten beeinflussen. Aus dem Erntegut der anbautechnischen Versuche (Abschnitt 3.1) wurden deshalb Silageproben gewonnen und auf ihre Nährstoffzusammensetzung sowie Silagequalität nach dem DLG- Schlüssel 1997 (UNIVERSITÄT STUTTGART-HOHENHEIM 1997) analysiert.

4.2.1.1 Nährstoffgehalte und Nährstoffverhältnisse

Für die optimale Umsetzung der organischen Substanz zu Biogas sollten die Rohstoffe eine für das Wachstum der Biogas bildenden Mikroorganismen möglichst günstige Nährstoffzusammensetzung (C:N:P:S = 600:15:5:1) aufweisen (SCHATTAUER, WEILAND 2004). Auf diese Qualitätsparameter wurden die Silageproben aus den Anbauversuchen untersucht und bewertet. Dabei wurde in den Versuchsjahren 2004, 2005 und 2006 für die untersuchten Mais- und Sorghumhirsesorten im Wesentlichen das anzustrebende optimale Nährstoffverhältnis erreicht. (Tab. 41, 42 und 43). Besonders günstig war hierbei, dass der Schwefelgehalt den geforderten niedrigen Gehalt in der Biomasse aufwies. Das für die möglichst vollständige Kohlenstoff-Umsetzung notwendige C : N-Verhältnis von 600 : 15 zeigt sortenabhängige und jahresspezifische Schwankungen. Unter optimalen Wachstumsbedingungen (Versuchsjahr 2005) liegt es nahe dem Optimum. Unter suboptimalen Wachstumsbedingungen ist ein etwas weiteres C : N-Verhältnis von 600 : 20 - 22 (Versuchsjahr 2004) und 600 : 20 - 25 (Versuchsjahr 2006) festzustellen (Tab. 41, 42 und 43). Im Mittel der drei Jahre lagen die Nährstoffverhältnisse nahe dem Optimum.

Tabelle 41: Nährstoffgehalte und Nährstoffverhältnisse von Maissilagen
(Sortenversuche 2004 - 2006)

Jahr	Sorte	Nährstoffgehalte [% i. d. TS]				Nährstoffverhältnisse			
		C	N	P	S	C	N	P	S
2004	Novadour	47,0	1,7	0,2	0,1	600	22	3	2
	Fangio	46,1	1,7	0,2	0,1	600	22	3	2
2005	Fangio	44,8	1,0	0,2	0,1	600	14	2	1
	Gavott	45,0	1,1	0,2	0,1	600	14	2	1
2006	Fangio	47,9	2,0	0,3	0,1	600	25	3	2
	Gavott	47,8	1,9	0,3	0,1	600	24	3	2
Günstiges Nährstoffverhältnis:						600	15	5	1
Statistische Maßzahlen:									
Minimalwert (min)		44,8	1,0	0,2	0,1	600	14	2	1
Maximalwert (max)		47,9	2,0	0,3	0,1	600	25	3	2
Spannweiten (w)		3,1	1,0	0,1	0,0	0	11	1	1
Mittelwert (MW)		46,4	1,6	0,2	0,1	600	20	3	2
Standardabweichung (S)		1,35	0,42	0,05	0,02	0,00	4,98	0,31	0,46

Tabelle 42: Nährstoffgehalte und Nährstoffverhältnisse von Zuckerhirsesilage
(Sortenversuche 2004 – 2006)

Jahr	Sorte	Nährstoffgehalte [% i. d. TS]				Nährstoffverhältnisse			
		C	N	P	S	C	N	P	S
2004	Super Sile 18	46,9	1,7	0,2	0,1	600	22	3	2
	Super Sile 20	46,5	1,6	0,2	0,1	600	20	3	2
2005	Super Sile 10	44,7	1,3	0,2	0,1	600	17	3	1
	Super Sile 15	44,0	1,4	0,2	0,1	600	18	3	2
	Super Sile 20	44,6	1,1	0,2	0,1	600	15	2	1
	Friggo	43,6	1,8	0,3	0,1	600	25	4	2
	Sugargraze	44,3	1,0	0,2	0,1	600	13	2	1
2006	Super Sile 15	46,2	1,9	0,3	0,2	600	25	3	2
	Super Sile 20	46,6	1,7	0,2	0,1	600	22	2	2
	Friggo	46,2	2,2	0,6	0,2	600	29	5	2
	Sugargraze	46,4	1,6	0,2	0,1	600	20	3	2
	Rona	46,8	1,7	0,2	0,1	600	22	3	1
Günstiges Nährstoffverhältnis:						600	15	5	1
Statistische Maßzahlen:									
Minimalwert (min)		43,6	1,0	0,2	0,1	600	13	2	1
Maximalwert (max)		46,9	2,2	0,6	0,2	600	29	5	2
Spannweiten (w)		3,3	1,2	0,4	0,1	0	16	3	1
Mittelwert (MW)		45,6	1,6	0,3	0,1	600	21	3	2
Standardabweichung (S)		1,22	0,34	0,12	0,03	0,00	4,40	0,84	0,34

**Tabelle 43: Nährstoffgehalte und Nährstoffverhältnisse in Sudangrassilagen
(Sortenversuche 2004 - 2006)**

Jahr	Sorte	Nährstoffgehalte [% i. d. TS]				Nährstoffverhältnisse			
		C	N	P	S	C	N	P	S
2004	Vercors	48,0	1,7	0,2	0,1	600	22	2	2
	Susu	48,3	1,6	0,2	0,1	600	20	2	1
2005	Lussi	45,8	1,1	0,2	0,1	600	15	2	1
	Susu	44,5	1,1	0,2	0,1	600	15	2	1
	Akklimat	44,8	1,3	0,2	0,1	600	17	2	1
	GK Csaba	44,0	1,1	0,2	0,1	600	15	2	1
2006	Lussi	47,4	1,5	0,2	0,1	600	19	2	1
	Susu	46,9	1,7	0,2	0,1	600	21	2	2
	Akklimat	47,5	1,6	0,2	0,1	600	21	2	2
	GK Csaba	47,5	1,7	0,2	0,1	600	22	3	2
Günstiges Nährstoffverhältnis:						600	15	5	1
Statistische Maßzahlen:									
Minimalwert (min)		44,0	1,1	0,2	0,1	600	15	2	1
Maximalwert (max)		48,3	1,7	0,2	0,1	600	22	3	2
Spannweiten (w)		4,3	0,6	0,1	0,0	0	7	1	1
Mittelwert (MW)		46,5	1,5	0,2	0,1	600	19	2	1
Standardabweichung (S)		1,56	0,26	0,02	0,02	0,00	2,87	0,20	0,27

Aus den Untersuchungen zur Wirkung des Erntetermins auf das Nährstoffverhältnis in den Silagen geht hervor, dass vor allem die C : N-Proportionen eine Veränderung erfahren. Dabei sind zwischen den Mais- und Sorghumhirsen unterschiedliche Reaktionen zu beobachten (Tab. 44, 45, 47). Bei den Maissorten ist zu beiden geprüften Ernteterminen (Milch- bzw. Teigreife) ein dem Optimum gut entsprechendes Verhältnis von Kohlenstoff zu Stickstoff vorhanden. Für die Zuckerhirsen- und Sudangrassorten ist dagegen festzustellen, dass ein optimaler Stickstoffgehalt zum späten Erntetermin (volles Rispschieben; Milchreife) vorliegt. Diese Tendenz ist bei Sudangras deutlicher als bei der Zuckerhirse ausgeprägt (Tab. 44, 45).

Tabelle 44: Nährstoffgehalte und Nährstoffentzüge von Mais-, Zuckerhirse- und Sudangrassilagen zu zwei Ernteterminen

Jahr	Fruchtart/Sorte	Standort	Nährstoffgehalte [% i. d. TS]				Nährstoffverhältnisse			
			C	N	P	S	C	N	P	S
2004	Mais/Fangio/1E	Sprotta	46,1	1,1	0,2	0,1	600	14	3	1
	Mais/Fangio/2E	Sprotta	45,7	1,1	0,2	0,1	600	14	3	1
2005	Mais/Fangio/1E	Wöllnau	44,8	1,3	0,2	0,1	600	17	3	1
	Mais/Fangio/2E	Wöllnau	45,2	1,3	0,2	0,1	600	17	3	1
	Mais/Gavott/1E	Wöllnau	45,1	1,5	0,2	0,1	600	19	3	1
	Mais/Gavott/2E	Wöllnau	45,2	1,3	0,2	0,1	600	17	3	1
2004	ZH/Super Sile 20/1E	Paschwitz	44,3	2,0	0,3	0,1	600	27	4	2
	ZH/Super Sile 20/2E	Paschwitz	45,1	1,7	0,2	0,1	600	23	3	2
2005	ZH/Super Sile 15/1E	Wöllnau	44,8	1,4	0,2	0,1	600	19	3	2
	ZH/Super Sile 15/2E	Wöllnau	45,1	1,5	0,3	0,1	600	19	4	2
	ZH/Super Sile 20/1E	Wöllnau	43,6	1,7	0,3	0,1	600	23	4	2
	ZH/Super Sile 20/2E	Wöllnau	44,2	1,4	0,3	0,1	600	20	4	1
2004	SG/Vercors/1E	Paschwitz	46,3	2,3	0,2	0,1	600	30	2	2
	SG/Vercors/2E	Paschwitz	47,4	1,3	0,2	0,1	600	17	2	1
2005	SG/Susu/1E	Wöllnau	43,6	1,9	0,3	0,1	600	26	4	2
	SG/Susu/2E	Wöllnau	45,3	1,1	0,2	0,1	600	14	3	1
	SG/Lussi/1E	Wöllnau	42,9	2,1	0,3	0,1	600	29	4	2
	SG/Lussi/2E	Wöllnau	47,4	1,0	0,2	0,1	600	13	3	1

ZH... Zuckerhirse; SG...Sudangras; 1E ... 1 Ernte, 2 E... 2 Ernte

Der Einsatz steigender mineralischer N-Gaben ist tendenziell beim Sudangras und der Zuckerhirse mit einer Zunahme des N-Anteils verbunden (Tab. 46, 48). In Wechselwirkung mit einer frühen Ernte (Beginn Rispschieben) ist die Verschiebung zu einem höheren N-Anteil in stärkeren Maße gegeben als dies bei Verlagerung der Ernte zum vollen Rispschieben bzw. Milchreife der Fall ist. Es wird dann auf Grund der Zunahme der Kohlenstoffeinlagerungen in die Trockensubstanz bei allen geprüften N-Gaben ein sehr günstiges C : N-Verhältnis nachgewiesen. Besonders im Jahr 2005 mit optimaler Wärme- und Niederschlagsverteilung ist dies erkennbar (Tab. 44, 45, 47). Im Gegensatz zum Sudangras erzielte die Zuckerhirse auch im warmen und trockenen Jahr 2006 günstige C : N-Verhältnisse (Tab. 47, 48). Außerdem ist eine Änderung der Nährstoffverhältnisse durch eine Verlängerung der Wachstumsdauer bei der Zuckerhirse weniger stark ausgeprägt als beim Sudangras (Tab. 47, 48).

Tabelle 45: Einfluss des Erntetermins auf die Nährstoffgehalte und Nährstoffverhältnisse in Sudangrassilagen, Sorte „Susu“ (Parzellenversuche 2004 - 2006)

Jahr	Variante	Nährstoffgehalte [% i. d. TS]				Nährstoffverhältnisse			
		C	N	P	S	C	N	P	S
2004	1. Ernte	46,3	2,5	0,2	0,2	600	33	3	2
	2. Ernte	46,1	1,8	0,2	0,1	600	23	2	2
2005	1. Ernte	43,1	1,6	0,2	0,1	600	23	3	1
	2. Ernte	45,2	1,0	0,2	0,1	600	14	2	1
2006	1. Ernte	47,3	1,7	0,3	0,1	600	21	3	2
	2. Ernte	47,2	1,3	0,2	0,1	600	17	3	2

Tabelle 46: Einfluss der Stickstoffdüngung auf die Nährstoffgehalte und Nährstoffzüge in Sudangrassilagen, Sorte „Susu“ (Parzellenversuche 2004 - 2006)

Jahr	Variante	Nährstoffgehalte [% i. d. TS]				Nährstoffverhältnisse			
		C	N	P	S	C	N	P	S
2004	0 kg N/ha	46,6	1,7	0,2	0,1	600	22	3	2
	50 kg N/ha	46,5	2,0	0,2	0,2	600	26	3	2
	100 kg N/ha	46,2	2,1	0,2	0,1	600	28	3	2
	150 kg N/ha	45,7	2,7	0,2	0,1	600	35	3	2
2005	0 kg N/ha	44,2	1,1	0,2	0,1	600	16	3	1
	50 kg N/ha	43,9	1,3	0,2	0,1	600	18	3	1
	100 kg N/ha	44,3	1,4	0,2	0,1	600	19	3	1
	150 kg N/ha	44,2	1,5	0,2	0,1	600	20	3	1
2006	0 kg N/ha	47,3	1,3	0,2	0,1	600	16	3	2
	50 kg N/ha	47,1	1,4	0,2	0,1	600	18	3	2
	100 kg N/ha	47,3	1,6	0,2	0,1	600	20	3	2
	150 kg N/ha	47,2	1,7	0,2	0,1	600	22	3	2

Tabelle 47: Einfluss des Erntetermins auf die Nährstoffgehalte und die Nährstoffzüge in Zuckerrhodesilagen, Sorte „Super Sile 20“ (Parzellenversuche 2005, 2006)

Jahr	Variante	Nährstoffgehalte [% i. d. TS]				Nährstoffverhältnisse			
		C	N	P	S	C	N	P	S
2005	1. Ernte	44,0	1,4	0,2	0,1	600	19	3	1
	2. Ernte	44,1	1,0	0,2	0,1	600	14	2	1
2006	1. Ernte	46,3	1,4	0,2	0,1	600	18	3	2
	2. Ernte	45,7	1,2	0,2	0,1	600	16	3	1

Tabelle 48: Einfluss der Stickstoffdüngung auf die Nährstoffgehalte und Nährstoffentzüge in Zuckerrhirsesilagen, Sorte „Super Sile 20“ (Parzellenversuche 2005 - 2006)

Jahr	Variante	Nährstoffgehalte [% i. d. TS]				Nährstoffverhältnisse			
		C	N	P	S	C	N	P	S
2005	0 kg N/ha	43,8	1,1	0,2	0,1	600	15	3	1
	50 kg N/ha	44,1	1,2	0,2	0,1	600	16	3	1
	100 kg N/ha	44,1	1,2	0,2	0,1	600	17	3	1
	150 kg N/ha	44,1	1,3	0,2	0,1	600	18	3	1
2006	0 kg N/ha	45,8	1,0	0,2	0,1	600	13	3	1
	50 kg N/ha	46,0	1,1	0,2	0,1	600	15	3	2
	100 kg N/ha	46,0	1,4	0,2	0,1	600	18	3	2
	150 kg N/ha	46,0	1,6	0,2	0,1	600	21	3	2

Zusammenfassende Wertung des Nährstoffverhältnisses der Silagen (2004/2005)

Insgesamt bewegen sich die untersuchten Silageproben der Mais-, Sudangras- und Zuckerrhirsesorten in der Nährstoffzusammensetzung (C : N : P : S) dicht um das für die biogasbildenden Mikroorganismen günstige Verhältnis von 600 : 15 : 5 : 1 (Tab. 49).

Es konnte nachgewiesen werden, dass der Erntetermin das C : N-Verhältnis der Fruchtarten beeinflusst. Danach ist für Zuckerrhirse das Entwicklungsstadium Milchreife und für Sudangras das volle Rispschieben anzustreben. Es sichert weitgehend optimale Proportionen zwischen Kohlenstoff und Stickstoff bezüglich der Biogasproduktion. Frühe Ernten (zu Beginn des Rispschiebens) führen bei diesen Kulturen zu einem stickstoffreicheren Silagegut, was die Bildung des Zell- und Nervengiftes Ammoniak im Fermentationsprozess begünstigt. Bei Mais konnte ein breiteres Erntefenster (Milch- bis Teigreife) ermittelt werden ohne nachteilige Wirkungen auf das C : N-Verhältnis. Mineralische N-Gaben bewirken einen Anstieg der N-Komponente in der Silage von Sudangras und Zuckerrhirse besonders beizeitigem Schnitt zum Beginn des Rispschiebens. Optimale Erntetermine sichern hier über eine erhöhte Kohlenstoffbildung ein günstiges C : N-Verhältnis.

Tabelle 49: Durchschnittliche Nährstoffgehalte in der Trockensubstanz (TS) von Mais, Zuckerhirse und Sudangras auf leichten diluvialen Böden zum Zeitpunkt der Siloreife (Sortenversuche 2004 - 2006)

Fruchtart	n		Nährstoffgehalte [% i. d. TS]				Nährstoffverhältnisse			
			C	N	P	S	C	N	P	S
Mais	10	Min	44,8	1,0	0,2	0,1	600	14	2	1
		Max	47,9	2,0	0,3	0,1	600	25	3	2
		MW	46,4	1,6	0,2	0,1	600	20	3	2
		S	1,4	0,4	0,0	0,0	0	5	0	0
Zuckerhirse	18	Min	43,6	1,0	0,2	0,1	600	13	2	1
		Max	46,9	2,2	0,6	0,2	600	29	5	2
		MW	45,6	1,6	0,3	0,1	600	21	3	2
		S	1,2	0,3	0,1	0,0	0	4	1	0
Sudangras	18	Min	44,0	1,1	0,2	0,1	600	15	2	1
		Max	48,3	1,7	0,2	0,1	600	22	3	2
		MW	46,5	1,5	0,2	0,1	600	19	2	1
		S	1,6	0,3	0,0	0,0	0	3	0	0
Günstiges Nährstoffverhältnis:							600	15	5	1

4.2.1.2 Hemmstoffgehalte

Die so genannten Hemmstoffe können das Wachstum und die Stoffwechseltätigkeit der Biogas produzierenden Mikroorganismen beeinträchtigen, hemmen oder sogar unterdrücken (EDER, SCHULZ 2006). Diese Substanzen entstehen zum einen während des Abbauprozesses der organischen Trockensubstanz im Fermenter, zum anderen gelangen sie direkt mit dem Substrat in den Fermenter (SCHATTAUER, WEILAND 2004). Organische Säuren, Schwefelwasserstoff, Ammonium und Ammoniak zählen zu den Substanzen, die während des Biogasbildungsprozesses entstehen. Zu den zugeführten Hemmstoffen zählen Antibiotika, Desinfektions- und Lösungsmittel sowie Herbizide. Weiterhin sind es im Substrat enthaltene essentielle Spuren- und Makronährstoffe sowie Schwermetalle, die ab einer bestimmten Konzentration toxisch auf die Bakterien wirken (SCHATTAUER, WEILAND 2004).

Die Silagen der Anbauversuche sind hinsichtlich kritischer Schwermetalle (Kupfer, Zink, Chrom, Nickel) und Makronährstoffe (Kalium, Natrium, Calcium und Magnesium) untersucht worden. Die in den Versuchsjahren 2004, 2005 und 2006 für die geprüften Mais- und Sorghumhirsensorten vorgenommenen Untersuchungen belegen, dass die Gehalte an diesen Substanzen, die in einer bestimmten Konzentration hemmend auf die Mikroorganismen wirken, weit unter diesem Schwellenwert liegen (Tab. 50, 51 und 52; Anhangstab. A7 - A24). Von den untersuchten Elementen ist am ehesten beim Kalium (Sudangras- und Zuckerhirsepartien) mit einer im kritischen Bereich liegenden Konzentration zu rechnen.

Tabelle 50: Hemmstoffgehalte in Maissilagen (Sortenversuche 2004 - 2006)

[B_R = 3 kg oTS/(m³ * d); HRT = 30 Tage]

Jahr	Sorte	Cu	Zn	Cr	Ni	Ca	Na	K	Mg
		[mg/l]					[g/l]		
2004	Fangio	0,30	2,70	0,30	0,20	0,00	0,00	1,50	0,20
	Novadour	0,40	2,80	n.b.	n.b.	0,10	0,00	1,50	0,20
2005	Fangio	0,42	2,24	0,16	0,02	0,02	0,02	0,96	0,13
	Gavott	0,45	2,60	0,12	0,02	0,02	0,02	0,90	0,14
2006	Fangio	0,21	4,98	0,21	0,05	0,05	0,03	1,21	0,22
	Gavott	0,25	5,56	0,25	0,12	0,04	0,03	1,13	0,21
Hemmkonzentration:		40	400	130	10	2,8	30	3	2,4
		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	g/l CaCl ₂	g/l	g/l	g/l MgCl ₂
Statistische Maßzahlen:									
Minimalwert (min)		0,21	2,24	0,12	0,02	0,00	0,00	0,90	0,13
Maximalwert (max)		0,45	5,56	0,30	0,20	0,10	0,03	1,50	0,22
Spannweiten (w)		0,23	3,32	0,18	0,18	0,10	0,03	0,60	0,09
Mittelwert (MW)		0,34	3,48	0,21	0,08	0,04	0,02	1,20	0,18
Standardabweichung (S)		0,10	1,41	0,07	0,08	0,03	0,01	0,26	0,04

B_R... Faulraumbelastung; HRT... Verweilzeit

Tabelle 51: Hemmstoffgehalte in Zuckerhirsesilagen (Sortenversuche 2004 - 2006)

[B_R = 3 kg oTS/(m³ * d); HRT = 30 Tage]

Jahr	Sorte	Cu	Zn	Cr	Ni	Ca	Na	K	Mg
		[mg/l]					[g/l]		
2004	Super Sile 18	0,50	4,00	n.b.	n.b.	0,00	0,00	2,00	0,20
	Super Sile 20	0,40	2,60	0,40	0,30	0,00	0,10	1,70	0,30
2005	Super Sile 10	0,53	3,83	0,03	0,01	0,04	0,02	1,51	0,22
	Super Sile 15	0,59	6,58	0,02	0,01	0,05	0,02	1,80	0,15
	Super Sile 20	0,52	4,64	0,03	0,02	0,04	0,02	1,60	0,21
	Friggo	0,72	9,01	0,01	0,03	0,06	0,02	2,02	0,21
	Sugargraze	0,54	6,42	0,01	0,01	0,05	0,02	1,63	0,15
2006	Super Sile 15	0,19	5,61	0,02	0,01	0,05	0,03	1,74	0,33
	Super Sile 20	0,22	5,85	0,02	0,03	0,05	0,02	1,67	0,28
	Friggo	1,10	5,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00
	Sugargraze	0,09	4,88	0,01	0,01	0,05	0,03	1,52	0,36
	Rona	0,19	6,10	0,02	0,05	0,05	0,02	1,40	0,23
Hemmkonzentration:		40	400	130	10	2,8	30	3	2,4
		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	g/l CaCl₂	g/l	g/l	g/l MgCl₂
Statistische Maßzahlen:									
Minimalwert (min)		0,09	2,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00
Maximalwert (max)		1,10	9,01	0,40	0,30	0,06	0,10	2,02	0,36
Spannweiten (w)		1,01	6,41	0,40	0,30	0,06	0,10	1,82	0,36
Mittelwert (MW)		0,47	5,39	0,05	0,04	0,04	0,03	1,57	0,22
Standardabweichung (S)		0,28	1,63	0,12	0,09	0,02	0,03	0,47	0,10

B_R... Faulraumbelastung; HRT... Verweilzeit

Tabelle 52: Hemmstoffgehalte in Sudangrassilagen (Sortenversuche 2004 - 2006)

[B_R = 3 kg oTS/(m³ * d); HRT = 30 Tage]

Jahr	Sorte	Cu	Zn	Cr	Ni	Ca	Na	K	Mg
		[mg/l]					[g/l]		
2004	Vercors	0,40	3,20	0,30	0,10	0,10	0,00	1,60	0,20
	Susu	0,40	2,70	n.b.	n.b.	0,10	0,00	1,50	0,20
2005	Lussi	0,51	4,01	0,01	0,01	0,04	0,02	1,20	0,16
	Susu	0,55	5,07	0,04	0,01	0,04	0,02	1,37	0,19
	Akklimat	0,56	4,66	0,03	0,01	0,05	0,02	1,38	0,17
	GK Csaba	0,60	6,23	0,04	0,01	0,05	0,02	1,46	0,14
2006	Lussi	0,18	5,36	0,02	0,04	0,04	0,02	1,27	0,21
	Susu	0,25	6,63	0,02	0,04	0,05	0,02	1,49	0,26
	Akklimat	0,81	5,37	0,01	0,01	0,04	0,03	1,43	0,28
	GK Csaba	0,51	6,93	0,05	0,00	0,05	0,03	1,36	0,28
Hemmkonzentration:		40	400	130	10	2,8	30	3	2,4
		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	g/l CaCl₂	g/l	g/l	g/l MgCl₂
Statistische Maßzahlen:									
Minimalwert (min)		0,18	2,70	0,01	0,00	0,04	0,00	1,20	0,14
Maximalwert (max)		0,81	6,93	0,30	0,10	0,10	0,03	1,60	0,28
Spannweiten (w)		0,64	4,23	0,29	0,10	0,06	0,03	0,40	0,15
Mittelwert (MW)		0,48	5,02	0,06	0,03	0,06	0,02	1,41	0,21
Standardabweichung (S)		0,18	1,41	0,09	0,03	0,02	0,01	0,12	0,05

B_R... Faulraumbelastung; HRT... Verweilzeit

Betrachtet man die Konzentration der Schwermetalle sowie Mikro- und Makronährstoffe im Zusammenhang mit den geprüften anbautechnischen Maßnahmen (Sorte, Erntetermin, N- Düngung), ist insgesamt kein gravierender Einfluss erkennbar (Tab. 53, 54 und 56). Im Einzelnen ist bei den Zuckerhirse- und Sudangrassorten ein etwas höherer Zink- und Kupfergehalt als bei Maissorten zu beobachten. Gleiches gilt für die Kaliumkonzentration. Bezüglich der anderen untersuchten Hemmstoffe bestehen keine sortenspezifischen Unterschiede (Tab. 53, 54 und 56). Der zweite Erntetermin wirkt konzentrationsmindernd auf die Gehalte an Kupfer, Zink und Kalium in den Mais-, Sudangras- und Zuckerhirsesilagen (Tab. 53, 54 und 56).

Tabelle 53: Hemmkonzentrationen in Mais-, Zuckerhirse- und Sudangrassilagen zu zwei Ernteterminen (Parzellenversuche 2004 - 2005)

[B_R = 3 kg oTS/(m³ * d); HRT = 30 Tage]

Jahr	Fruchtart/Sorte	Standort	Cu	Zn	Cr	Ni	Ca	Na	K	Mg
			[mg/l]						[g/l]	
2004	Mais/Fangio/1E	Sprotta	0,25	1,71	0,30	0,16	0,02	0,03	2,13	0,13
	Mais/Fangio/2E	Sprotta	0,20	1,74	n.b.	n.b.	0,02	0,03	1,38	0,12
2005	Mais/Fangio/1E	Wöllnau	0,46	3,50	0,13	0,01	0,02	0,02	1,33	0,13
	Mais/Fangio/2E	Wöllnau	0,43	2,78	0,07	0,01	0,02	0,02	1,16	0,12
	Mais/Gavott/1E	Wöllnau	0,55	3,47	0,00	0,01	0,03	0,02	1,28	0,14
	Mais/Gavott/2E	Wöllnau	0,47	3,99	0,17	0,01	0,02	0,02	1,09	0,14
2004	ZH/Super Sile 20/1E	Paschwitz	0,80	3,97	1,20	0,67	0,04	0,04	2,53	0,30
	ZH/Super Sile 20/2E	Paschwitz	0,59	5,05	n.b.	n.b.	0,04	0,03	2,79	0,30
2005	ZH/Super Sile 15/1E	Wöllnau	0,58	5,56	0,01	0,03	0,04	0,02	1,71	0,22
	ZH/Super Sile 15/2E	Wöllnau	0,62	5,58	0,06	0,02	0,03	0,02	1,58	0,25
	ZH/Super Sile 20/1E	Wöllnau	0,57	6,60	0,01	0,06	0,04	0,02	2,20	0,26
	ZH/Super Sile 20/2E	Wöllnau	0,58	6,93	0,15	0,02	0,03	0,02	1,98	0,24
2004	SG/Vercors/1E	Paschwitz	0,54	4,50	0,34	0,16	0,04	0,03	3,08	0,22
	SG/Vercors/2E	Paschwitz	0,35	3,15	n.b.	n.b.	0,04	0,03	1,79	0,20
2005	SG/Susu/1E	Wöllnau	0,61	6,01	0,03	0,01	0,04	0,02	1,89	0,26
	SG/Susu/2E	Wöllnau	0,57	5,09	0,11	0,01	0,03	0,02	1,21	0,27
	SG/Lussi/1E	Wöllnau	0,68	7,40	0,03	0,06	0,06	0,02	1,85	0,35
	SG/Lussi/2E	Wöllnau	0,58	4,75	0,01	0,01	0,03	0,02	1,54	0,26
Hemmkonzentration:			40	400	130	10	2,8	30	3	2,4
			mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	g/l CaCl₂	g/l	g/l	g/l MgCl₂

B_R... Faulraumbelastung; HRT... Verweilzeit; ZH...Zuckerhirse; SG...Sudangras; 1E...1 Ernte; 2E...Ernte

Zusätzliche N-Gaben, die beim Sudangras und bei der Zuckerhirse untersucht wurden, verändern im Vergleich zur Kontrollvariante kaum die Gehalte der Makro- und Mikronährstoffe sowie Schwermetalle. Die Verringerung der Konzentration an Kalium und Zink wird beim Sudangras und der Zuckerhirse vor allem beim Kalium durch die Verschiebung des Erntetermins verursacht (Tab. 55, 57).

