



## **VERSUCHSBERICHT**

**2007 bis 2009**

### **ERTRAGSSTABILITÄT UND ERTRAGSPOTENTIALE VON SORGHUM-HIRSEN IN TROCKEN-WARMEN REGIONEN SÜDWESTDEUTSCHLANDS**

<sup>1)</sup> ITB gGmbH an der Fachhochschule Bingen, Berlinstrasse 107 a, 55411 Bingen  
in Zusammenarbeit mit dem <sup>2)</sup>DLR Rheinhessen-Nahe-Hunsrück, Bad Kreuznach

Jan Petersen<sup>1)</sup>, Gürsel Fecht<sup>1)</sup>, Hailing Wang<sup>1)</sup>, Philipp Bues<sup>1)</sup>, Steffen Schmitt<sup>1)</sup>,  
Stefan Eiden<sup>1)</sup>, Christoph Krato<sup>1)</sup>, Bettina Kirchmer<sup>2)</sup>, Otto Lang<sup>2)</sup>

Bingen im Dezember 2009

## Inhaltsverzeichnis

Kapitel	Seite
1 Einleitung	3
2 Material und Methoden	4
2.1 Feldversuche	4
2.2 Vergärungsexperimente und Inhaltsstoffanalysen	10
2.3 Statistische Auswertung	11
3 Ergebnisse	12
3.1 Ergebnisse des Versuchsjahres 2009	12
3.1.1 Feldaufgänge in Abhängigkeit der Sorte, des Standortes, der Saatstärke und des Saattermins	12
3.1.2 Beschreibung der Sorghumhirseentwicklung im Vegetationsverlauf	14
3.1.3 Schaderreger an der Sorghumhirse	19
3.1.4 Trockensubstanzgehalte und Trockenmasseerträge von Sorghumhirsen im Hauptfruchtanbau	20
3.1.5 Trockensubstanzgehalte und Trockenmasseerträge von Sorghumhirsen im Zweitfruchtanbau	22
3.1.6 Trockensubstanzgehalte und Trockenmasseerträge von Sorghumhirse im Vergleich zu früher und später Maissorte auf 4 Standorten in Rheinland-Pfalz mit unterschiedlicher Höhenlage	25
3.2 Mehrjährige Ergebnisse	27
3.2.1 Feldaufgänge von Sorghumhirsen im Haupt- und Zweitfruchtanbau über 3 Versuchsjahre	27
3.2.2 Stabilität der Trockensubstanzgehalte und Trockenmasseerträge im Haupt- und Zweitfruchtanbau über 3 Jahre	29
3.2.3 Einfluss der Saatstärke von Sorghumhirse-Sorten auf Ertrag- und Qualität sowie auf pflanzenmorphologische Parameter	37
3.2.4 Mischanbau von Mais und <i>Sorghum bicolor</i> zur Stabilisierung vom Trockenmasseertrag	40
3.2.5 Verträglichkeit von Herbiziden zur Regulierung von Schadhirsens in <i>Sorghum bicolor</i>	42
3.2.6 Einfluss der Temperatursumme auf den Ertrag und die Qualität von Sorghumhirsen im Vergleich zu früher und später Maissorte	44
3.2.7 Methanausbeuten und Methanerträge von Sorghumhirsesilagen und Korrelationen der Pflanzeninhaltsstoffe mit der Methanausbeute	47
4 Zusammenfassung und Fazit	55
Danksagung	

## 1 Einleitung

Die effiziente Biogasproduktion auf der Basis pflanzlicher Rohstoffe ist abhängig von einer zuverlässigen, nachhaltigen und produktiven Substratversorgung. In trockenen und warmen Regionen ist die Substratversorgung auf der Basis von Mais bei unzureichenden Niederschlagsmengen in der Vegetationsperiode unsicher. Pflanzen, die eine ausreichende Trocken- und Hitzetoleranz aufweisen, könnten die Biomasseversorgung sicherstellen. Unter diesen Produktionsbedingungen könnte Sorghumhirse-Arten zukünftig eine Bedeutung zukommen. Diese Arten könnten in höheren Anteilen in der Fruchtfolge den Mais im Hauptfruchtanbau ersetzen.

Eine weitere Einsatzmöglichkeit der Sorghumhirsen ist der Zweitfruchtanbau. Durch die frühzeitige Ernte von Getreidebeständen zur Milch- bzw. Teigreife als GPS zur Biogasgewinnung wird der Anbau einer Zweitfrucht ermöglicht. Die Zweitfrucht muss mit geringeren Wasservorräten im Boden, hohen Sommertemperaturen, abnehmender Tageslänge und einer relative kurzen Vegetationsperiode zurechtkommen.

Um die Einsatzmöglichkeiten von Sorghumhirse im Haupt- und Zweitfruchtanbau zu untersuchen, wurden von 2007 bis 2009 an verschiedenen Standorten Feldversuche durchgeführt und die Qualität des Erntegutes untersucht. Im Einzelnen wurden folgende Fragestellungen bearbeitet:

- Eignung von Sorghumhirse Arten- und Sortenvergleich im Hauptfruchtanbau
  - Ertrag
  - Qualität hinsichtlich Lagerfähigkeit (TS-Gehalt) und Biogasausbeute
- Eignung von Sorghumhirse Arten- und Sortenvergleich im Zweitfruchtanbau nach einer GPS-Getreideernte
  - Ertrag
  - Qualität hinsichtlich Lagerfähigkeit und Biogasausbeute
- Einfluss der Saatstärke von Sudangras und *Sorghum bicolor* im Hauptfruchtanbau auf den Biomasseertrag
- Auswirkung unterschiedlicher Mischungsverhältnisse von Mais und *Sorghum bicolor* auf den Ertrag und die Qualität des Erntegutes
- Beobachtung des Schaderregerbefalls in Abhängigkeit der Sorghumtypen
- Inhaltsstoffzusammensetzung von Sorghumhirse und deren Bedeutung für die Methanausbeute
- Verträglichkeit verschiedener Herbizide auf Sorghumhirse
- Einfluss des Standortes (Temperatursumme) auf den Ertrag und den Trockensubstanzgehalt von Mais und Sorghumhirse im Hauptfruchtanbau

## 2 Material & Methoden

### 2.1 Feldversuche

Im Jahre 2009 wurden in Rheinland-Pfalz an 5 unterschiedlichen Standorten Feldversuche angelegt. Neben dem Standort Bingen-Büdesheim wurden auch in Kümbdchen (Simmern/Hunsrück), Waldalgesheim (Stromberg/Hunsrück), Platten (Wittlich) und Altdorf (Neustadt/W.) Versuche durchgeführt. Tabelle 1 zeigt eine Beschreibung der Versuchsstandorte.

Tab. 1: Standortbeschreibung der Sorghumhirse-Feldversuche in 2009

Parameter	Bingen	Kümbdchen	Platten	Waldalgesheim
Höhenlage m ü. NN	78 m	365 m	182	280 m
Lgj. Temperaturmittel	9,9 °C	7,8	9,7 °C	8,5 °C
Lgj. Niederschlagsmittel	548 mm	664 mm	732 mm	550 mm
Ackerzahl	62	40	35	70
Humusgehalt	~2 %	~2 %	~2 %	~2 %
pH-Wert	6,5	5,8	6,0	?
Bodenart	sL	sL	sL	uL

Tabelle 2 zeigt eine Übersicht über die Niederschlagverteilung und die durchschnittliche Temperatur als Monatssumme bzw. Monatsmittel der drei Versuchsstandorte von den Monaten Mai bis Oktober.

Tab. 2: Niederschlagsmonatssummen und mittlere Monatstemperaturen von Mai bis Oktober an den Versuchsorten Platten, Bingen und Kümbdchen

	Platten		Bingen		Kümbdchen	
	°C	mm	°C	mm	°C	mm
Mai	14,3	67,8	15,8	52,2	13,1	42,4
Juni	16,0	99,9	18,0	89,0	14,2	85,9
Juli	18,7	80,1	19,6	65,0	17,2	51,9
August	19,0	14,8	20,2	13,3	18	62,7
September	15,0	23,8	16,3	32,5	14	35,1
Oktober	9,4	53,8	9,9	28,5	8,2	53,0
Mittel/Summe	15,4	340,2	16,8	280,5	14,1	331,0

Die Abbildungen 1 und 2 zeigen den Verlauf der Lufttemperatur im Monatsmittel und die Niederschlagssummen für die Monate Januar bis Oktober des Jahres 2009 und im Vergleich hierzu das langjährige Mittel für den Standort Bingen. Deutlich wird, dass die Durchschnittlichen Temperaturen in den meisten Monaten deutlich höher waren als langjährig beobachtet. Besonders deutlich war dies im April sowie in den Spätsommermonaten.

Die Niederschlagssummen in der Vegetationsperiode waren etwa unterdurchschnittlich. Allerdings war die Verteilung sehr stark vom langjährigen Mittel abweichend. Der Juni insbesondere die erste Hälfte des Monats zeigten weit überdurchschnittliche Regenmengen. Hingegen war es im Spätsommer unterdurchschnittlich trocken.

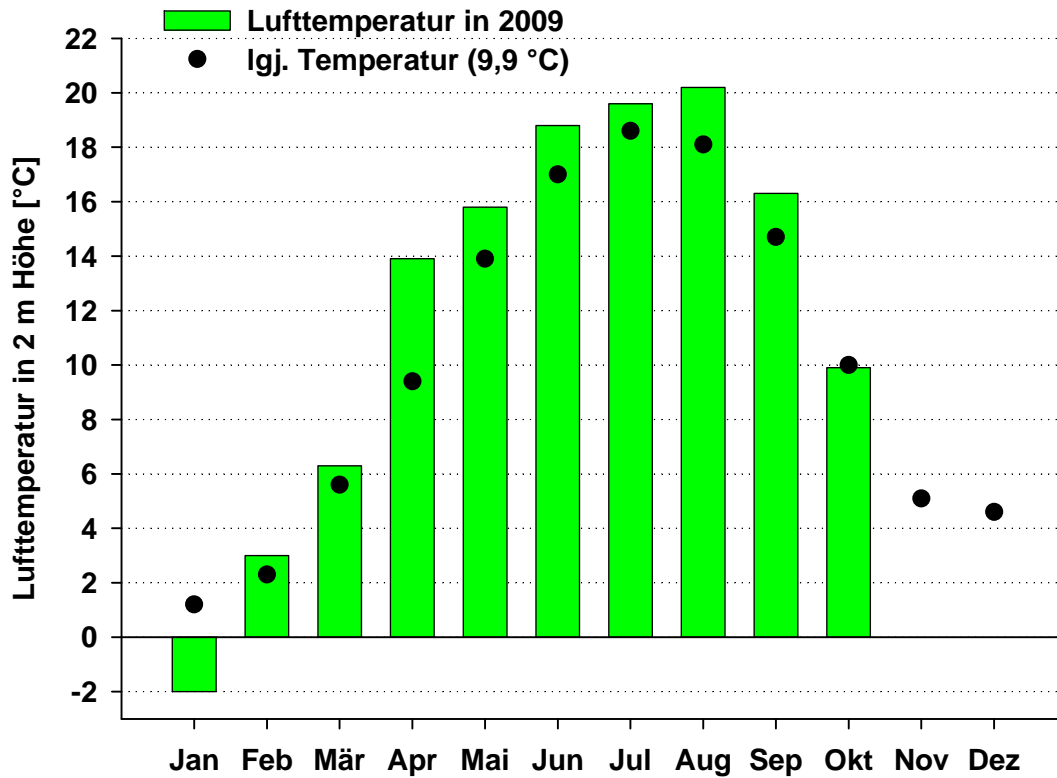


Abb. 1: Verlauf der Lufttemperatur (Monatsmittel) in Bingen für die Monate Januar bis Oktober 2009