Tabelle 54: Einfluss des Erntetermins auf die Hemmstoffgehalte in Sudangrassilagen, Sorte „Susu“ [$B_R = 3 \text{ kg oTS}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$; HRT = 30 Tage]

Jahr	Variante	Cu	Zn	Cr	Ni	Ca	Na	K	Mg
		[mg/l]					[g/l]		
2004	1. Ernte	0,57	5,25	n.b.	n.b.	0,06	0,03	3,60	0,46
	2. Ernte	0,39	6,30	n.b.	n.b.	0,05	0,04	1,68	0,33
2005	1. Ernte	0,54	2,97	0,04	0,02	0,04	0,02	1,90	0,24
	2. Ernte	0,48	2,33	0,03	0,01	0,04	0,02	1,16	0,21
2006	1. Ernte	0,52	5,34	0,12	0,02	0,05	0,03	1,61	0,30
	2. Ernte	0,29	4,78	0,03	0,03	0,05	0,03	1,32	0,27

B_R ... Faulraumbelastung; HRT... Verweilzeit

Tabelle 55: Einfluss der Stickstoffdüngung auf die Hemmstoffgehalte in Sudangrassilagen, Sorte „Susu“ [$B_R = 3 \text{ kg oTS}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$; HRT = 30 Tage]

Jahr	Variante	Cu	Zn	Cr	Ni	Ca	Na	K	Mg
		[mg/l]					[g/l]		
2004	0 kg N/ha	0,47	5,68	n.b.	n.b.	0,05	0,04	2,80	0,32
	50 kg N/ha	0,49	5,82	n.b.	n.b.	0,06	0,03	2,70	0,38
	100 kg N/ha	0,47	5,49	n.b.	n.b.	0,05	0,03	2,55	0,44
	150 kg N/ha	0,51	6,11	n.b.	n.b.	0,06	0,04	2,51	0,44
2005	0 kg N/ha	0,51	2,68	0,04	0,01	0,04	0,02	1,58	0,22
	50 kg N/ha	0,51	2,60	0,03	0,02	0,04	0,02	1,49	0,22
	100 kg N/ha	0,50	2,59	0,03	0,01	0,04	0,02	1,49	0,23
	150 kg N/ha	0,51	2,73	0,03	0,01	0,04	0,02	1,55	0,24
2006	0 kg N/ha	0,53	4,94	0,05	0,02	0,05	0,03	1,45	0,26
	50 kg N/ha	0,14	5,09	0,06	0,02	0,05	0,03	1,49	0,28
	100 kg N/ha	0,23	5,08	0,12	0,02	0,05	0,03	1,46	0,29
	150 kg N/ha	0,70	5,13	0,07	0,03	0,05	0,03	1,47	0,31

B_R ... Faulraumbelastung; HRT... Verweilzeit

Tabelle 56: Einfluss des Erntetermins auf die Hemmstoffgehalte in Zuckerhirsesilage, Sorte „Super Sile 20“ [$B_R = 3 \text{ kg oTS}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$; HRT = 30 Tage]

Jahr	Variante	Cu	Zn	Cr	Ni	Ca	Na	K	Mg
		[mg/l]					[g/l]		
2005	1. Ernte	0,52	2,49	0,09	0,01	0,04	0,02	1,68	0,27
	2. Ernte	0,51	2,41	0,06	0,02	0,04	0,02	1,40	0,27
2006	1. Ernte	0,13	4,52	0,01	0,01	0,05	0,03	1,71	0,30
	2. Ernte	0,07	4,06	0,01	0,02	0,04	0,02	1,49	0,27

B_R ... Faulraumbelastung; HRT... Verweilzeit

**Tabelle 57: Einfluss der Stickstoffdüngung auf die Hemmstoffgehalte in Zuckerhirsesilagen;
„Sorte Super Sile 20“ [B_R = 3 kg oTS/(m³ * d); HRT = 30 Tage]**

Jahr	Variante	Cu	Zn	Cr	Ni	Ca	Na	K	Mg
		[mg/l]					[g/l]		
2005	0 kg N/ha	0,52	2,41	0,05	0,02	0,04	0,02	1,59	0,25
	50 kg N/ha	0,51	2,51	0,06	0,01	0,04	0,02	1,48	0,26
	100 kg N/ha	0,53	2,40	0,15	0,01	0,04	0,02	1,55	0,27
	150 kg N/ha	0,51	2,50	0,04	0,01	0,04	0,02	1,54	0,28
2006	0 kg N/ha	0,10	3,99	0,01	0,01	0,04	0,03	1,66	0,26
	50 kg N/ha	0,08	4,10	0,01	0,01	0,04	0,02	1,58	0,27
	100 kg N/ha	0,15	4,44	0,02	0,01	0,05	0,02	1,55	0,30
	150 kg N/ha	0,08	4,62	0,01	0,01	0,05	0,02	1,61	0,32

B_R... Faulraumbelastung; HRT... Verweilzeit

Zusammenfassende Wertung der Hemmstoffgehalte

Die Zuckerhirse- und die Sudangrassilagen zeichnen sich im Vergleich zu den Maissilagen durch höhere Kalium- und Zink-Gehalte aus (Tab. 58). Die Gehalte an Kupfer, Chrom, Nickel, Kalzium, Natrium und Magnesium liegen bei allen drei Fruchtarten in gleicher Größenordnung vor. Die Hemmkonzentrationen werden bei einer Faulraumbelastung von 3,0 kg oTS/(m³*d) von keiner Fruchtart erreicht. Durch eine Verschiebung des Erntetermins werden die Hemmstoffkonzentrationen in der Trockensubstanz vermindert. Ein Einfluss einer gesteigerten N-Düngung auf die Hemmstoffgehalte konnte nicht nachgewiesen werden.

Tabelle 58: Durchschnittliche Hemmstoffgehalte in Mais-, Zuckerhirse- und Sudangrassilagen (Sortenversuche 2004 - 2006) [B_R = 3 kg oTS/(m³ * d); HRT = 30 Tage]

Fruchtart	n		Cu	Zn	Cr	Ni	Ca	Na	K	Mg
			[mg/l]					[g/l]		
Mais	10	Min	0,21	2,24	0,12	0,02	0,00	0,00	0,90	0,13
		Max	0,45	5,56	0,30	0,20	0,10	0,03	1,50	0,22
		MW	0,34	3,48	0,21	0,08	0,04	0,02	1,20	0,18
		S	0,10	1,41	0,07	0,08	0,03	0,01	0,26	0,04
Zuckerhirse	18	Min	0,09	2,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00
		Max	1,10	9,01	0,40	0,30	0,06	0,10	2,02	0,36
		MW	0,47	5,39	0,05	0,04	0,04	0,03	1,57	0,22
		S	0,28	1,63	0,12	0,09	0,02	0,03	0,47	0,10
Sudangras	18	Min	0,18	2,70	0,01	0,00	0,04	0,00	1,20	0,14
		Max	0,81	6,93	0,30	0,10	0,10	0,03	1,60	0,28
		MW	0,48	5,02	0,06	0,03	0,06	0,02	1,41	0,21
		S	0,18	1,41	0,09	0,03	0,02	0,01	0,12	0,05
Hemmkonzentration:			40	400	130	10	2,8	30	3	2,4
			mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	g/l CaCl₂	g/l	g/l	g/l MgCl₂

B_R... Faulraumbelastung; HRT... Verweilzeit

4.2.1.3 Theoretische Biogasausbeute

Die Menge an im Fermenter gebildeten Biogas und dessen Qualität hängt im Wesentlichen von der Zusammensetzung der zugeführten Substrate ab. Maßgebende Größen für den Biogasertrag sind die Gehalte an Rohprotein (RP), Rohfett (RL), N-freien Extraktstoffen (NfE), Rohfaser (RF) und Rohasche (RA) in der Trockensubstanz. Die theoretischen Berechnungen gehen vom Gehalt und den Verdauungsquotienten (VQ) dieser Trockensubstanzbestandteile aus (Tabelle 59). Bei den Gehalten ist die Rohasche als nicht in Biogas umwandlungsfähige Substanz zu werten. Den verdaulichen Kohlenhydraten (Summe NfE und RF), Rohproteinen und Rohfetten sind unterschiedliche Biogas- und Methanausbeuten zuzuordnen (Tabelle 60). Sie werden für die Berechnung genutzt. Die DLG-Futterwerttabellen geben Auskunft über die Verdauungsquotienten je Reifestadium. Für Mais liegen, nach Reifestadien differenzierte, Quotienten in den Tabellen vor. Die Datenlage zu den Verdauungsquotienten der Sorghumhirsen ist in den DLG-Futterwerttabellen sehr begrenzt. Es liegen nur Quotienten für Sudangras (drei Reifestadien) vor, auf die in den Berechnungen zurückgegriffen werden musste.

Tabelle 59: Verdauungsquotienten [%]

Fruchtart	Stadium	VQ _{RF}	VQ _{RL}	VQ _{RP}	VQ _{NfE}
Mais	Milchreife, Kolbenanteil mittel	58	69	65	74
	Beginn Teigreife, Kolbenanteil mittel	58	79	63	76
	Ende Teigreife, Kolbenanteil mittel	56	79	63	78
Zuckerhirse und Sudan- gras	Beginn Rispenschieben	47	69	56	66
	volles Rispenschieben	53	66	61	61
	Blüte	46	64	64	53
	Milchreife	46	64	64	53

Quelle: DLG – Futterwerttabellen

Tabelle 60: Theoretische Biogas- und Methanausbeute

Stoffgruppe	Biogasausbeute [l/kg oTS]	Methangehalt [Vol-%]
Kohlenhydrate	790	50
Proteine	700	71
Fette	1250	68

Quelle: FNR (2005), Handreichung Biogasgewinnung und -nutzung

Anhand der Sortenversuche zeichnen sich bei den geprüften Maissilagen zwischen den Versuchsjahren 2004, 2005 und 2006 Unterschiede in der gärchemischen Zusammensetzung und in den theoretischen Biogas- und Methanausbeuten sowie in den theoretischen Biogas-, Methanhektarerträgen ab (Tab. 61, 62, 63).

Zunächst ist generell festzustellen, dass die Maissilagen in der Zusammensetzung hauptsächlich durch die N-freien Extraktstoffe (NfE) charakterisiert sind. Hier ist in den drei Versuchsjahren ein durchschnittlicher Gehalt von 60 % NfE festzustellen. Das silierte Material besteht weiterhin aus 24 % Rohfaser, 10 % Rohprotein, 5 % Rohasche und 2 % Rohfett in der Trockensubstanz. Die Konzentration an NfE im Mais ist ausschlaggebend für die beachtlichen Biogas- und Methanausbeute von 566,76 l Biogas/kg oTS und 295,60 l Methan/kg oTS. Im Versuchsjahr 2006 konnten im Vergleich zu den beiden vorangegangenen Jahren (2005, 2004) etwas höhere Rohfett-, Rohfaser- und Rohproteingehalte sowie geringe NfE-Gehalte nachgewiesen werden. Ursache ist vor allem der Befall der Pflanzen mit Maisbeulenbrand, der sich von der Stärke, dem Hauptbestandteil der NfE, ernährte. Rohprotein und Rohfaser blieben erhalten und reicherten sich an.

Tabelle 61: Gärchemische Zusammensetzung von Maissilagen (Sortenversuche 2004 - 2006)

Jahr	Fruchtart/Sorte	gärchemische Zusammensetzung					theoretische Ausbeute		
		RA	RL	RF	RP	NfE	Biogas	Methan	Methan
		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[l/kg oTS]		[%]
2004	Mais/Fangio	5,23	0,83	26,76	10,46	56,71	547,25	284,40	51,97
	Mais/Novadour	5,38	1,02	27,81	10,88	54,90	546,15	284,55	52,10
2005	Mais/Fangio	3,47	1,60	17,20	6,75	70,98	598,58	308,33	51,51
	Mais/Gavott	3,19	2,24	20,82	6,94	66,81	595,21	307,89	51,73
2006	Mais/Fangio	5,77	2,69	26,89	11,73	52,94	547,12	288,52	52,74
	Mais/Gavott	5,51	2,73	26,48	12,53	52,76	546,17	288,79	52,88
Statistische Maßzahlen:									
Minimalwert (min):		3,19	0,83	17,20	6,75	52,76	546,15	284,40	51,51
Maximalwert (max):		5,77	2,73	27,81	12,53	70,98	598,58	308,33	52,88
Spannweiten (S):		2,58	1,90	10,61	5,78	18,22	52,43	23,93	1,37
Mittelwert (MW):		4,76	1,85	24,33	9,88	59,18	563,41	293,75	52,16
Standardabweichungen (S):		1,12	0,83	4,30	2,46	7,77	25,96	11,28	0,55

Zuckerhirse und Sudangras erreichten durchschnittlich zur Siloreife etwas geringere Anteile an leicht vergärbaren Substanzen (NfE) in der Trockenmasse als die Maissilagen. So ist die Zuckerhirsensilage im Mittel der drei Versuchsjahre durch 52 % NfE, 30 % Rohfaser, 10 % Rohprotein, 7 % Rohasche und 2 % Rohfett charakterisiert (Tab. 62). Durch die geringeren NfE-Gehalte und höhere Rohfaser- und Rohaschegehalte ergeben sich für Zuckerhirsensilagen niedrigere theoretische Ausbeuten an Biogas und Methan (451 l Biogas/kg oTS und 236 l Methan/kg oTS) als beim Mais.

**Tabelle 62: Gärchemische Zusammensetzung in Zuckerhirsesilagen
(Sortenversuche 2004 - 2006)**

Jahr	Fruchtart/Sorte	gärchemische Zusammensetzung					theoretische Ausbeute		
		RA	RL	RF	RP	NfE	Biogas	Methan	Methan
		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[l/kg oTS]		[%]
2004	Super Sile 18	5,49	0,98	31,46	10,76	51,31	476,73	247,84	51,99
	Super Sile 20	5,69	3,75	30,61	9,80	50,15	510,33	268,52	42,14
2005	Super Sile 10	6,01	1,60	31,61	8,66	52,12	445,50	231,43	51,95
	Super Sile 15	7,28	2,26	29,10	9,00	52,36	445,88	233,01	52,26
	Super Sile 20	6,44	1,95	31,36	7,54	52,71	447,96	232,43	51,88
	Friggo	8,14	2,63	24,79	12,34	52,11	440,07	233,24	53,00
	Sugargraze	6,63	1,49	30,51	6,56	54,81	446,37	230,23	51,58
2006	Super Sile 15	7,27	2,07	29,49	11,88	49,29	439,92	231,78	52,69
	Super Sile 20	10,43	2,22	29,51	10,61	50,71	441,56	231,87	52,51
	Friggo	8,26	2,72	22,28	13,93	52,81	433,67	231,28	53,33
	Sugargraze	6,41	2,68	32,50	9,79	48,62	447,03	234,65	52,49
	Rona	5,94	2,17	29,22	10,68	51,99	441,20	231,55	52,48
Statistische Maßzahlen:									
Minimalwert (min):		5,49	0,98	22,28	6,56	48,62	433,67	230,23	42,14
Maximalwert (max):		10,43	3,75	32,50	13,93	54,81	510,33	268,52	53,33
Spannweiten (S):		4,94	2,77	10,22	7,37	6,19	76,66	38,29	11,19
Mittelwert (MW):		7,00	2,21	29,37	10,13	51,58	451,35	236,49	51,52
Standardabweichungen (S):		1,40	0,71	2,97	2,05	1,69	21,34	11,11	3,00

Die Sudangrasssilagen unterscheiden sich in ihrer gärchemischen Zusammensetzung nur marginal von den Zuckerhirsesilagen (Tab. 63). Auch hier liegen im Mittel der dreijährigen Versuche die Gehalte an N-freien Extraktstoffen nur bei 50 % in der Trockensubstanz. Dagegen sind wiederum hohe Rohfaser- (33 % in der TS) und Rohaschegehalte (6 % in der TS) zu verzeichnen. An Rohprotein und Rohfett werden Konzentrationen von 9 % bzw. 2 % in der Trockensubstanz bestimmt. Auf Grund dieser Zusammensetzung errechnen sich Biogas- und Methanausbeuten (462 l Biogas/kg oTS und 241 l Methan/kg oTS), die denen der Zuckerhirsesilage entsprechen.

**Tabelle 63: Gärchemische Zusammensetzung von Sudangrassilagen
(Sortenversuche 2004 - 2006)**

Jahr	Fruchtart/Sorte	gärchemische Zusammensetzung					theoretische Ausbeute		
		RA	RL	RF	RP	NfE	Biogas	Methan	Methan
		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[l/kg oTS]		[%]
2004	Susu	5,27	0,92	30,81	10,14	52,85	500,46	259,14	51,78
	Vercors	5,13	1,72	31,79	10,84	50,51	500,17	260,80	52,14
2005	Susu	5,69	1,87	33,52	7,66	51,27	461,60	239,38	51,88
	Lussi	4,87	1,83	38,74	7,32	47,23	462,71	239,62	51,78
	Akklimat	6,06	2,13	35,23	8,63	47,95	451,10	235,00	52,10
	GK Csaba	6,56	2,10	33,48	7,60	50,26	450,53	234,00	51,94
2006	Susu	6,59	2,23	31,31	10,40	49,48	464,81	244,17	52,53
	Lussi	5,38	2,10	34,66	9,32	48,54	442,93	232,29	52,45
	Akklimat	5,61	2,46	33,59	10,23	48,10	447,36	234,72	52,47
	GK Csaba	5,49	2,63	29,35	10,83	51,71	443,54	233,48	52,64
Statistische Maßzahlen:									
Minimalwert (min):		4,87	0,92	29,35	7,32	47,23	442,93	232,29	51,78
Maximalwert (max):		6,59	2,63	38,74	10,84	52,85	500,46	260,80	52,64
Spannweiten (S):		1,72	1,71	9,39	3,52	5,62	57,53	28,51	0,86
Mittelwert (MW):		5,67	2,00	33,25	9,30	49,79	462,52	241,26	52,17
Standardabweichungen (S):		0,58	0,47	2,65	1,39	1,84	21,37	10,50	0,33

Die Untersuchung zum Einfluss des Erntetermins der Jahre 2004 (Paschwitz) und 2005 (Wöllnau) lassen mehrheitlich bei den Mais-, Zuckerhirse-, und Sudangrassorten eine leichte Zunahme der theoretischen Biogas- und Methanausbeute je Kilogramm organische Trockensubstanz mit Erhöhung der Anzahl der Wachstumsstadien (2. Erntetermin) erkennen (Tab. 64). Eine wesentliche Ursache hierfür ist in der Zunahme der stickstofffreien Extraktstoffe zu sehen. Der Rohproteingehalt ist dagegen leicht rückläufig. Weiterhin zeichnet sich ab, dass der Rohfasergehalt mit Verlagerung des Erntetermins in späteren Entwicklungsstadien weder bei den Mais- noch bei den Sudangras- und Zuckerhirsensorten zunimmt. Vermutlich ist dies auf die Anlage neuer Triebe und Blätter zurückzuführen. Mit einer stärkeren Rohfaserbildung im Stadium der „Teigreife“ (Mais) und des „vollen Rispen-schiebens“ (Sudangras) bzw. „der Milchreife“ (Zuckerhirse) ist danach nicht zu rechnen. Im Vergleich zum frühen Erntetermin (beginnendes Rispen-schieben/Milchreife) ist auch ein Rückgang des Rohaschegehaltes (Verdünnungseffekt) bei allen Fruchtarten und Sorten festzustellen.

Durch eine Verschiebung des Erntetermins wird vor allem die Höhe der Biogas- und Methanhektarerträge beeinflusst. Dies ist im Wesentlichen auf die Zunahme an Biomasse von der frühen zur späten Ernte zurückzuführen. Untersuchungen zeigen, dass der Trockenmasseertrag einen signifikanten Einfluss auf den Biogashektarertrag hat (Abb. 33). Besonders stark ist dieses Verhalten bei

den Sudangrassorten festzustellen, weil diese zwischen den Reifestadien Beginn Rispenschieben zum vollen Rispenschieben eine Zunahme an Trockenmasse von durchschnittlich 30 % realisierten (Kapitel 4.1.2). Bei den Zuckerhirsen konnte diese starke Steigerung der Biogaserträge je Hektar nicht beobachtet werden, weil der Ertragszuwachs durch die Ernte im späteren Entwicklungsstadium von geringer war (Kapitel 4.1.2).

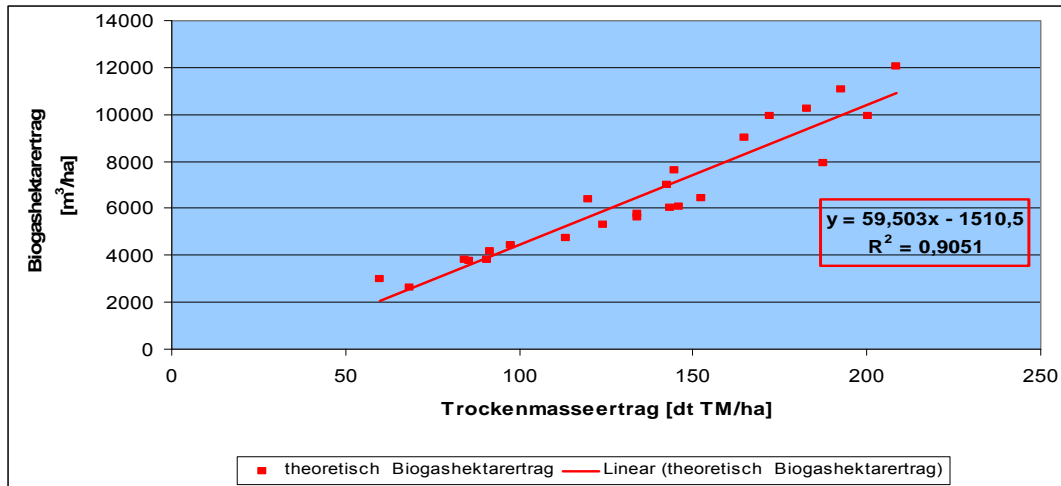


Abbildung 31: Einfluss des Trockenmasseertrages von Mais, Zuckerhirse und Sudangras auf den theoretischen Biogashektarertrag

Tabelle 64: Einfluss des Erntetermins auf die gärchemische Zusammensetzung in Mais-, Zuckerhirse- und Sudangrassilage (Paschwitz (2004); Wöllnau (2005))

Fruchtart/Sorte	Variante	gärchemische Zusammensetzung					theoretische Ausbeute		
		RA	RL	RF	RP	NfE	Biogas	Methan	Methan
		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[l/kg oTS]	[%]	[%]
Mais/Fangio	1. Ernte	4,89	0,93	27,29	7,66	59,26	552,44	284,55	51,50
	2. Ernte	3,94	1,65	22,07	7,56	64,78	567,79	293,59	51,70
Mais/Gavott	1. Ernte	4,93	2,35	26,95	10,21	55,57	552,12	289,05	52,35
	2. Ernte	3,87	3,40	21,66	8,61	62,46	582,56	304,94	52,34
ZH/Super Sile 15	1. Ernte	6,33	1,61	32,12	9,51	50,44	480,63	249,99	52,01
	2. Ernte	6,31	1,78	32,13	9,71	50,07	445,70	232,60	52,19
ZH/Super Sile 20	1. Ernte	8,13	1,65	30,90	11,95	47,39	475,90	249,70	52,47
	2. Ernte	7,33	1,08	31,20	10,10	50,28	458,62	238,95	52,10
SG/Susu	1. Ernte	6,99	1,99	34,94	12,71	43,37	472,71	249,12	52,70
	2. Ernte	4,65	1,55	33,58	7,02	53,20	479,30	247,80	51,70
SG/Lussi	1. Ernte	7,23	2,80	35,03	14,16	40,78	472,50	251,48	53,22
	2. Ernte	5,46	1,36	43,31	6,90	42,97	478,74	247,19	51,63

Am Standort Güterfelde wurde der Einfluss steigender mineralischer N-Gaben in Wechselwirkung mit zwei Ernteterminen auf die gärchemische Zusammensetzung und der daraus abgeleiteten theoretischen Biogas- und Methanausbeute von Sudangras und Zuckerhirse untersucht.

Tabelle 65: Einfluss des Erntetermins auf die gärchemische Zusammensetzung in Sudangrassilagen, Sorte „Susu“ (Güterfelde, 2004 - 2006)

Jahr	Variante	gärchemische Zusammensetzung					theoretische Ausbeute		
		RA	RL	RF	RP	NfE	Biogas	Methan	Methan
		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[l/kg oTS]		[%]
2004	1. Ernte	10,02	1,95	31,56	15,65	40,84	470,27	248,00	52,74
	2. Ernte	5,77	1,64	30,41	11,05	51,13	508,61	262,33	52,07
2005	1. Ernte	7,17	2,18	35,07	11,15	44,45	476,44	250,15	52,50
	2. Ernte	4,63	2,25	31,22	6,78	57,63	446,96	231,68	51,83
2006	1. Ernte	6,23	2,04	33,81	10,52	47,40	476,19	249,16	52,32
	2. Ernte	5,57	2,42	29,44	8,17	54,39	445,36	232,19	52,14

Unabhängig von den Dünge­stufen ist in den drei Versuchsjahren (2004, 2005, 2006) eine Abnahme an Rohasche und Rohprotein und eine Zunahme an NfE vom ersten zum zweiten Erntetermin zu beobachten. Diese Veränderung in der gärchemischen Zusammensetzung ist besonders stark beim Sudangras (Tab. 65) und weniger deutlich bei der Zuckerhirse festzustellen. Trotz einer erhöhten NfE- Konzentration ergibt sich kein deutlicher Anstieg der theoretischen Biogasausbeute. Ursache hierfür ist der Abnahme von Rohprotein und Rohfett in der Trockensubstanz zum zweiten Erntetermin (Tab. 67).

Tabelle 66: Einfluss der Stickstoffdüngung auf die gärchemische Zusammensetzung in Sudangrassilagen, Sorte „Susu“ (Güterfelde 2004 - 2006)

Jahr	Variante	gärchemische Zusammensetzung					theoretische Ausbeute		
		RA	RL	RF	RP	NfE	Biogas	Methan	Methan
		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[l/kg oTS]		[%]
2004	0 kg N/ha	8,17	1,75	32,60	10,72	46,78	488,10	255,63	52,39
	50 kg N/ha	8,04	1,91	31,48	12,78	45,81	491,51	254,03	52,72
	100 kg N/ha	7,58	1,67	30,27	13,34	47,15	489,10	256,23	52,41
	150 kg N/ha	7,79	1,85	29,60	16,57	44,20	489,06	254,79	52,10
2005	0 kg N/ha	6,10	2,15	32,11	7,72	51,94	463,70	240,92	51,95
	50 kg N/ha	6,02	2,13	31,59	8,85	51,43	461,62	240,66	52,12
	100 kg N/ha	5,67	2,27	37,04	9,29	50,75	461,20	240,98	52,24
	150 kg N/ha	5,81	2,30	31,84	10,02	50,04	460,28	241,10	52,37
2006	0 kg N/ha	5,92	2,14	31,91	7,82	52,22	463,57	240,81	51,95
	50 kg N/ha	5,85	2,16	31,64	8,85	51,50	461,03	240,34	52,13
	100 kg N/ha	6,03	2,23	31,09	9,98	51,50	459,71	240,63	52,34
	150 kg N/ha	5,81	2,39	31,88	10,73	49,20	458,79	240,92	52,51

Mit steigender mineralischer N-Gabe nahm der Rohproteingehalt in der Trockensubstanz beim Sudangras und bei der Zuckerhirse kontinuierlich zu (Tab. 66 und 68). Bei der Sudangrassorte „Susu“ stieg er in allen drei Versuchsjahren kontinuierlich bis zur höchsten applizierten N-Gabe an (Tab. 66). Bei der Zuckerhirsesorte „Super Sile 20“ konnte ebenfalls eine Steigerung des Rohproteingehaltes bis zu einer N-Gabe von 150 kg N festgestellt werden (Tab. 68). Im Jahre 2005 zum zweiten Erntetermin war diese Zunahme nicht so stark ausgeprägt. Insgesamt hat der durch die zusätzlichen N-Gaben verursachte Rohproteinanstieg kaum einen Einfluss auf die Höhe der Biogas- und Methanausbeute, da die übrigen gärchemischen Parameter sich kaum im Vergleich zur Kontrolle verändern (Tab. 68).

Tabelle 67: Einfluss des Erntetermins auf die gärchemische Zusammensetzung in Zuckerhirsesilagen, Sorte Super Sile 20 (Güterfelde 2004 - 2006)

Jahr	Variante	gärchemische Zusammensetzung					theoretische Ausbeute		
		RA	RL	RF	RP	NfE	Biogas	Methan	Methan
		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[l/kg oTS]		[%]
2005	1. Ernte	6,30	2,27	34,31	9,18	47,95	450,26	235,23	52,25
	2. Ernte	5,62	1,58	32,13	6,93	53,75	447,56	231,16	51,65
2006	1. Ernte	6,89	1,80	32,58	8,67	50,06	445,16	231,61	52,03
	2. Ernte	6,48	1,92	29,02	7,42	55,16	443,87	230,21	51,87

Tabelle 68: Einfluss der Stickstoffdüngung auf die gärchemische Zusammensetzung in Zuckerhirsesilagen, Sorte Super Sile 20 (Güterfelde 2004 - 2006)

Jahr	Variante	gärchemische Zusammensetzung					theoretische Ausbeute		
		RA	RL	RF	RP	NfE	Biogas	Methan	Methan
		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[l/kg oTS]		[%]
2005	0 kg N/ha	6,20	1,81	33,10	7,17	51,74	449,30	232,59	51,77
	50 kg N/ha	5,96	1,89	32,82	7,87	51,48	448,60	232,85	51,90
	100 kg N/ha	5,70	1,79	33,67	8,20	50,65	448,57	232,91	51,92
	150 kg N/ha	6,00	2,21	33,29	8,99	49,53	449,19	234,45	52,20
2006	0 kg N/ha	6,80	6,80	31,19	6,34	53,69	447,01	231,12	51,70
	50 kg N/ha	6,54	1,71	31,23	7,05	53,47	445,28	230,33	51,73
	100 kg N/ha	6,63	1,92	30,77	8,70	51,98	444,30	231,37	52,08
	150 kg N/ha	6,77	1,83	30,99	8,35	51,29	441,48	230,83	52,29

Zusammenfassende Wertung der Inhaltstoffe und theoretischen Biogasausbeuten

In der gärstoffchemischen Zusammensetzung der untersuchten Mais- und Sorghumhirsesorten konnten vor allem fruchtartenspezifische Unterschiede festgestellt werden. Die Maissorten zeichneten sich im Mittel durch höhere Gehalte an gut vergärbaren N-freien Extraktstoffen und niedrigere

Konzentrationen an schwer umsetzbaren Rohfasern gegenüber den Zuckerhirse- und Sudangrassorten aus. Zudem enthielt die Trockenmasse von Mais niedrigere Anteile an Rohasche als die Sorghumhirsesorten. Die das gärchemische Potenzial wesentlich mitbestimmenden Rohproteine und Rohfette lagen in den untersuchten Fruchtarten/Sorten in gleicher Größenordnung vor. Auf Grund dieser Zusammensetzung der Trockenmasse wurden für Mais höhere theoretische Biogasausbeuten (567 l/kg oTS) als für Zuckerhirse (450 l/kg oTS) und Sudangras (460 l/kg oTS) berechnet. Von der zusätzlichen mineralischen N-Düngung ging kein die theoretischen Biogasausbeuten fördernder Impuls aus, wenn ein für den Standort überdurchschnittlicher N_{\min} -Gehalt in der Ackerkrume zu Vegetationsbeginn vorlag. Unter diesen Voraussetzungen stieg von den gärchemischen Bestandteilen der Trockenmasse lediglich der Gehalt an Rohprotein leicht an und fiel der Gehalt an NfE leicht ab, während die anderen Substanzen gegenüber der Kontrollvariante kaum eine Veränderung zeigten. Als optimale Erntetermine konnten die Entwicklungsstadien der Teigreife (Mais), des vollen Rispschiebens (Sudangras) und der Milchreife (Zuckerhirse) ermittelt werden. Der Anstieg an Biogas bzw. Methan ist daher vorrangig in einer Zunahme der N-freien Extraktstoffe im Vergleich zu einem Schnitt im früheren Entwicklungsstadium (Beginn der generativen Phase) zu sehen.

Tabelle 69: Durchschnittliche gärchemische Zusammensetzung und theoretische Biogas- Methan- Ausbeute in Mais-, Zuckerhirse- und Sudangrassilagen auf leichten diluvialen Standorten

Fruchtart	n		gärchemische Zusammensetzung					theoretische Ausbeute		
			RA	RL	RF	RP	NfE	Biogas	Methan	Methan
			[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[l/kg oTS]		[%]
Mais	10	Min	3,19	0,83	17,20	6,75	52,76	546,15	284,40	51,51
		Max	5,77	2,73	27,81	12,53	70,98	598,58	308,33	52,88
		MW	4,76	1,85	24,33	9,88	59,18	563,41	293,75	52,16
		S	1,12	0,83	4,30	2,46	7,77	25,96	11,28	0,55
Zuckerhirse	15	Min	5,49	0,98	22,28	6,56	48,62	433,67	230,23	42,14
		Max	10,43	3,75	32,50	13,93	54,81	510,33	268,52	53,33
		MW	7,00	2,21	29,37	10,13	51,58	451,35	236,49	51,52
		S	1,40	0,71	2,97	2,05	1,69	21,34	11,11	3,00
Sudangras	18	Min	4,87	0,92	29,35	7,32	47,23	442,93	232,29	51,78
		Max	6,59	2,63	38,74	10,84	52,85	500,46	260,80	52,64
		MW	5,67	2,00	33,25	9,30	49,79	462,52	241,26	52,17
		S	0,58	0,47	2,65	1,39	1,84	21,37	10,50	0,33

4.2.1.4 Biogaspotenzial (Batch-Versuche)

Sortenversuche (2004/2005/2006)

Sowohl zwischen den Arten und Sorten als auch zwischen den Versuchsjahren zeichneten sich im Ergebnis dreijähriger Prüfungen stärkere Unterschiede in der Biogasproduktion (Abb. 34 - 41) ab. Danach erreichen im Mittel der Energiemais in allen Jahren und auf den einzelnen Standorten die jeweils höchsten und die Sudangräser die geringsten Biogas- bzw. Methanausbeuten. Die Biogas- und Methanausbeuten der geprüften Zuckerhirsesorten lagen in etwa auf dem Niveau der Maissorten.

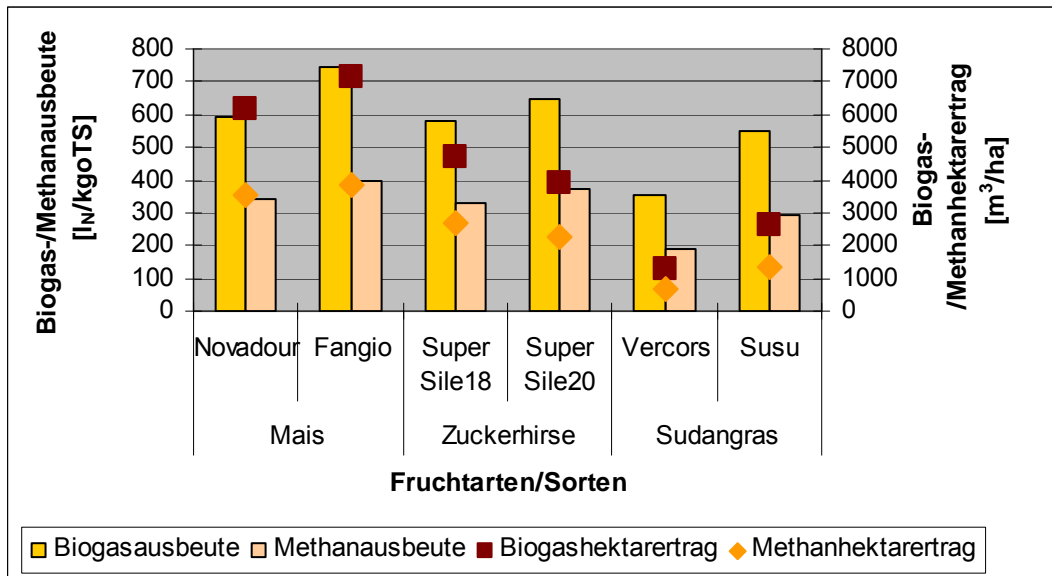
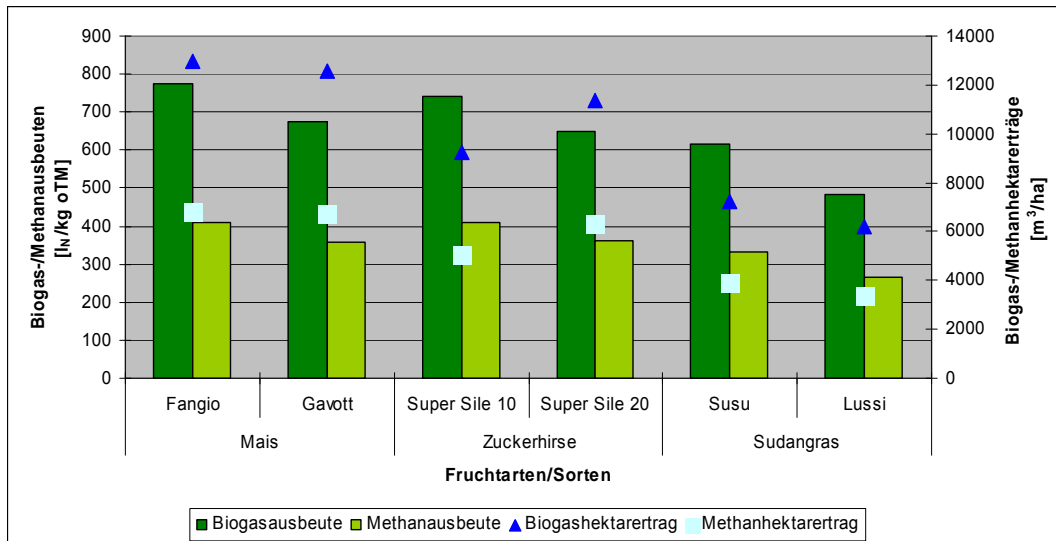


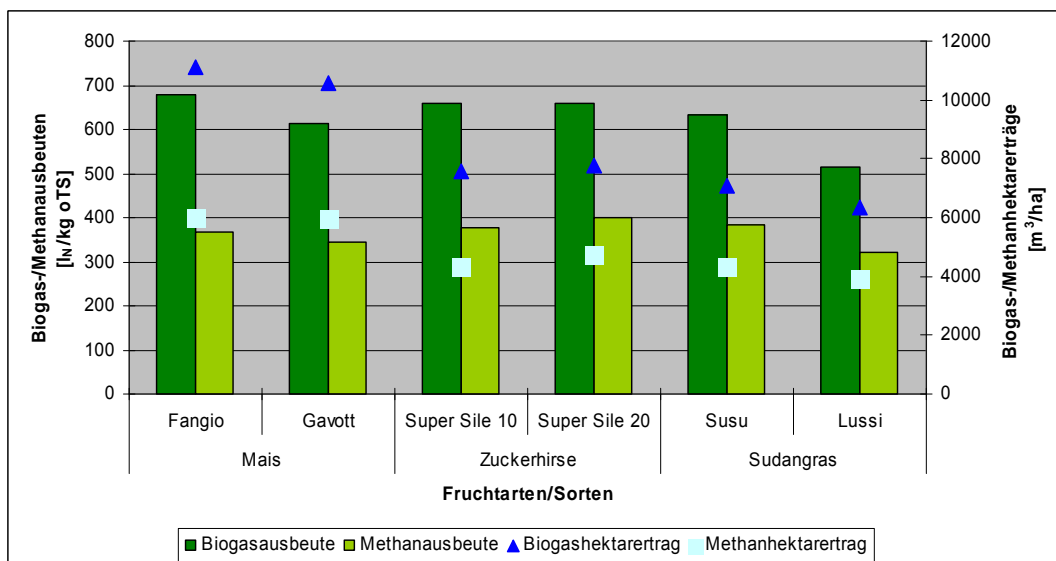
Abbildung 32: Biogas-/Methanausbeute und Biogas-/Methanhektarerträge
Sortenversuch Paschwitz 2004

Ausnahmen ergaben die Ergebnisse der Biogasversuche vom Standort Trossin aus dem Jahre 2006. Hier lagen die Ausbeuten aller Fruchtarten, bis auf die Sudangrassorte Lussi, auf einem Niveau von etwa 600 lN/kg OS. Im Vergleich der Sorten erzielten in allen Jahren (2004, 2005 und 2006) die Maissorte „Fangio“, die Zuckerhirse „Super Sile 20“ und die Sudangrassorte „Susu“ die höchsten Ausbeuten an Biogas und Methan.



**Abbildung 33: Biogas-/Methanausbeute und Biogas-/Methanhektarerträge
Sortenversuch Trossin 2005**

Neben der Ausbeute an Biogas und Methan je Kilogramm organische Trockensubstanz sind die Hektarerträge, besonders an Methan, dem wertgebenden Inhaltsstoff, maßgebend für eine wirtschaftliche Bewertung. Hier zeichnen sich ebenfalls deutliche arten-, sorten- und jahresspezifische Unterschiede ab.

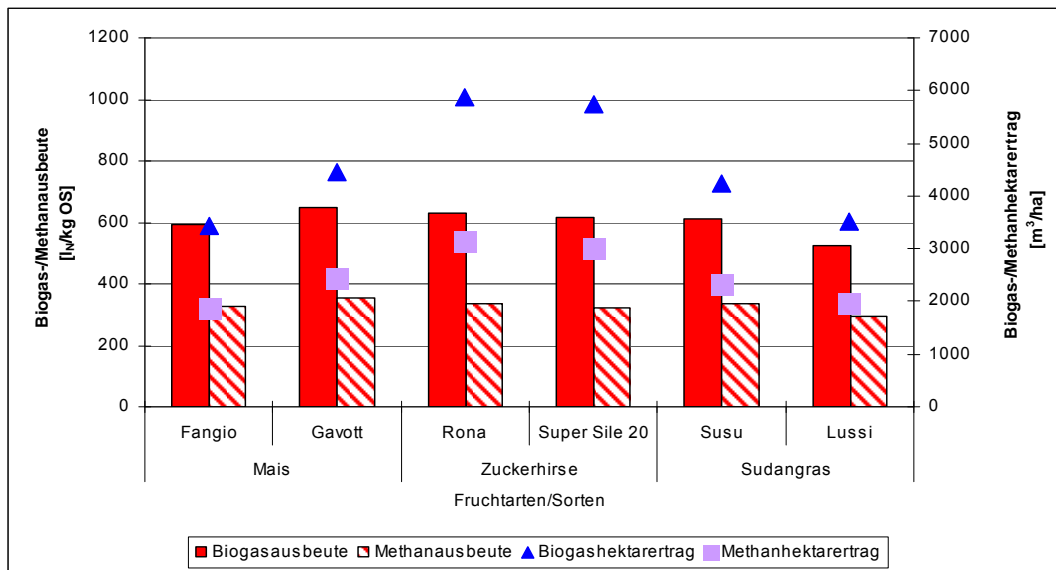


**Abbildung 34: Biogas-/Methanausbeute und Biogas-/Methanhektarerträge
Sortenversuch Thiendorf 2006**

Der Energiemais erzielte in den Jahren 2004 (kühl-feucht) und 2005 (warm-feucht) die höchsten Methanhektarerträge (Abb. 34, 35 und 36). Je nach Standort und Jahr erreichte die Maissorte

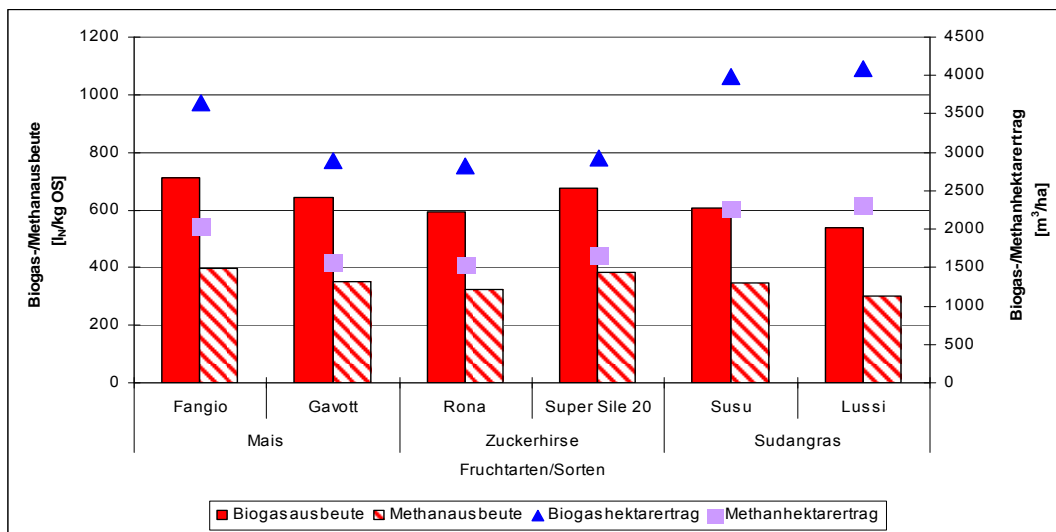
„Fangio“ eine Größenordnung von 4 000 m³ Methan/ha (2004, Monovergärung) und 6 800 m³ Methan/ha (2005, Co-Vergärung). Diesen Ertrag konnte auch die Sorte „Gavott“ im Versuchsjahr 2005 nachweisen. Im Vergleich zu Literaturwerten sind Erträge von 7 000 m³/ha als sehr hoch einzustufen (KAISER, DIEPHOLDER, EDER 2006). Im Versuchsjahr 2006, in dem ungewöhnlich hohe Temperaturen und geringe Niederschlagsmengen die Hauptvegetationsperiode und die Herbstmonate dominierten, sanken die Methanerträge der Maissorte Fangio auf 1 890 m³/ha (Trossin) und 2 040 m³/ha (Thiendorf) ab (Abb. 36, 37).

Die Maissorte Gavott realisierte in diesem Jahr ebenfalls sehr geringe Methanhektarerträge von 2 440 m³ Methan/ha (Trossin) und 1 580 m³ Methan/ha (Thiendorf) (Abb. 36, 37).



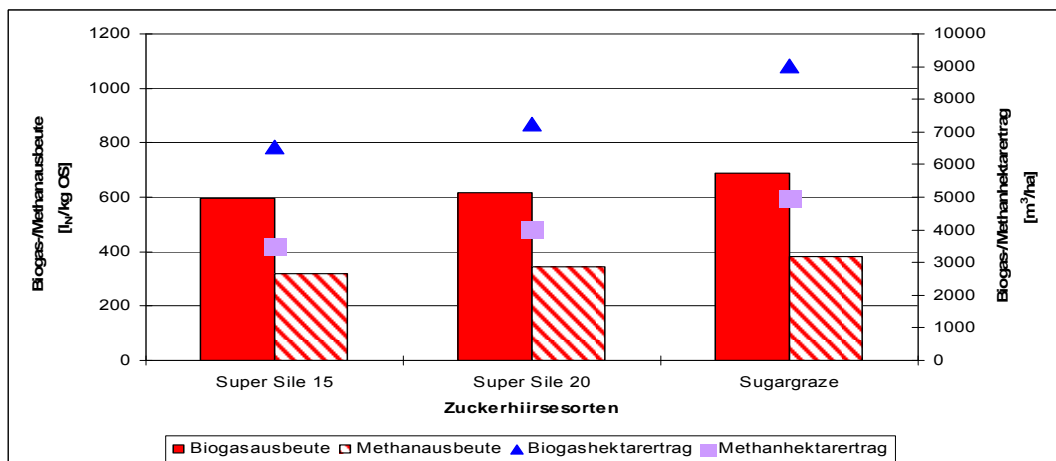
**Abbildung 35: Biogas-/Methanhebungen und Biogas-/Methanhektarerträge
Sortenversuche Trossin 2006**

Die Methanerträge der Zuckerhirsensorten waren in den Jahren 2004 und 2005 deutlich niedriger. Hier erzielte „Super Sile 18“ im Jahr 2004 mit knapp 3 000 m³ Methan/ha das beste Ergebnis (Abb. 34). Positiv ist die Sorte „Super Sile 20“ zu bewerten, die im Versuchsjahr 2005 ein mit den Energiemaissorten vergleichbares hohes Ertragsniveau von 6 300 m³/ha an Methan (Trossin) realisiert hat (Abb. 35, 36). Im Jahr 2006 variierten die Methanhektarerträge der Zuckerhirse (Abb. 37, 38, 39) je nach Standort zwischen 5 000 m³ Methan/ha (Güterfelde, „Sugargraze“), 3 010 m³ Methan/ha (Trossin, „Super Sile 20“) und 1 650 m³ Methan/ha (Thiendorf, „Super Sile 20“).

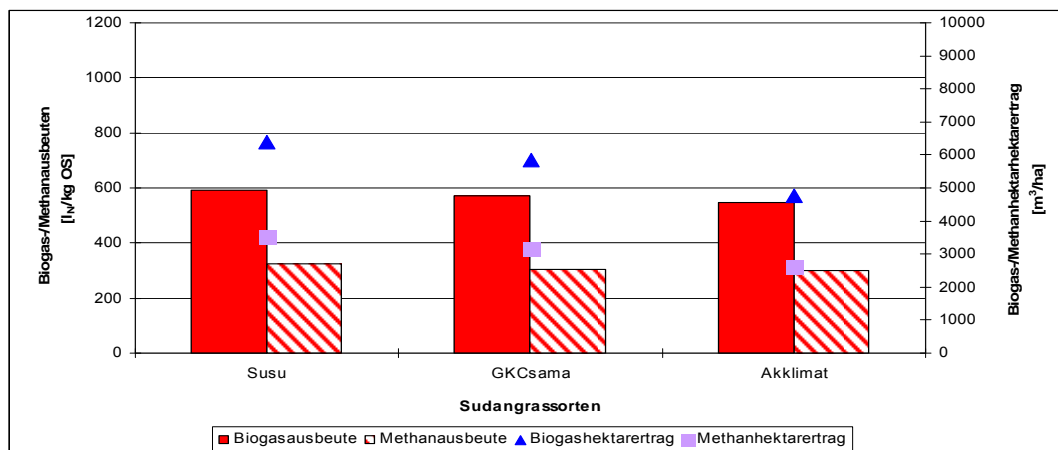


**Abbildung 36: Biogas-/Methanausbeuten und Biogas-/Methanhektarerträge
Sortenversuche Thiendorf 2006**

Die Sudangrassorten schnitten dagegen schwächer ab. Hier ist die Sorte „Susu“ herauszuheben, die in den Jahren 2004, 2005 und 2006 mit dem jeweils höchsten Methanhektarertrag (2004: 1 500 m³ Methan/ha; 2005 4 300 m³ Methan/ha; 2006: 2 300 m³ Methan/ha je nach Standort) aufwarten konnte. Für diese Sorte wurden auch die höchsten Biogas- und Methankoeffizienten je Kilogramm oTS (OS) nachgewiesen. Sie lagen in der Größenordnung von 500 – 600 l_N Biogas/kg oTS (Monovergärung und Co-Vergärung) mit Methanausbeuten von 300 – 400 l_N/kg oTS. Auf Methanausbeuten von 300 - 500 l_N Methan/kg luftgetrocknete Trockensubstanz für Futterhirse, Sudangras und Zuckerhirse verweisen POUCH, FRUTEAU und BEWA (1998).



**Abbildung 37: Biogas-/Methanausbeuten und Biogas-/Methanhektarerträge
Sortenversuche Güterfelde 2006**



**Abbildung 38: Biogas-/Methanausbeuten und Biogas-/Methanhektarerträge
Sortenversuche Güterfelde 2006**

Zusammenfassende Wertung der Sortenversuche

Die Batch-Versuche lassen sorten- und jahresspezifische Unterschiede im Biogasertrag erkennen. So wurden in den Versuchsjahren 2004 (feucht-kühle Witterung) und 2006 (trocken-warme Witterung) wesentlich geringere Methanerträge als im Versuchsjahr 2005 (sehr warm und niederschlagsreich) festgestellt. In den Versuchsjahren 2004 und 2005 schnitten die Maissorten am besten ab. Im Jahr 2006 waren die Zuckerhirsen und die Sudangräser im Vorteil. Im Mittel aller Versuchsjahre schnitten die Sorten „Fangio“ (Mais) (4 000 m³ Methan/ha [2004]; 6 800 m³ Methan/ha [2005]; 2 040 m³ Methan/ha [2006]), „Super Sile 20“ (Zuckerhirse) (6 300 m³ Methan/ha [2005]; 2 330 m³ Methan/ha [2006]), „Sugargraze“ (Zuckerhirse) (5 000 m³ Methan/ha [2006]) und „Susu“ (Sudangras) (1 500 m³ Methan/ha [2004]; 4 300 m³ Methan/ha [2005]; 2 300 m³ Methan/ha [2006]) am besten ab. Für diese Sorten wurden auch meist die höchsten Ausbeuten an Biogas und Methan je kg organische Trockensubstanz bzw. organische Substanz nachgewiesen. Für die leichten Böden ist von den untersuchten Sorghumarten demnach die Zuckerhirse leistungsstärker einzustufen als die geprüften Sudangrassorten.

Ernteterminversuche (2005)

Die Wahl des Erntetermins ist für die Ausschöpfung des Biogaspotenzials sehr entscheidend. Wie ein entsprechender Versuch zeigte, reagierten die Sorten sehr unterschiedlich auf die zeitliche Verschiebung des Erntetermins (Abb. 41). So ist bei der Maissorte „Fangio“ ein Rückgang in der Vergärungsrate je kg organische Substanz (oS) zu verzeichnen, wenn die Ernte zur „vollen Teigreife“ erfolgte. Für die Sorte „Gavott“ bedingte dies jedoch einen deutlichen Zuwachs an Biogas und Methan je Kilogramm oS. Ebenso nahm die Vergärbarkeit der Sudangrassorten bei der späten Ernte zum „vollen Rispenschieben“ ab. Bei den Zuckerhirsesorten (Super Sile 15 und Super Sile

20) bestand hingegen eine deutlich positive Reaktion auf die Verschiebung des Erntetermins zur „Milchreife“. Im Vergleich zu den errechneten Biogasausbeuten (l_N/kg oTS) wurden damit zum Teil abweichende Reaktionen im Gärversuch sichtbar, die verdeutlichen, dass die tatsächlichen Umsetzungsreaktionen der Biomasse zu Biogas im Fermenter komplexer Natur sind.

Im Vergleich zu einer Ernte im frühen Entwicklungsstadium (Beginn der generativen Phase) steigerten die Schnitttermine zur „Teigreife“ (Mais), zum „vollen Rispschieben“ (Sudangras) und zur „Milchreife“ (Zuckerhirse) den Biogas- und Methanertrag bei allen geprüften Sorten. Dieser Mehrertrag war insgesamt beachtlich und erreichte eine mittlere Größenordnung von 900 m^3 Methan/ha. Für einzelne Mais- und Zuckerhirsesorten wurden Mehrerträge an Methan von $1\,400\text{ m}^3$ Methan/ha (Super Sile 20) bis $1\,800\text{ m}^3$ Methan/ha (Gavott) gemessen. Derartig starke, von der Verlagerung des Erntetermins abhängige Effekte wurden auch in einem Sortenversuch mit Energiemais gemessen. Der Mehrertrag betrug durchschnittlich $1\,267\text{ m}^3$ Methan/ha (DIEPHOLDER, EDER 2006). In Maisortenversuchen markierte das Teigreifestadium ebenfalls den optimalen Erntezeitpunkt für den Biogasertrag. Auf spätere Erntetermine reagieren die Sorten mit Rückgang des Methanertrages (KAISER et al. 2006).

Zusammenfassende Wertung des Erntetermineffektes auf die Biogas-/Methanerträge

Der mit der Verlagerung des Erntetermins von der „Milchreife“ (Mais) bzw. dem „beginnenden Rispschieben“ (Zuckerhirse, Sudangras) in die Phase der Abreife (Teigreife, volles Rispschieben) der Pflanzen einhergehende Ertragszuwachs an Trockenmasse führte generell zu einem Anstieg des Hektarertrages an Biogas und Methan. Im Durchschnitt betrug er $1\,600\text{ m}^3$ Biogas/ha bzw. 900 m^3 Methan/ha. Am stärksten reagierten die Sorten „Gavott“ ($3\,800\text{ m}^3$ Biogas/ha und $1\,800\text{ m}^3$ Methan/ha Mehrertrag) und „Supe Sile 20“ ($2\,500\text{ m}^3$ Biogas/ha und $1\,400\text{ m}^3$ Methan/ha Mehrertrag) auf die im Durchschnitt 28 Tage längere Wachstumszeit. Am schwächsten war der Zuwachs bei der Sorte „Lussi“ (500 m^3 Biogas/ha und 420 m^3 Methan/ha Mehrertrag).

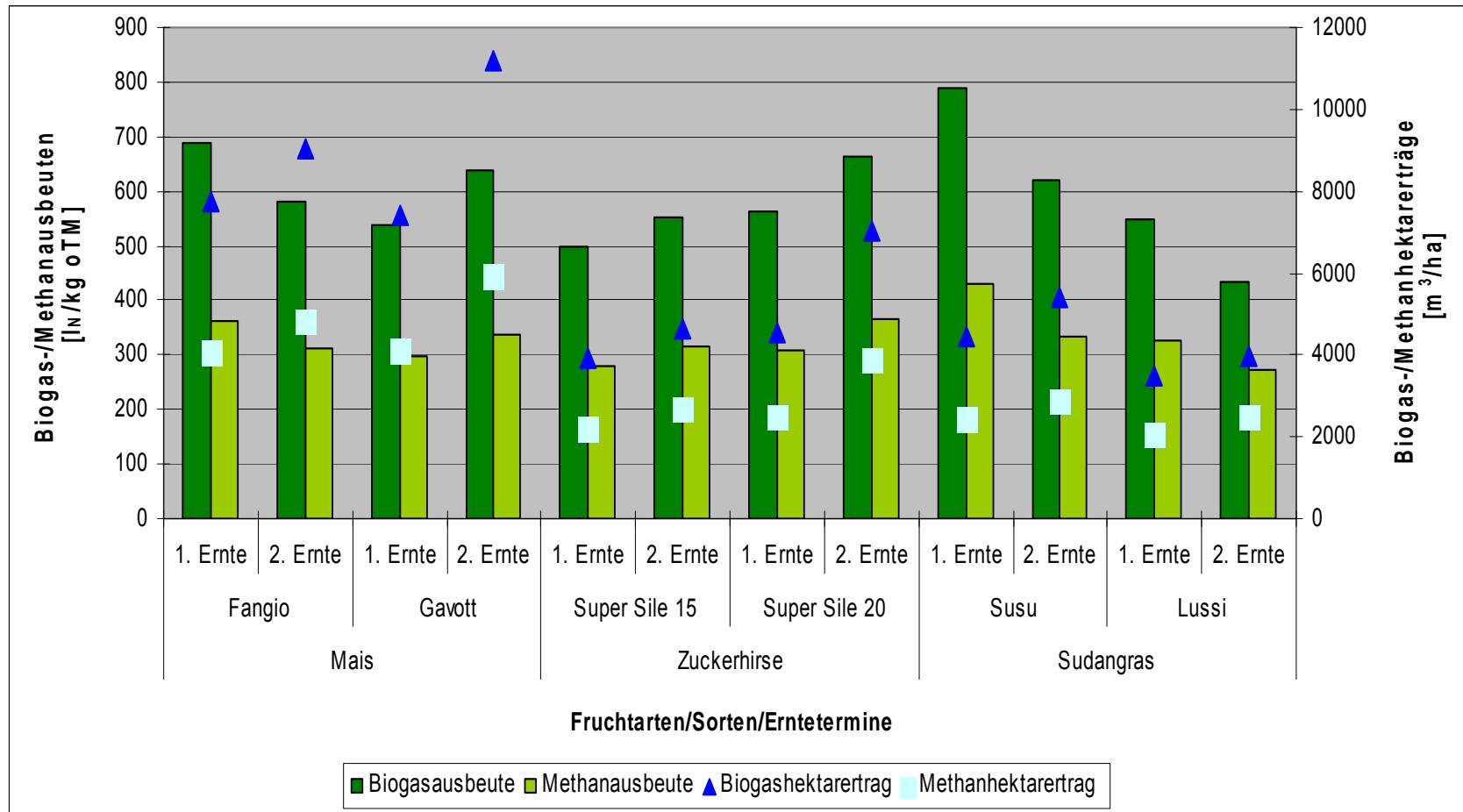


Abbildung 39: Biogas-/Methanausbeute und Biogas-/Methanhektarerträge Praxisversuch Wöllnau 2005

N-Düngungsversuche (2004/2005/2006)

Abweichend zu den Werten der theoretischen Biogasausbeute zeigten die Batch-Versuche, dass zusätzliche N-Gaben jahres- und ernteterminabhängig durchaus einen positiven Einfluss auf die Ausbeute und den Hektarertrag an Biogas und Methan ausüben können (Abb. 40 - 49).

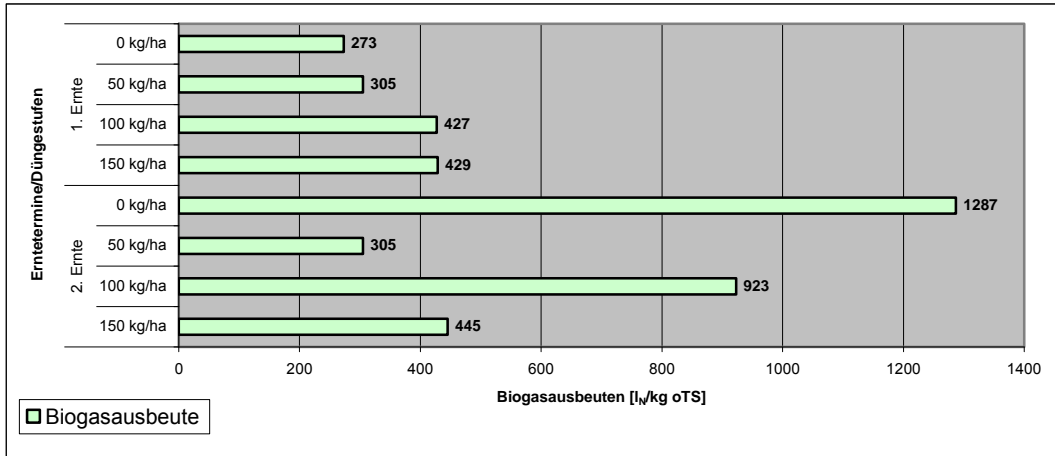


Abbildung 40: Biogasausbeuten/Variation des Erntetermins und der Düngestufen bei Sudangras (Susu). Güterfelde 2004

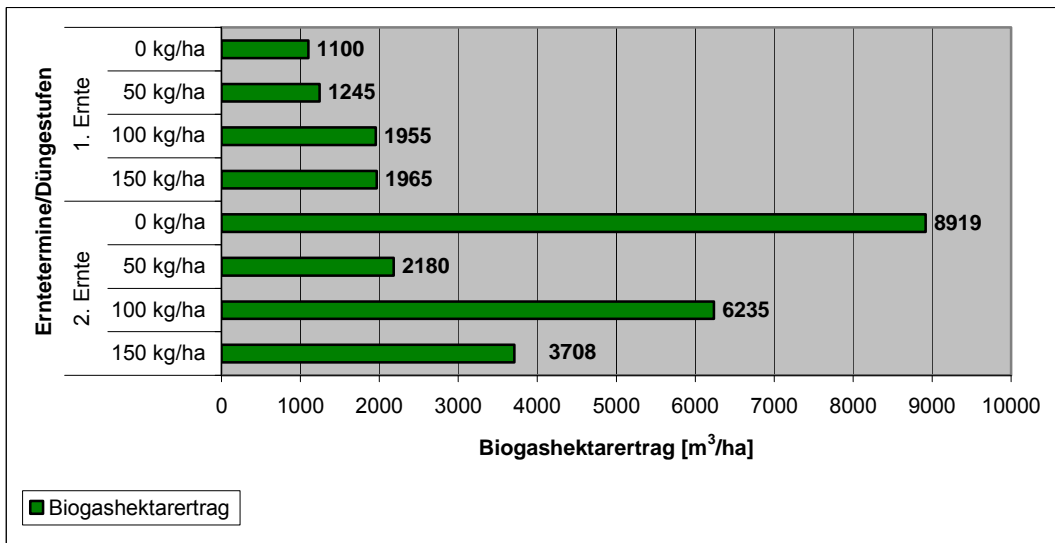


Abbildung 41: Biogashektarertrag/Variation des Erntetermins und der Düngestufen bei Sudangras (Susu), Güterfelde 2004

Unter den für das Pflanzenwachstum niederschlagsgünstigen Bedingungen des Jahres 2005 nahmen sowohl die Umsetzungsrate an Biogas und Methan je Kilogramm organische Trockensubstanz als auch der Hektarertrag mit steigenden N-Gaben zu. Das Maximum an Ausbeute und Ertrag

zeichnete sich unabhängig vom Erntetermin bei N-Gaben von 100 bis 150 kg N/ha ab (Abb. 42 und 43). Ähnliche biogas- und methansteigernde Effekte der N-Düngung waren im zu Vegetationsbeginn feucht-kühlen und dann trocken-warmen Jahr 2004 bei frühem Erntetermin festzustellen. Bei später Ernte erreichte bereits die Kontrollvariante (ohne zusätzliche N-Düngung) das Maximum an Biogasausbeute je Einheit Trockensubstanz und Hektar (Abb. 40 und 41).