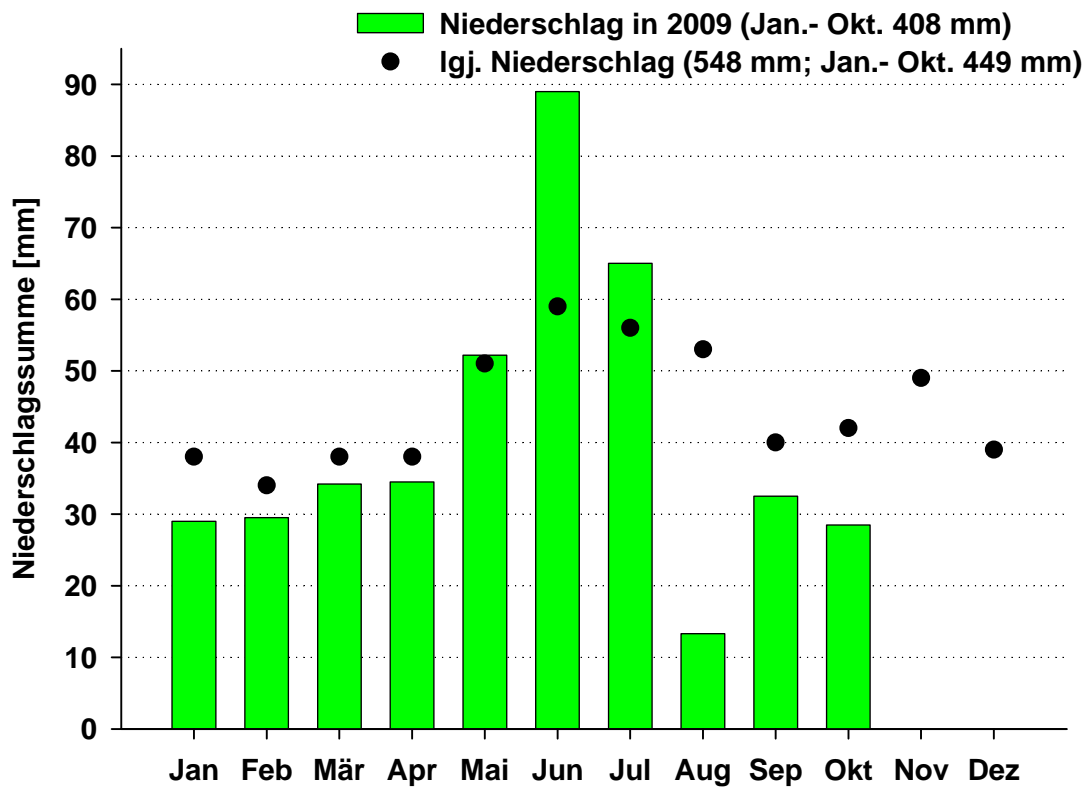


Abb. 2: Verlauf der Niederschlagssummen in Bingen für die Monate Januar bis Oktober 2009

Tabelle 3 zeigt eine Übersicht, welche Versuchsvorhaben an den jeweiligen Standorten durchgeführt wurden und welche Saat bzw. Erntetermine realisiert wurden. Der Sortenversuch und der Herbizidversuch in Altdorf konnten nicht beerntet werden.

Tab. 3: Versuchsübersicht und Saat\*- bzw. Erntetermine\*\*

Versuch	Bingen	Kümbdchen	Platten	Altdorf	Waldalgesheim
Sortenversuch Hauptfrucht	*18.05.09 **29.09.09				
Sortenversuch Zweitfrucht	*29.05.09 **13.10.09			*28.05.09 Keine Ernte	
Saatstärken	*18.05.09 **29.09.09				
Mischanbau (Mais x Sorghum)	*18.05.09 **29.09.09				
Herbizidversuch	*18.05.09 **29.09.09			*28.05.09 Keine Ernte	
Reifeentwicklung Mais & Hirse	*20.04.09 Mais *18.05.09 Hirse **29.09.09	*28.04.09 Mais *13.05.09 Hirse **13.10.09	*26.04.09 Mais *26.05.09 Hirse **30.09.09		*28.04.09 Mais *13.05.09 Hirse **30.09.09

Vor der Saat bzw. vor dem Auflaufen wurden Düngungsmaßnahmen durchgeführt. Die N-Düngung wurde an allen Standorten mit 80 kg/ha bemessen und in Form von Kalkammonsalpeter (KAS) gegeben. Eine Unkrautkontrolle erwies sich an allen 3 Standorten als notwendig. Zum Einsatz kamen die Herbizide Certrol B und Click, welche jeweils im Nachauflaufverfahren eingesetzt wurden (Tab. 4).

Tab. 4: Düngung und Pflanzenschutzmaßnahmen

Versuch	Bingen	Kümbdchen	Altdorf	Platten
Sortenversuch Hauptfrucht	80 kg/ha KAS 1 l/ha Certrol B + 1 l/ha Click am 07.06.09		Keine Düngung kein Herbizideinsatz	
Sortenversuch Zweitfrucht	80 kg/ha KAS 1 l/ha Certrol B + 1 l/ha Click am 15.06.09			
Saatstärken	80 kg/ha KAS 1 l/ha Certrol B + 1 l/ha Click am 07.06.09			
Mischanbau (Mais x Sorghum)	80 kg/ha KAS 1 l/ha Certrol B + 1 l/ha Click am 07.06.09			
Herbizidversuch	80 kg/ha KAS		Keine Düngung	
Reifeentwicklung	160 kg/ha KAS 1 l/ha Certrol B +	70 kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 70 kg K <sub>2</sub> O 14.05.09 150 kg		60 m <sup>3</sup> Gärs substrat (~60 kg/ha N) am

	1 l/ha Click am 07.06.09	N 11.06.09 1Ltr. CertrolB ( nur Hirse)	X	24.4.09 120 kg/ha N KAS Unterfußdüngung 40 kg/ha N + 60 kg/ha P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 6.6.09 Click 1,5 + 1,5 l/ha Bucril (Mais + Hirse) Mais 25.5.09 Task 230 g/ha + 1,0 l/ha Click
--	-----------------------------	---	---	---

Tab. 5: Vorfrucht und Grundbodenbearbeitung

Versuch	Bingen	Kümbdchen	Altdorf	Waldalgesheim	Platten
Versuche im Hauptfruchtanbau	Wintergerste Mulchsaat	X	X	Winterweizen Pflugfurche	Gelbsenf Mulchsaat
Versuche im Zweitfruchtanbau	Wintergerste (GPS)	X	Triticale (GPS)	X	X
Erntetermin der Vorfrucht vor Zweitfruchtanbau	27.5.08 (frühe Teigreife)	X	27.5.09	X	X

Für die Versuche zum Haupt- und Zweitfruchtanbau von Sorghumhirsen in Bingen wurden insgesamt 25 verschiedene Arten bzw. Sorten eingesetzt (Tab. 6). Für die Versuche zum Hauptfruchtanbau in Altdorf konnten nur 10 Sorten ausgesät werden (VG 1 bis 10). Im Laufe der Versuchsabläufe stellte sich heraus, dass die als Lussi bezeichnete Sorte nicht dieselbe war. Hier muss auf Seiten des Saatgutproduzenten eine Verwechslung geschehen sein. Der gesäte Biotyp entsprach von Wachstumsverhalten her einer späten Sudangrassorte (*S. bicolor* x *S. sudanense*). Bei den Ergebnisse 2009 ist diese Sorte als „Lussi“ oder spätes Sudangras bezeichnet.

Für den Versuch zur Optimierung der Saatstärke von *S. bicolor* bzw. *S. bicolor* x *S. sudanense* wurden die Sorten SS506 und „Lussi“ eingesetzt. Während die Sortenversuche mit 30 Körnern/m<sup>2</sup> bestellt wurden, sind im Saatstärkeversuch 15, 30 und 45 Körner/m<sup>2</sup> jeweils für beide Sortentypen eingesetzt worden.

Für die N-Düngungshöhe wurde die Sorte SS 506 eingesetzt. Die N-Düngungsstufen wurden mit KAS etwa zum 4-Blattstadium der Hirse per Hand in den Parzellen ausgebracht.

Tab. 6: Arten und Sorten der Sorghumhirsen im Haupt- und Zweitfruchtanbau der Standorte Bingen und Altdorf (Sorte 1 bis 10)

Nr.	Sorte	Züchter/Vertrieb	Typ
1	Herkules	Saaten Union	<i>Sorghum bicolor</i>
2	Jumbo	Pacific seeds	<i>Sorghum bicolor</i>
3	KWS Maja	KWS	<i>Sorghum bicolor</i>
4	KWS Zerberus	KWS	<i>Sorghum bicolor</i>
5	Lussi	Caussade	<i>S. bicolor</i> x <i>S. sudanense</i>
6	SS F-049	Saaten Union	<i>S. bicolor</i> x <i>S. sudanense</i>
7	SS506	Syngenta Seeds	<i>Sorghum bicolor</i>
8	Super Sile 20	Caussade	<i>Sorghum bicolor</i>
9	Susu	Freundenberger	<i>S. bicolor</i> x <i>S. sudanense</i>
10	Trudan Headless	Sud Cereals	<i>S. bicolor</i> x <i>S. sudanense</i>
11	Akklimat	AgriSem	<i>Sorghum sudanense</i>
12	Bovital	Saaten Union	<i>S. bicolor</i> x <i>S. sudanense</i>
13	DSM 7-552	M.M.R. Genetics	<i>Sorghum bicolor</i>
14	Grazer N	Monsanto	<i>S. bicolor</i> x <i>S. sudanense</i>
15	Green Gracer	RWA	<i>S. bicolor</i> x <i>S. sudanense</i>
16	King 61	DSV	<i>S. bicolor</i> x <i>S. sudanense</i>
17	KWS Inka	KWS	<i>S. bicolor</i> x <i>S. sudanense</i>
18	KWS Bulldozer	KWS	<i>S. bicolor</i> x <i>S. sudanense</i>
19	Mithril	Saaten Andrae	<i>S. bicolor</i> x <i>S. sudanense</i>
20	Top Silo	Sud Cereals	<i>Sorghum bicolor</i>
21	SS 405	Syngenta Seeds	<i>Sorghum bicolor</i>
22	Super Dolce	Caussade	<i>S. bicolor</i> x <i>S. sudanense</i>
23	Latte	Farmsaat	<i>S. bicolor</i> x <i>S. sudanense</i>
24	KSH 6301	KWS	<i>Sorghum bicolor</i>
25	Aron++	AgriSem	<i>Sorghum bicolor</i>

Der Versuch zum Mischanbau von Sorghum und Mais wurden mit dem Sorten Sucrosorgo 506 und Mikado durchgeführt. Angelegt wurden dabei die in Tabelle 7 aufgeführten Varianten.

Tab. 7: Varianten des Versuchs zum Mischanbau von Mais und Sorghumhirse

VG	Variante	kf K/m <sup>2</sup> Hirse	kf K/m <sup>2</sup> Mais
1	100 % Hirse	30	0
2	75 % Hirse + 25 % Mais	22,5	2,5
3	50 % Hirse + 50 % Mais	15	5
4	25 % Hirse + 75 % Mais	7,5	7,5
5	100 % Mais	0	10

kf K – keimfähige Körner

Der Herbizidversuch an den Standorten Bingen und Altdorf (Neustadt/W.) wurden Mitte Mai randomisierte Kleinparzellenfeldversuche in einer 2-faktoriellen Spaltanlage mit 3 bzw. 4 Wiederholungen angelegt. Verwendet wurde die Sorte Sucrosorgo 506. Jeweils die eine Hälfte der Parzellen wurde mit Safener (Conzept III) am Saatgut, die andere ohne, ausgesät. Die Saatstärke betrug 30 keimfähige Körner/m<sup>2</sup>. In Bingen wurden 80 kg/ha N gedüngt. Die Parzellengröße betrug 1,5 x 8 m in Bingen sowie 1,5 x 6,66 m in Altdorf. Die Hirse wurde im Getreidesaatabstand (15 cm) ausgebracht. Nach der Saat wurden im Vorauf- und im 4-Blattstadium im Nachaufverfahren jeweils 3 Herbizide bzw. Herbizidkombinationen ausgebracht (Tab. 8). Im Dreiblattstadium wurde die Pflanzendichte in den Voraufvarianten ausgezählt. Zusätzlich wurden Bonituren auf die Verträglichkeit 3 Wochen nach der abschließenden Behandlung durchgeführt. Im September wurden die Parzellenversuche mit einem Versuchshäcksler beerntet und die Frisch- und Trockenmasse bestimmt.

Tab. 8: Herbizidvarianten

VG	Behandlung
1	Unbehandelt
2	4,0 l/ha Gardo Gold (VA)
3	1,4 l/ha Spectrum + 1,5 l/ha Click (VA)
4	1,3 l/ha Duelor Gold EC 930 + 1,5 l/ha Click (VA)
5	4,0 l/ha Gardo Gold (NA)
6	1,4 l/ha Spectrum + 1,5 l/ha Click (NA)
7	1,3 l/ha Duelor Gold EC 930 + 1,5 l/ha Click (NA)

Für den Versuch zur Reifeentwicklung von Mais und Sorghumhirsen in Abhängigkeit der Temperatursumme wurden die Maissorten Amadeo und Mikado sowie die Hirsesorten „Lussi“ und Sucrosorgo 506 verwendet.