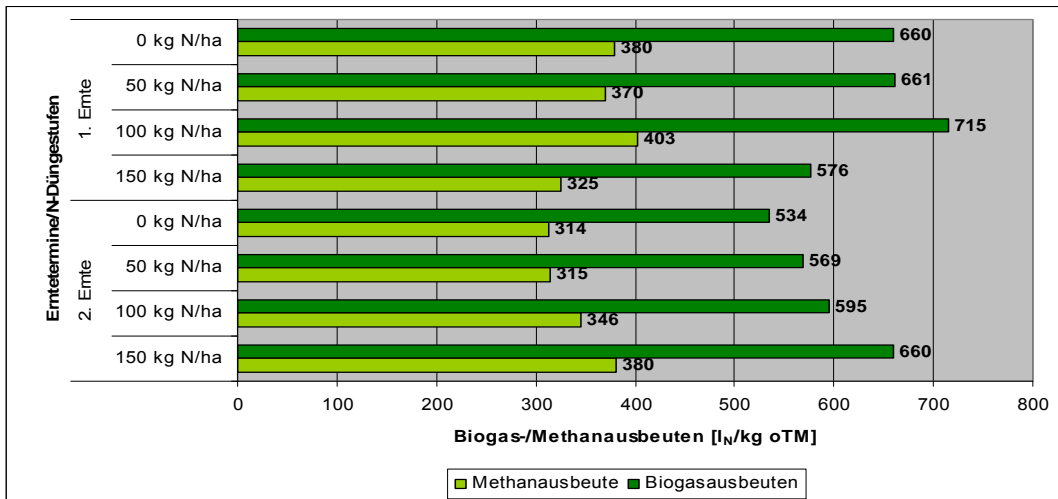


Abbildung 42: Biogasausbeuten/Variation des Erntetermins und der Düngestufen bei Sudangras (Susu), Güterfelde 2005

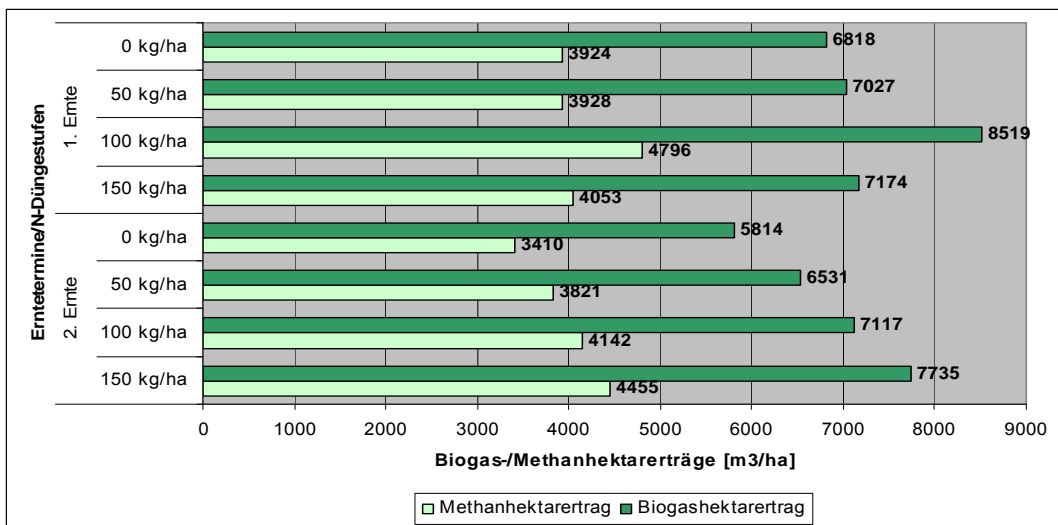


Abbildung 43: Biogashektarertrag Variation des Erntetermins und der Düngestufen bei Sudangras (Susu), Güterfelde 2005

Unter den sehr trockenen Witterungsbedingungen des Jahres 2006 bewirkten die zusätzlichen N-Gaben weder eine Erhöhung des Biogas-Methan-Umsatzes in der Trockensubstanz noch eine

Steigerung des Flächenertrages (Abb. 44 und 45). Bei dem festgestellten hohen N_{\min} -Gehalt in der Ackerkrume sollte bei sich abzeichnender Trockenheit auf eine zusätzliche N-Gabe beim Sudangras verzichtet werden.

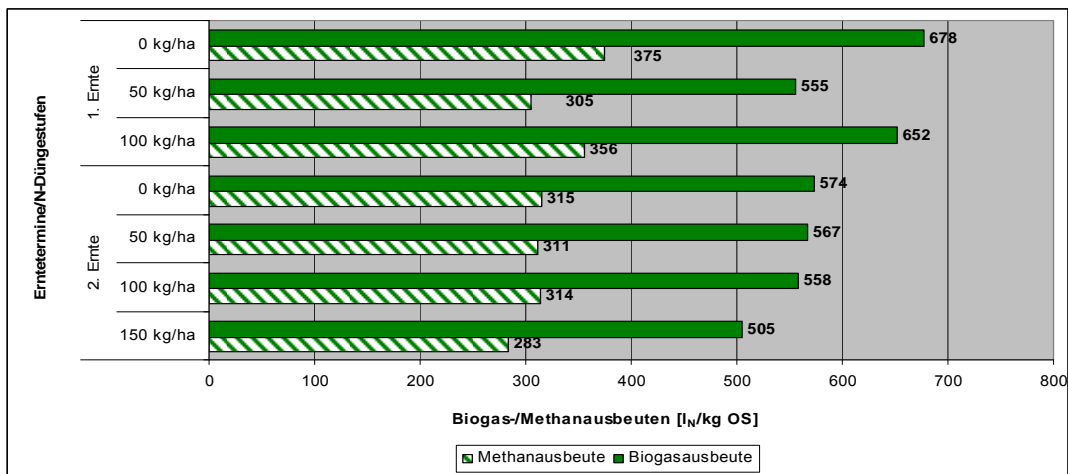


Abbildung 44: Biogasausbeute/Variation des Erntetermins und der Düngestufen bei Sudangras (Susu), Güterfelde 2006

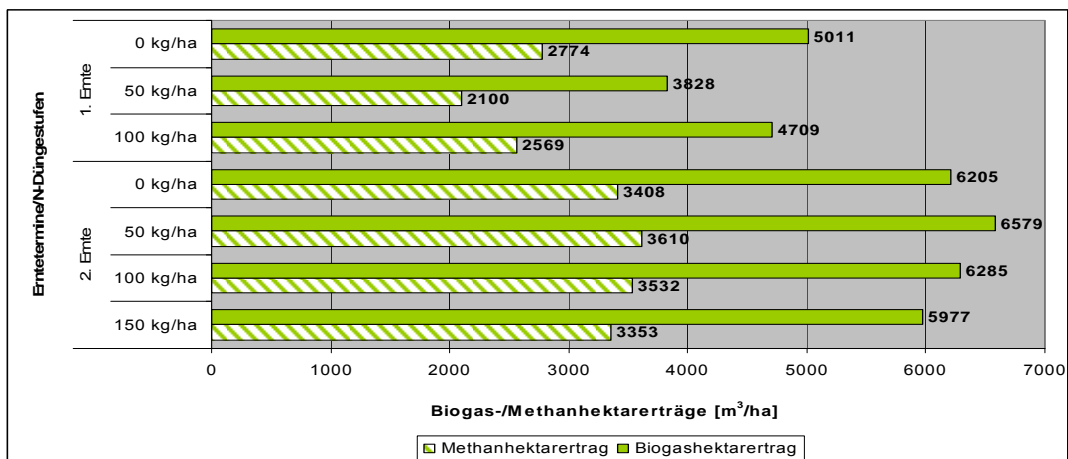


Abbildung 45: Biogashektarerträge/Variation des Erntetermins und der Düngestufen bei Sudangras (Susu), Güterfelde 2006

Die zweijährigen Ergebnisse (2005 und 2006) zur Wirkung zusätzlicher N-Düngegaben im Zuckerhirseanbau deuten darauf hin, dass diese Kultur einen höheren N-Bedarf aufweist als das Sudangras.

So steigert im feucht-warmen Jahr 2005 die zusätzliche N-Düngung bis zur höchsten geprüften N-Gabe (150 kg/ha) die Ausbeute und den Hektarertrag an Biogas und Methan in Wechselwirkung

mit einem späten Erntetermin (volles Rispenstadium). Bei früherem Schnittzeitpunkt wird das Ertragsmaximum mit einem N-Aufwand von 100 kg N/ha erzielt (Abb. 46 und 47).

Das trockene Jahr 2006 schränkte die ertragssteigernde Wirkung der zusätzlichen N-Gaben unter beiden gewählten Erntezeitpunkten auf eine maximale Gabenhöhe von 50 kg N/ha ein (Abb. 48 und 49).

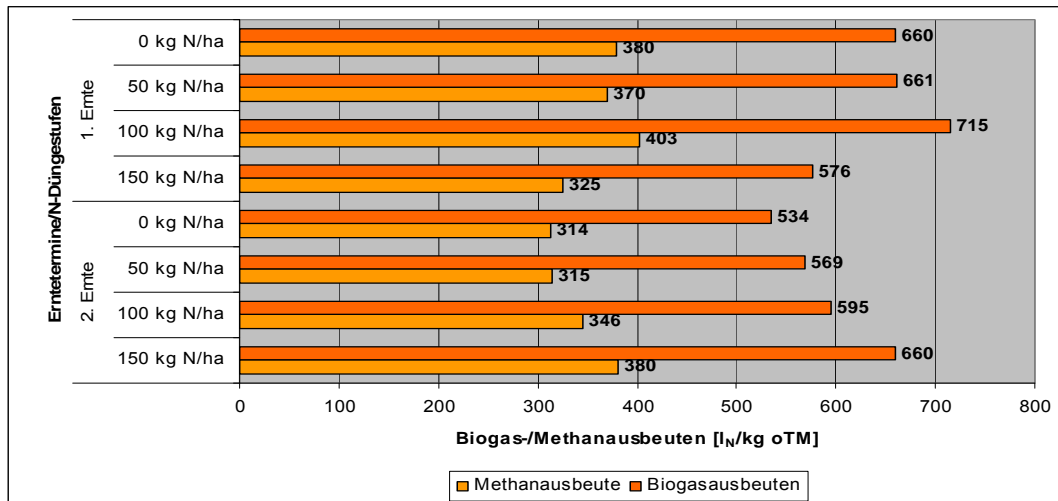


Abbildung 46: Biogas-/Methanausbeute/Variation des Erntetermins und der Düngestufen bei Zuckerhirse (Super Sile 20), Güterfelde 2005

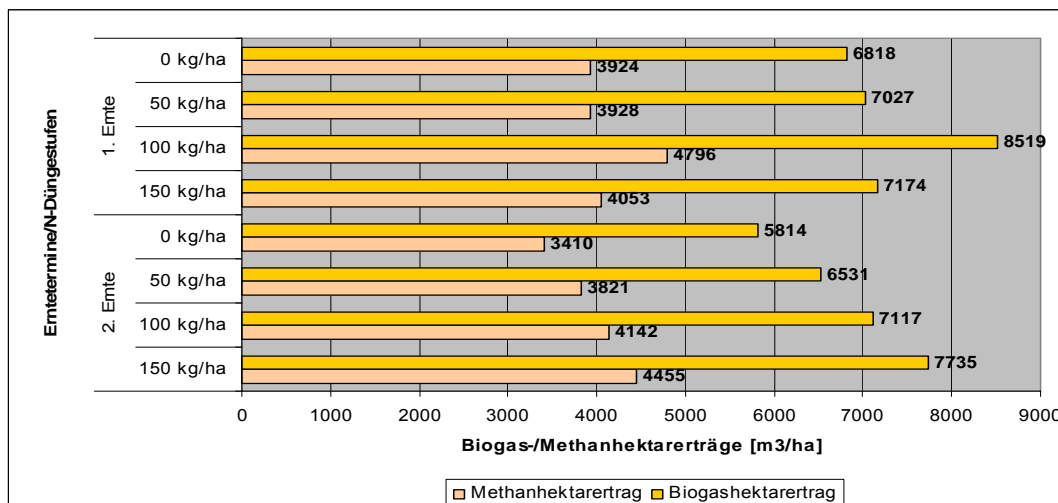


Abbildung 47: Biogashektarertrag/Variation des Erntetermins und der Düngestufen bei Zuckerhirse (Super Sile 20), Güterfelde 2005

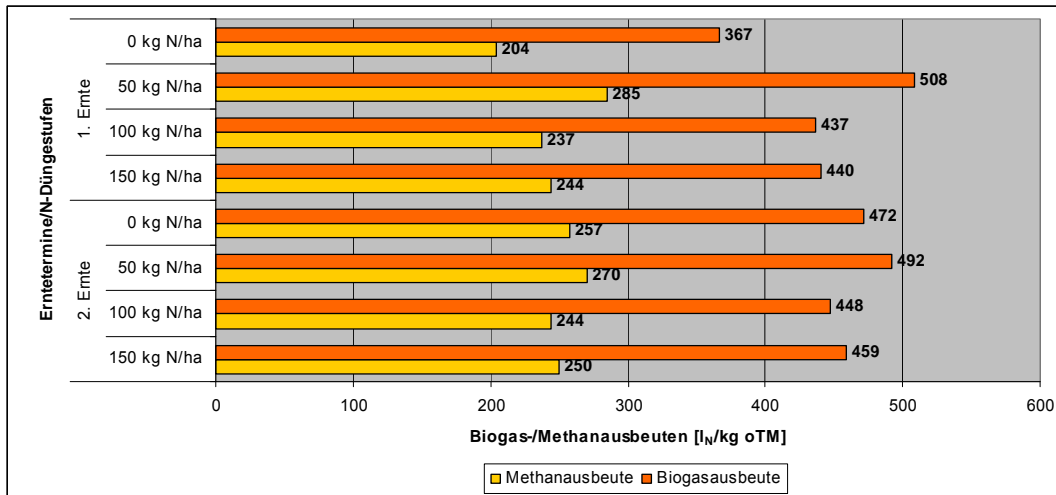


Abbildung 48: Biogasausbeute/Variation des Erntetermins und der Düngestufen bei Zuckerhirse (Super Sile 20), Güterfelde 2006

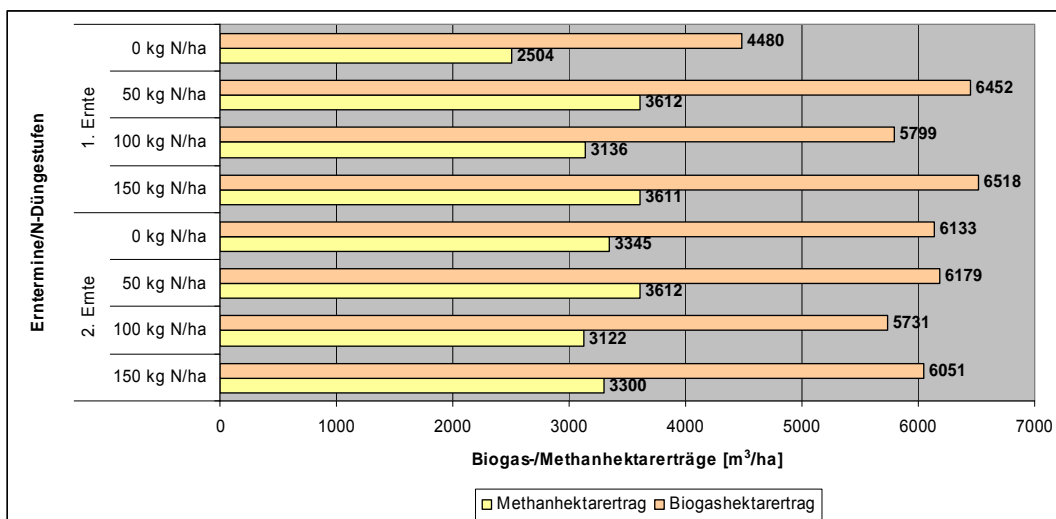


Abbildung 49: Biogashektarertrag/Variation des Erntetermins und der Düngestufen bei Zuckerhirse (Super Sile 20), Güterfelde 2006

Zusammenfassende Wertung der N-Düngungsversuche

Nach den Untersuchungen ist festzustellen, dass trotz eines günstigen N_{\min} -Spiegels in der Ackerkrume die Ausbringung zusätzlicher N-Gaben für die Ausbeute sowie den Hektarertrag an Biogas und Methan förderlich ist.

Die Wirkung ist dabei witterungsabhängig. Unter feuchten Witterungsbedingungen (2004/2005) wurde mit N-Gaben von 100 bis 150 kg N/ha sowohl bei Sudangras als auch der Zuckerhirse der höchste Methanertrag je Hektar und Kilogramm organischer Trockensubstanz erzielt. Unter trockenen Witterungsbedingungen zeigt sich in Abhängigkeit von der N-Düngung nur eine geringe Steigerung der Biogas- und Methanproduktion. Sie ist bei der Zuckerhirse etwas stärker mit einer maxi-

malen N-Gabe von 50 kg N/ha ausgeprägt als beim Sudangras, wo im Jahr 2006 kein Mehrertrag nachgewiesen wurde. Die Untersuchungen erlauben den Hinweis, dass Zuckerhirse einen stärkeren N-Bedarf als Sudangras hat.

Eine angemessene N-Düngung (N-Bedarf minus N_{\min} -Gehalt im Boden) ist für beide Sorghumarten eine wichtige Grundlage für eine effiziente Biogas- und Methanproduktion. Offensichtlich trägt sie dazu bei, das C/N-Verhältnis in der Biomasse für die Biogasbildung zu verbessern.

4.2.1.5 Biogasproduktion in kontinuierlichen Gärtests

Sortenversuche

Während im Batch-Gärttest optimale Reaktionsbedingungen herrschen und die zugeführten vergärbaren Bestandteile der Substrate annähernd vollständig umgesetzt werden, sind die kontinuierlichen Gärtests stärker an die Bedingungen eines in der Praxis häufig anzutreffenden Durchflussfermenters angelehnt. Durch die Begrenzung der hydraulischen Verweilzeit sind hier geringere Biogausausbeuten zu erwarten. Die kontinuierlichen Gärtests wurden als Monovergärung bei einer praxisüblichen Faulraumbelastung von 2,5 kg oTS/(m³*d) durchgeführt. Unter diesen Bedingungen liefen die Umsetzungsprozesse zu Biogas stabil ab.

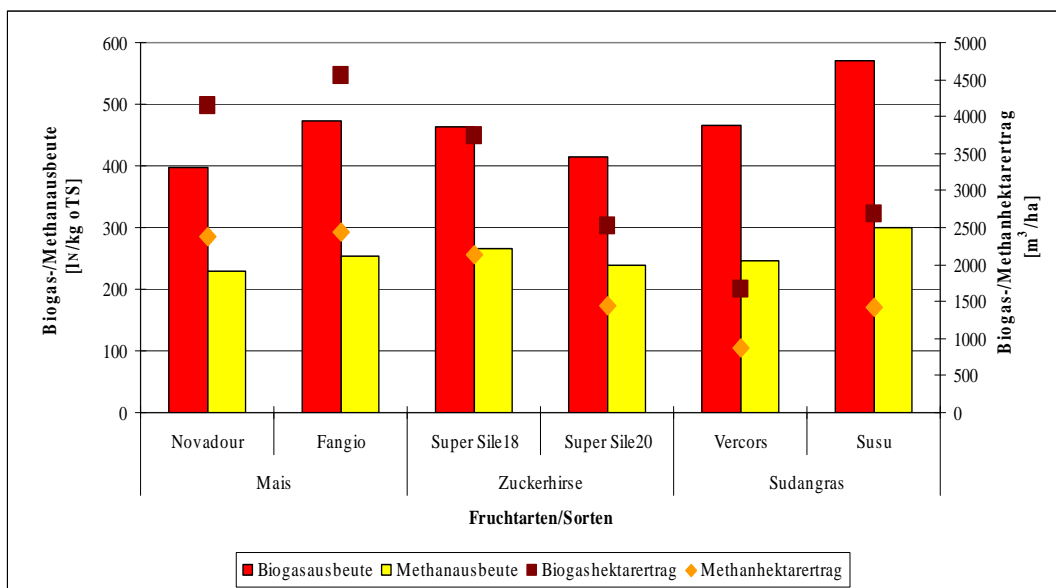


Abbildung 50: Biogas-/Methan ausbeute und Biogas-/Methanhektarerträge/Monovergärung Sortenversuch Paschwitz 2004

Wie bei den Batch-Versuchen waren zwischen den Fruchtarten und Sorten unterschiedliche Ausbeuten und Erträge an Biogas und Methan zu beobachten (Abb. 50). Auch im kontinuierlichen Gärttest bestätigten die Maissorten ihre Überlegenheit gegenüber den Sorten der Zuckerhirse und des Sudangrases. Die Maissorte „Fangio“ erzielte wiederum den höchsten Methanertrag (2 500 m³/ha), dicht gefolgt von der Sorte „Novadour“. Ebenso schnitt von den Sorghumhirsen die

Zuckerhirsesorte „Super Sile 18“ mit 2 200 m³/ha am besten ab. Das schon im Batch- Versuch 2004 beobachtete schwächere Ertragsverhalten der beiden Sudangrassorten „Susu“ und vor allem „Vercors“ wurde auch im kontinuierlichen Gärtest bestätigt.

Erntetermin

Die kontinuierlichen Gärtests für Mais, Zuckerhirse und Sudangras in Abhängigkeit vom Erntetermin bestätigen grundsätzlich die auch in den Batch-Versuchen für die Sorte „Fangio“ nachgewiesene rückläufige Ausbeute an Biogas und Methan bei spätem Erntetermin (Abb. 51). Von den Ergebnissen der Batch-Versuche abweichend, nimmt der Ausbeutegrad je kg TS bei der Zuckerhirse, Sorte „Super Sile 20“ und der Sudangrassorte „Vercors“ zur späten Ernte zu. Der ertragssteigernde Impuls auf den Biogas- und Methanertrag ist bei Mais im kontinuierlichen Gärtest nicht nachweisbar. Maispartien im Stadium der Milchreife geerntet, weisen einen um 12 % höheren Biogasertrag auf. Beim Sudangras und der Zuckerhirse konnten wie in den Batch-Versuchen höhere Hektarerträge an Biogas und Methan durch die Wahl des zweiten Erntetermins (volles Rispenstehen) bestimmt werden. Die Ertragssteigerung bewegt sich je nach Sorte in einer Größenordnung zwischen 200 m³ Methan/ha (Zuckerhirse) und 1 500 m³ Methan/ha (Sudangras).

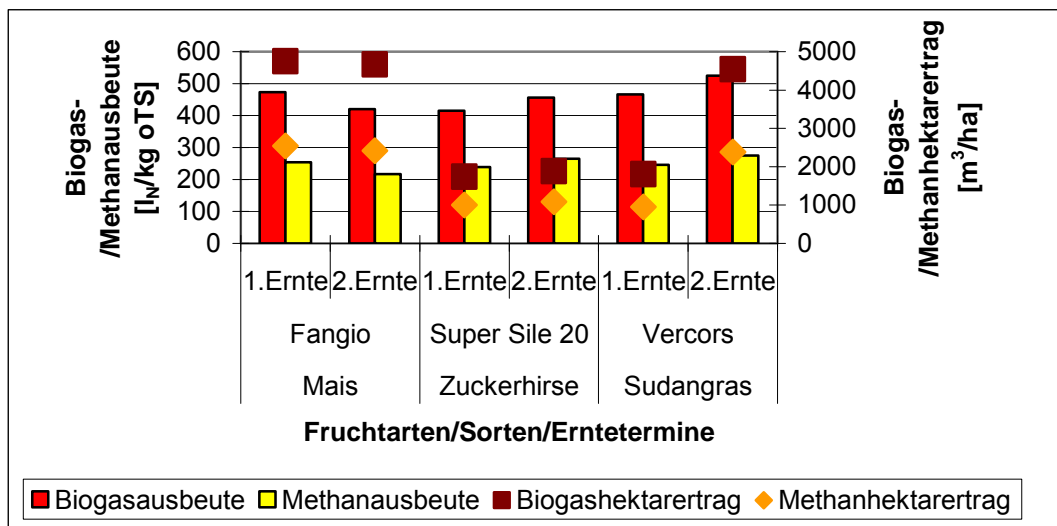


Abbildung 51: Einfluss des Erntetermins auf die kontinuierliche Biogasproduktion Sprotta 2004

Variation der Faulraumbelastung

Die Leistung von Biogasanlagen hängt wesentlich von der Methanausbeute, der Faulraumbelastung und der Verweilzeit ab (LINKE und MÄHNERT 2005). Durch Anhebung der Faulraumbelastung ist man bestrebt, die Biogasausbeute zu erhöhen. Die Zufuhr an vergärbare Substanz je Zeit- und Volumeneinheit ist durch ein Maximum gekennzeichnet, bei dessen Überschreitung der Prozess des Stoffumsatzes durch die Mikroorganismen umkippen kann. Im Prozess der Monovergärung liegen hierzu noch wenig substratspezifische Erfahrungen vor. Im kontinuierlichen Gärversuchen (Durchflussfermenter) wurden sechs verschiedene pflanzliche Substrate mit drei unterschiedlichen

Faulraumbelastungen ($\text{kg oTS/m}^3 \cdot \text{d}$) bei konstanter Verweilzeit im mesophilen Temperaturbereich hinsichtlich Biogas- und Methanausbeute untersucht. Die Ergebnisse der Biogas- und Methanausbeute zeigen bei den geprüften Substraten eine deutliche Abhängigkeit von der gewählten Faulraumbelastung (Abb. 52).

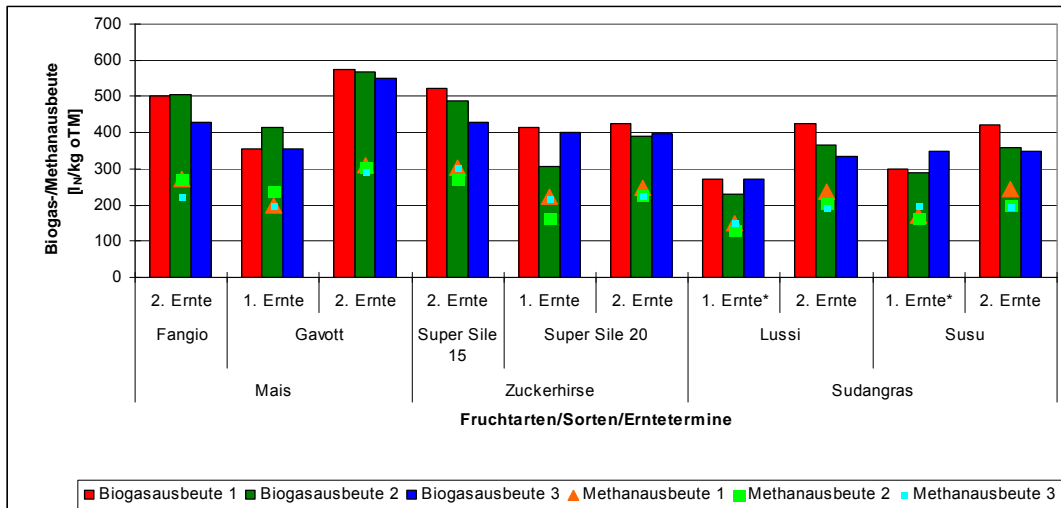


Abbildung 52: Biogas- und Methanausbeuten von Mais-, Zuckerhirse- und Sudangrassilagen im kontinuierlichen Biogasversuch mit drei Faulraumbelastungen [1=2,0 kg oTS/(m³*d); 2=2,5 kg oTS/(m³*d); 3=3,5 kg oTS/(m³*d)]

Im Wesentlichen erzielten die Fermentationsversuche mit der geringsten Faulraumbelastung die höchsten Abbaugrade und damit die höchsten Biogas- und Methanausbeuten je kg zugeführter organischer Trockensubstanz (Abb. 52). Mit steigender Faulraumbelastung nahmen die Biogas- und Methanausbeute pro kg organischer Trockensubstanz und der Abbaugrad der Substrate ab. In der Betrachtung der Gasproduktion pro Kubikmeter Faulraum erhöhte sich jedoch die Gasausbeute mit steigender Faulraumbelastung (Abb. 53). Durch einen Anstieg der Raumbelastung ging zwar die Gasausbeute je kg oTS zurück (Abb. 52, 53), jedoch wird das Fermentervolumen besser ausgenutzt (PLÖCHL 2007).

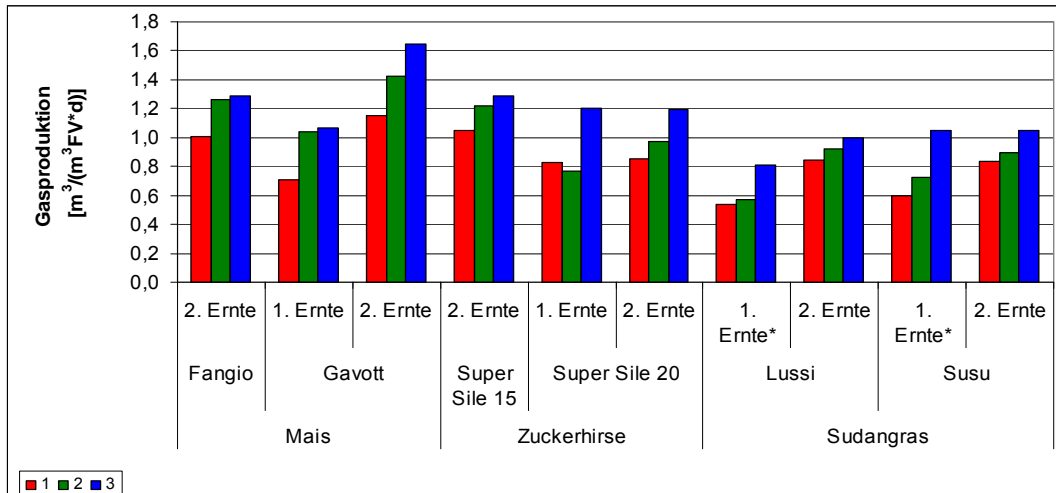


Abbildung 53: Biogasausbeute von Mais-, Zuckerhirse- und Sudangrassilage je m³ Faulraum und Tag im kontinuierlichen Biogasversuch
 [1=2,0 kg oTS/(m³ * d); 2=2,5 kg oTS/(m³ * d); 3=3,0 kg oTS/(m³ * d)]

Im zeitlichen Ablauf der Vergärung waren zudem substrat- und prozessbedingte Schwankungen erkennbar (Abb. 54 - 61). Von den geprüften Fruchtarten und Sorten wies die Energiemaissorte „Gavott“ insgesamt die geringste Biogasausbeute im Verlauf des kontinuierlichen Gärversuches aus. Dies ist möglicherweise auf die ungenügende Qualität der Silage zurückzuführen (Verpilzung). Nach einer Einlaufphase nahm die Biogasausbeute kontinuierlich zu. In der Faulraumbelastung konnte für die Belastungsstufe 2 (2,0 kg oTS/m³ * d) der höchste und stabilste Umsatz über den Untersuchungszeitraum nachgewiesen werden (Abb. 54). Eine weitere Zunahme an vergärbare Substanz pro Raum- und Zeiteinheit führte zu einem Rückgang der Gasausbeute (LINKE et al. 2005).

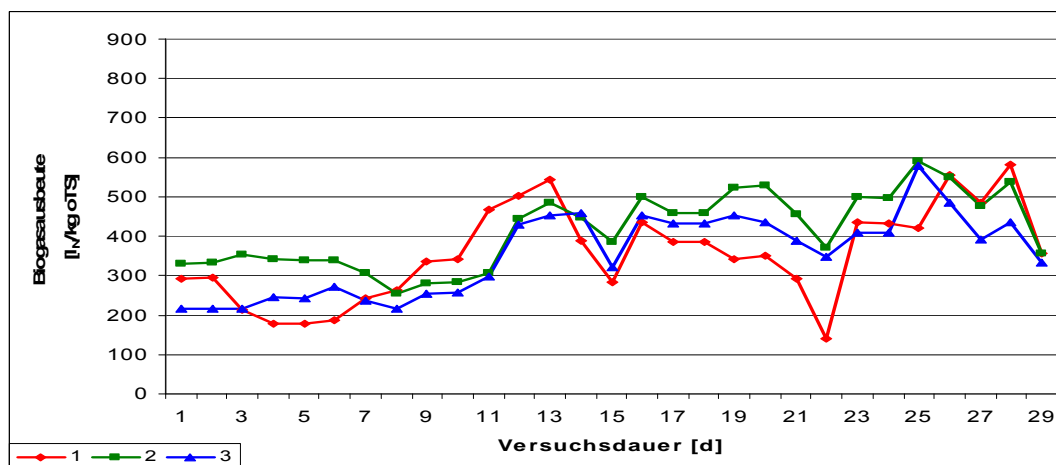


Abbildung 54: Gärverlauf im kontinuierlichen Gärversuch von Mais (Gavott), 1. Ernte
 [1=2,0 kg oTS/(m³*d); 2=2,5 kg oTS/(m³*d); 3=3,0 kg oTS/(m³*d)]

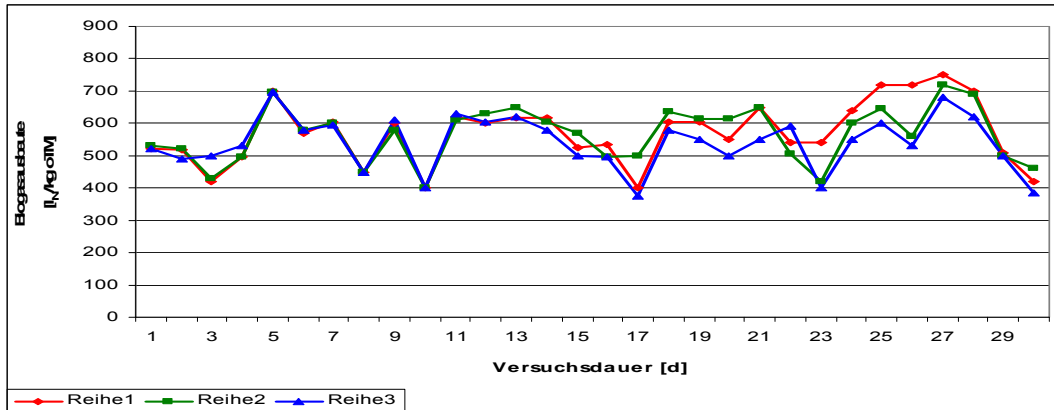


Abbildung 55: Gärverlauf im kontinuierlichen Gärversuch von Mais (Gavott), 2. Ernte
 [1=2,0 kg oTS/(m³*d); 2=2,5 kg oTS/(m³*d); 3=3,0 kg oTS/(m³*d)]

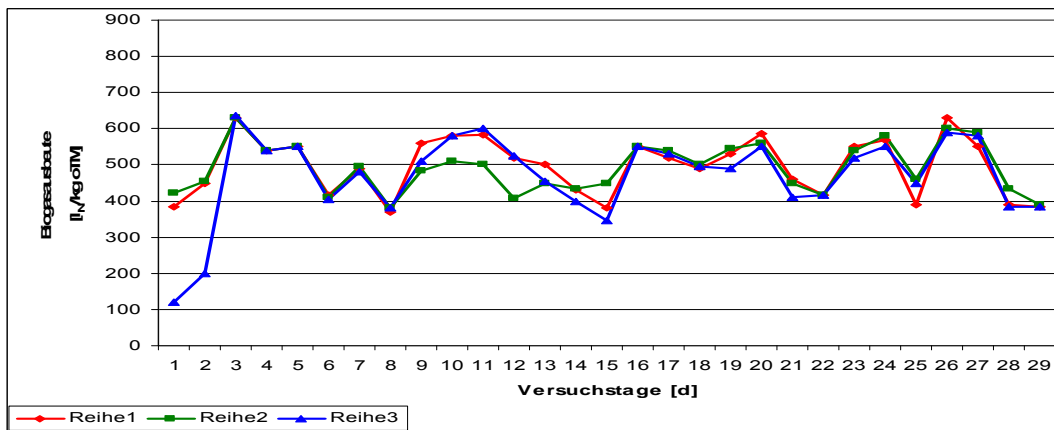
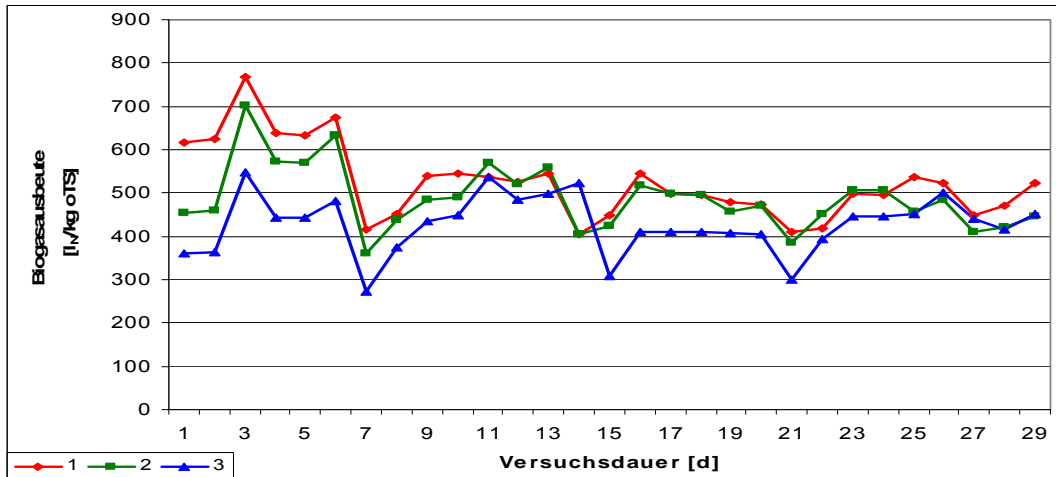
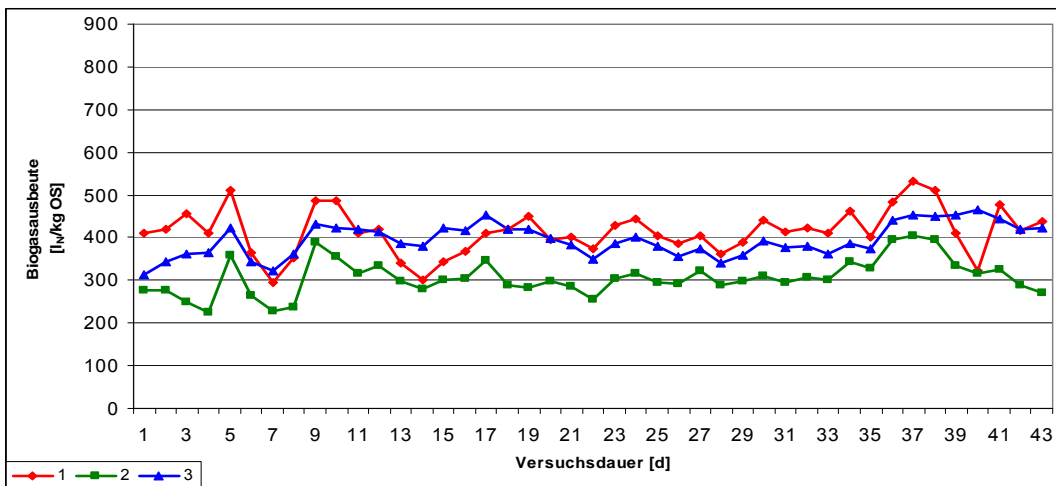


Abbildung 56: Gärverlauf im kontinuierlichen Gärversuch von Mais (Fangio), 2. Ernte
 [1=2,0 kg oTS/(m³*d); 2=2,5 kg oTS/(m³*d); 3 = 3,0 kg oTS/(m³*d)]

Die Biogasausbeute der Zuckerhirsesorten kennzeichnet nach kurzer Einlaufphase ein rascher Anstieg, um dann in eine stabilere Prozessphase überzugehen. Wie die Abbildungen 56, 57, 58 und 59 zeigen, können auch kurzzeitige stärkere Einbrüche im Prozessverlauf auftreten, die auf eine gewisse Instabilität (geringe Pufferkapazität, Versäuerung, Störung des chemischen Gleichgewichtes) zurückzuführen sind (KRIEG et al., 2005, MEYER-PITTRUFF 2002). Aus der Sicht der Faulraumbelastung ist für Zuckerhirsen eine niedrige Faulraumbelastung (Stufe 1) zu empfehlen.



**Abbildung 57: Gärverlauf im kontinuierlichen Gärversuch von Zuckerhirse (Super Sile 15)
2. Ernte [1=2,0 kg oTS/(m³*d); 2=2,5 kg oTS/(m³*d); 3=3,0 kg oTS/(m³*d)]**



**Abbildung 58: Gärverlauf im kontinuierlichen Gärversuch von Zuckerhirse (Super Sile 20)
1. Ernte [1=2,0 kg oTS/(m³*d); 2=2,5 kg oTS/(m³*d); 3=3,0 kg oTS/(m³*d)]**

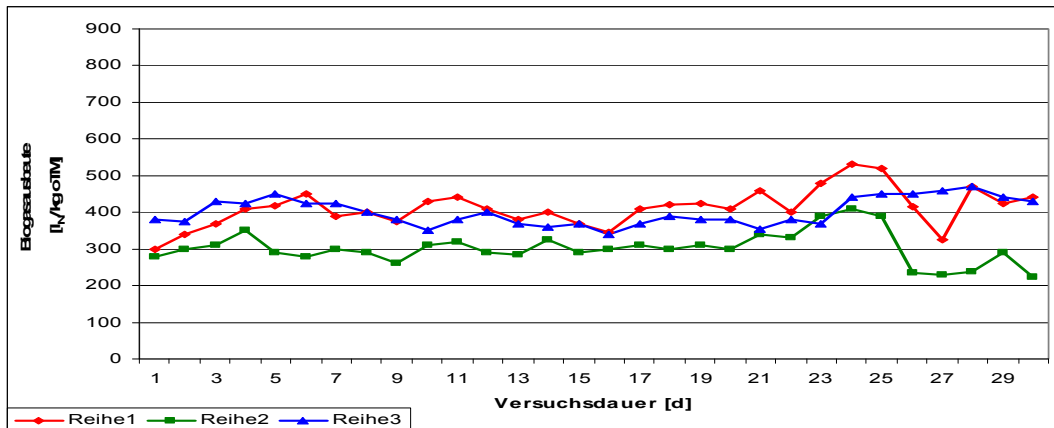


Abbildung 59: Gärverlauf im kontinuierlichen Gärversuch von Zuckerhirse (Super Sile 20) 2. Ernte [1=2,0 kg oTS/(m³*d); 2=2,5 kg oTS/(m³*d); 3=3,0 kg oTS/(m³*d)]

Ähnliche Ergebnisse sind für Sudangrassorten zu verzeichnen (Abb. 60 - 61). Die Prozesskurven der Sorte „Lussi“ belegen, dass sich nach 5 - 6-tägiger Adaptionsphase die Mikroorganismen an das Substrat anpassen. Ergebnis dieser Anpassung ist eine über die Messdauer sehr stabile Biogasausbeute. Die gewählte Raumbelastung von 2,0 kg oTS/m³ * d ist dabei für die Biogasentwicklung optimal.

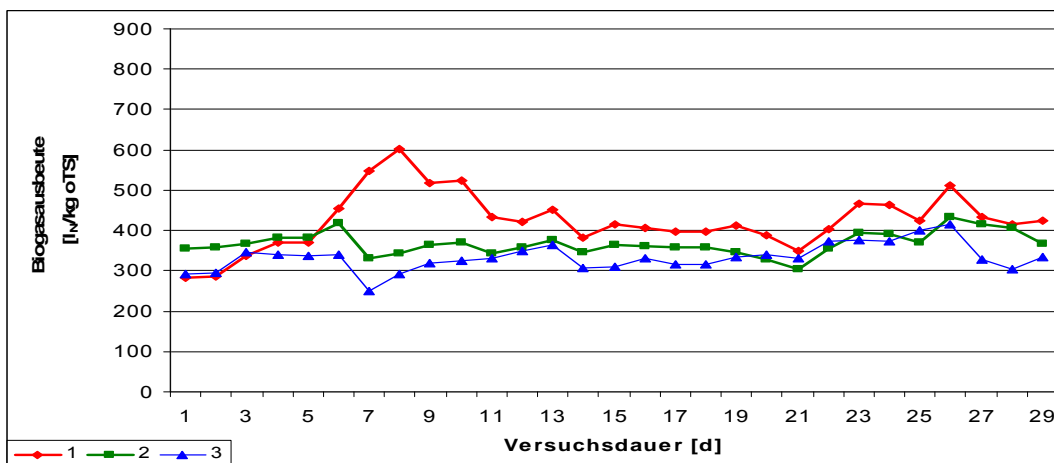


Abbildung 60: Gärverlauf im kontinuierlichen Gärversuch von Sudangras (Lussi), 2. Ernte 1=2,0 kg oTS/(m³*d); 2=2,5 kg oTS/(m³*d); 3=3,0 kg oTS/(m³*d)]

Der Gärverlauf der Sudangrassorte „Susu“ wiederum ist ein Beleg, dass bei höherer Substratkonzentration (>2,5 kg oTS/m³ * d) wie auch bei der Zuckerhirse mehrtägige empfindliche Störungen im Prozess auftreten können. Der Abfall der Biogasausbeuten gegen Ende des Untersuchungszeitraums bei niedriger Faulraumbelastung (2,0 kg oTS/m³ * d) ist der Tatsache geschuldet, dass kein Substrat mehr zugeführt wurde (Abb. 61).

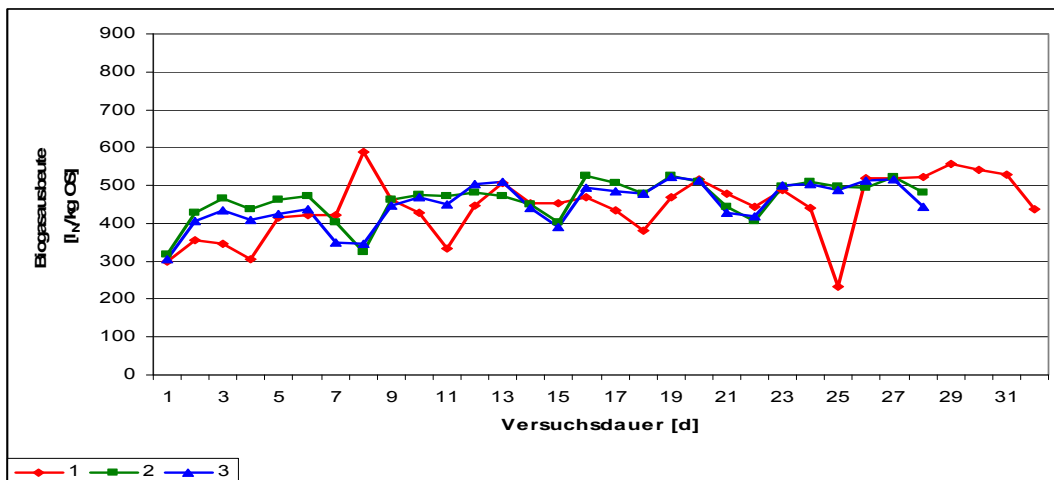


Abbildung 61: Gärverlauf im kontinuierlichen Gärversuch von Sudangras (Susu); 2. Ernte [1=2,0 kg oTS/(m³*d); 2=2,5 kg oTS/(m³*d); 3=3,0 kg oTS/(m³*d)]

Die bei allen Kurven wöchentlich beobachteten Einschnitte sind auf Unterbrechungen in der „Fütterung“ der Bakterien am Wochenende zurückzuführen. Dies unterstreicht die Bedeutung der kontinuierlichen Substratzufuhr für die Prozessstabilität eines Durchflussfermenters.

Zusammenfassende Wertung der kontinuierlichen Biogasprozesse

Die Ergebnisse der Biogasausbeuten in einem Versuchsfermenter mit verschiedenen Substraten und Faulraumbelastungen erlauben folgende Aussagen:

- Im Untersuchungszeitraum konnte insgesamt eine weitgehende stabile Biogasproduktion (l_N/kg oTS) bei der praktizierten Monovergärung der Silage von Mais, Zuckerhirse und Sudangras festgestellt werden.
- Als günstigste Faulraumbelastung erwies sich dabei eine Zufuhr von 2,0 kg oTS/(m³ * d). Bei höheren Belastungen (2,5 kg oTS/(m³ * d) und 3,0 kg oTS/(m³ * d) waren im Prozess stärkere Schwankungen und ein Rückgang des Biogasertrages nachzuweisen.
- Unter praxisnahen Versuchen mittels Durchflussfermenters konnten in den Untersuchungen maximale Biogasausbeuten von 400 – 500 l_N/kg oTS festgestellt werden. Dabei zeichneten sich substrat- und sortenspezifische Unterschiede ab. Die hohen Werte wurden mit der Zuckerhirse (Super Sile 15) erzielt. Für Sudangras und Mais konnte ein Niveau von 400 l_N/kg oTS mit der jeweils günstigsten Faulraumbelastung beobachtet werden.
- Insgesamt machen die Ergebnisse deutlich, dass eine „Überfütterung“ der Anlage starke Prozessstörungen (Übersäuerung) mit einem deutlichen Rückgang des Biogasertrages nach sich zieht.

4.2.1.6 Einsatz in einer Praxisanlage

Im Versuchsjahr 2004 wurden die Mais-, Sudangras- und Zuckerhirsebestände an den Standorten Paschwitz und Sprotta mit einem Maishäcksler geerntet. Das Erntegut ist für die Kulturarten getrennt nach dem Folienschlauchverfahren einsiliert worden. Die Substrate wurden nach Abschluss der Silierung (> 90 Tage Silierdauer) als Co- Fermente in einer Biogasanlage eingesetzt. Ziel dieses Großversuches war es, unter Praxisbedingungen über eine längere Zeit die Biogas- und Methanentwicklung in Abhängigkeit von der Kulturart zu prüfen.

Die Durchführung des Biogasgroßversuches erfolgte in der Biogasanlage der Agrargenossenschaft Hohenroda

e. G. Die Anlage wird nach dem Durchflussprinzip mit Gülle und nachwachsenden Rohstoffen als Co-Fermente betrieben. Sie zeichnet sich durch folgende Merkmale aus:

- Anmaischgrube mit Zerkleinerungstechnik
- Substraterwärmung im externen Wärmeübertrager
- Bioreaktor mit 2 010 m³ Faulraum
- Zentralrührwerk im Biogasreaktor
- Nachgärer (3 060 m³) mit Folien-Gasspeicher (1 400 m³) unter dem Tragluftdach
- Biologische Entschwefelung (Einblasen von Außenluft in den Nachgärer)
- Biogasverwertung mit Gas-Otto-BHKW

Das Substrat wird von der Anmaischgrube aus einem Zirkulationskreislauf zudosiert, wobei es auf Prozesstemperatur vorgewärmt und bereits angeimpft wird. Der Prozess der Vergärung findet bei einer Temperatur von 37° C und einer mittleren Verweilzeit von 38 Tagen statt. Im Nachgärbehälter läuft die Biogasbildung weiter. Mittels eines Gas-Analysegerätes werden die Gehalte an Methan, Kohlendioxid, Sauerstoff und Schwefelwasserstoff im Biogas erfasst. Die Biogasmenge, welche pro Tag verwertet wird, kann über die erzeugte Energie berechnet werden. Eine Überwachung der Prozessstabilität erfolgt anhand regelmäßiger Fettsäureanalysen im Fermenterablauf.

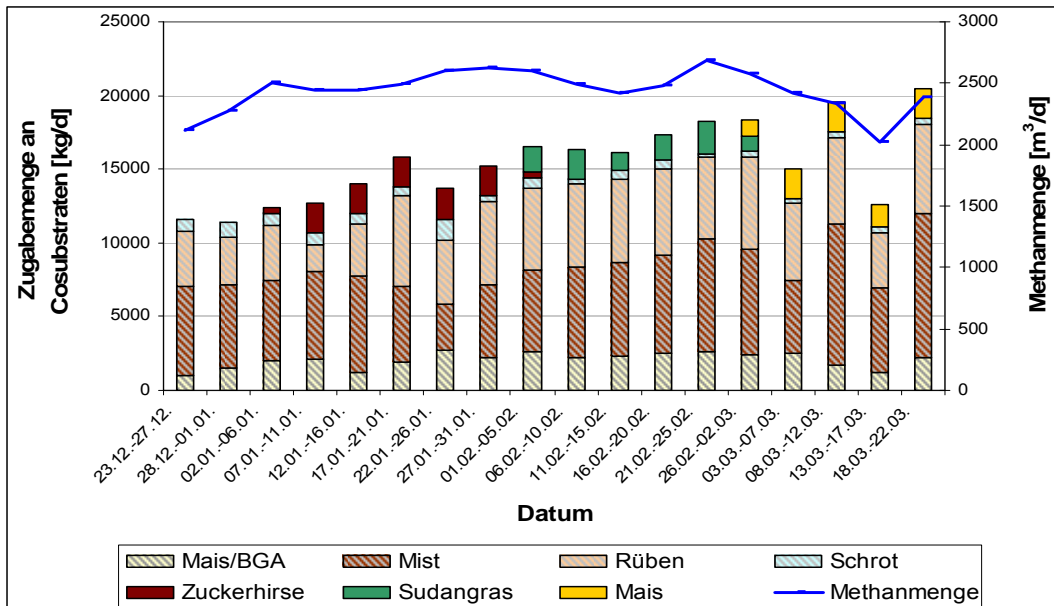


Abbildung 62: Zugeführte Menge an Co-Substrat, erzeugte Methanmenge im Biogasgroßversuch

Die vorhandenen Silagemengen aus den beiden Praxisversuchen (60 t Zuckerhirse, 69 t Sudangras, 81 t Mais) ermöglichten für jede Fruchtart eine Versuchsdauer von 22 - 26 Tagen bei Zugabe von 2 t Frischmasse/d. Die Substratqualität konnte anhand der Analyse zur Konzentration an vergärbaren Substanzen, dem Nährstoffverhältnis C : N : P : S und der geringen Hemmstoffkonzentration mit gut bis sehr gut eingestuft werden (Tab. 70). Die Grundlast der Biogasanlage wurde über die gesamte Versuchszeit mit 40 m³ Gülle/d und verschiedenen Co-Fermenten (Maissilage, Rindermist, Zuckerrüben und Schrot) gefahren. Die Zufuhr der einzelnen Komponenten der Grundlast sowie die erzeugten Methanmengen pro Tag sind als 5-Tages-Mittel der Abb. 62 zu entnehmen. Eine absolute Konstanz der Substratzufuhr konnte dabei im Praxisbetrieb nicht immer gewährleistet werden.

Tabelle 70: Substratqualität der Silagen aus den Praxisversuchen Sprotta und Paschwitz (2004)

Qualitäts-Parameter		ME	Fruchtarten		
			Mais	Zuckerhirse	Sudangras
Inhaltstoffe	Rohasche	[% i. d. TS]	4,85	6,64	5,95
	Rohfett		0,91	0,66	0,92
	Rohfaser		26,85	31,01	32,09
	Rohprotein		8,63	10,92	10,97
	stickstofffreie Extraktstoffe		58,76	49,79	50,07
Nährstoffe	Kohlenstoff	[% i. d. TS]	46,2	45,7	47,5
	Stickstoff		1,4	1,7	1,8
	Phosphor		0,2	0,2	0,2
	Schwefel		0,1	0,1	0,1
Hemmstoffe	Kupfer	[mg/kg TS]	3,07	5,79	4,52
	Zink		23,67	40,43	35,46
	Chrom		2,96	8,29	3,09
	Nickel		1,89	4,90	1,50
	Calcium		0,36	0,46	0,52
	Natrium	[g/kg TS]	0,32	0,35	0,32
	Kalium		17,35	23,11	20,72
	Magnesium		1,72	2,97	2,23

5 Wirtschaftlichkeit der Biomassebereitstellung zur Biogaserzeugung

In diesem Abschnitt wird die Wirtschaftlichkeit für den Einsatz von Mais-, Zuckerhirse- und Sudangrassilage als Coferment in einer Biogasanlage untersucht. Für die Berechnung wird eine 500 kW_{el}-Anlage gewählt, in der als Grundsubstrat Gülle von 1 800 Großvieheinheiten und die entsprechenden Silagen als Coferment eingesetzt werden. Die Anlagenparameter wie Verweilzeit, Raumbelastung, Volllaststunden, Wirkungsgrad u. a. entsprechen der derzeit in der Praxis anzutreffenden modernen Biogastechnologie (Tab. 71). Ausgehend von dieser Anlage werden die Wirtschaftlichkeitsberechnungen für zwei Varianten vorgenommen.

Tabelle 71: Technische Daten einer Biogasanlage mit Einsatz verschiedener Energiepflanzen als Coferment

	Maissilage 2005	Maissilage 2006	Zuckerhirse 2005	Zuckerhirse 2006	Sudan-gras 2005	Sudan-gras 2006
Anlage	Nawaro	Nawaro	Nawaro	Nawaro	Nawaro	Nawaro
Substrate	500 kW	500 kW	500 kW	500 kW	500 kW	500 kW
Großvieheinheit	1 800	1 800	1 800	1 800	1 800	1 800
Gülle	34 000 t/Jahr	34 000 t/Jahr	34 000 t/Jahr	34 000 t/Jahr	34 000 t/Jahr	34 000 t/Jahr
Maissilage	5 750 t/Jahr	5 250 t/Jahr				
Zuckerhirse			8 650 t/Jahr	8 000 t/Jahr		
Sudangrassilage					8 700 t/Jahr	6 950 t/Jahr
Planungsdaten						
Verweilzeit	40 Tage	40 Tage	40 Tage	40 Tage	40 Tage	40 Tage
Reaktorvolumen	4 350 m ³	4 300 m ³	4 700 m ³	4 600 m ³	4 700 m ³	4 900 m ³
TS- Gesamt	12,30 %	12,50 %	12,50 %	12,60 %	12,90 %	12,80 %
Raumbelastung	2,54 kg oTS/ m ³ * d	2,57 kg oTS/ m ³ * d	2,57 kg oTS/ m ³ * d	2,62 kg oTS/ m ³ * d	2,7 kg oTS/ m ³ * d	2,65 kg oTS/ m ³ * d
tägl. Menge Gülle	93 t	93 t	93 t	93 t	93 t	93 t
tägl. Cofermente	15,8 t	14,4 t	23,7 t	21,9 t	23,8 t	29,6 t
Volllaststunden	7 200 h	7 200 h	7 200 h	7 200 h	7 200 h	7 200 h
Wirkungsgrad	39,5	39,5	39,5	39,5	39,5	39,5
BHKW- Leistung	500 kW	500 kW	500 kW	500 kW	500 kW	500 kW
Max. Preis pro t Substrat	20,53 €	22,56 €	13,64 €	14,77 €	13,57 €	17,03 €
Max. Preis pro dt Substrat	2,05 €	2,26 €	1,36 €	1,48 €	1,36 €	1,70 €

Landwirt Preis pro dt Substrat						
Preis ohne DZ	2,73 €	6,08 €	2,22 €	3,13 €	2,93 €	4,15 €
Preis mit DZ	2,12 €	4,41 €	1,67 €	2,23 €	2,22 €	3,03 €

In Variante 1 werden für die pflanzlichen Rohstoffvarianten die Erträge und Stückkosten der Silagen Mais, Zuckerhirse und Sudangras eines Normaljahres (Witterungsbedingungen entsprechen etwa dem langjährigen Mittel) unterstellt. Hier werden für die leichten Standorte die mittleren Erträge des Versuchsjahres 2005 für einzelne Kulturen übernommen. Unter Einbeziehung der Verfahrenskosten, des Anbaus und der Silagebereitung (Vollkosten) sind die Bereitstellungskosten kalkuliert worden (Tab. 72).

**Tabelle 72: Ertrags- und Kostenparameter für den Einsatz der Energiepflanzen Mais, Zuckerhirse und Sudangras als Biogasrohstoff für ein normales Jahr (2005)
[Variante 1]**

Fruchtart		Mais	Zuckerhirse	Sudangras
Sorte		Fangio	Super Sile 20	Lussi
FM- Ertrag	[dt FM/ha]	569	633,88	487,29
TM- Ertrag	[dt TM/ha]	187,74	148,71	132,27
TS- Gehalt	[%]	32,00	26,00	28,00
oTS- Silage	[%]	94,68	93,15	94,68
Verluste	[%]	10	10	10
Netto FM	[dt FM/ha]	512,95	570,49	438,56
Netto TM	[dt TM/ha]	168,97	133,84	119,04

Gesamtkosten ohne DZ	[EUR/ha]	1 398,88	1 264,11	1 282,98
Stückkosten netto	[EUR/ dt FM]	2,73	2,22	2,93
Stückkosten	[EUR/ dt TM]	7,45	8,50	9,70

Gesamtkosten mit DZ	[EUR/ha]	1 088,88	954,11	972,98
Stückkosten netto	[EUR/ dt FM]	2,12	1,67	2,22
Stückkosten	[EUR/ dt TM]	5,80	6,42	7,36

TS... Trockensubstanz; oTS... organische Trockensubstanz; TM...Trockenmasse; FM...Frischmasse; DZ...Direktzahlung

Die Variante 2 charakterisiert die Ertragsbedingungen und Kosten eines Trockenjahres. Die Witterungssituation wird durch die Erträge und Kosten des Anbaus und der Silagebereitstellung des Versuchsjahres 2006 wiedergespiegelt (Tab. 73).

Tabelle 73: Ertrags- und Kostenparameter für den Einsatz der Energiepflanzen Mais, Zuckerhirse und Sudangras als Biogasrohstoff unter den Bedingungen eines Trockenjahres (2006), [Variante 2]

Fruchtart		Mais	Zuckerhirse	Sudangras
Sorte		Fangio	Super Sile 20	Lussi
FM- Ertrag	[dt FM/ha]	205,58	380,89	307,36
TM- Ertrag	[dt TM/ha]	69,03	99,01	106,27
TS- Gehalt	[%]	35,00	28,00	35,00
oTS- Silage	[%]	9496	93,62	94,97
Verluste	[%]	10	10	10
Netto FM	[dt FM/ha]	185,02	342,80	276,62
Netto TM	[dt TM/ha]	62,13	89,11	95,64

Gesamtkosten ohne DZ	[EUR/ha]	1 256,10	1 074,37	1 148,03
Stückkosten netto	[EUR/ dt FM]	6,08	3,13	4,15
Stückkosten	[EUR/ dt TM]	16,31	10,85	10,80

Gesamtkosten mit DZ	[EUR/ha]	815,61	764,37	838,03
Stückkosten netto	[EUR/ dt FM]	4,41	2,23	3,03
Stückkosten	[EUR/ dt TM]	11,82	7,72	7,89

TS... Trockensubstanz; oTS... organische Trockensubstanz; TM...Trockenmasse; FM...Frischmasse; DZ...Direktzahlung

Für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der Biogasanlage werden - wie meist in der Praxis anzutreffen - die Stromerlöse (Grundvergütung und KWK- Bonus nach EEG) mit einbezogen. Weiter wird davon ausgegangen, dass die Substrate in einer betriebseigenen Biogasanlage zum Einsatz kommen und deshalb nur die reinen Substratkosten geltend gemacht werden. Für die Berechnung der Fixkosten, des Wartungsaufwandes, Stromzukauf, Arbeitskraftkosten sowie für die Versicherung wurden durchschnittliche Kostensätze verwendet. (Anhangstab. A 25). In der Modellkalkulation werden die Einnahmen (Stromerlöse) und Kosten des Anlagebetriebes jeweils je Tonne Substrat ausgewiesen. Die Betrachtung der Kosten-Erlös-Relation erfolgt dabei ohne und mit Direktzahlungsprämie.