Bis auf den Versuch in Platten wurde alle Versuche wurden als vollständig randomisierte Kleinparzellen-Blockanlagen mit 4 (bzw. 3) Wiederholungen angelegt. Die Größe der Parzellen betrug in Kümbdchen 3 x 6,66 m (Reifeversuch), in Altdorf 1,5 x 6,66 m und in Bingen wurden die Parzellen mit 2 x 8 m angelegt. Die Erntefläche betrug 10 bzw. 12 m<sup>2</sup>. Beerntet wurde jeweils ein Kern von 1,20 m Breite. Die Versuche wurden mit Parzellensämaschinen zur Getreidesaat angelegt (Reihenabstand 15 cm). Die Saatsbreite betrug in Bingen und Altdorf 1,25 m und in Herxheim sowie Kümbdchen 2 x 1,25 m. In Platten wurde je Variante 2 Großparzellen a 0,5 ha angelegt. Die Ernte erfolgte dann an repräsentativen Teilflächen a 15 m<sup>2</sup>. Je Großparzelle wurden 4 Teilflächen beerntet. Zur Ernte wurde in allen Versuchen ein reihenunabhängiges Häckselgerät (Kemper 1,20 m Breite) mit einem Wiegesystem der Firma Taarup eingesetzt (siehe Abb.3).



Abb. 3: Eingesetztes Parzellenhäckselgerät in den Feldversuchen an den 4 Standorten

Zur Ernte wurde die Sprossfrischmasse je Parzelle festgestellt. Von jeder Parzelle wurde eine Mischprobe von 100 g in eine Papiertüte eingewogen und im Trockenschrank bei 105 °C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet und zur Feststellung des Trockensubstanzgehaltes zurück gewogen. Von jeweils zwei Parzellen je Versuchsglied und Versuch wurde ein 5 Liter Plastikeimer mit einem Polyethylenbeutel ausgeschlagen, anschließend mit dem frischen Häckselgut befüllt, dann mit einer selbstgebauten Spindelpresse verdichtet und abschließend die Plastiktüte mit einem Kabelbinder verschlossen sowie der Eimer mit einem Plastikdeckel abgedichtet. Dies so konservierte Material wurde an einem kühlen, frostfreien Ort bis zu den Vergärungsexperimenten zwischengelagert.

## 2.2 Vergärungsexperimente und Inhaltsstoffanalysen

Die Vergärung der in den Feldversuchen gewonnen Silage erfolgte in Laborfermentern der Fachhochschule. Hier wurden jeweils 300 g Silage (Frischmasse), 4 kg Fermentergülle einer Praxisbiogasanlage und 1,5 l Leitungswasser je 6 l Fermenter (Glasfermenter, HWS, Mainz) eingesetzt. Um Schaumbildung zu vermeiden, wurde je Fermenter 5 ml einer Silconsuspensionslösung gegeben. Je Versuchsansatz standen 10 Fermenter zur Verfügung. Pro Versuchsglied wurde eine Doppelbestimmung durchgeführt. Zwei der 10 Fermenter wurden nur mit Fermentergülle und Wasser befüllt, um die Nettobiogasmenge der jeweils verwendeten Hirsesorte zu kalkulieren. Aufgrund der geringen Fermenteranzahl konnten folglich nur 4 Sorten je Versuchsansatz untersucht werden. Die Vergärung wurde bei 40 °C für 28 Tage durchgeführt. In den Fermentern war jeweils ein Paddelrührwerk in zwei Ebenen eingebracht. Die Rührintensität betrug 15 min. je Stunde bei einer Umdrehungszahl von 160 U/min. Eine Woche nach Testbeginn wurde die Umdrehungszahl der Rührwerke auf 80 U/min. reduziert. Das je Fermenter gebildete Biogas wurde in einem 40 l Gasfolienspeicherbeutel (Firma Ritter) aufgefangen und je nach Füllstand anfangs täglich, im weiteren Versuchsverlauf in größeren Abständen entleert. Die Entleerung erfolgte durch einen Laborkompressor über eine Gasuhr zur Erfassung der Gasmenge. Ein Teilgasstrom wurde bei der Entleerung über den Biogasmonitor (Firma Ansynco) geleitet, um die Gaszusammensetzung (CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> und H<sub>2</sub>S-Gehalt) zu bestimmen (Abb. 4 und 5). Bei jeder Entleerung wurden zudem die Raumtemperatur und der Luftdruck erfasst, um das Normgasvolumen gemäß DIN 1343 bestimmen zu können.

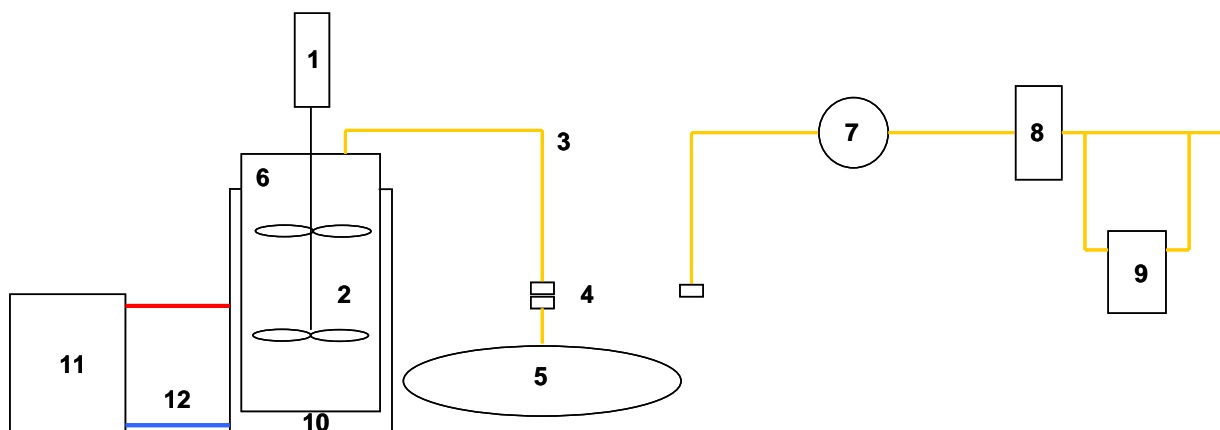


Abb. 4: Schema der Batchfermenter zur Vergärung der Hirsesilagen

1 – Rührmotor, 2 – Paddelrührwerk in zwei Ebenen, 3 – Gasleitung, 4 – beidseitig absperrende Steckverbindung, 5 – Gasspeicherbeutel, 6 – Fermenter, 7 – Gasuhr, 8 – Laborkompressor, 9 – Gasmonitor, 10 – Heizmantel, 11 – Heizung, 12 – Wasserleitung

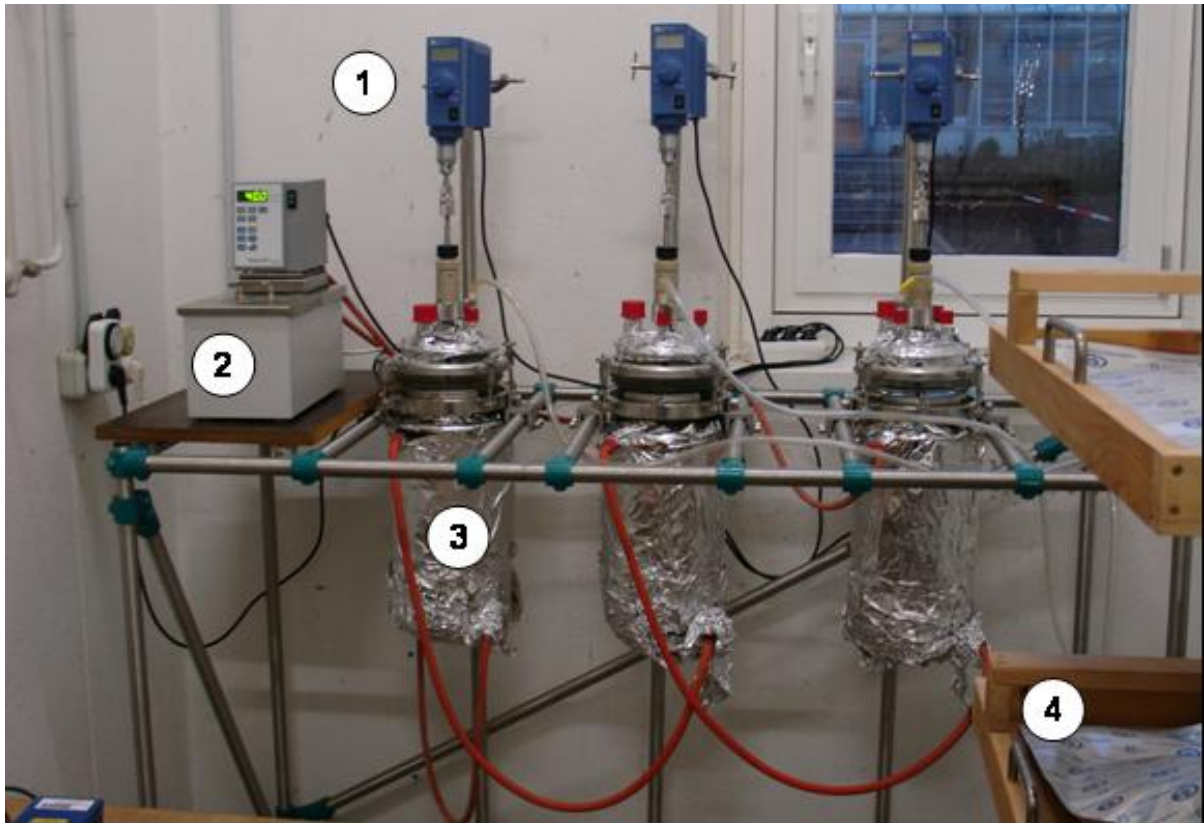


Abb. 5: Batchlaborfermenter zur Ermittlung der Biogasqualität und -quantität der in den Feldversuchen gewonnenen und konservierten Proben (1 – Laborrührwerk, 2 – Heizung, 3 – Glasfermenter mit Heizungsmantel, 4 – Gasspeicherbeutel)

Für die Inhaltsstoffanalysen wurden Silageproben bei 60°C im Trockenschrank für 24 h getrocknet. Mit einer Retsch-Hammerschlagmühle wurde das Material anschließend auf 1 mm zerkleinert. Die so aufbereiteten Proben wurden Weender Analyse (Lengerken und Zimmermann 1991) und van Soest-Methode (van Soest 1967) in einem Labor der FH-Bingen durchgeführt. Von jeder Sorte im Hauptfruchtanbau der Versuchsjahre 2007 und 2008 wurde die Probe aus einer Wiederholung gewonnen. Die Analysen wurden jeweils in Doppelbestimmung durchgeführt. Bei hohen Abweichungen zwischen den Wiederholungen wurde die Analyse wiederholt.

### 2.3 Statistische Auswertung

Die Darstellung der Feldversuchsergebnisse enthält in der Regel die Mittelwerte der Wiederholungen. Die Fehlerbalken indizieren die Standardabweichungen. Mehrjährige orthogonale Versuchsserien wurden mit einer zweifaktoriellen Varianzanalyse mit anschließenden multiplen Mittelwertsvergleich (Tukey 5 %) ausgewertet. Wenn sinnvoll wurden lineare Regressionen angepasst. Für die Korrelation von Inhaltsstoffen und Methanausbeute wurde ein multipler Regressionsansatz verwendet. Die Ergebnisse der Laboranalysen sind jeweils die Mittelwerte aus Doppelbestimmungen.

### 3 ERGEBNISSE

#### 3.1 Ergebnisse des Versuchsjahres 2009

##### 3.1.1 Feldaufgänge in Abhängigkeit der Sorte, des Standortes, der Saatstärke und des Saattermins

Zwar sind Sorghumhirsen eher in der Lage Bestandeslücken auszugleichen als der Mais, jedoch sind für hohe Erträge und vor allem auch den Trockensubstanzgehalt auch hier gleichmäßig hohe Feldaufgangszahlen relevant. Die Pflanzendichten des Hauptfruchtanbaus in Bingen 2009 (Abb. 6) zeigen deutliche Unterschiede zwischen den Sorten. Im Sortenmittel wurden 22 Pflanzen/m<sup>2</sup> (bei 30 gesäten Körnern) registriert. Die Spannweite reichte aber von ca. 10 Pfl./m<sup>2</sup> bei Akklimat und King 61 bis über 30 Pflanzen bei den Sorten Lussi, Grazer N, KWS Bulldozer und SS405. Die meisten übrigen Sorten bewegten mit 20 bis 25 Pfl./m<sup>2</sup> in einem akzeptablen Bereich.

Die gleichen Sorten wurden in Bingen 10 Tage später (28.5.) als der Hauptfruchtanbau in der gleichen Saatstärke in einem Zweitfruchtanbau (zuvor wurde Wintergerste in der Teigreihe auf dieser dem Hauptfruchtanbau benachbarten Fläche geerntet) ausgesät. Bedingt durch Bodentrockenheit und einen erst 10 Tage nach der Saat aufgetretenen Regenereignis konnten die Hirsesorten auflaufen. Durch diese Verzögerung und durch eine rechte kühle Witterung während der Auflaufphase war der Aufgang letztendlich deutlich geringer als im Hauptfruchtanbau (Abb. 7). Im Sortenmittel wurden nur 13 Pfl./m<sup>2</sup> gezählt. Die Spanne reichte hierbei von Akklimat (5 Pfl./m<sup>2</sup>) bis zur Sorte KWS Bulldozer (23 Pfl./m<sup>2</sup>).

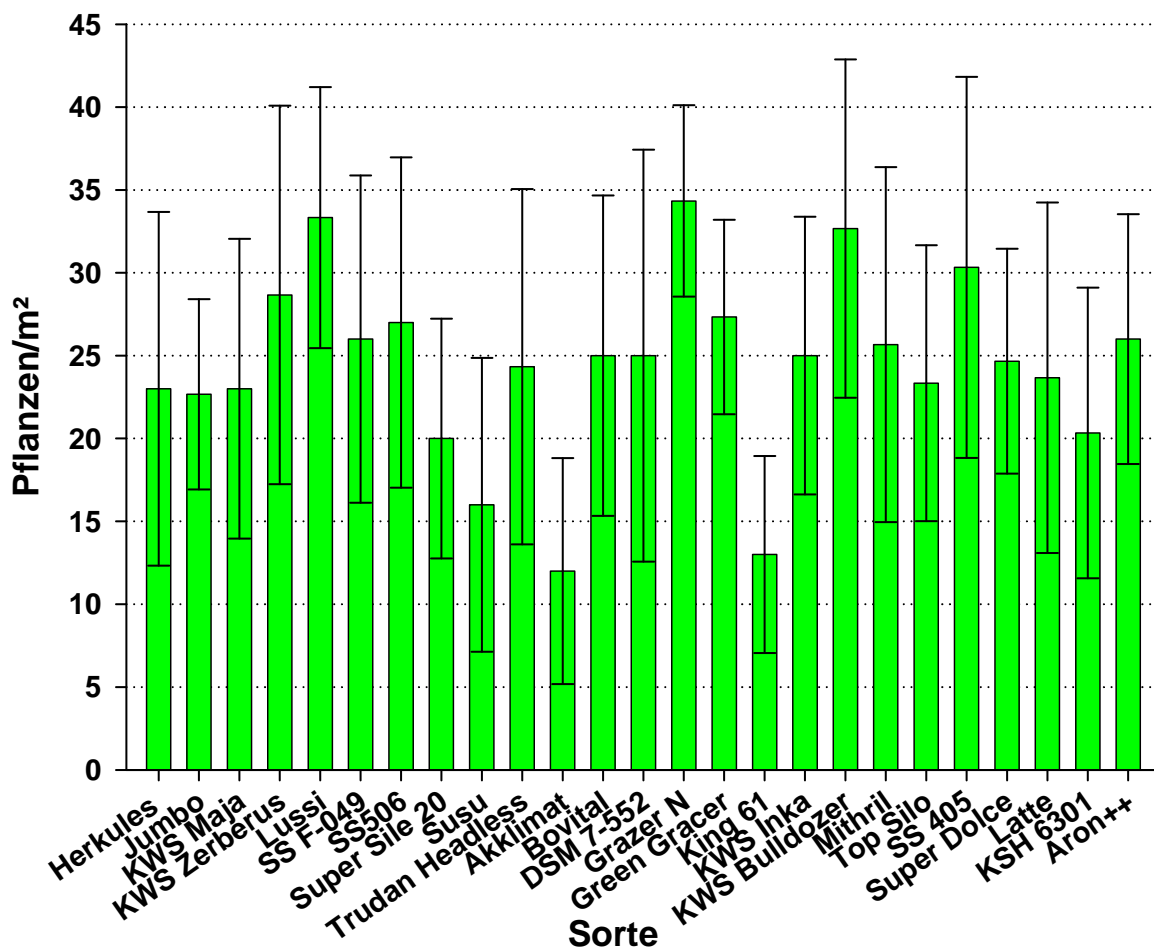


Abb. 6: Anzahl aufgelaufener Sorghumpflanzen/m<sup>2</sup> in Abhängigkeit der Sorte im Hauptfruchtanbau in Bingen 2009

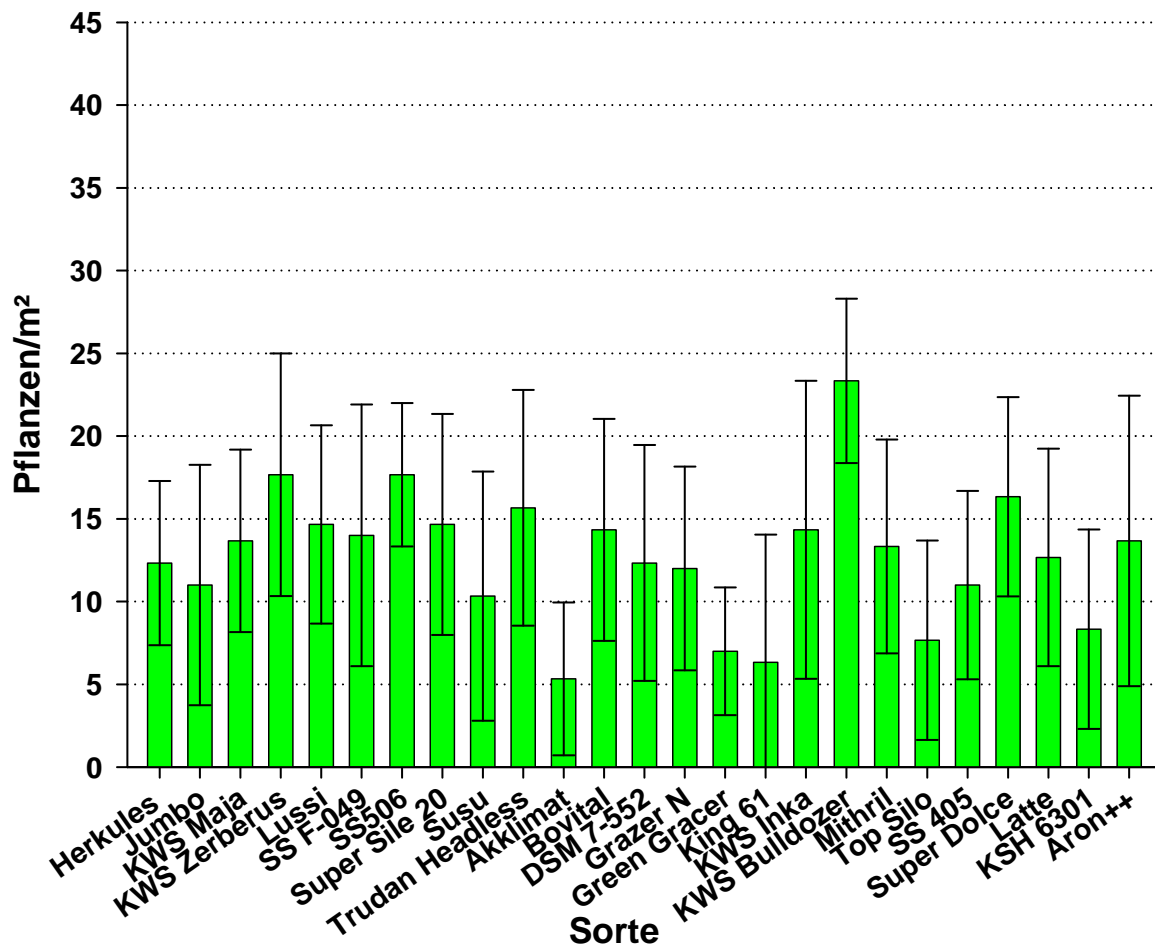


Abb. 7: Anzahl aufgelaufener Sorghumpflanzen in Abhängigkeit der Sorte im Zweitfruchtanbau in Bingen 2009

Die Aufgangszahlen des Zweitfruchtanbaues in Altdorf (Südpfalz) waren aufgrund der besseren Bodenfeuchtigkeitsverhältnisse deutlich höher als in Bingen (Abb. 8). Im Sortenmittel wurden 24 Pfl./m<sup>2</sup> erreicht. Die Spanne der aufgelaufenen Pflanze reichte dabei von 18 Pfl./m<sup>2</sup> bei der Sorte KWS Zerberus bis zu 29 Pfl./m<sup>2</sup> bei der Sorte SS F-049

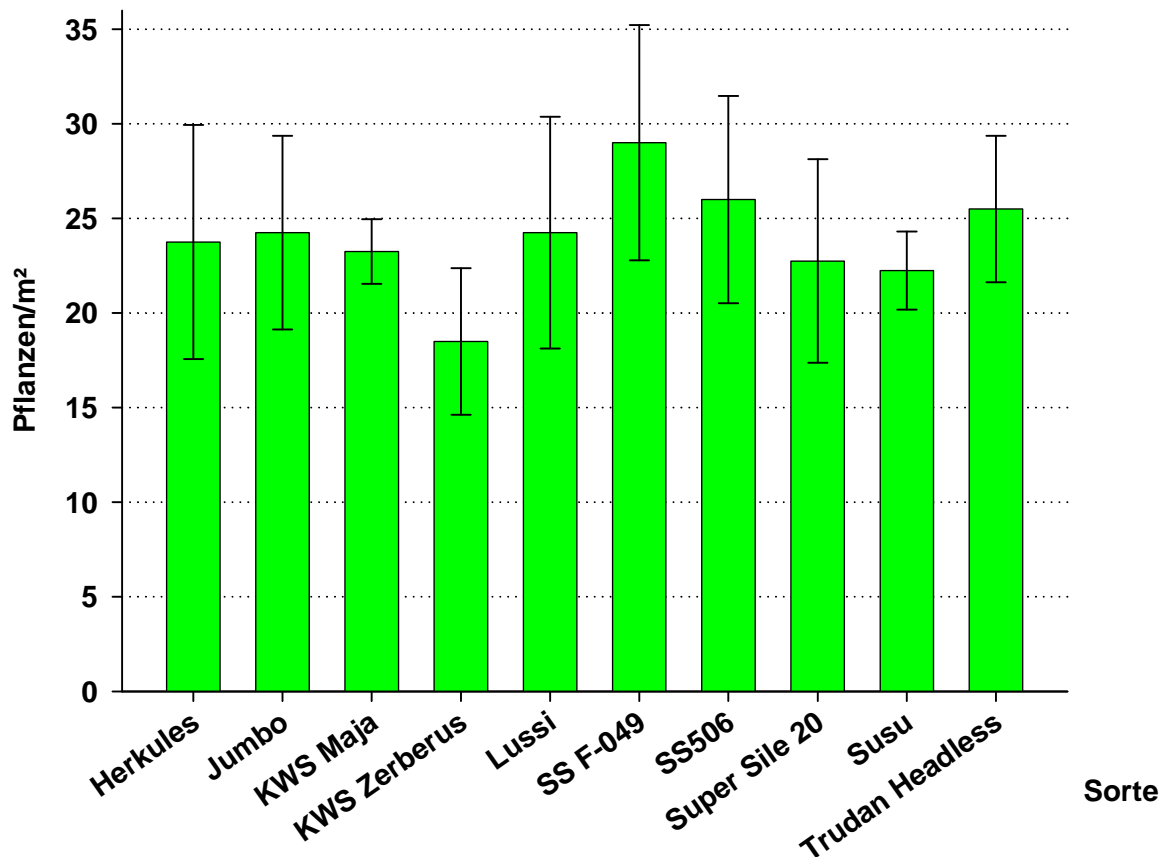


Abb. 8: Anzahl aufgelaufener Sorghumpflanzen/m<sup>2</sup> in Abhängigkeit der Sorte im Zweitfruchtanbau in Altdorf 2009

### 3.1.2 Beschreibung der Sorghumhirseentwicklung im Vegetationsverlauf

Nach dem Auflaufen entwickelten sich die Sortenhirsen wie auch in den vorangegangenen Jahren zunächst nur langsam. Aufgrund der kühlen und feuchten ersten Junihälfte des Jahres 2009 war die Sorghumentwicklung besonders langsam. Insbesondere wurde dies im Vergleich zum Mais deutlich, der in diesem Jahr 3 Wochen früher als die Hirse gesät werden konnte und aufgrund des geringeren Wärmebedürfnisses stets zügig wachsen konnte. Erst sehr spät im Sommer (etwa Anfang August) gelang es einigen Sortenhirsesorten den Mais im Längewachstum einzuholen. In den Vorjahren wurde dies zumeist bereit Mitte Juli beobachtet.