Aus der ökonomischen Berechnung für das „Normaljahr“ (Bedingungen 2005) geht hervor, dass nur der Einsatz von Maissilage als Coferment in etwa kostendeckend ist, wenn die Direktzahlung als Bonus in die Kalkulation mit einfließt. Ohne Direktzahlung entstehen Verluste von ca. 8 Euro/t Maissubstrat. Unter den ertragsungünstigen Bedingungen eines Trockenjahres mit relativ hohen Substratkosten (vergl. Tab. 72) führt der Maiseinsatz in der Biogasanlage zu deutlichen Verlusten

von ca. 18 Euro je Tonne Frischmasse. Die Direktzahlungen können dabei den Verlust nur halbieren (Abb. 63).

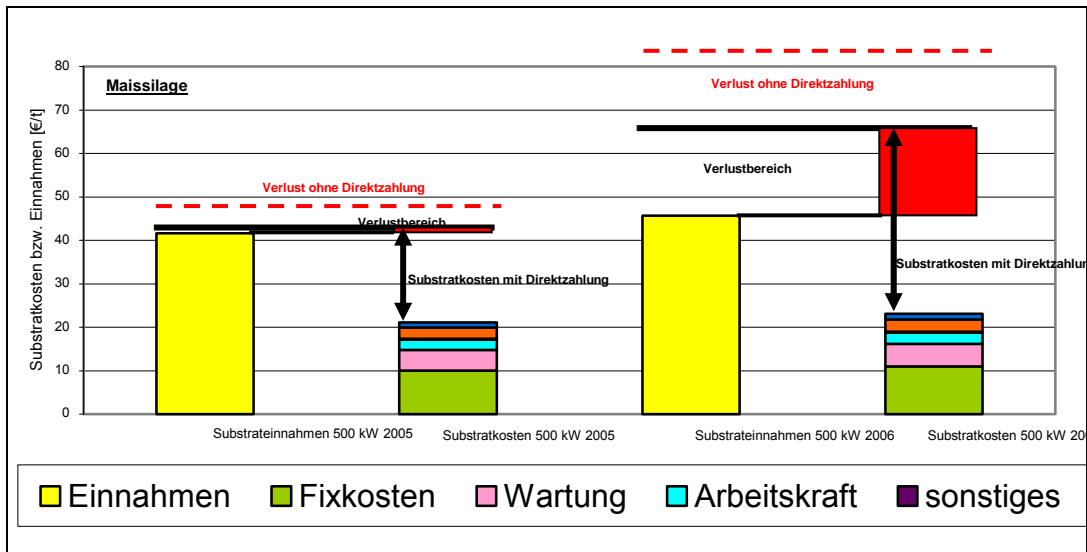


Abbildung 63: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung beim Einsatz von Maissilage als Coferment in einer Biogasanlage Bedingungen eines Normal- (2005) und Trockenjahres (2006)

Der Anlagenbetrieb mit Sudangrassilage als Coferment führt in den beiden Varianten zu Verlusten (Abb. 64). Dabei ist hervorzuheben, dass die Verlustrate in Variante 2 (Trockenjahr 2006) beim Sudangras auf Grund des höheren Ertrages und der niedrigen Stückkosten um etwa 7 % geringer ausfällt (Tab. 73).

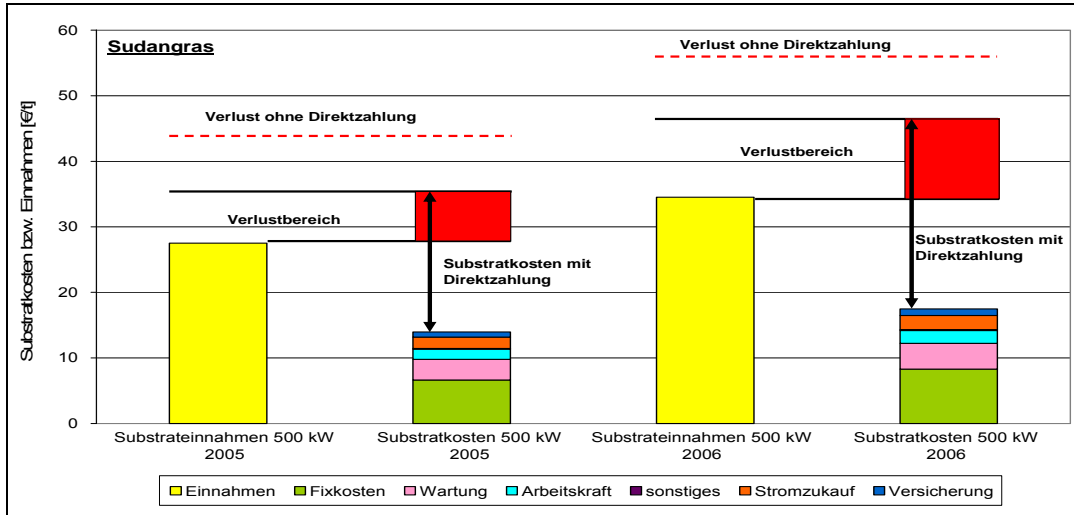


Abbildung 64: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung beim Einsatz von Sudangrassilage als Coferment in einer Biogasanlage (500 kW) unter den Bedingungen eines Normal- (2005) und Trockenjahres (2006)

Die Berechnungen unter Einsatz von Zuckerhirsesilage liefern die Aussage, dass im Normaljahr (2005) auch bei der im Vergleich zum Sudangras ertragsstärksten Zuckerhirse mit leichten Verlusten (4 Euro/t Substrat) zu rechnen ist (Tab. 73, Abb. 65). Die Kosten-Erlös-Berechnung für das Trockenjahr (2006) belegen, dass mit der Zuckerhirse die geringsten Verluste verbunden sind.

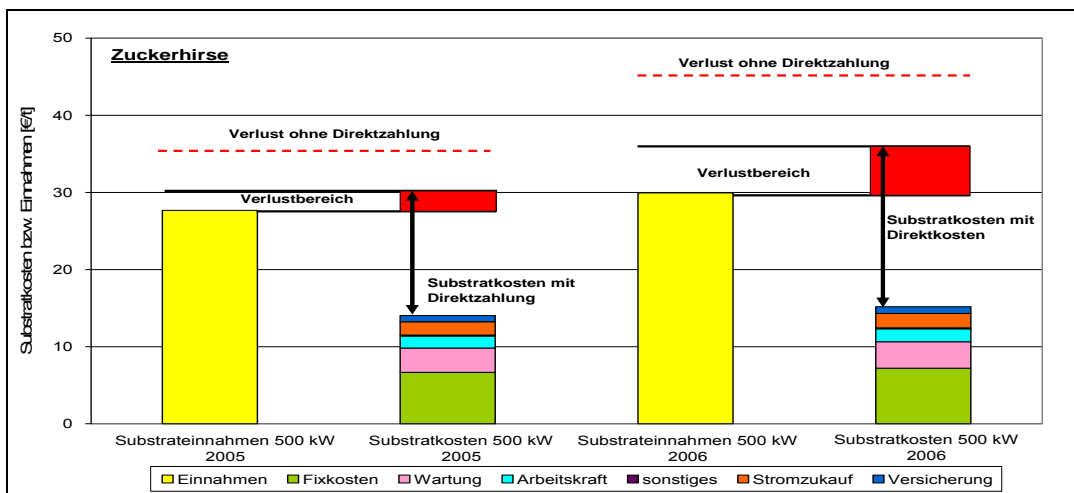


Abbildung 65: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung beim Einsatz von Zuckerhirsesilage als Coferment in einer Biogasanlage (500 kW) unter den Bedingungen eines Normal- (2005) und Trockenjahres (2006)

Zusammenfassende Bewertung

Generell machen die Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen deutlich, dass die Nutzung der Energiepflanzen Mais, Sudangras und Zuckerhirse für die Biogasproduktion in Trockengebieten Deutschlands aus ökonomischer Sicht kritisch zu bewerten ist. Am ehesten ist der Einsatz von Mais bei hohem Ertragsniveau zu befürworten. Abgeleitet aus Einzelergebnissen besitzen aber auch Zuckerhirsesorten wie „Sugargraze“ und „Goliath“ ein vergleichbares höheres Ertragspotenzial, das eine wirtschaftliche Anwendung als Biogasrohstoff rechtfertigen würde. Die Ergebnisse der Variante 2 (Trockenjahr) deuten zu dem an, dass Zuckerhirse wie auch Sudangras die ökonomischen Verluste einzuschränken vermögen. Unter solchen Bedingungen können die sehr trockenintoleranten Hirsen das Risiko stärkerer Ertragsausfälle besser abfedern als Mais. Insgesamt unterstreicht die ökonomische Analyse, dass die Direktzahlung für die Energiepflanzenanbau ein wirtschaftlich stabilisierendes Element darstellt. Der alleinige Stromerlös ist nicht ausreichend, um die Gewinnzone für die Cofermente stabil zu sichern. Wirtschaftlichkeit wie auch Energie- und CO₂-Einsparungseffizienz erfordern dringlich die Wärmenutzung im Anlagenbetrieb. Als Fazit ist weiter hervorzuheben, dass die Sorghumhirsen bei dem sich abzeichnenden Leistungsvermögen neuer Sorten durchaus über ein interessantes Ertrags- und Wirtschaftlichkeitspotenzial als Biogasrohstoff verfügen.

6 Zusammenfassung

In mehrjährigen Untersuchungen (2004 – 2006) wurden die Sorghumhirsen Zuckerhirse und Sudangras in der Ertrags- und Biogasleistung mit Energiemais verglichen. Die Untersuchungen bezogen sich auf leichte diluviale Standorte (Ackerzahl 26 – 30) des mitteldeutschen Trockengebietes mit dem Ziel, das Kulturartenspektrum für die Nutzung als Biogasrohstoff zu erweitern. Unter diesen bodenklimatischen Bedingungen wurde der Einfluss der Sorte, des Erntetermins und der N-Düngung auf den Trockenmasseertrag, die gärchemischen Eigenschaften und die Biogas- und Methanausbeute der Substrate untersucht. Die Ergebnisse lassen sich zu folgenden Aussagen zusammenfassen:

Im Fazit der mehrjährigen **Sortenprüfungen** ist festzustellen, dass die Energiemaissorten in Jahren mit ausreichend Niederschlägen den Sorghumhirsen im Ertrag überlegen sind. Diese erreichten etwa 60 – 67 % des Ertragsniveaus der Maissorten, das im Mittel mit 140 dt TM/ha abgegeben wird.

Bei großer Trockenheit (Versuchsjahr 2006) mindern die Sorghumhirsen das Ertragsrisiko auf leichten Böden. Sie sicherten unter solchen Bedingungen einen mittleren bis hohen Ertrag, der 30 – 40 % über dem Ertrag der Energiemaissorten lag. Aus den dreijährigen Untersuchungen (Stand 2006) sind für den Anbau die Maissorten „Gavott“ und „Fangio“ und die Zuckerhirsesorten „Sugargraze“ und „Super Sile 20“ sowie die Sudangrassorte „Lussi“ zu empfehlen.

Für die Ausbildung eines hohen Ertrages an vergärbare Trockensubstanz kommt dem **Erntetermin** im Mais- und Sorghumhirseanbau eine sehr entscheidende Bedeutung zu. Für den Mais zeichnete sich dabei das Entwicklungsstadium der Teigreife, für Zuckerhirse das der Milchreife und für Sudangras das volle Rispenstadium als optimaler Erntetermin ab. Dadurch werden günstige Trockensubstanzgehalte von $28 \geq 31$ % für die Silierung und Umsetzung des Substrates zu Biogas erreicht.

Parallel zur Trockensubstanzzunahme stieg der Ertrag bei allen Kulturarten deutlich an.

Zum Einfluß **steigender N-Gaben** auf den Ertrag moderner Sorghumhirsesorten liegen wenige Angaben vor. Mehrjährige N-Steigerungsversuche belegen, dass bei einem hohen N_{\min} -Gehalt in der Ackerkrume etwa 50 – 100 kg N/ha als zusätzliche Düngergabe in ein bis zwei Teilgaben nach der Aussaat bis zum Bestandesschluss erforderlich sind. Sie wirken ertragssteigernd und erhöhen den Biogas- und Methanertrag.

Die Versuche erlauben auch den Hinweis, dass die Zuckerhirse in der Ertragsentwicklung stärker als das Sudangras auf zusätzliche N-Gaben anspricht.

Aus den mehrjährigen Untersuchungen lassen sich für die leichten Standorte repräsentative Richtwerte zum **Nährstoffgehalt und -entzug** für die Energiemais- und Sorghumhirsesorten ableiten. Sie bringen zum Ausdruck, dass zwischen den Arten und Sorten nur marginale Unterschiede bestehen.

Generell gilt für die Arten und Sorten die Aussage, dass die mineralische Zusammensetzung wesentlich durch die Nährstoffe Stickstoff (1,5 % - 1,6 % N in d. TS) und Kalium (1,31 - 1,79 % in d. TS) bestimmt wird. Für die Gehalte an Phosphor und Magnesium sind Konzentrationen von 0,21 - 0,24 % Phosphor (P) und 0,2 - 0,3 % Magnesium (Mg) festgestellt worden. Bei generell geringen Unterschieden zwischen den Kulturarten ist der etwas höhere Kalium- und Magnesiumbedarf der Zuckerhirse hervorzuheben.

Im **Nährstoffverhältnis** (C : N : P : S) bewegen sich die untersuchten Silageproben der Fruchtarten Mais, Zuckerhirse und Sudangras dicht um das für die biogasproduzierenden Mikroorganismen günstige Verhältnis von 600 : 15 : 5 : 1. Durch Variation der Schnittzeiten und N-Düngung lässt sich das Nährstoffverhältnis steuern und beeinflussen. Danach ist für ein günstiges Verhältnis für Zuckerhirse das Entwicklungsstadium Milchreife, für Sudangras die Phase volles Rispenstadium und für Mais die Reifephase Milch- bis Teigreife anzustreben. Mineralische Stickstoffgaben bewirken einen deutlichen Anstieg des Stickstoffanteils in der Silage von Zuckerhirse und Sudangras, besonders zur frühen Ernte.

In der **gärchemischen Substratzusammensetzung** der Silagen konnten vor allem fruchtartenspezifische Unterschiede festgestellt werden. Die Maissorten zeichnen sich im Mittel durch höhere

Gehalte an N-freien Extraktstoffen (59 % Mais; 50 % Zuckerhirse, Sudangras) und niedrigere Konzentrationen an Rohfasern (Mais 24 %; Zuckerhirse; Sudangras ca. 31 %) und Rohasche (Mais 5 %; Zuckerhirse, Sudangras 6 – 7 %) gegenüber den Sorghumhirsen aus. Rohproteine und Rohfette liegen in gleicher Größenordnung vor. Auf Grund dieser Zusammensetzung werden für Mais höhere theoretische Biogasausbeuten (567 l/kg oTS) als für Zuckerhirse (450 l/kg oTS) und Sudangras (460 l/kg oTS) berechnet. Von der mineralischen N-Düngung geht kein die theoretischen Biogasausbeute fördernder Impuls aus. Über den Erntetermin ist mehrheitlich eine Steigerung des theoretischen Biogas-Methan-Ertrages nachgewiesen worden. Als optimale Erntetermine konnten die Entwicklungsstadien der Teigreife (Mais), des vollen Rispschiebens (Sudangras) und der Milchreife (Zuckerhirse) ermittelt werden.

Ab einer bestimmten Konzentrationsstufe wirken verschiedene **Makronährstoffe** (Kalzium, Kalium, Magnesium) und **Spurenelemente** (Kupfer, Zink) sowie **Schwermetalle** (Nickel, Chrom) in der pflanzlichen Trockenmasse hemmend auf den Biogasbildungsprozess. Diesbezüglich waren bei den untersuchten Mais- und Sorghumhirsensilagen insgesamt keine erhöhten, den Vergärungsprozess nachteilig beeinflussenden Gehalte, auch in Abhängigkeit anbautechnischer Maßnahmen wie Sorte, Erntetermin und N-Düngung erkennbar. Im Einzelnen liegt bei den Zuckerhirse- und Sudangrassorten ein etwas höherer Zink-, Kalium und Kupfergehalt als bei den Maissorten vor. Bezüglich der anderen untersuchten Hemmstoffe bestehen keine sortenspezifischen Unterschiede. Mit einer gesteigerten Faulraumbelastung nimmt die Hemmstoffkonzentration, vorrangig bei Kalium, Kupfer und Zink, im Fermenter zu. Die Werte liegen aber weit unter der für die Mikroorganismen toxisch wirkenden Konzentrationsschwelle.

Bei der Beurteilung der **Biogasproduktion** wurden mit Hilfe von Batchversuchen die Silageproben der Energiemais- und Sorghumhirsen bezüglich der **Biogas-/Methanausbeute** je Kilogramm organische Trockensubstanz analysiert und die **Hektarerträge** an Biogas und Methan bestimmt.

Jahres- und sortenabhängig konnten dabei im Methanertrag je Hektar als der wirtschaftlich entscheidenden Kenngröße der Biogasproduktion deutliche Unterschiede festgestellt werden. Von den geprüften Sorten kristallisierten sich die Maissorte „Fangio“ mit jahresabhängigen Methanerträgen (2 040 – 6 800 m³ Methan/ha) und die Zuckerhirsensorten „Super Sile 20“ und „Sugargraze“ (Jahreserträge von 2 300 – 6 300 m³ Methan/ha) als leistungsstärkste Sorten auf den leichten Standorten heraus. Von den geprüften Sudangrassorten schnitt „Susu“ (1 500 m³ - 4 300 m³ Methan/ha) am besten ab. Während die Maissorten in den niederschlagsreichen Jahren 2004 und 2005 höhere Methanerträge als die Sorghumhirsen erreichten, konnten letztere vor allem unter sehr trockenen Witterungsbedingungen (Versuchsjahr 2006) stabil hohe Methanerträge nachweisen.

Durch eine Verlagerung des Erntetermins von einem frühen Schnittzeitpunkt (Beginn der generativen Phase) zu einem späteren Entwicklungsstadium (Milch-/Teigreife) konnte ein Mehrertrag von

durchschnittlich 900 m³ Methan/ha für die Mais- und Sorghumsorten nachgewiesen werden. Dafür ist hauptsächlich der höhere Trockensubstanzgehalt in der Biomasse verantwortlich.

Auch eine zusätzliche N-Düngung wirkte sich sowohl bei der Zuckerhirse als auch beim Sudangras positiv auf den Methanertrag je Hektar aus. Die Effekte sind aber geringer als beim Erntetermin einzustufen.

Die auf der Basis der **Praxisversuche** kalkulierten **Bereitstellungskosten** für Mais und Sorghumhirsens als Co-Substrat in einer typischen Biogasanlage (500 kW) zeigen, dass die Nutzung dieser Energiepflanzen aus ökonomischer Sicht kritisch zu bewerten ist.

Am ehesten ist der Einsatz von Energiemais und Zuckerhirse bei hohem Ertragsniveau zu befürworten. Allerdings zeigen die Kalkulationen auch, dass in einem Trockenjahr Sudangras und Zuckerhirse die ökonomischen Verluste einzuschränken vermögen. Die **ökonomische Analyse** des Anlagebetriebes macht darüber hinaus deutlich, dass der alleinige Stromerlös nicht ausreicht, um die Gewinnzone für die Energiepflanzen stabil zu sichern.

Gleichwohl ist zu konstatieren, dass die Sorghumhirsens bei weiterer Ausschöpfung des Ertragspotenzials ein wirtschaftlich interessantes Co-Substrat für Biogasanlagen darstellen können.

7 Literaturverzeichnis

- AMON, T., HACKL, E., JEREMIC, D., AMON, B. (2002): Kofermentation von Wirtschaftsdüngern mit Energiegräsern in Landwirtschaftlichen Biogasanlagen: Optimierung der Gärgutmischung und des Biogasertrages
- AMON, T., KRYVORUCHKO, V., AMON, B., ZOLLITSCH, W., MAYER, K., BUGA, S., AMID, A. (2003): Biogaserzeugung aus Mais – Einfluss der Inhaltsstoffe auf das spezifische Methanbildungsvermögen, Beitrag zur 54. Tagung der Vereinigung der Pflanzenzüchter und Saatgutkaufleute Österreichs vom 25. – 27. November 2003
- AMON, T., KYVORUCKO, V., AMON, B., MOITZI, G., BUGA, S., LYSON, D.-F., HACKL, E., JEREMIC, D., ZOLLITSCH, W. (2003): Optimierung der Biogaserzeugung aus den Energiepflanzen Mais und Kleegrass
- BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (2004): Biogashandbuch Bayern
- BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (2004): Versuchsergebnisse aus Bayern – Unkrautbekämpfungsmaßnahmen Ackerbau und Grünland
- BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (2004): Versuchsergebnisse aus Bayern – Unkrautbekämpfungsmaßnahmen Ackerbau und Grünland
- BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (2005): Energiemaiszüchtung Maissorten für die Biogasanlage
- BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (2005): Methanproduktivität nachwachsender Rohstoffe in Biogasanlagen

- BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (2005): Versuchsergebnisse aus Bayern – Unkrautbekämpfungsmaßnahmen Ackerbau und Grünland
- BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (2005): Was kosten Substrate frei Fermenter?
- BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (2006): Versuchsergebnisse aus Bayern – Unkrautbekämpfungsmaßnahmen Ackerbau und Grünland
- BLUDAU, D. (1992): Zuckerhirse, der neue Energie-Typ, Artikel in Agrar-Übersicht, Ausgabe 10/1992, Seiten 70 – 71
- BLUDAU, D., STREHLER, A. (1992): Zuckerhirse – Bereitstellung und Nutzung als Energiepflanze, Artikel in Landtechnik, 47 Jahrg. 11-92, Seiten 559 – 561
- BLUDAU, D.-A. (1994): Verfahrenstechnische Voraussetzung zur Ernte der Zuckerhirse als Energiepflanze, Forschungsbericht Agrartechnik des Arbeitskreises Forschung und Lehre der Max-Eyth-Gesellschaft 249
- BML (2000): Biogas – eine natürliche Energiequelle
- BRÜCKNER, C.: Vortrag: „Wirtschaftliche Gesichtspunkte zum Co-Fermenteinsatz in Biogasanlagen“ in der Fachveranstaltung am 14.03.2007 in Leipzig
<http://www.landwirtschaft.sachsen.de/de/wu/Landwirtschaft/lf/inhalt/11388.htm>
- CZEPUCK, K., OECHSNER, H., SCHUMACHER, B., LEMMER, A. (2006): Biogasausbeuten im Labor im Vergleich zur rechnerischen Abschätzung, Artikel in Landtechnik, Ausgabe 2/2006, Seiten 82 – 83
- DAMBROTH, M., EL BASSAM, N., SEIDEWITZ, L. (1993): Evaluierungsdaten zur Zuckerhirse Sorghum Bicolor L., Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL)
- DAMBROTH, M., EL BASSAM, N., SEIDEWITZ, L. (1993): Evaluierungsdaten zur Zuckerhirse Sorghum Moench, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL)
- DAMM, F. (2006): Was Biomasse jetzt kosten darf, in DLG-Mitteilungen, Ausgabe 11/2006, Seite 28 - 29
- EDER, B., SCHULZ, H. (2006): Biogas Praxis – Grundlagen, Planung, Anlagenbau, Beispiele, Wirtschaftlichkeit
- EGHBAL, K. (1993): Einfluss von Standort und variierten Stickstoffgaben auf die Ertragsleistung und Biomassequalität von Zuckerhirse als möglicher nachwachsender Energierohstoff, Artikel in Agribiological Research
- FACHVERBAND BIOGAS E.V.: Tagungsband der 16. Jahrestagung des Fachverbandes Biogas e.V. „Biogas im Wandel“, vom 31.01.2007 – 02.02.2007 in Leipzig
- FARRAHI-ASCHTIANI, K. (1964): Komplexe Saatzeiten-, Schnitzeit-, Stickstoffdüngerversuche zum Studium der Entwicklung und Futterleistung von Sorghum saccharatum, Dissertation an der Justus-Liebig-Universität in Gießen
- FNR (2005): Ergebnisse des Biogas-Messprogramms
- FNR (2005): Handreichung Biogasgewinnung und -nutzung
- FÜRBETH, H. (1963): Vergleichende Untersuchungen über die Anbaumöglichkeiten von Sorghum-Varietäten in kontinentalen und gemäßigten Klima
- GÖMANN, H., KREINS, P. (2006): Biomassepotenziale in Deutschland

- HEIERMANN, M., PLÖCHL, M. (2003): Biogas in der Landwirtschaft, Leitfaden für Landwirte und Investoren im Land Brandenburg, 2. überarbeitete Auflage
- HEYLAND, K. U., HANUS, H., KELLER, R. (Hrsg) (2006): Ölfrüchte, Faserpflanzen, Arzneipflanzen und Sonderkulturen. Handbuch des Pflanzenbaus Band 4, 5.5 Sorghumhirsen; Eugen Ulmer Verlag
- JEROCH, H., FLACHOWSKY, G., WEIßBACH, F. (1993) Futtermittelkunde
- KHOSLA, R., ALLEY, M. M., DAVIS, P. H. (2000): Nitrogen Management in No-Tillage Grain Sorghum Production: I Rate and Time of Application, in Agronomy Journal 92
- KOCH, H.: „Energiepflanzenproduktion Verwertungsmöglichkeiten Thermische Verwertung, Bioethanol, Biogas, BTL in der Fachberatung der Saaten-Union
- KRIEG, A., FISCHER, T. (2000): Grasvergärung aus wissenschaftlicher Sicht
- KÜCHLER, W., SOMMER, W. (2005): Klimawandel in Sachsen, Sachstand und Ausblick 2005
- LEIBLE, L., KAHNT, G. (1991): Untersuchungen zum Einfluss von Standort, Saatstärke, N-Düngung, Sorte und Erntezeitpunkt auf den Ertrag und die Inhaltsstoffe von Zuckerhirse, Artikel in Journal Agronomy & Crop Science, 166
- LINKE, B., VOLLMER, G. R.: Kofermentation: Gemeinsame Vergärung von Gülle und pflanzlicher Biomasse in kontinuierlichen Laborversuchen, in Bornimer Agrartechnische Berichte 32
- MÄHNERT, P., LINKE, B.: „Einfluss der Faulraumbelastung auf die Gasausbeute von Gülle und nachwachsenden Rohstoffen“ auf der Biogasfachtagung der Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen am 15. April 2005
- NIOPEK, J. (1960): Der Einfluss der Klimafaktoren Licht, Temperatur und Niederschlag auf Wachstum, Entwicklung und Ertragsbildung bei Mais und Sorghumarten, Dissertation an der Justus-Liebig-Universität Gießen
- OECHSNER, H., LEMMER, A., NEUBERG, C. (2003): Feldfrüchte als Gärsubstrat in Biogasanlagen, Artikel in Landtechnik 3/2003, Seiten 146 - 147
- PLÖCHL, M., KENKMANN, T., LUCKHAUS, C., GRUNDMANN, P. (2007): „Wirtschaftlichkeit von Biogasanlagen“ im Biokraftstoffseminar im TGZ Rathenow vom 26. April 2007
- PLÖCHL, M.: (2007): Tipps zum effizienten Anlagenbetrieb, Artikel in der Bauerzeitung, Ausgabe 21/2007, Seiten 27 – 29
- PÖTSCH, E. M., RESCH, R. (2005): Einfluss unterschiedlicher Bewirtschaftungsmaßnahmen auf den Nährstoffgehalt von Grünland, Beitrag zum 32. Viehwirtschaftlichen Fachtagung vom 13. – 14. April 2005
- REICHARDT, I. (2006): Die Energiepflanze von morgen? Sudangras im Vergleich mit anderen nachwachsenden Rohstoffen, Artikel in Neue Landwirtschaft, Ausgabe 2/2006, Seiten 53 - 55
- REINHOLD, G (2005): Masse- und Trockensubstanzbilanz in landwirtschaftlichen Biogasanlagen, Langfassung der Veröffentlichung „Genau bilanzieren“ in Neue Landwirtschaft Heft 12/2005 S. 68 – 72
- REINHOLD, G. (2005): Vortrag „Prozessgestaltung für den Einsatz von Nachwachsende Rohstoffen“ auf der TerraTec/enertec – Leipzig am 10.02.2005

- RICHTER, W. (2006): Trockenheit begünstigt Maisbeulenbrand.
(<http://www.lfl.bayern.de/ite/futterkonservierung/21731/index.php>)
- SÄCHSISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (2006): Wirksamkeit von Herbiziden in Gräsern und Zwischenfrüchten – Versuchsjahr 2006,
- SCHAERFF, A.: Vortrag: „Verfahrensbewertung verschiedener Pflanzenprodukte zur energetischen Verwertung“, in der Fachveranstaltung am 14.03.2007 in Leipzig
(<http://www.landwirtschaft.sachsen.de/de/wu/Landwirtschaft/lfl/inhalt/11388.htm>)
- SCHULTE, M., HORSTMANN, F. (2007): Sorghum – eine „neue“ alte Kulturart – Tipps für den Anbau im nördlichen Mitteleuropa, Artikel in Mais, Ausgabe 1/2007, Seiten 29 - 32
- SHAABAN, K.: Der Einfluss der Düngung und des Nährstoffverhältnisses auf die Entwicklung und Ertragsleistung von Mais und Sorghum als Futterpflanze, Dissertation an der Justus-Liebig-Universität in Gießen, 1962
- SONTHEIMER, A. (2005): Mit Energiemais auf der Überholspur, Artikel in Energiepflanzen, Ausgabe III/2005, Seiten 11 - 13
- SOBNA, R. (2007): in Forum. new Power, magazin für erneuerbare rohstoffe und energien, Seite 34, Ausgabe Februar 2007
- STICKSEL, E., PRESTELE, H. (2006): Sorghum Variety Screening
- STREHLER, A., STÜTZLE, W., BLUDAU, D.-A. (1987): Technische Vorschläge zur Gewinnung von Zucker, Futtermittel und Ethanol aus Zuckerhirse in Bezug auf die Verfahrensschritte vom Anbau bis zum Endprodukt unter besonderer Beachtung der Wirtschaftlichkeit
- VDI-RICHTLINIE 4630: Vergärung organischer Stoffe Substratcharakterisierung, Probenahme, Stoffdatenerhebung, Gärversuche; 2005
- ZELLNER, M. Et al. (2007): Der Maiszünsler in Bayern.
(http://www.lfl.bayern.de/ips/blattfruechte_mais/25671/index.php)

8 Anhang

A 1: Stickstoffbilanzierung der Sortenversuche mit Energiemais (2004 - 2006)