Bei den Sorten des Sortimentes 2009 fielen Bovital und SS F-049 durch ein hohes Maß an Heterogenität auf. Bei beiden Sorten gab es im Bestand sehr große Unterschiede vom Längenwachstum und dem erreichten Entwicklungsstadium zur Ernte innerhalb des Bestandes. Entweder waren diese Varianten nicht sortenrein, oder aber die mütterlichen Inzuchtlinien wiesen keine ausreichende männliche Sterilität auf, so dass es bei der Saatgutproduktion zu einem gewissen Maß an Selbstbefruchtung der weiblichen Inzuchtlinien gekommen ist. Da die mütterlichen Inzuchtlinien in der Hybridsaatgutproduktion von Sorghum zumeist Dwarf-Gene tragen, bleiben die Selbstungen konsequenterweise kleinwüchsig.

Die Sprosslänge der Sorghumhirsen im Hauptfruchtanbau in Bingen (Abb. 9) erreichten Endhöhen von 180 (Top Silo) bis 400 cm (KWS Bulldozer). Die Größten Sprosslängen wurden durch die *S. bicolor* Massetypen erreicht, die in der Regel auch nur etwa die Blüte erreichten. Sorten mit einem starken Kornansatz blieben deutlich im Längenwachstum zurück.

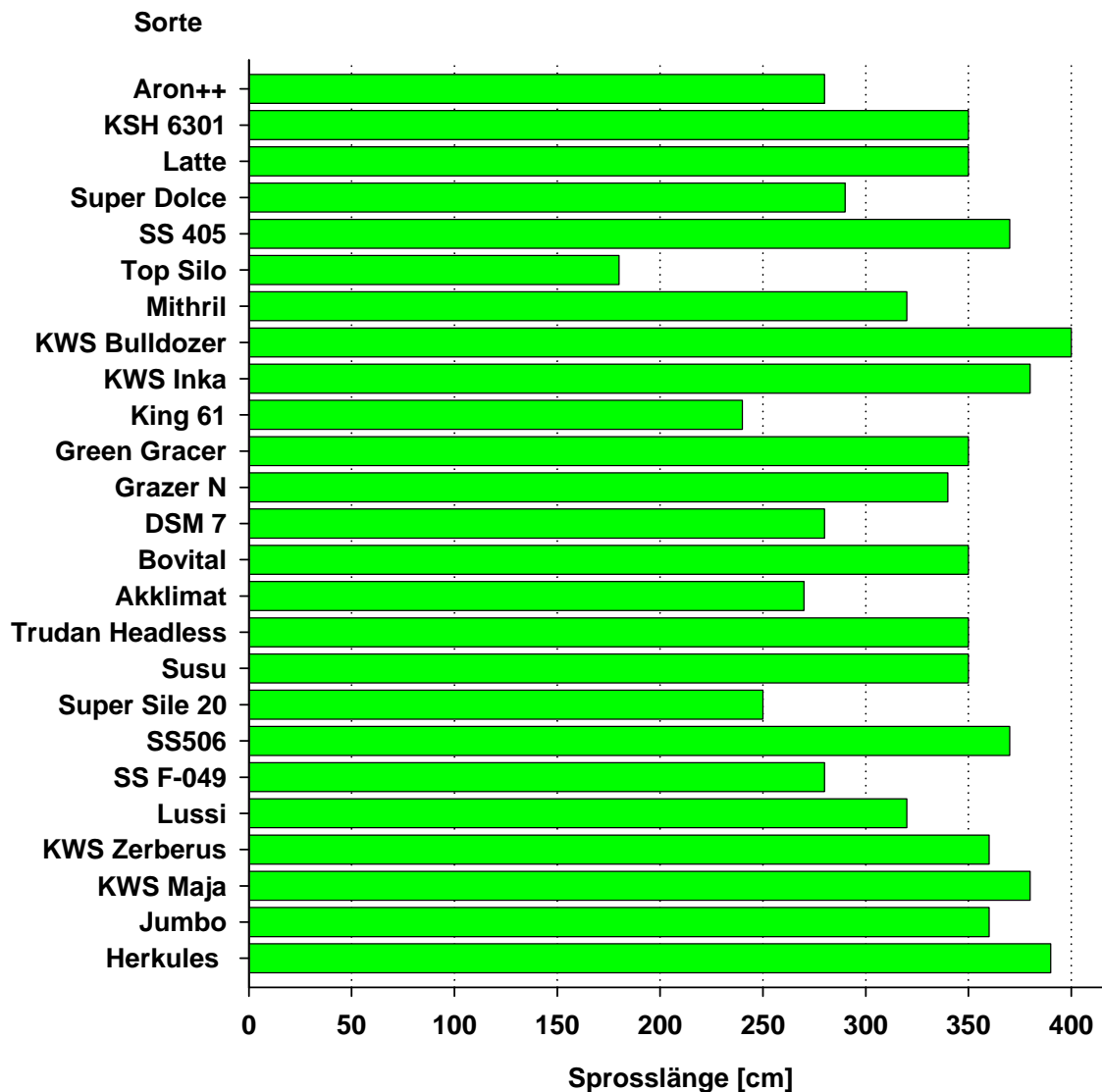


Abb. 9: Sprosslänge von Sorghumhirsesorten im Hauptfruchtanbau in Bingen kurz vor der Ernte (2009)

Die Sprosslängen der Sorten im Zweitfruchtanbau in Bingen (Abb. 10) waren in der Endhöhe deutlich geringer als im Hauptfruchtanbau. Im Sortenmittel wurden 210 cm erreicht. Die Sprosslängen variierten von 110 cm (Top Silo) bis 280 cm (KWS Bulldozer). Interessanterweise unterschieden sich die erreichten Entwicklungsstadien innerhalb einer Sorte zur Ernte zwischen Haupt- und Zweitfruchtanbau kaum (Abb. 11 und 12). Trotz des deutlich Wachstumsrückstands konnten die Sorten des Zweitfruchtanbaues vermutlich aufgrund der sehr günstigen Septemberwitterung des Jahres 2009 (warm und trocken) noch die entsprechenden Entwicklungsstadien erreichen. Das Spektrum der Entwicklungsstadien der Sorten lag dabei von BBCH 49 (Jumbo) bis zum Stadium 89 (Grazer N und King 61). Das Spektrum der geprüften Sorghumsorten teilte sich etwa hälftig in Sorte die die Blüte oder ein frühes Kornreifstadium erreichten. Als einzige Sorte die eine photoperiodische Sensibilität aufzeigte und gar nicht die generative Phase erreichte war wie in den Vorjahren die Sorte Jumbo.

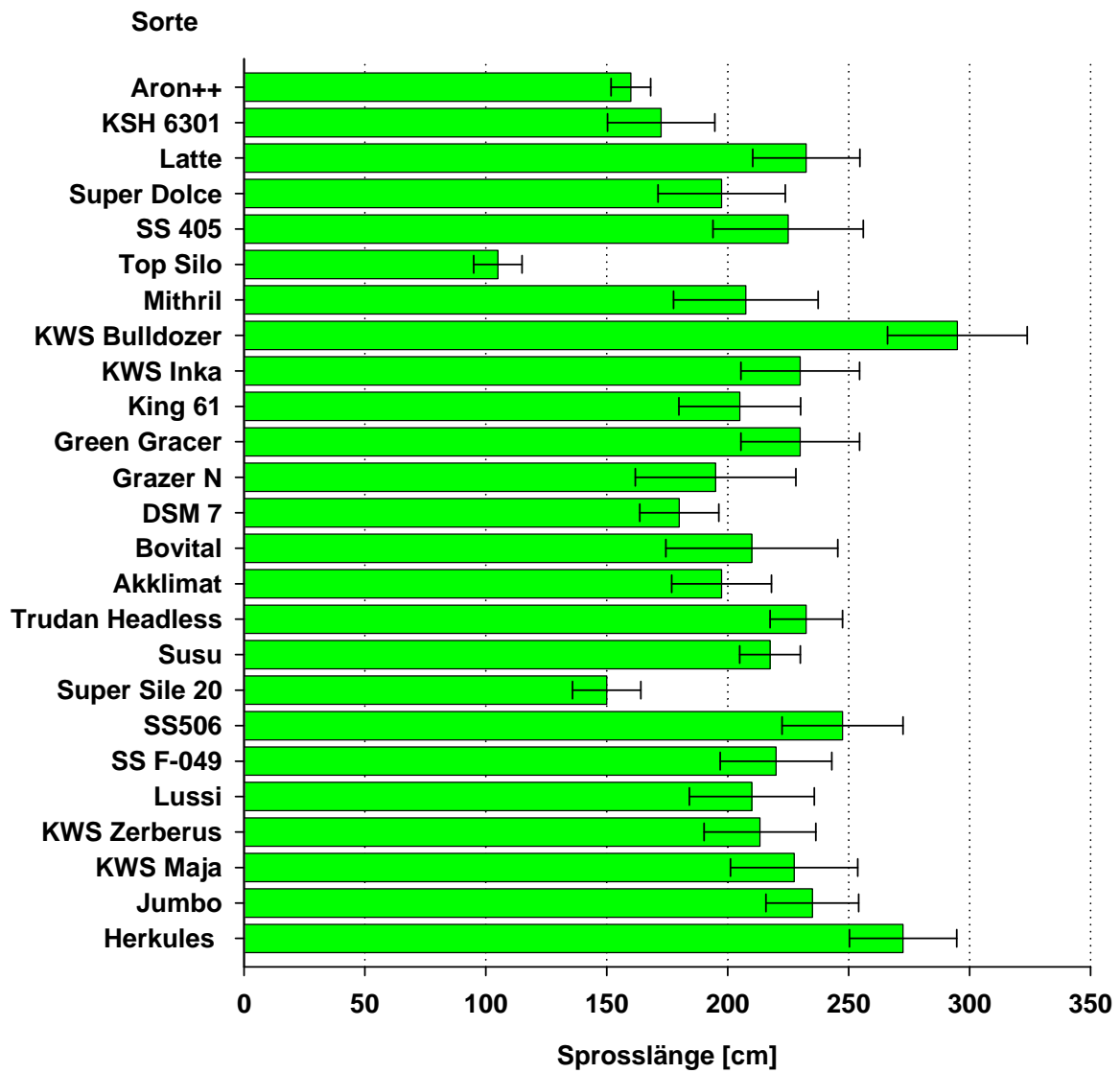


Abb. 10: Sprosslänge versch. Sorghumhirsesorten im Zweitfruchtanbau Bingen 2009 - Bonitur am 15.10.09