Jahr	Sorte	Standort	N _{min} - VegBeg.	min. Düngung	Entzug	N _{min} -VegEnde.	Netto-mineralisierung
			[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[kg N/ha]
2004	Novadour	Paschwitz	29	90	195	99	-175
	Fangio		29	90	169	99	-149
2005	Fangio	Thiendorf	44	75	211	17	-109
	Fangio	Trossin	96	55	203	60	-112
	Gavott	Thiendorf	44	75	192	12	-85
	Gavott	Trossin	96	55	262	17	-128
2006	Fangio	Thiendorf	42	80	105	87	-70
	Fangio	Trossin	85	70	146	91	-82
	Gavott	Thiendorf	42	80	97	56	-31
	Gavott	Trossin	85	70	136	67	-48

A 2: Stickstoffbilanzierung der Sortenversuche mit Zuckerhirse (2004 - 2006)

Jahr	Sorte	Standort	N _{min} - VegBeg.	min. Düngung	Entzug	N _{min} -VegEnde	Netto-mineralisierung
			[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[kg N/ha]
2004	Super Sile 18	Paschwitz	29	90	146	57	-84
	Super Sile 20		29	90	126	57	-64
2005	Super Sile 10	Thiendorf	44	75	146	12	-39
	Super Sile 10	Trossin	96	50	149	33	-36
	Super Sile 15	Güterfelde	25	75	172	15	-87
	Super Sile 20	Thiendorf	44	75	156	13	-50
	Super Sile 20	Trossin	96	50	208	10	-72
	Super Sile 20	Güterfelde	25	75	184	5	-89
	Friggo	Güterfelde	25	75	158	11	-69
	Sugargraze	Güterfelde	25	75	259	15	-174
2006	Rona	Thiendorf	42	80	102	76	-56
	Rona	Trossin	85	60	172	61	-88
	Super Sile 15	Güterfelde	36	100	246	10	-120
	Super Sile 20	Thiendorf	42	80	95	51	-25
	Super Sile 20	Trossin	85	60	136	56	-47
	Super Sile 20	Güterfelde	36	100	310	11	-185
	Friggo	Güterfelde	36	100	49	56	31
	Sugargraze	Güterfelde	36	100	264	11	-139

A 3: Stickstoffbilanzierung der Sortenversuche mit Sudangras (2004 - 2006)

Jahr	Sorte	Standort	N _{min} - VegBeg.	min. Düngung	Entzug	N _{min} - VegEnde	Netto-mineralisierung
			[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[kg N/ha]
2004	Vercors	Paschwitz	29	90	77	84	-42
	Susu		29	90	102	84	-67
2005	Susu	Thiendorf	44	75	194	16	-91
	Susu	Trossin	96	70	135	18	13
	Susu	Güterfelde	25	75	189	9	-98
	Lussi	Thiendorf	44	75	140	16	-37
	Lussi	Trossin	96	70	164	22	-20
	Lussi	Güterfelde	25	75	169	7	-76
	Akklimat	Güterfelde	25	75	163	6	-69
	GK Csaba	Güterfelde	25	75	188	8	-96
2006	Susu	Thiendorf	42	80	138	76	-92
	Susu	Trossin	85	60	128	30	-13
	Susu	Güterfelde	36	100	215	9	-88
	Lussi	Thiendorf	42	80	134	55	-67
	Lussi	Trossin	85	60	116	24	5
	Lussi	Güterfelde	36	100	219	5	-88
	Akklimat	Güterfelde	36	100	192	23	-79
	GK Csaba	Güterfelde	36	100	228	7	-99

A 4: Stickstoffbilanzierung der Ernteterminversuche (2004 - 2005)

Jahr/ Standort	Fruchtart/ Sorte	Ernte	N _{min} - VegBeg.	min. Düngung	Entzug	N _{min} - VegEnde	Netto-mineralisierung
			[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[kg N/ha]
2004/ Sprotta	Mais/ Fan- gio	1. Ernte	120	73	133	29	31
		2. Ernte	120	73	127	29	37
	ZH/ Super Sile 20	1. Ernte	120	73	109	21	63
		2. Ernte	120	73	81	21	91
	SG/ Ver- cors	1. Ernte	120	73	100	32	61
		2. Ernte	120	73	120	32	41
2005/ Wöllnau	Mais/ Fan- gio	1. Ernte	22	100	182	35	-96
		2. Ernte	22	100	222	35	-136
	Mais/ Ga- vott	1. Ernte	22	100	201	37	-117
		2. Ernte	22	100	239	37	-154
	ZH/ Super Sile 15	1. Ernte	22	100	163	49	-90
		2. Ernte	22	100	152	49	-79
	ZH/ Super Sile 20	1. Ernte	22	100	134	45	-57
		2. Ernte	22	100	185	45	-108
	SG/Susu	1. Ernte	22	100	125	18	-22
		2. Ernte	22	100	139	18	-35
	SG/Lussi	1. Ernte	22	100	161	59	-98
		2. Ernte	22	100	140	59	-77

A 5: Stickstoffbilanzierung der N-Düngeversuche mit der Sudangrassorte Susu (2005 - 2006)

Jahr	Sorte	Variante	N _{min} -	min.	Entzug	N _{min} -	Netto-
			VegBeg.	Düngung		VegEnde	
			[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[kg N/ha]
2005	Susu	0 kg N/ha; 1 Ernte	60	0	101,1	5	-46,1
	Susu	50 kgN/ha; 1 Ernte	60	50	124,1	4	-18,1
	Susu	100 kgN/ha; 1 Ernte	60	100	133,2	8	18,8
	Susu	150 kgN/ha; 1 Ernte	60	150	140,3	18	51,7
	Susu	0 kg N/ha; 2. Ernte	60	0	174	4	-118
	Susu	50 kgN/ha; 2. Ernte	60	50	208	7	-105
	Susu	100 kgN/ha; 2. Ernte	60	100	226	9	-75
	Susu	150 kgN/ha; 2. Ernte	60	150	237	12	-39
2006	Susu	0 kg N/ha; 1 Ernte	36	0	138	10	-112
	Susu	50 kgN/ha; 1 Ernte	36	50	137	10	-61
	Susu	100 kgN/ha; 1 Ernte	36	100	163	8	-35
	Susu	150 kgN/ha; 1 Ernte	36	150	168	40	-22
	Susu	0 kg N/ha; 2. Ernte	36	0	139	4	-107
	Susu	50 kgN/ha; 2. Ernte	36	50	178	7	-99
	Susu	100 kgN/ha; 2. Ernte	36	100	199	9	-72
	Susu	150 kgN/ha; 2. Ernte	36	150	222	25	-61

A 6: Stickstoffbilanzierung der N-Düngeversuche mit der Zuckerhirsesorte Super Sile 20 (2005 - 2006)

Jahr	Sorte	Variante	N _{min} -	min.	Entzug	N _{min} -	Netto-
			VegBeg.	Düngung		VegEnde	
			[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	lisierung
			[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[kg N/ha]
2005	Super Sile 20	0 kg N/ha; 1 Ernte	60	0	160	11	-111
	Super Sile 20	50 kgN/ha; 1 Ernte	60	50	183	7	-80
	Super Sile 20	100 kgN/ha; 1 Ernte	60	100	235	5	-80
	Super Sile 20	150 kgN/ha; 1 Ernte	60	150	263	14	-67
	Super Sile 20	0 kg N/ha; 2. Ernte	60	0	147	5	-92
	Super Sile 20	50 kgN/ha; 2. Ernte	60	50	183	4	-77
	Super Sile 20	100 kgN/ha; 2. Ernte	60	100	183	9	-32
	Super Sile 20	150 kgN/ha; 2. Ernte	60	150	203	8	-1
2006	Super Sile 20	0 kg N/ha; 1 Ernte	36	0	167	6	-137
	Super Sile 20	50 kgN/ha; 1 Ernte	36	50	215	7	-136
	Super Sile 20	100 kgN/ha; 1 Ernte	36	100	268	10	-142
	Super Sile 20	150 kgN/ha; 1 Ernte	36	150	300	18	-132
	Super Sile 20	0 kg N/ha; 2. Ernte	36	0	176	9	-149
	Super Sile 20	50 kgN/ha; 2. Ernte	36	50	159	9	-82
	Super Sile 20	100 kgN/ha; 2. Ernte	36	100	193	16	-73
	Super Sile 20	150 kgN/ha; 2. Ernte	36	150	239	30	-83

A 7: Hemmstoffgehalte in Maissilagen (Sortenversuche 2004 - 2006)

Jahr	Sorte	Standort	B_R = 2,0 kg oTS/m³ * d; BRT = 30 Tage							
			Cu	Zn	Cr	Ni	Ca	Na	K	Mg
			[mg/l]					[g/l]		
2004	Fangio	Paschwitz	0,2	1,8	0,2	0,1	0,0	0,0	1,0	0,1
	Novadour	Paschwitz	0,3	1,9	n.b.	n.b.	0,0	0,0	1,0	0,2
2005	Fangio	Thiendorf	0,3	1,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,6	0,1
		Trossin	0,3	1,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,6	0,1
	Gavott	Thiendorf	0,3	2,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,6	0,1
		Trossin	0,3	1,5	0,1	0,0	0,0	0,0	0,6	0,1
2006	Fangio	Thiendorf	0,1	2,5	0,1	0,0	0,0	0,0	0,7	0,2
		Trossin	0,2	4,1	0,2	0,0	0,0	0,0	0,9	0,1
	Gavott	Thiendorf	0,1	2,2	0,1	0,1	0,0	0,0	0,8	0,2
		Trossin	0,2	5,2	0,2	0,1	0,0	0,0	0,7	0,1
Hemmstoffkonzentration:			40 mg/l	400 mg/l	130 mg/l	10 mg/l	2,8 g/l CaCl ₂	30 g/l	3 g/l	2,4 g/l MgCl ₂

A 8: Hemmstoffgehalte in Maissilagen (Sortenversuche 2004 - 2006)

Jahr	Sorte	Standort	B_R = 2,5 kg oTS/m³ * d; BRT = 30 Tage							
			Cu	Zn	Cr	Ni	Ca	Na	K	Mg
			[mg/l]					[g/l]		
2004	Fangio	Paschwitz	0,3	2,3	0,2	0,2	0,0	0,0	1,3	0,1
	Novadour	Paschwitz	0,3	2,3	n.b.	n.b.	0,0	0,0	1,3	0,2
2005	Fangio	Thiendorf	0,4	2,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,8	0,1
		Trossin	0,4	1,4	0,2	0,0	0,0	0,0	0,8	0,1
	Gavott	Thiendorf	0,4	2,4	0,1	0,0	0,0	0,0	0,7	0,1
		Trossin	0,4	1,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,8	0,1
2006	Fangio	Thiendorf	0,1	2,5	0,1	0,0	0,0	0,0	0,7	0,2
		Trossin	0,2	4,1	0,2	0,0	0,0	0,0	0,9	0,1
	Gavott	Thiendorf	0,1	2,2	0,1	0,1	0,0	0,0	0,8	0,2
		Trossin	0,2	5,2	0,2	0,1	0,0	0,0	0,7	0,1
Hemmstoffkonzentration:			40 mg/l	400 mg/l	130 mg/l	10 mg/l	2,8 g/l CaCl ₂	30 g/l	3 g/l	2,4 g/l MgCl ₂

A 9: Hemmstoffgehalte in Maissilagen (Sortenversuche 2004 - 2006)

Jahr	Sorte	Standort	$B_R = 3,0 \text{ kg oTS/m}^3 \cdot \text{d}; \text{BRT} = 30 \text{ Tage}$							
			Cu	Zn	Cr	Ni	Ca	Na	K	Mg
			[mg/l]					[g/l]		
2004	Fangio	Paschwitz	0,3	2,7	0,3	0,2	0,0	0,0	1,5	0,2
	Novadour	Paschwitz	0,4	2,8	n.b.	n.b.	0,1	0,0	1,5	0,2
2005	Fangio	Thiendorf	0,4	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	1,0	0,1
		Trossin	0,4	1,7	0,2	0,0	0,0	0,0	1,0	0,1
	Gavott	Thiendorf	0,4	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,9	0,2
		Trossin	0,5	2,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,9	0,2
2006	Fangio	Thiendorf	0,2	3,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,9	0,2
		Trossin	0,2	5,1	0,2	0,1	0,0	0,0	1,1	0,2
	Gavott	Thiendorf	0,1	2,8	0,1	0,1	0,0	0,0	1,0	0,2
		Trossin	0,3	6,5	0,3	0,1	0,0	0,0	0,9	0,2
Hemmstoffkonzentration:			40 mg/l	400 mg/l	130 mg/l	10 mg/l	2,8 g/l CaCl ₂	30 g/l	3 g/l	2,4 g/l MgCl ₂

A 10: Hemmstoffgehalte in Zuckerhirsesilagen (Sortenversuche 2004 - 2006)

Jahr	Sorte	Standort	$B_R = 2,0 \text{ kg oTS/m}^3 \cdot \text{d}; \text{BRT} = 30 \text{ Tage}$							
			Cu	Zn	Cr	Ni	Ca	Na	K	Mg
			[mg/l]					[g/l]		
2004	Super Sile 18	Paschwitz	0,3	2,7	n.b.	n.b.	0,0	0,0	1,3	0,2
	Super Sile 20	Paschwitz	0,2	1,8	0,3	0,2	0,0	0,0	1,1	0,2
2005	Super Sile 10	Thiendorf	0,4	3,2	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	0,1
	Super Sile 10	Trossin	0,4	1,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	0,2
	Super Sile 15	Güterfelde	0,4	0,4	4,4	0,0	0,0	0,0	1,2	0,1
	Super Sile 20	Güterfelde	0,4	4,1	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	0,1
	Super Sile 20	Thiendorf	0,4	3,3	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	0,2
	Super Sile 20	Trossin	0,4	1,9	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,2
	Friggo	Güterfelde	0,5	6,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	0,2
	Sugargraze	Güterfelde	0,4	4,3	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	0,1
2006	Super Sile 15	Güterfelde	0,0	3,7	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	0,2
	Super Sile 20	Güterfelde	0,0	3,2	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,2
	Super Sile 20	Thiendorf	0,0	2,5	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	0,2
	Super Sile 20	Trossin	0,0	6,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	0,2
	Friggo	Güterfelde	0,7	3,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0
	Sugargraze	Güterfelde	0,0	3,3	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,2
	Rona	Thiendorf	0,0	2,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,1
Rona	Trossin	0,0	6,0	0,0	0,1	0,0	0,0	1,1	0,2	
Hemmstoffkonzentration:			40 mg/l	400 mg/l	130 mg/l	10 mg/l	2,8 g/l CaCl ₂	30 g/l	3 g/l	2,4 g/l MgCl ₂

A 11: Hemmstoffgehalte in Zuckerhirsesilagen (Sortenversuche 2004 - 2006)

Jahr	Sorte	Standort	$B_R = 2,5 \text{ kg oTS/m}^3 \cdot \text{d}; \text{BRT} = 30 \text{ Tage}$							
			Cu	Zn	Cr	Ni	Ca	Na	K	Mg
			[mg/l]					[g/l]		
2004	Super Sile 18	Paschwitz	0,4	3,3	n.b.	n.b.	0,0	0,0	1,6	0,2
	Super Sile 20	Paschwitz	0,3	2,2	0,3	0,2	0,1	0,0	1,4	0,3
2005	Super Sile 10	Thiendorf	0,5	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	0,2
	Super Sile 10	Trossin	0,5	2,4	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	0,2
	Super Sile 15	Güterfelde	0,5	5,5	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	0,1
	Super Sile 20	Güterfelde	0,5	5,1	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	0,1
	Super Sile 20	Thiendorf	0,5	4,2	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	0,2
	Super Sile 20	Trossin	0,5	2,3	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	0,2
	Friggo	Güterfelde	0,7	7,5	0,0	0,0	0,0	0,2	1,6	0,2
	Sugargraze	Güterfelde	0,5	5,4	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	0,1
	2006	Super Sile 15	Güterfelde	0,0	4,7	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5
Super Sile 20		Güterfelde	0,0	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	0,3
Super Sile 20		Thiendorf	0,0	3,1	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	0,2
Super Sile 20		Trossin	0,0	7,5	0,0	0,0	0,1	0,0	1,5	0,2
Friggo		Güterfelde	0,9	4,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0
Sugargraze		Güterfelde	0,0	4,1	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	0,3
Rona		Thiendorf	0,0	2,6	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,2
Rona		Trossin	0,0	7,5	0,0	0,1	0,1	0,0	1,3	0,2
Hemmstoffkonzentration:			40 mg/l	400 mg/l	130 mg/l	10 mg/l	2,8 g/l CaCl ₂	30 g/l	3 g/l	2,4 g/l MgCl ₂

A 12: Hemmstoffgehalte in Zuckerhirsesilagen (Sortenversuche 2004 - 2006)

Jahr	Sorte	Standort	B_R = 3,0 kg oTS/m³ * d; BRT = 30 Tage							
			Cu	Zn	Cr	Ni	Ca	Na	K	Mg
			[mg/l]					[g/l]		
2004	Super Sile 18	Paschwitz	0,3	2,7	n.b.	n.b.	0,0	0,0	1,5	0,2
	Super Sile 20	Paschwitz	0,4	2,8	0,3	0,2	0,1	0,0	1,5	0,2
2005	Super Sile 10	Thiendorf	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	0,2
	Super Sile 10	Trossin	0,5	2,9	0,1	0,0	0,0	0,0	1,4	0,2
	Super Sile 15	Güterfelde	0,6	6,6	0,0	0,0	0,0	0,0	1,8	0,2
	Super Sile 20	Thiendorf	0,5	6,1	0,0	0,0	0,0	0,0	1,7	0,2
	Super Sile 20	Trossin	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,7	0,2
	Super Sile 20	Güterfelde	0,5	2,8	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	0,2
	Friggo	Güterfelde	0,7	9,0	0,0	0,0	0,1	0,0	2,0	0,2
	Sugargraze	Güterfelde	0,5	6,4	0,0	0,0	0,1	0,0	1,6	0,2
2006	Super Sile 15	Güterfelde	0,0	5,6	0,0	0,0	0,1	0,0	1,7	0,3
	Super Sile 20	Güterfelde	0,0	4,8	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	0,3
	Super Sile 20	Thiendorf	0,0	3,7	0,0	0,0	0,0	0,0	1,7	0,3
	Super Sile 20	Trossin	0,0	9,0	0,0	0,0	0,1	0,0	1,9	0,3
	Friggo	Güterfelde	1,1	5,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0
	Sugargraze	Güterfelde	0,0	4,9	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	0,4
	Rona	Thiendorf	0,0	3,2	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	0,2
	Rona	Trossin	0,0	9,1	0,0	0,1	0,1	0,0	1,6	0,2
Hemmstoffkonzentration:			40 mg/l	400 mg/l	130 mg/l	10 mg/l	2,8 g/l CaCl ₂	30 g/l	3 g/l	2,4 g/l MgCl ₂

A 13: Hemmstoffgehalte in Sudangrassilagen (Sortenversuche 2004 - 2006)

Jahr	Sorte	Standort	B_R = 2,0 kg oTS/m³ * d; BRT = 30 Tage							
			Cu	Zn	Cr	Ni	Ca	Na	K	Mg
			[mg/l]					[g/l]		
2004	Vercors	Paschwitz	0,3	2,1	0,2	0,1	0,0	0,0	1,1	0,1
	Susu	Paschwitz	0,3	1,8	n.b.	n.b.	0,0	0,0	1,0	0,2
2005	Lussi	Thiendorf	0,3	3,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	0,1
	Lussi	Trossin	0,4	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,1
	Lussi	Güterfelde	0,4	2,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,1
	Susu	Thiendorf	0,4	3,7	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,1
	Susu	Trossin	0,4	2,7	0,1	0,0	0,0	0,0	0,8	0,2
	Susu	Güterfelde	0,4	3,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	0,1
	Akklimat	Güterfelde	0,4	3,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	0,1
	GK Csaba	Güterfelde	0,4	4,2	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,1
	2006	Lussi	Thiendorf	0,0	2,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9
Lussi		Trossin	0,0	5,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	0,1
Lussi		Güterfelde	0,0	3,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,2
Susu		Thiendorf	0,0	2,2	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,2
Susu		Trossin	0,0	6,6	0,0	0,1	0,0	0,0	1,2	0,2
Susu		Güterfelde	0,0	4,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,2
Akklimat		Güterfelde	0,0	3,6	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,2
GK Csaba		Güterfelde	0,0	4,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	0,2
Hemmstoffkonzentration:			40 mg/l	400 mg/l	130 mg/l	10 mg/l	2,8 g/l CaCl ₂	30 g/l	3 g/l	2,4 g/l MgCl ₂

A 14: Hemmstoffgehalte in Sudangrassilagen (Sortenversuche 2004 - 2006)

Jahr	Sorte	Standort	$B_R = 2,5 \text{ kg oTS/m}^3 \cdot \text{d}; \text{BRT} = 30 \text{ Tage}$							
			Cu	Zn	Cr	Ni	Ca	Na	K	Mg
			[mg/l]					[g/l]		
2004	Vercors	Paschwitz	0,3	2,7	0,2	0,1	0,0	0,0	1,4	0,2
	Susu	Paschwitz	0,4	2,3	n.b.	n.b.	0,1	0,0	1,2	0,2
2005	Lussi	Thiendorf	0,4	4,3	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,1
	Lussi	Trossin	0,5	2,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	0,2
	Lussi	Güterfelde	0,5	3,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	0,1
	Susu	Thiendorf	0,5	4,6	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	0,2
	Susu	Trossin	0,5	4,3	0,1	0,0	0,0	0,0	1,0	0,2
	Susu	Güterfelde	0,5	4,8	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	0,2
	Akklimat	Güterfelde	0,5	3,9	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	0,2
	GK Csaba	Güterfelde	0,5	5,2	0,0	0,0	0,1	0,0	1,1	0,1
2006	Lussi	Thiendorf	0,0	2,6	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	0,2
	Lussi	Trossin	0,0	6,8	0,0	0,1	0,0	0,0	1,2	0,2
	Lussi	Güterfelde	0,0	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	0,2
	Susu	Thiendorf	0,0	2,8	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	0,2
	Susu	Trossin	0,0	8,3	0,0	0,1	0,1	0,0	1,4	0,2
	Susu	Güterfelde	0,0	5,5	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,2
	Akklimat	Güterfelde	0,0	4,5	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	0,2
	GK Csaba	Güterfelde	0,0	5,8	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	0,2
Hemmstoffkonzentration:			40 mg/l	400 mg/l	130 mg/l	10 mg/l	2,8 g/l CaCl ₂	30 g/l	3 g/l	2,4 g/l MgCl ₂

A 15: Hemmstoffgehalte in Sudangrassilagen (Sortenversuche 2004 - 2006)

Jahr	Sorte	Standort	B_R = 3,0 kg oTS/m³ * d; BRT = 30 Tage							
			Cu	Zn	Cr	Ni	Ca	Na	K	Mg
			[mg/l]					[g/l]		
2004	Vercors	Paschwitz	0,4	3,2	0,3	0,1	0,1	0,0	1,6	0,2
	Susu	Paschwitz	0,4	2,7	n.b.	n.b.	0,1	0,0	1,5	0,2
2005	Lussi	Thiendorf	0,5	5,2	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	0,2
	Lussi	Trossin	0,5	2,7	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	0,2
	Lussi	Güterfelde	0,5	4,2	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	0,1
	Susu	Thiendorf	0,5	5,5	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	0,2
	Susu	Trossin	0,5	4,0	0,1	0,0	0,0	0,0	1,2	0,2
	Susu	Güterfelde	0,6	5,7	0,0	0,0	0,1	0,0	1,4	0,2
	Akklimat	Güterfelde	0,6	4,7	0,0	0,0	0,1	0,0	1,4	0,2
	GK Csaba	Güterfelde	0,6	6,2	0,0	0,0	0,1	0,0	1,5	0,1
2006	Lussi	Thiendorf	0,0	3,1	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	0,2
	Lussi	Trossin	0,0	8,1	0,0	0,1	0,0	0,0	1,4	0,2
	Lussi	Güterfelde	0,0	4,8	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	0,2
	Susu	Thiendorf	0,0	3,3	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	0,2
	Susu	Trossin	0,0	9,9	0,0	0,1	0,1	0,0	1,7	0,3
	Susu	Güterfelde	0,0	6,6	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	0,3
	Akklimat	Güterfelde	0,0	5,4	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	0,3
	GK Csaba	Güterfelde	0,1	6,9	0,1	0,0	0,0	0,0	1,4	0,3
Hemmstoffkonzentration:			40 mg/l	400 mg/l	130 mg/l	10 mg/l	2,8 g/l CaCl₂	30 g/l	3 g/l	2,4 g/l MgCl₂

A 16: Hemmstoffgehalte in Mais-, Zuckerhirse- und Sudangrassilagen (Ernteterminversuche 2004 - 2005)

Jahr	Fruchtart/Sorte/ Ernte	Standort	B _R = 2,0 kg oTS/m ³ * d; BRT = 30 Tage							
			Cu	Zn	Cr	Ni	Ca	Na	K	Mg
			[mg/l]				[g/l]			
2004	Mais/Fangio/1E	Sprotta	0,2	1,1	0,2	0,1	0,0	0,0	1,4	0,1
	Mais/Fangio/2E	Sprotta	0,1	1,2	n.b.	n.b.	0,0	0,0	0,9	0,1
2005	Mais/Fangio/1E	Wöllnau	0,3	2,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,9	0,1
	Mais/Fangio/2E	Wöllnau	0,3	1,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,8	0,1
	Mais/Gavott/1E	Wöllnau	0,4	2,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	0,1
	Mais/Gavott/2E	Wöllnau	0,3	2,7	0,1	0,0	0,0	0,0	0,7	0,1
2004	ZH/Super Sile 20/1E	Paschwitz	0,5	2,6	0,8	0,4	0,0	0,0	1,7	0,2
	ZH/Super Sile 20/2E	Paschwitz	0,4	3,4	n.b.	n.b.	0,0	0,0	1,9	0,2
2005	ZH/Super Sile 15/1E	Wöllnau	0,4	3,7	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	0,2
	ZH/Super Sile 15/2E	Wöllnau	0,4	3,7	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	0,2
	ZH/Super Sile 20/1E	Wöllnau	0,4	4,4	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	0,2
	ZH/Super Sile 20/2E	Wöllnau	0,4	4,6	0,1	0,0	0,0	0,0	1,3	0,2
2004	SG/Vercors/1E	Paschwitz	0,4	3,0	0,2	0,1	0,0	0,0	2,1	0,1
	SG/Vercors/2E	Paschwitz	0,2	2,1	n.b.	n.b.	0,0	0,0	1,2	0,1
2005	SG/Susu/1E	Wöllnau	0,4	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	0,2
	SG/Susu/2E	Wöllnau	0,4	3,4	0,1	0,0	0,0	0,0	0,8	0,2
	SG/Lussi/1E	Wöllnau	0,5	4,9	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	0,3
	SG/Lussi/2E	Wöllnau	0,4	3,2	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,2
Hemmkonzentration:			40 mg/l	400 mg/l	130 mg/l	10 mg/l	2,8 g/l CaCl ₂	30 g/l	3 g/l	2,4 g/l MgCl ₂

A 17: Hemmstoffgehalte in Mais-, Zuckerhirse-, Sudangrassilagen (Ernteterminversuche 2004 - 2005)

Jahr	Fruchtart/Sorte/ Ernte	Standort	B _R = 2,5 kg oTS/m ³ * d; BRT = 30 Tage							
			Cu	Zn	Cr	Ni	Ca	Na	K	Mg
			[mg/l]					[g/l]		
2004	Mais/Fangio/1E	Sprotta	0,2	1,4	0,2	0,1	0,0	0,0	1,8	0,1
	Mais/Fangio/2E	Sprotta	0,2	1,4	n.b.	n.b.	0,0	0,0	1,2	0,1
2005	Mais/Fangio/1E	Wöllnau	0,4	2,9	0,1	0,0	0,0	0,0	1,1	0,1
	Mais/Fangio/2E	Wöllnau	0,4	2,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,9	0,1
	Mais/Gavott/1E	Wöllnau	0,5	2,9	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,1
	Mais/Gavott/2E	Wöllnau	0,4	3,3	0,2	0,0	0,0	0,0	0,9	0,1
2004	ZH/Super Sile 20/1E	Paschwitz	0,7	3,3	1,0	0,6	0,0	0,0	2,1	0,2
	ZH/Super Sile 20/2E	Paschwitz	0,5	4,2	n.b.	n.b.	0,0	0,0	2,3	0,2
2005	ZH/Super Sile 15/1E	Wöllnau	0,5	4,6	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	0,2
	ZH/Super Sile 15/2E	Wöllnau	0,6	4,7	0,1	0,0	0,0	0,0	1,2	0,2
	ZH/Super Sile 20/1E	Wöllnau	0,5	5,5	0,0	0,1	0,0	0,0	1,7	0,2
	ZH/Super Sile 20/2E	Wöllnau	0,5	5,8	0,1	0,0	0,0	0,0	1,5	0,2
2004	SG/Vercors/1E	Paschwitz	0,5	3,7	0,3	0,1	0,0	0,0	2,6	0,2
	SG/Vercors/2E	Paschwitz	0,3	2,6	n.b.	n.b.	0,0	0,0	1,5	0,2
2005	SG/Susu/1E	Wöllnau	0,5	5,0	0,0	0,0	0,0	1,5	0,0	0,2
	SG/Susu/2E	Wöllnau	0,5	4,2	0,1	0,0	0,0	1,0	0,0	0,2
	SG/Lussi/1E	Wöllnau	0,6	6,2	0,0	0,1	0,1	1,4	0,0	0,3
	SG/Lussi/2E	Wöllnau	0,5	4,0	0,0	0,0	0,0	1,2	0,0	0,2
Hemmkonzentration:			40	400	130	10	2,8 g/l	30	3	2,4 g/l
			mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	CaCl₂	g/l	g/l	MgCl₂

A 18: Hemmstoffgehalte in Mais-, Zuckerhirse- und Sudangrassilagen (Ernteterminversuche 2004 - 2005)

Jahr	Fruchtart/Sorte/ Ernte	Standort	B _R = 3,0 kg oTS/m ³ * d; BRT = 30 Tage							
			Cu	Zn	Cr	Ni	Ca	Na	K	Mg
			[mg/l]				[g/l]			
2004	Mais/Fangio/1E	Sprotta	0,3	1,7	0,3	0,2	0,0	0,0	2,1	0,1
	Mais/Fangio/2E	Sprotta	0,2	1,7	n.b.	n.b.	0,0	0,0	1,4	0,1
2005	Mais/Fangio/1E	Wöllnau	0,5	3,5	0,1	0,0	0,0	0,0	1,3	0,1
	Mais/Fangio/2E	Wöllnau	0,4	2,8	0,1	0,0	0,0	0,0	1,2	0,1
	Mais/Gavott/1E	Wöllnau	0,5	3,5	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	0,1
	Mais/Gavott/2E	Wöllnau	0,5	4,0	0,2	0,0	0,0	0,0	1,1	0,1
2004	ZH/Super Sile 20/1E	Paschwitz	0,8	4,0	1,2	0,7	0,0	0,0	2,5	0,3
	ZH/Super Sile 20/2E	Paschwitz	0,6	5,1	n.b.	n.b.	0,0	0,0	2,8	0,3
2005	ZH/Super Sile 15/1E	Wöllnau	0,6	5,6	0,0	0,0	0,0	0,0	1,7	0,2
	ZH/Super Sile 15/2E	Wöllnau	0,6	5,6	0,1	0,0	0,0	0,0	1,6	0,2
	ZH/Super Sile 20/1E	Wöllnau	0,6	6,6	0,0	0,1	0,0	0,0	2,2	0,3
	ZH/Super Sile 20/2E	Wöllnau	0,6	6,9	0,1	0,0	0,0	0,0	2,0	0,2
2004	SG/Vercors/1E	Paschwitz	0,5	4,5	0,3	0,2	0,0	0,0	3,1	0,2
	SG/Vercors/2E	Paschwitz	0,3	3,2	n.b.	n.b.	0,0	0,0	1,8	0,2
2005	SG/Susu/1E	Wöllnau	0,6	6,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,9	0,3
	SG/Susu/2E	Wöllnau	0,6	5,1	0,1	0,0	0,0	0,0	1,2	0,3
	SG/Lussi/1E	Wöllnau	0,7	7,4	0,0	0,1	0,1	0,0	1,8	0,4
	SG/Lussi/2E	Wöllnau	0,6	4,7	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	0,3
Hemmkonzentration:			40 mg/l	400 mg/l	130 mg/l	10 mg/l	2,8 g/l CaCl ₂	30 g/l	3 g/l	2,4 g/l MgCl ₂

A 19: Hemmstoffgehalte in Sudangrassilagen (Düngeversuche 2004 - 2006)

Jahr	Fruchtart/ Sorte	Variante	B_R = 2,0 kg oTS/m³ * d; BRT = 30 Tage							
			Cu	Zn	Cr	Ni	Ca	Na	K	Mg
			[mg/l]				[g/l]			
2004	SG/Susu	1Ernte/0kgN	0,4	3,0	n.b.	n.b.	0,0	0,0	2,6	0,2
	SG/Susu	1Ernte/50kgN	0,4	3,6	n.b.	n.b.	0,0	0,0	2,5	0,3
	SG/Susu	1Ernte/100kgN	0,4	3,3	n.b.	n.b.	0,0	0,0	2,3	0,4
	SG/Susu	1Ernte/150kgN	0,4	4,1	n.b.	n.b.	0,0	0,0	2,2	0,4
	SG/Susu	2Ernte/0kgN	0,3	4,5	n.b.	n.b.	0,0	0,0	1,2	0,2
	SG/Susu	2Ernte/50kgN	0,3	4,2	n.b.	n.b.	0,0	0,0	1,1	0,2
	SG/Susu	2Ernte/100kgN	0,3	4,0	n.b.	n.b.	0,0	0,0	1,1	0,2
	SG/Susu	2Ernte/150kgN	0,3	4,1	n.b.	n.b.	0,0	0,0	1,1	0,2
2005	SG/Susu	1Ernte/0kgN	0,4	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	0,2
	SG/Susu	1Ernte/50kgN	0,4	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	0,2
	SG/Susu	1Ernte/100kgN	0,4	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	0,2
	SG/Susu	1Ernte/150kgN	0,4	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	0,2
	SG/Susu	2Ernte/0kgN	0,3	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,1
	SG/Susu	2Ernte/50kgN	0,3	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,1
	SG/Susu	2Ernte/100kgN	0,3	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,2
	SG/Susu	2Ernte/150kgN	0,3	1,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,2
2006	SG/Susu	1Ernte/0kgN	0,1	3,4	0,1	0,0	0,0	0,0	1,0	0,2
	SG/Susu	1Ernte/50kgN	0,1	3,6	0,1	0,0	0,0	0,0	1,1	0,2
	SG/Susu	1Ernte/100kgN	0,1	3,7	0,1	0,0	0,0	0,0	1,1	0,2
	SG/Susu	1Ernte/150kgN	0,1	3,6	0,1	0,0	0,0	0,0	1,1	0,2
	SG/Susu	2Ernte/0kgN	0,0	3,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	0,2
	SG/Susu	2Ernte/50kgN	0,0	3,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	0,2
	SG/Susu	2Ernte/100kgN	0,0	3,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	0,2
	SG/Susu	2Ernte/150kgN	0,0	3,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	0,2
Hemmstoffkonzentrationen:			40 mg/l	400 mg/l	130 mg/l	10 mg/l	2,8 g/l CaCl ₂	30 g/l	3 g/l	2,4 g/l MgCl ₂

A 20: Hemmstoffgehalte in Sudangrassilagen (Düngeversuche 2004 - 2006)

Jahr	Fruchtart/ Sorte	Variante	B _R = 2,5 kg oTS/m ³ * d; BRT = 30 Tage							
			Cu	Zn	Cr	Ni	Ca	Na	K	Mg
			[mg/l]				[g/l]			
2004	SG/Susu	1Ernte/0kgN	0,4	3,8	n.b.	n.b.	0,0	0,0	3,2	0,3
	SG/Susu	1Ernte/50kgN	0,5	4,5	n.b.	n.b.	0,0	0,0	3,1	0,4
	SG/Susu	1Ernte/100kgN	0,4	4,2	n.b.	n.b.	0,0	0,0	2,9	0,4
	SG/Susu	1Ernte/150kgN	0,5	5,1	n.b.	n.b.	0,1	0,0	2,8	0,4
	SG/Susu	2Ernte/0kgN	0,3	5,7	n.b.	n.b.	0,0	0,0	1,5	0,2
	SG/Susu	2Ernte/50kgN	0,3	5,2	n.b.	n.b.	0,0	0,0	1,4	0,3
	SG/Susu	2Ernte/100kgN	0,3	5,0	n.b.	n.b.	0,0	0,0	1,4	0,3
	SG/Susu	2Ernte/150kgN	0,3	5,1	n.b.	n.b.	0,0	0,0	1,4	0,3
2005	SG/Susu	1Ernte/0kgN	0,5	2,5	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	0,1
	SG/Susu	1Ernte/50kgN	0,5	2,5	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	0,1
	SG/Susu	1Ernte/100kgN	0,5	2,5	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	0,2
	SG/Susu	1Ernte/150kgN	0,5	2,5	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	0,1
	SG/Susu	2Ernte/0kgN	0,4	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	0,2
	SG/Susu	2Ernte/50kgN	0,4	1,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	0,1
	SG/Susu	2Ernte/100kgN	0,4	1,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	0,2
	SG/Susu	2Ernte/150kgN	0,4	2,1	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,1
2006	SG/Susu	1Ernte/0kgN	0,1	4,2	0,1	0,0	0,0	0,0	1,3	0,2
	SG/Susu	1Ernte/50kgN	0,1	4,5	0,1	0,0	0,0	0,0	1,4	0,2
	SG/Susu	1Ernte/100kgN	0,2	4,6	0,2	0,0	0,0	0,0	1,3	0,3
	SG/Susu	1Ernte/150kgN	0,1	4,5	0,1	0,0	0,0	0,0	1,4	0,3
	SG/Susu	2Ernte/0kgN	0,0	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	0,2
	SG/Susu	2Ernte/50kgN	0,0	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	0,2
	SG/Susu	2Ernte/100kgN	0,0	3,9	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	0,2
	SG/Susu	2Ernte/150kgN	0,0	4,1	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	0,2
Hemmstoffkonzentrationen:			40 mg/l	400 mg/l	130 mg/l	10 mg/l	2,8 g/l CaCl ₂	30 g/l	3 g/l	2,4 g/l MgCl ₂

A 21: Hemmstoffgehalte in Sudangrassilagen (Düngeversuche 2004 - 2006)

Jahr	Fruchtart/ Sorte	Variante	B _R = 3,0 kg oTS/m ³ * d; BRT = 30 Tage							
			Cu	Zn	Cr	Ni	Ca	Na	K	Mg
			[mg/l]				[g/l]			
2004	SG/Susu	1Ernte/0kgN	0,5	4,5	n.b.	n.b.	0,1	0,0	3,8	0,3
	SG/Susu	1Ernte/50kgN	0,6	5,3	n.b.	n.b.	0,1	0,0	3,7	0,4
	SG/Susu	1Ernte/100kgN	0,5	5,0	n.b.	n.b.	0,1	0,0	3,5	0,5
	SG/Susu	1Ernte/150kgN	0,6	6,1	n.b.	n.b.	0,1	0,0	3,4	0,5
	SG/Susu	2Ernte/0kgN	0,4	6,8	n.b.	n.b.	0,1	0,0	1,7	0,3
	SG/Susu	2Ernte/50kgN	0,4	6,3	n.b.	n.b.	0,1	0,0	1,7	0,3
	SG/Susu	2Ernte/100kgN	0,4	6,0	n.b.	n.b.	0,1	0,0	1,6	0,3
	SG/Susu	2Ernte/150kgN	0,4	6,1	n.b.	n.b.	0,1	0,0	1,6	0,3
2005	SG/Susu	1Ernte/0kgN	0,5	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	0,2
	SG/Susu	1Ernte/50kgN	0,5	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,9	0,2
	SG/Susu	1Ernte/100kgN	0,5	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,8	0,2
	SG/Susu	1Ernte/150kgN	0,5	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,9	0,2
	SG/Susu	2Ernte/0kgN	0,5	2,4	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	0,2
	SG/Susu	2Ernte/50kgN	0,5	2,2	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	0,2
	SG/Susu	2Ernte/100kgN	0,5	2,2	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	0,2
2006	SG/Susu	1Ernte/0kgN	0,1	5,0	0,1	0,0	0,0	0,0	1,6	0,3
	SG/Susu	1Ernte/50kgN	0,1	5,4	0,1	0,0	0,0	0,0	1,6	0,3
	SG/Susu	1Ernte/100kgN	0,2	5,5	0,2	0,0	0,1	0,0	1,6	0,3
	SG/Susu	1Ernte/150kgN	0,1	5,4	0,1	0,0	0,0	0,0	1,6	0,3
	SG/Susu	2Ernte/0kgN	0,0	4,8	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	0,2
	SG/Susu	2Ernte/50kgN	0,0	4,8	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	0,3
	SG/Susu	2Ernte/100kgN	0,0	4,7	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	0,3
	SG/Susu	2Ernte/150kgN	0,1	4,9	0,1	0,0	0,0	0,0	1,3	0,3
Hemmstoffkonzentrationen:			40 mg/l	400 mg/l	130 mg/l	10 mg/l	2,8 g/l CaCl ₂	30 g/l	3 g/l	2,4 g/l MgCl ₂

A 22: Hemmstoffgehalte in Zuckerhirsesilagen (Düngeversuche 2005 - 2006)

Jahr	Fruchtart/ Sorte	Variante	B_R = 2,0 kg oTS/m³ * d; BRT = 30 Tage							
			Cu	Zn	Cr	Ni	Ca	Na	K	Mg
			[mg/l]				[g/l]			
2005	ZH/Super Sile 20	1Ernte/0kgN	0,4	1,7	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	0,2
	ZH/Super Sile 20	1Ernte/50kgN	0,4	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	0,2
	ZH/Super Sile 20	1Ernte/100kgN	0,4	1,7	0,2	0,0	0,0	0,0	1,2	0,2
	ZH/Super Sile 20	1Ernte/150kgN	0,4	1,7	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	0,2
	ZH/Super Sile 20	2Ernte/0kgN	0,4	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,2
	ZH/Super Sile 20	2Ernte/50kgN	0,4	1,7	0,1	0,0	0,0	0,0	0,9	0,2
	ZH/Super Sile 20	2Ernte/100kgN	0,4	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	0,2
	ZH/Super Sile 20	2Ernte/150kgN	0,4	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	0,2
2006	ZH/Super Sile 20	1Ernte/0kgN	0,0	2,8	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	0,2
	ZH/Super Sile 20	1Ernte/50kgN	0,0	2,8	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	0,2
	ZH/Super Sile 20	1Ernte/100kgN	0,0	3,1	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	0,2
	ZH/Super Sile 20	1Ernte/150kgN	0,0	3,3	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	0,2
	ZH/Super Sile 20	2Ernte/0kgN	0,0	2,5	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,2
	ZH/Super Sile 20	2Ernte/50kgN	0,0	2,6	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,2
	ZH/Super Sile 20	2Ernte/100kgN	0,0	2,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	0,2
	ZH/Super Sile 20	2Ernte/150kgN	0,0	2,9	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,2
Hemmstoffkonzentrationen:			40 mg/l	400 mg/l	130 mg/l	10 mg/l	2,8 g/l CaCl ₂	30 g/l	3 g/l	2,4 g/l MgCl ₂

A 23: Hemmstoffgehalte in Zuckerhirsesilagen (Düngeversuche 2005 - 2006)

Jahr	Fruchtart/ Sorte	Variante	B_R = 2,5 kg oTS/m³ * d; BRT = 30 Tage							
			Cu	Zn	Cr	Ni	Ca	Na	K	Mg
			[mg/l]				[g/l]			
2005	ZH/Super Sile 20	1Ernte/0kgN	0,2	0,5	2,1	0,0	0,0	0,0	1,3	0,2
	ZH/Super Sile 20	1Ernte/50kgN	0,2	0,5	2,0	0,0	0,0	0,0	1,2	0,2
	ZH/Super Sile 20	1Ernte/100kgN	0,3	0,5	2,1	0,2	0,0	0,0	1,4	0,3
	ZH/Super Sile 20	1Ernte/150kgN	0,3	0,5	2,2	0,0	0,0	0,0	1,3	0,3
	ZH/Super Sile 20	2Ernte/0kgN	0,2	0,5	1,9	0,1	0,0	0,0	1,2	0,2
	ZH/Super Sile 20	2Ernte/50kgN	0,2	0,5	2,2	0,1	0,0	0,0	1,1	0,2
	ZH/Super Sile 20	2Ernte/100kgN	0,2	0,5	1,9	0,0	0,0	0,0	1,1	0,2
	ZH/Super Sile 20	2Ernte/150kgN	0,2	0,5	2,0	0,0	0,0	0,0	1,1	0,2
2006	ZH/Super Sile 20	1Ernte/0kgN	0,0	3,5	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	0,2
	ZH/Super Sile 20	1Ernte/50kgN	0,0	3,6	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	0,2
	ZH/Super Sile 20	1Ernte/100kgN	0,0	3,9	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	0,3
	ZH/Super Sile 20	1Ernte/150kgN	0,0	4,1	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	0,3
	ZH/Super Sile 20	2Ernte/0kgN	0,0	3,2	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	0,2
	ZH/Super Sile 20	2Ernte/50kgN	0,0	3,3	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	0,2
	ZH/Super Sile 20	2Ernte/100kgN	0,0	3,5	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	0,2
	ZH/Super Sile 20	2Ernte/150kgN	0,0	3,6	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	0,2
Hemmstoffkonzentrationen:			40	400	130	10	2,8 g/l	30	3	2,4 g/l
			mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	CaCl₂	g/l	g/l	MgCl₂

A 24: Hemmstoffgehalte in Zuckerhirsesilage (Düngeversuche 2005 - 2006)

Jahr	Fruchtart/ Sorte	Variante	B_R = 3,0 kg oTS/m³ * d; BRT = 30 Tage							
			Cu	Zn	Cr	Ni	Ca	Na	K	Mg
			[mg/l]				[g/l]			
2005	ZH/Super Sile 20	1Ernte/0kgN	0,5	2,5	0,0	0,0	0,0	0,0	1,7	0,3
	ZH/Super Sile 20	1Ernte/50kgN	0,5	2,4	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	0,3
	ZH/Super Sile 20	1Ernte/100kgN	0,5	2,5	0,3	0,0	0,0	0,0	1,8	0,3
	ZH/Super Sile 20	1Ernte/150kgN	0,5	2,6	0,0	0,0	0,0	0,0	1,7	0,3
	ZH/Super Sile 20	2Ernte/0kgN	0,5	2,3	0,1	0,0	0,0	0,0	1,5	0,3
	ZH/Super Sile 20	2Ernte/50kgN	0,5	2,6	0,1	0,0	0,0	0,0	1,4	0,3
	ZH/Super Sile 20	2Ernte/100kgN	0,5	2,3	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	0,3
	ZH/Super Sile 20	2Ernte/150kgN	0,5	2,4	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	0,3
2006	ZH/Super Sile 20	1Ernte/0kgN	0,0	4,2	0,0	0,0	0,0	0,0	1,8	0,3
	ZH/Super Sile 20	1Ernte/50kgN	0,0	4,3	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	0,3
	ZH/Super Sile 20	1Ernte/100kgN	0,0	4,7	0,0	0,0	0,0	0,0	1,7	0,3
	ZH/Super Sile 20	1Ernte/150kgN	0,0	5,0	0,0	0,0	0,1	0,0	1,7	0,3
	ZH/Super Sile 20	2Ernte/0kgN	0,0	3,8	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	0,2
	ZH/Super Sile 20	2Ernte/50kgN	0,0	3,9	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	0,3
	ZH/Super Sile 20	2Ernte/100kgN	0,0	4,2	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	0,3
	ZH/Super Sile 20	2Ernte/150kgN	0,0	4,3	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	0,3
Hemmstoffkonzentrationen:			40	400	130	10	2,8 g/l	30	3	2,4 g/l
			mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	CaCl₂	g/l	g/l	MgCl₂

A 25: Kostenstruktur im Betrieb einer Biogasanlage mit verschiedenen nachwachsenden Rohstoffen

	Gülle	Maissilage 05	Maissilage 06	Zuckerhirse-silage 05	Zuckerhirse-silage 06	Sudangras-silage 05	Sudangras-silage 06
Anlage	Gülle- Anlage	Nawaro-Anlage	Nawaro-Anlage	Nawaro-Anlage	Nawaro-Anlage	Nawaro-Anlage	Nawaro-Anlage
Substrat							
Großvieheinheit	1 800	1 800	1 800	1 800	1 800	1 800	1 800
Menge Gülle		34 000 t/Jahr	34 000 t/Jahr	34 000 t/Jahr	34 000 t/Jahr	34 000 t/Jahr	34 000 t/Jahr
Menge Coferment		4 950 t/Jahr	5 250 t/Jahr	8 650 t/Jahr	8 000 t/Jahr	8 700 t/Jahr	6 950 t/Jahr
Biogasausbeute	0,320 m ³ /kg oTS	0,504 m ³ /kg oTS	0,504 m ³ /kg oTS	0,390 m ³ /kg oTS	0,390 m ³ /kg oTS	0,367 m ³ /kg oTS	0,367 m ³ /kg oTS
Planungsdaten							
Verweilzeit	30 Tage	40 Tage	40 Tage	40 Tage	40 Tage	40 Tage	40 Tage
Reaktorvolumen	2 800 m ³	4 300 m ³	4 300 m ³	4 700 m ³	4 600 m ³	4 700 m ³	4 900 m ³
TS- Gesamt	9,00 %	12,60 %	12,50 %	12,50 %	12,60 %	12,90 %	12,80 %
Raumbelastung	2,25 kg oTS/m ³ *d	2,59 kg oTS/m ³ *d	2,57 kg oTS/m ³ *d	2,57 kg oTS/m ³ *d	2,62 kg oTS/m ³ *d	2,70 kg oTS/m ³ *d	2,65 kg oTS/m ³ *d
tägl. Menge Gülle	93 t	93 t	93 t	93 t	93 t	93 t	93 t
tägl. Coferment		13,6 t	14,4 t	23,7 t	21,9 t	23,8 t	29,6 t
Volllaststunden	7 200 h	7 200 h	7 200 h	7 200 h	7 200 h	7 200 h	7 200 h
Wirkungsgrad	39,5	39,5	39,5	39,5	39,5	39,5	39,5
BHKW- Leistung	241 kW	499 kW	500 kW	500 kW	500 kW	500 kW	500 kW
Einnahmen							
Stromeinspeisung	1 369 292 kWh/a	2 950 944 kWh/a	2 940 649 kWh/a	2 957 202 kWh/a	2 958 772 kWh/a	2 957 643 kWh/a	2 960 131 kWh/a
Vergütung- Strom	0,1638 €/kWh	0,1619 €/kWh	0,1619 €/kWh	0,1619 €/kWh	0,1619 €/kWh	0,1619 €/kWh	0,1619 €/kWh
Wärmebedarf	600 000 kWh/a	600 000 kWh/a	600 000 kWh/a	600 000 kWh/a	600 000 kWh/a	600 000 kWh/a	600 000 kWh/a
Wärmebedarf- Wärme	0,04 €/kWh	0,04 €/kWh	0,04 €/kWh	0,04 €/kWh	0,04 €/kWh	0,04 €/kWh	0,04 €/kWh
Gesamteinnahmen	262 881 €	501 267 €	502 755 €	502 244 €	502 489 €	502 312 €	502 701 €

Kosten							
Anlage	720 000 €	1 500 000 €	1 500 000 €	1 500 000 €	1 500 000 €	1 500 000 €	1 500 000 €
dav. Förderung (20%)	144.000 €	300 000 €	300 000 €	300 000 €	300 000 €	300 000 €	300 000 €
Abschreibung (16 a)	36.000 €	75 000 €	75 000 €	75 000 €	75 000 €	75 000 €	75 000 €
Zinsbelastung	17.280 €	36 000 €	36 000 €	36 000 €	36 000 €	36 000 €	36 000 €
Wartung (1,5%)	10.800 €	22 500 €	22 500 €	22 500 €	22 500 €	22 500 €	22 500 €
Instandhaltung (2%)	14.400 €	30 000 €	30 000 €	30 000 €	30 000 €	30 000 €	30 000 €
Arbeitskraft (12,5 €/h)	5 000 €	18 500 €	18 500 €	18 500 €	18 500 €	18 500 €	18 500 €
Stromzukauf (0,1 €/kWh)	13 854 €	28 723 €	28 815 €	28 783 €	28 799 €	28 788 €	28 812 €
Versicherung (0,7%)	5 040 €	12 000 €	12 000 €	12 000 €	12 000 €	12 000 €	12 000 €
Sonstige	1 500 €	2 500 €	2 500 €	2 500 €	2 500 €	2 500 €	2 500 €
Gesamtkosten	103 874 €	225 223 €	225 315 €	225 283 €	225 299 €	225 288 €	225 312 €
Gewinn							
Mehrkosten zu Gülle		121 349 €	121 441 €	121 409 €	121 425 €	121 414 €	121 438 €
Mehrkosten pro t Substrat zu Gülle		24,51 €/t	23,13 €/t	14,04 €/t	15,18 €/t	13,96 €/t	17,47 €/t
Substrate							
Einnahmen Substrate		238 386 €	239 874 €	239 363 €	239 608 €	239 431 €	239 820 €
Einnahmen pro t Sub.		48,16 €	45,69 €	27,67 €	29,95 €	27,52 €	34,51 €
max. Preis pro t Sub.		23,64 €	22,56 €	13,64 €	14,77 €	13,57 €	17,03 €
max. Preis pro dt Sub.		2,36 €	2,26 €	1,36 €	1,48 €	1,36 €	1,70 €
Landwirt Preis pro dt Substrat							
Preis ohne DZ		2,73 €	6,08 €	2,22 €	3,13 €	2,93 €	4,15 €
Preis mit DZ		2,12 €	4,41 €	1,67 €	2,23 €	2,22 €	3,03 €

9 Anbautelegramm Zuckerhirse

Systematik:

- gehört zu den Sorghum-Hirsen (großkörnige Hirsearten)
- zählt zur Familie der Süßgräser und zur Gruppe der C4-Pflanzen

Physiologie:

- geringe Bodenansprüche
- Wärme liebend (Keimung: mind. 8 - 10° C Bodentemperatur)
- Mindestwärmesumme in der Vegetationszeit (Mai – September) ca. 2 500°C
- hohe Trockentoleranz (Transpirationskoeffizient: 200 - 300 l H₂O * kg TM⁻¹)
- salz- und alkaliverträglich
- hohe Wasser- und Nährstoffeffizienz
- hohe Frostempfindlichkeit (Kälteschäden ab 4°C)
- langsames Jugendwachstum

Morphologie:

- dichtes, tief reichendes Wurzelsystem
- Wuchshöhen von 2,0 - 3,5 m
- Stängeldurchmesser 0,5 - 3,0 cm
- drei bis fünf Bestockungstriebe
- aufrechte Halme
- Rispen (kompakte Köpfe)

Standortansprüche:

- bevorzugt leicht erwärmbare Böden (anlehmige Sandböden) und mit einer Jahresniederschlagssumme von 300 - 600 mm.
- Temperatursummen > 2 000 °C in der Vegetationsperiode (Mai - Oktober)

Bodenvorbereitung:

- gut durchgearbeitetes, fein abgesetztes Saatbett
- Saatbettvorbereitung wie beim Mais

Sorten:

- Super Sile 15
 - Super Sile 20
 - Goliath
- dynamische Sortenentwicklung am Markt beachten

Aussaat:

- Zeitpunkt: Mitte Mai - Anfang Juni (8 - 10°C Bodentemperatur)
- Saatstärke: 8 - 12 kg/ha
- Saattiefe: 2 - 4 cm
- Reihenabstand: 40 - 70 cm

Schadorganismen:

- Fritfliege
- Maiszünsler
- Blattläuse, Wanzen, Zikaden
- falscher Mehltau (feuchte Anbauggebiete)

Unkräuter:

- hohes Verunkrautungspotential zur Jugendphase

Pflanzenschutz:

- derzeit keine Zulassung von Pflanzenschutzmitteln in Deutschland (Stand 2006); Genehmigung nach § 18b PflSchG für Herbizideinsatz möglich
- gegen zweikeimblättrige Unkräuter: Artett (2,5 - 3,5 l/ha)
- gegen einkeimblättrige Unkräuter: Dual Gold (1,2 l/ha)
- Schläge mit starkem Unkrautdruck sollten gemieden werden

Düngung:

- Nährstoffentzüge bei mittlerer Versorgungsstufe des Bodens: 100 - 300 kg N/ha; 10-50 kg P/ha; 100-380 kg K/ha, 15-70 kg Mg/ha (sorten- und witterungsabhängig)

Fruchtfolge:

- Zuckerhirse ist mit sich selbst verträglich
- hoher Nährstoffbedarf (N, K) sollte in der Fruchtfolgegestaltung berücksichtigt werden (Kaliumzehrer!)
- Vorfrucht sollte das Feld möglichst unkrautfrei räumen
- Anbau auch in Zweitfruchtstellung
- Auflockerung getreidestarker Fruchtfolgen (keine getreidetypischen Fußkrankheiten)

Ernte:

- Erntezeitpunkt: September/ Oktober (Milch- /Teigreife), nach ca. 130 - 140 Tagen, vor Eintreten der ersten Fröste
- mehrfache Schnittnutzung unter den klimatische Bedingungen Deutschlands meist nicht möglich

- Erntemaschine: Feldhäcksler
- Silierung des Erntegutes ist problemlos möglich

Erträge:

- Trockenmasseerträge: 100 - 180 dt TM/ ha (sorten- und witterungsabhängig)
- Trockensubstanzgehalte: 25 - 28 %

Verwertung:

- Futterpflanze: Energiegehalt ca. 20 % geringer als beim Silomais [Achtung: Die Pflanze enthält weiterhin das Glucosid Dhurrin, welches durch die Hydrolyse Blausäure freisetzt. Mit zunehmendem Alter nimmt der Dhurrin Gehalt ab. (KELLER 2006)]
- Ethanolrohstoff: fermentierbarer Zucker für die Ethanolherstellung
- Biogasrohstoff: 400 - 600 m³/ t oTS; 50 - 55 % Methangehalt

10 Anbautelegramm Sudangras

Systematik:

- gehört zu den Sorghum-Hirsen (großkörnige Hirsearten)
- zählt zur Familie der Süßgräser und zur Gruppe der C4-Pflanzen

Physiologie:

- geringe Bodenansprüche
- Wärme liebend (Keimung: mind. 8 – 10 °C Bodentemperatur)
- hohe Trockentoleranz
- salztolerant
- hohe Wasser- und Nährstoffeffizienz
- hohe Frostempfindlichkeit
- langsames Jugendwachstum

Morphologie:

- dichtes, tief reichendes Wurzelsystem
- Wuchshöhen von 2,0 - 3,5 m
- Stängeldurchmesser 0,5 - 3,0 cm
- drei bis zehn Bestockungstriebe
- aufrechte Halme
- Rispen (locker mit hängenden Ästen)

Standortansprüche:

- bevorzugt leicht erwärmbare Böden (anlehmige Sandböden) und mit einer Jahresniederschlagssumme von 300 - 600 mm.
- Temperatursummen > 2 500 °C in der Vegetationsperiode (Mai - Oktober)

Bodenvorbereitung:

- gut durchgearbeitetes, fein abgesetztes Saatbett
- Saatbettvorbereitung wie beim Mais

Sorten:

- Susu
 - King 61
 - Lussi
 - GK Csaba
- dynamische Sortenentwicklung am Markt beachten

Aussaat:

- Zeitpunkt: Mitte Mai - Anfang Juni (8 – 10 °C Bodentemperatur)
- Saatstärke: 15 - 35 kg/ha
- Saattiefe: 3 cm
- Reihenabstand: 15 - 35 cm, auch 50 cm möglich

Schadorganismen:

- Fritfliege
- Maiszünsler
- Blattläuse, Wanzen, Zikaden
- falscher Mehltau (feuchte Anbauggebiete)

Unkräuter:

- hohes Verunkrautungspotenzial zur Jugendphase

Pflanzenschutz:

- derzeit keine Zulassung von Pflanzenschutzmitteln in Deutschland (Stand 2006); Genehmigung nach § 18b PflSchG für Herbizideinsatz möglich
- gegen zweikeimblättrige Unkräuter: Artett (2,5 - 3,5 l/ha)
- gegen einkeimblättrige Unkräuter: Dual Gold (1,2 l/ha)
- Schläge mit starkem Unkrautdruck sollten gemieden werden

Düngung:

- Nährstoffentzüge bei mittlerer Versorgungsstufe des Bodens: 80 - 230 kg N/ha; 10 - 45 kg P/ha;
60 - 270 kg K/ha, 10 - 50 kg Mg/ha (sorten- und witterungsabhängig)

Fruchtfolge:

- Sudangras ist mit sich selbst verträglich
- hoher Nährstoffbedarf (N, K) sollte in der Fruchtfolgegestaltung berücksichtigt werden (Kaliumzehrer!)
- Vorfrucht sollte das Feld möglichst unkrautfrei räumen
- Sudangras ist auch als Zweit- oder Stoppelfrucht nutzbar

Ernte:

- Erntezeitpunkt: August/ September, nach ca. 120 Tagen, Beginn - volles Rispschieben
- bei günstigen Bedingungen (ausreichende Niederschläge) ist eine mehrfache Schnittnutzung möglich
- Erntemaschine: Feldhäcksler
- Silierung des Erntegutes ist problemlos möglich

Erträge:

- Trockenmasseerträge: 100 - 150 dt TM/ha (sorten-, schnittnutzungs- und witterungsabhängig)
- Trockensubstanzgehalte: 25 - 30 %

Verwertung:

- Futterpflanze: geringerer Energiegehalt als im Silomais [Achtung: Die Pflanze enthält weiterhin das Glucosid Dhurrin, welches durch die Hydrolyse Blausäure freisetzt. Mit zunehmendem Alter nimmt der Dhurringehalt ab. (KELLER 2006)]
- Biogasrohstoff: 400 - 600 m³/t oTS; 50 - 65 % Methangehalt

Impressum

- Herausgeber:** Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft
August-Böckstiegel-Straße 1, 01326 Dresden
Internet: www.landwirtschaft.sachsen.de/ff/publikationen/
- Autoren:** Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft
Fachbereich Pflanzliche Erzeugung
Dr. habil Christian Röhricht
Daniela Zander
Gustav-Kühn-Straße 8
04159 Leipzig
Telefon: 0341/9174-284
Telefax: 0341/9174-111
E-Mail: christian.roehricht@smul.sachsen.de
- Redaktion:** siehe Autoren
- Endredaktion:** Presse- und Öffentlichkeitsarbeit
Anne-Christin Matthies-Umhau, Ramona Scheinert, Matthias Löwig
Telefon: 0351/2612-345
Telefax: 0351/2612-151
E-Mail: anne-christin.matthies@smul.sachsen.de
- ISSN:** 1861-5988
- Redaktionsschluss:** Januar 2008

Für alle angegebenen E-Mail-Adressen gilt:

Kein Zugang für elektronisch signierte sowie für verschlüsselte elektronische Dokumente

Verteilerhinweis

Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staatsregierung im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlhelfern zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle Wahlen.