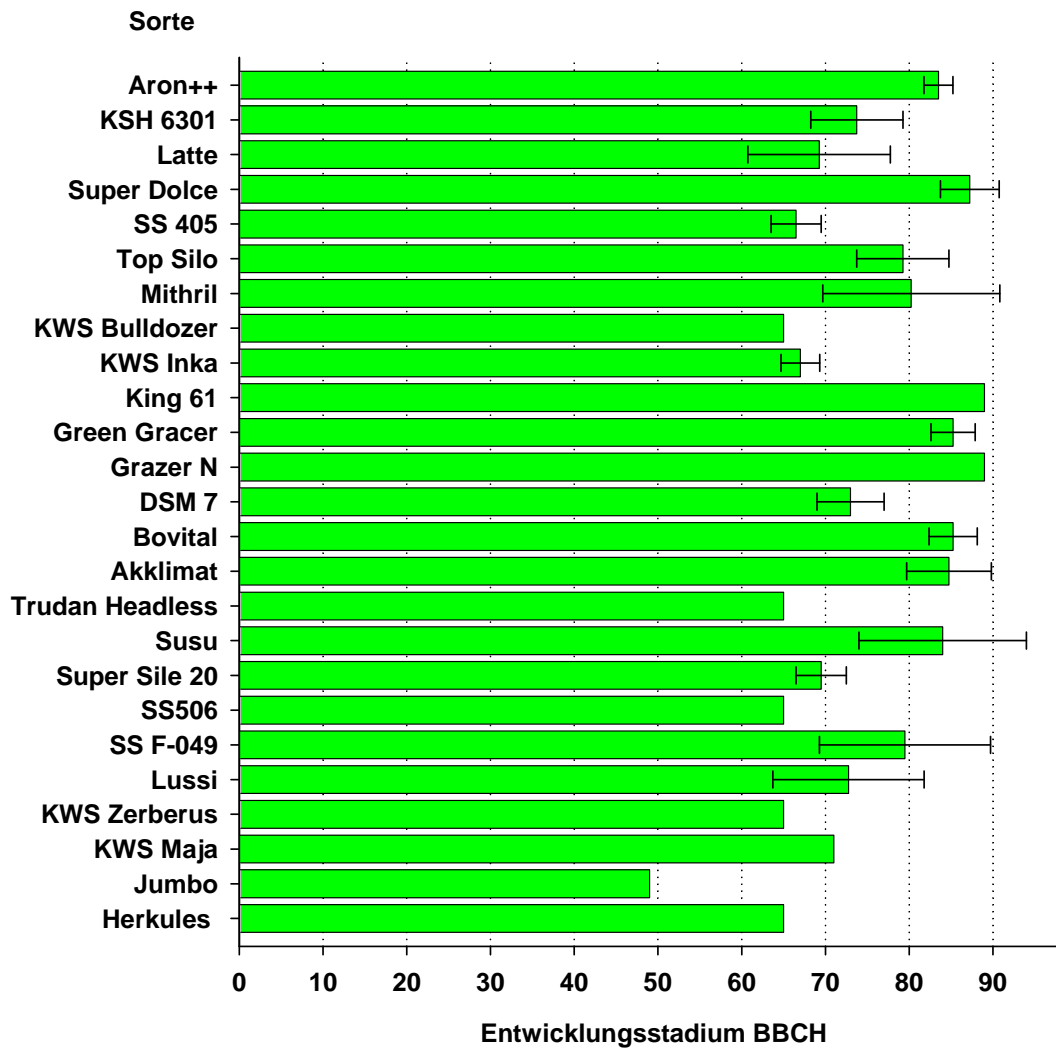


Abb. 11: Entwicklungsstadium versch. Sorghumhirsesorten im Hauptfruchtanbau, Bingen 2009 - Bonitur am 20.9.09

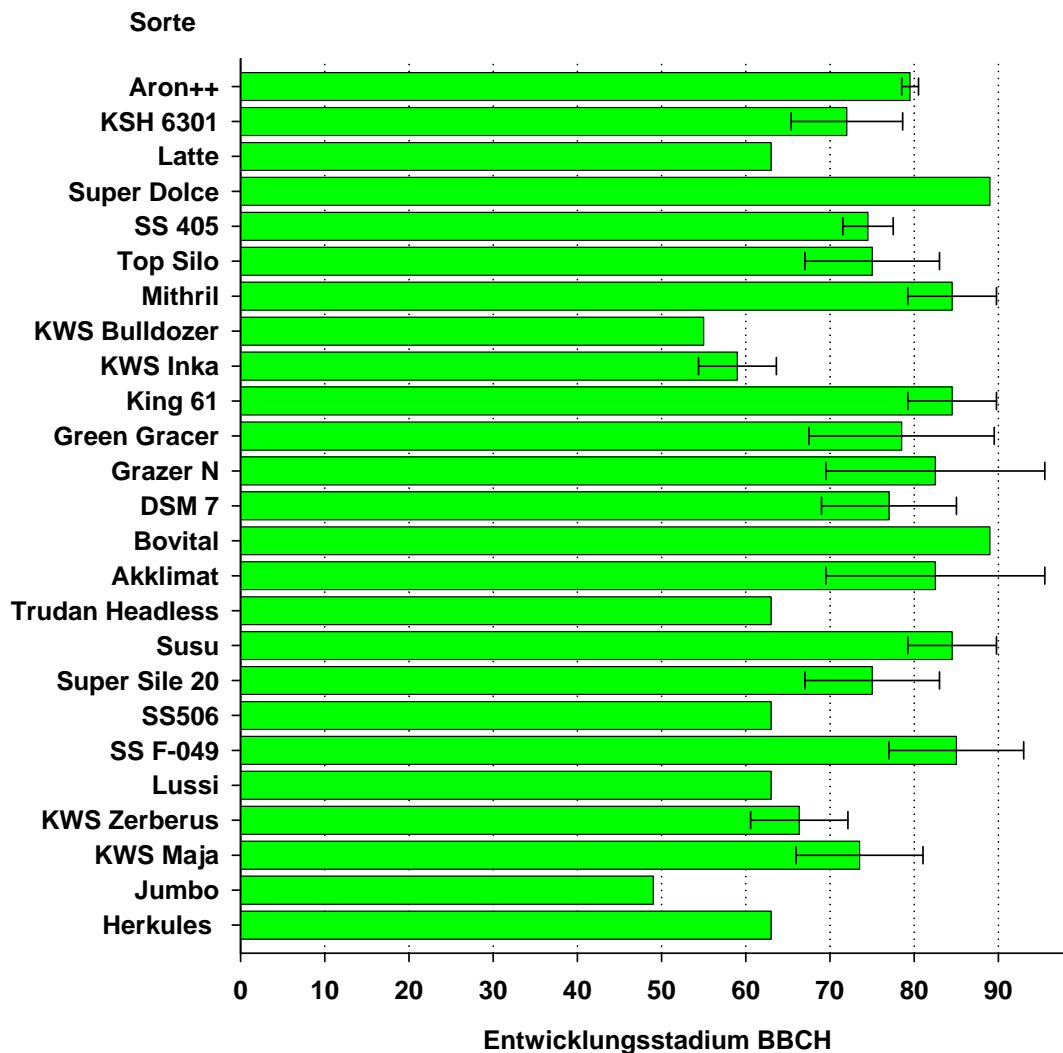


Abb. 12: Entwicklungsstadium versch. Sorghumhirsesorten im Zweitfruchtanbau Bingen 2009 - Bonitur am 15.10.09

Entscheidend für hohe Erträge und geringe Verluste bei der Ernte ist bei Sorghum genau wie bei Mais, dass die Pflanzen nicht ins Lager gehen. Bereits in den vergangenen Versuchsjahren konnte beobachtet werden, dass bei Sorghum die Sorten für diesen Parameter stark differenzieren. Die im Jahr 2009 geprüften Sorten zeigten im Zweitfruchtanbau bis zur Ernte im Oktober kein Lager. Bei größeren Bestandesdichten und Sprosslängen im Hauptfruchtanbau zeigten sich allerdings deutliche Unterschiede (Abb. 13). Stark ins Lager ging die Sorte Aron++, obwohl diese Sorte mit ca. 250 cm Sprosshöhe bei weiten nicht die größte Endhöhe aufwies. Allerdings zeigte diese wie auch andere Sorten eine verstärkte Lagerneigung aufgrund der weit entwickelten und zahlreich vorhandenen Körner. Die Sorten mit großer Endhöhe wie Herkules oder KWS Bulldozer kamen nur bis zur Blüte und wiesen damit keine „toplastige“ Veränderung des Schwerpunktes auf. Die „brown mid rip“ Sorte DSM 7 zeigte wie in den Vorjahren eine hohe Halmlabilität auf. Hier scheint der sich der geringe Ligninanteil (siehe Abb. 49) in der Zellgerüstsubstanz negativ bemerkbar zu machen. Die Sudangras-Sorten wie Bovital oder Green Gracer waren zur Ernte Ende September bereits recht weit entwickelt und wiesen (fast) reife Körner in der Rispe auf, so dass hier Lagerbildung bzw. eine starke Sprosskrümmung auftrat.

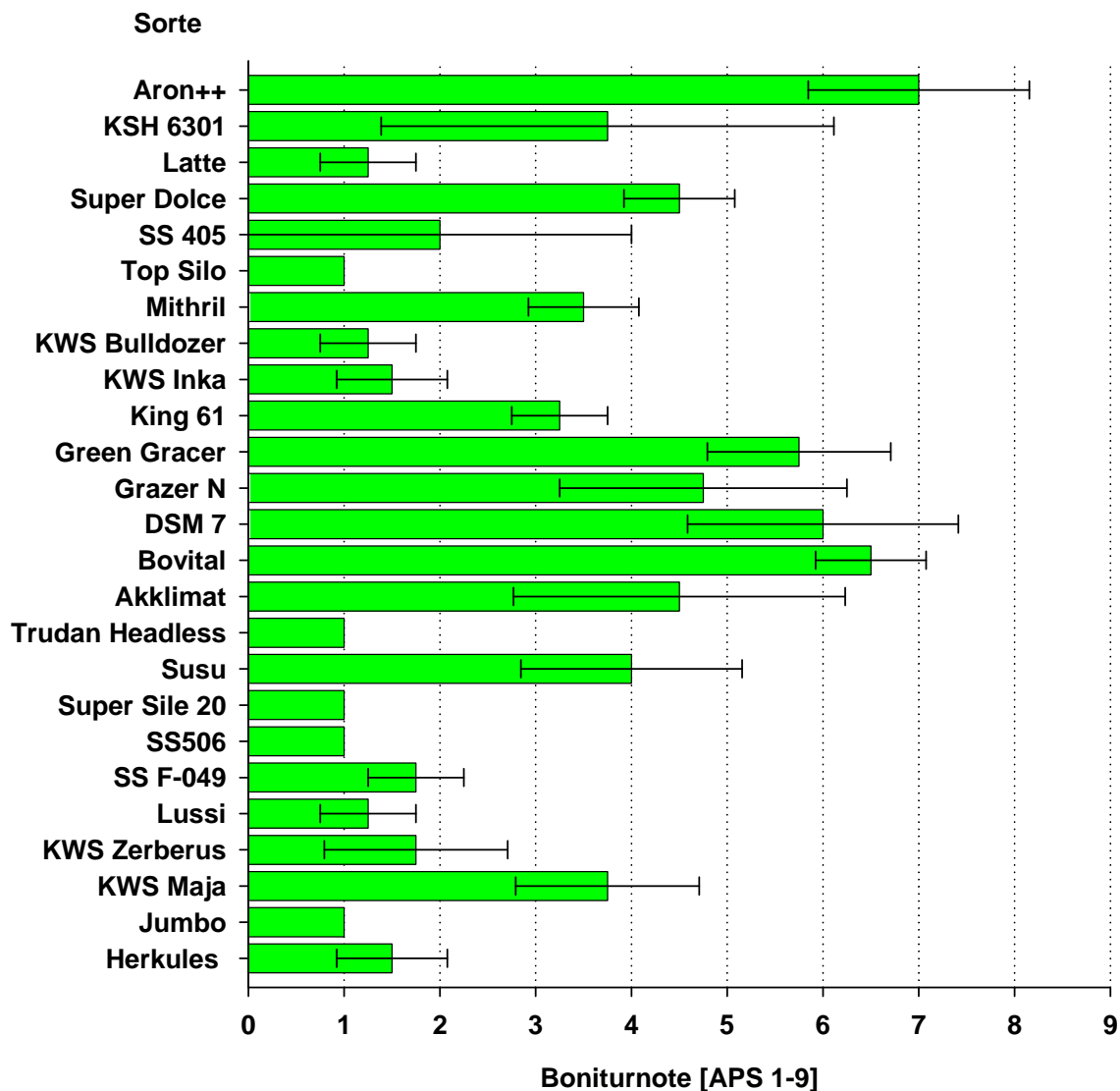


Abb. 13: Lagerbildung in Abhängigkeit der Sorte im Hauptfruchtanbau in Bingen (1 = nicht kein Lager; 9 = totales Lager); Bonitur 20.9.09

### 3.1.3 Schaderreger an der Sorghumhirse

Im Gegensatz zu den vergangenen Versuchsjahren war das Auftreten von Schaderregern in den Sorghumhirschen recht gering. Ein Einfluss auf den Ertrag durch Schaderreger dürfte vermutlich in keinem Fall aufgetreten sein. An Mais trat in Bingen 2009 ein massiver Befall mit dem Maiszünsler aber auch mit Blattläusen auf. Nur vereinzelt konnten Sorghumpflanzen mit Maiszünslerbefall im Versuchsfeld beobachtet werden. Der Befallsdruck war so gering, dass eine Sortendifferenzierung nicht möglich war. Auch Blattläuse traten im geringen Umfang in Sorghum im Vergleich zum Mais auf. Auch hier konnten keine Differenzierungen zwischen den Sorten erfolgen. Ebenfalls geringer als in den Vorjahren fiel der Blattkrankheitsbefall aus. Hauptsächlich konnten Blattflecken verursacht durch *Pseudomonas syringae* beobachtet werden. Lokal fielen auch Helminthosporium-Flecken auf. Im Labor konnte jedoch der vermutete Erreger nicht isoliert werden (pers. Mitteilung Preiss, DLR Rheinhessen-Nahe-Hunsrück). Die in Abbildung 14 dargestellte Bonitur des Auftretens von Blattflecken ist ein Summenparameter aller in Frage kommenden Erreger. Deutlich wird, dass insgesamt ein geringes bis mittleres Auftreten der Blattflecken registriert wurde. Lediglich die Sorte Akklimat wies eine höhere Boniturnote auf. Damit bestätigt sich für diese Sorte die höhere Anfälligkeit gegenüber Blattflecken, die auch in den Vorjahren bereits auffällig war.

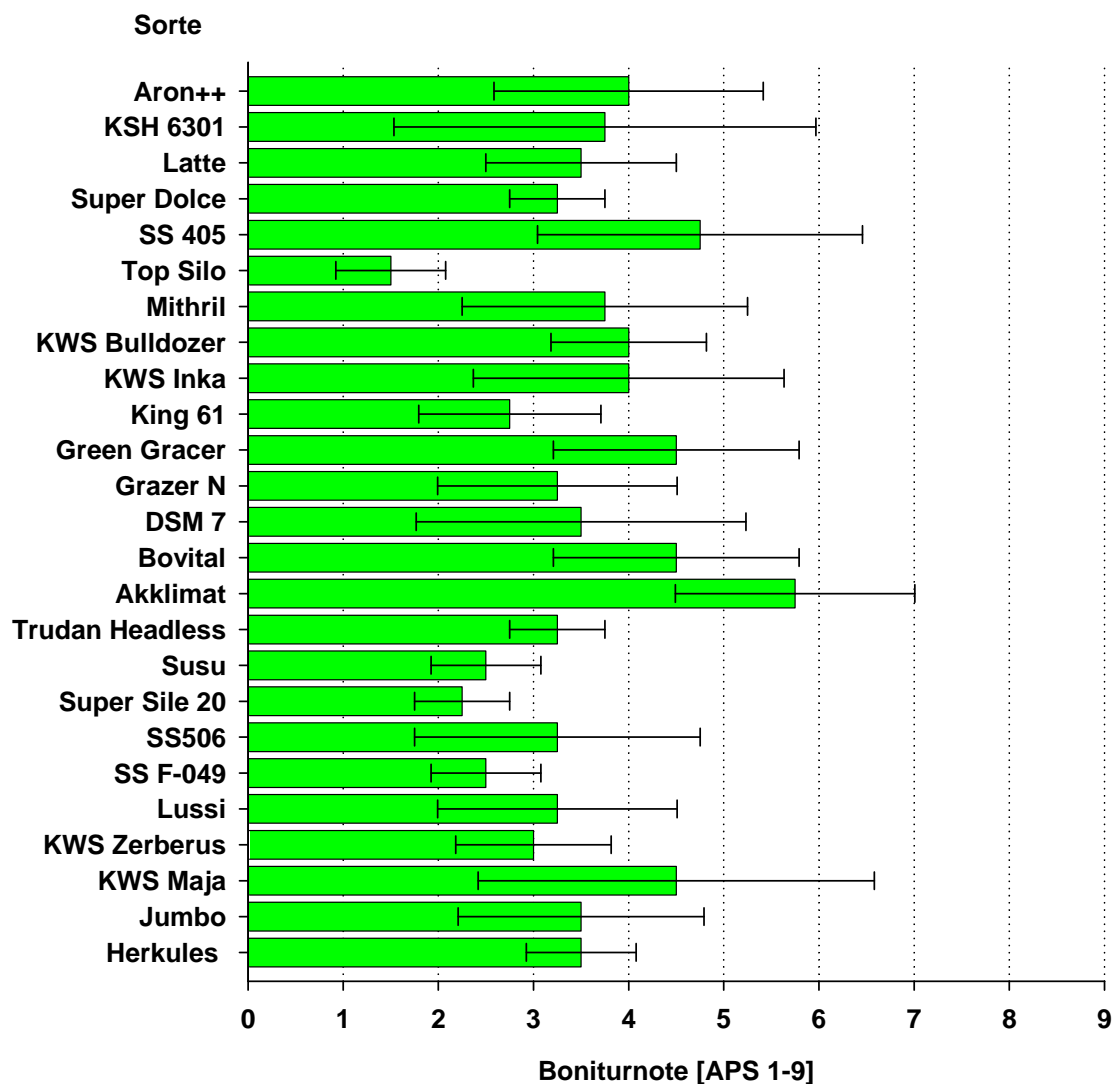


Abb. 14: Befallstärke von Blattkrankheiten an Sorghumhirse-Sorten (Boniturnoten 1-9) im Hauptfruchtanbau in Bingen (Bonitur 20.9.09)

### 3.1.4 Trockensubstanzgehalte und Trockenmasseerträge von Sorghumhirsen im Hauptfruchtanbau

Die Sorghumhirsesorten im Hauptfruchtanbau in Bingen wurden am 29.9.09 geerntet. Die Ernte verlief bei manchen Sorten aufgrund des recht geringen TS-Gehaltes technisch nicht problemlos. Insbesondere bei der Sorte Jumbo (viel Biomasse bei niedrigem TS-Gehalt) konnten nicht alle Parzellengewichte ermittelt werden. Die meisten Sorten waren allerdings problemlos zu ernten. Die Trockensubstanzgehalte schwanken je nach Sorte in einem Bereich von 22 bis 37 % (Abb. 15). Im Versuchsmittel wurden 28 % TS erreicht. Bis auf die Sorten Jumbo, Top Silo und Super Sile 20 wurde in allen Fällen ein TS-Gehalt erreicht, der für eine Konservierbarkeit als ausreichend angesehen werden kann. Mit 37 % der Sorte KWS Maja wurde der mit deutlichem Abstand höchste TS-Gehalt aller Sorten des Versuchsjahres ermittelt.

Die Trockenmasseerträge (Abb. 16) lagen im Sortenmittel bei 20,4 t/ha. Das Ertragsniveau lag insgesamt etwas niedriger als in den vorangegangenen Versuchsjahren. Während in den Vorjahren bis zu 30 t/ha bei einzelnen Sorten erzielt wurden, umfasste die Ertragsspanne im Jahr 2009 den Bereich von 10,7 (Top Silo) bis 26,3 t/ha (KWS Zerberus). Wie in den vorangegangenen Prüffahren zeigte sich wieder das höhere Ertragspotential der *Sorghum bicolor* Sorten. Allerdings eignet sich offensichtlich nicht jede Sorte dieser Art für den

Biomasseanbau. Auffällig ist, dass die neuen KWS-Sorten einen recht hohen Ertrag aufwiesen. Möglicherweise in Indiz dafür, dass die züchterische Adaptierung der Hirse an unsere Klimate erste Früchte trägt.

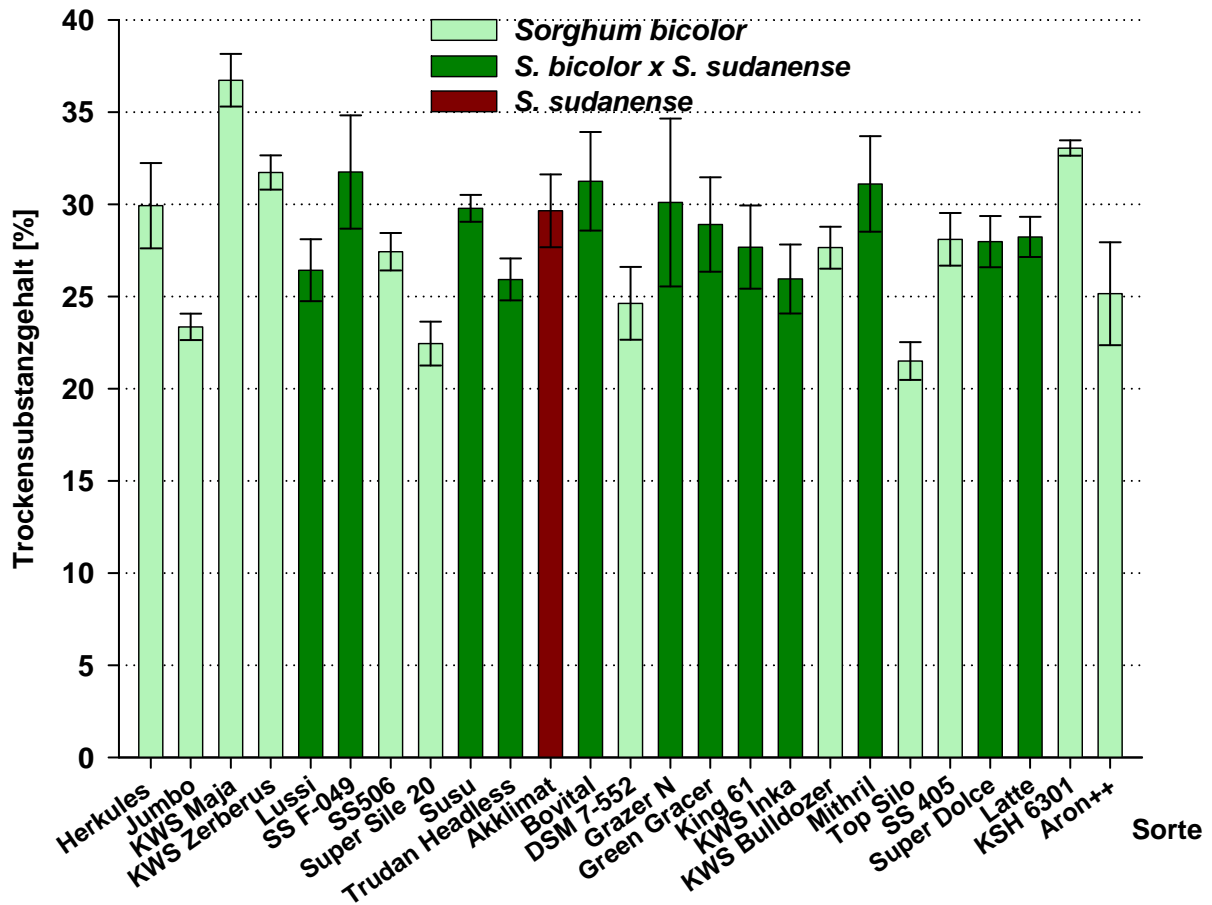


Abb. 15 Trockensubstanzgehalte von Sorghumhirsen im Hauptfruchtanbau am Standort Bingen 2009

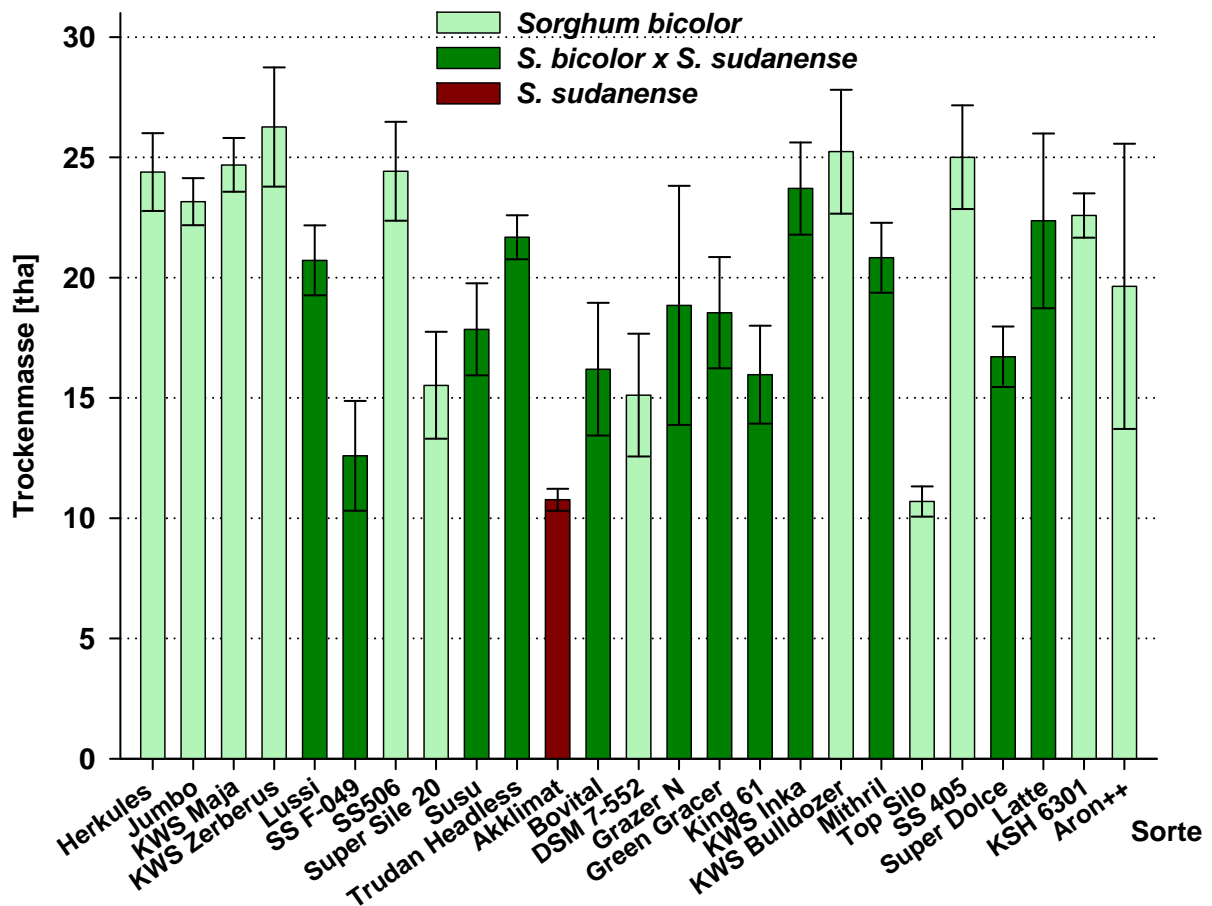


Abb. 16: Trockenmasseerträge von Sorghumhirsen im Hauptfruchtanbau am Standort Bingen 2009

### 3.1.5 Trockensubstanzgehalte und Trockenmasseerträge von Sorghumhirsen im Zweitfruchtanbau

Das gleiche Sortiment des Hauptfruchtanbaues wurde in Bingen auch als Zweitfrucht nach einer GPS-Ernte von Wintergerste etabliert. Bedingt durch die schlechten Aufgänge waren die Bestände dünn, teilweise auch lückig. Die Ernte des Zweitfruchtanbaues erfolgte am 20.10.09. Bereits 10 Tage vor dem Erntetermin hatten Nachfröste die Wachstumsperiode von Sorghum beendet. Die Trockensubstanzgehalte sind bedingt durch die Frosteinwirkung teilweise sogar höher als im Hauptfruchtanbau. Die Frosteinwirkung hat allerdings zu einer guten technisch Erntbarkeit geführt. Dennoch zeigten sich deutliche Unterschiede im Trockensubstanzgehalt zwischen den Sorten (Abb. 17). Im Sortenmittel wurden 32,4 % TS erreicht. Die Spanne der Trockensubstanzgehalte betrug 25 % (Jumbo) bis 42 % (Akklimat). Der TS-Gehalt korreliert dabei weitgehend mit den erreichten Entwicklungsstadien. Da Sorghum sich sehr frostempfindlich zeigt, könnte das Warten auf den ersten Nachfrost sich generell positiv auf Erntefähigkeit und Silierbarkeit auswirken. Ob und in wie weit durch Frosteinwirkung die Methanausbeute zurückgehen kann, muss dabei zunächst offen bleiben. Der Trockenmasseertrag im Zweitfruchtanbau (Abb. 18) zeigte erwartungsgemäß den großen Abstand zum Hauptfruchtanbau. Im Sortenmittel wurden gerade noch 50 % verglichen mit dem Hauptfruchtanbau (10,2 t/ha) geerntet. Die Spanne reichte dabei von 5,5 (Top Silo) bis 15,5 t/ha (KWS Bulldozer).

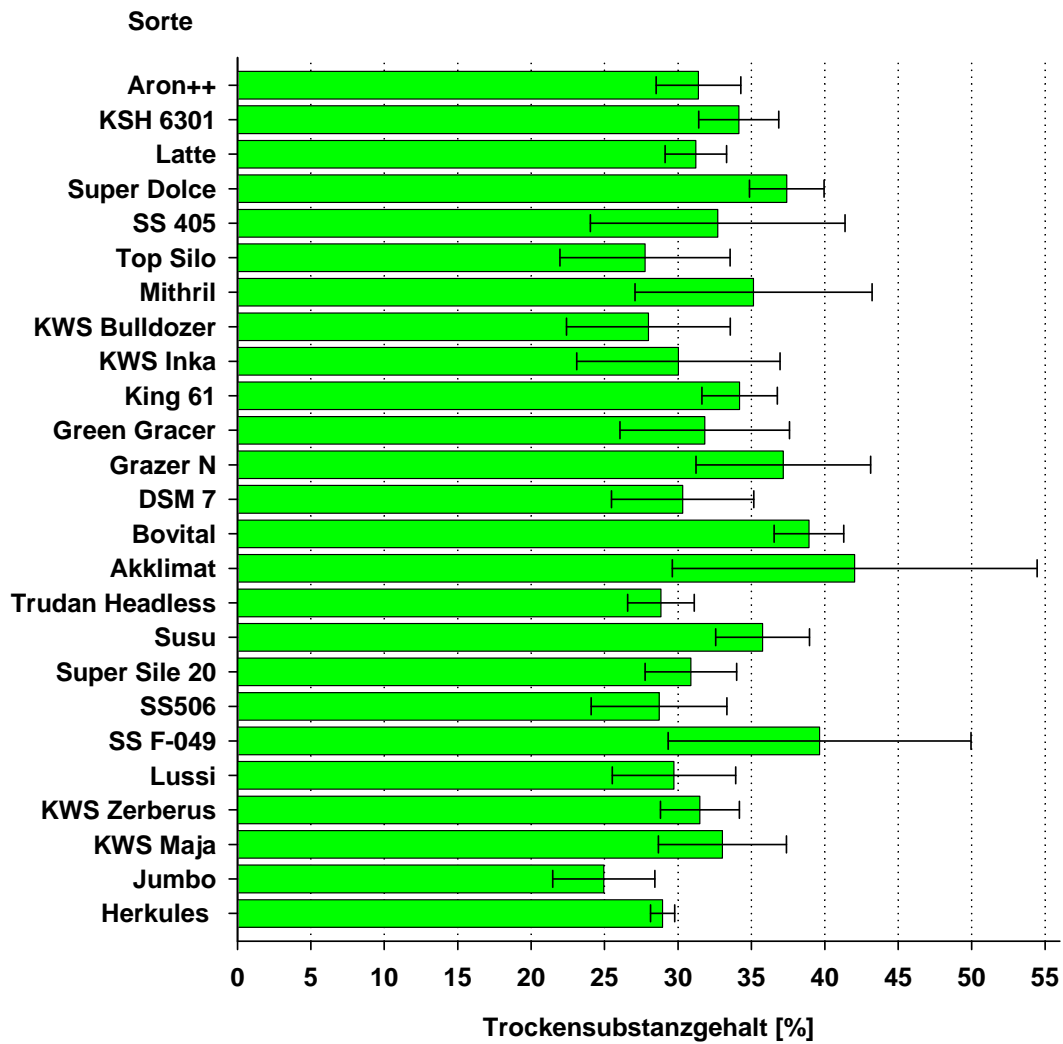


Abb. 17: Trockensubstanzgehalte von Sorghumhirsen im Zweitfruchtanbau am Standort Bingen 2009 (Ernte 10 Tage nach Nachtfrost)

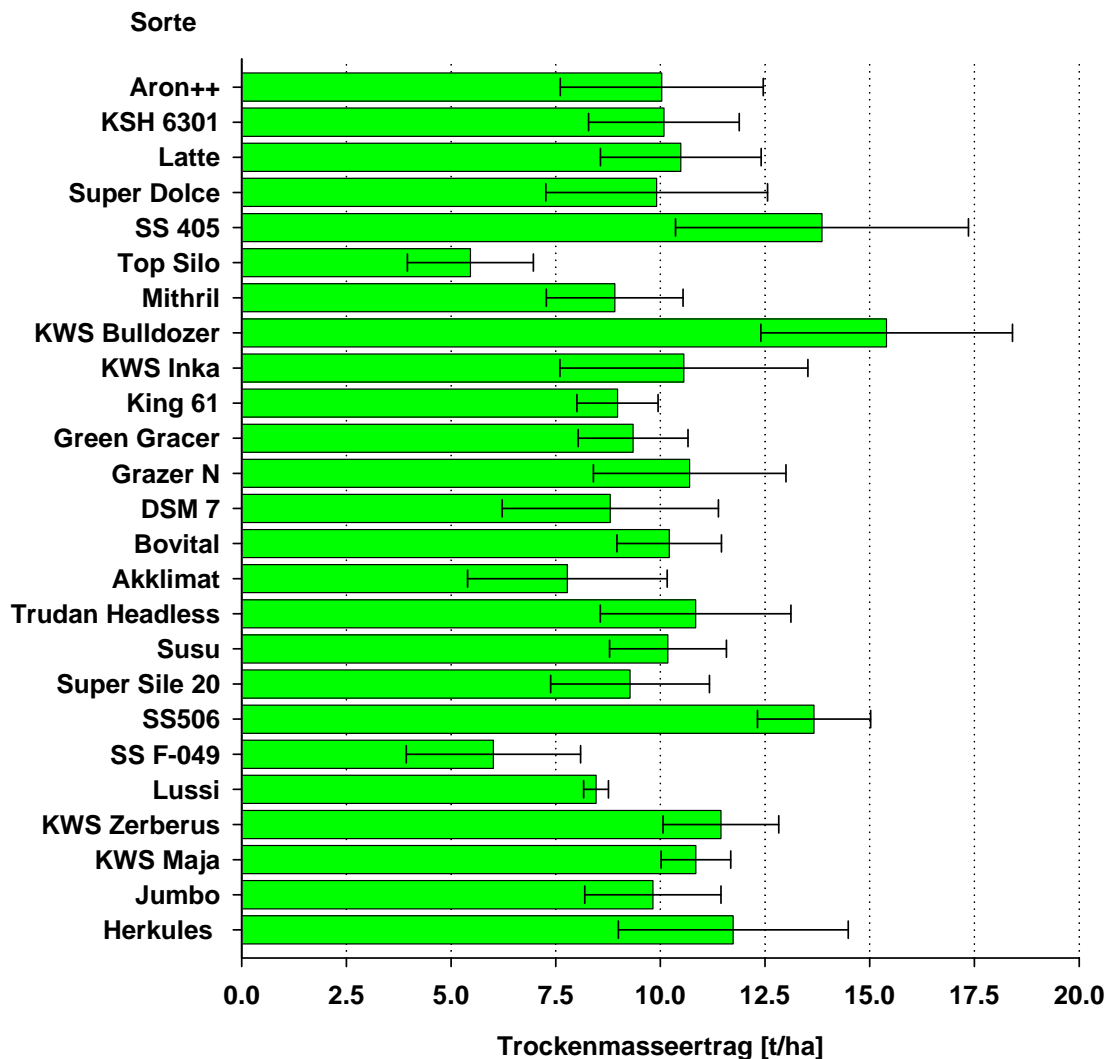


Abb. 18: Trockenmasseerträge von Sorghumhirsen im Zweitfruchtanbau am Standort Bingen 2009

In den Sortenversuch „Hauptfruchtanbau in Bingen“ wurde für die Sorte SS506 ein N-Steigerungsversuch integriert. Der Standort wies zu Vegetationsbeginn 86 kg/ha  $N_{\min}$  auf. Der Versuch wurde einheitlich mit 80 kg/ha N gedüngt. Zusätzlich wurden die Varianten +40; +80 und +120 kg/ha N angelegt. Ziel war es zu ermitteln, ob die Biomasseleistung durch höhere N-Düngung noch gesteigert werden kann und was eine erhöhte N-Gabe für den Trockensubstanzgehalt und die Standfestigkeit bedeutet.

Die Trockenmasseerträge und die Trockensubstanzgehalte sind in Abb. 19 darstellt. Erkennbar sind minimale Zunahmen im Ertrag und minimale Abnahmen im Trockensubstanzgehalt mit zunehmender N-Düngung. Diese Unterschiede sind statistisch nicht signifikant. Die Standfestigkeit der Sorte SS506 wurde durch die N-Düngungshöhe ebenfalls nicht beeinflusst. Lager wurde in keiner Variante beobachtet.

Die Ergebnisse deuten eine rechte hohe N-Effizienz von Sorghum an. Anhand des Proteingehaltes im Spross lässt sich auf eine N-Aufnahme von SS506 von ~7 kg/t Trockenmasse schließen. Dies bedeutet dass für die Biomasseproduktion eine N-Versorgung (inkl.  $N_{\min}$ ) von etwa 150 kg/ha N bei einer Ertragserwartung von 25 t/ha Trockenmasse ausreichen sollte. Sollte sich die Größenordnung in weiteren Versuchsergebnissen bestätigen, dann könnte Sorghumhirse im Vergleich zur Maisproduktion bei gleich hoher Ertragserwartung mit einer geringen N-Düngung produziert werden.

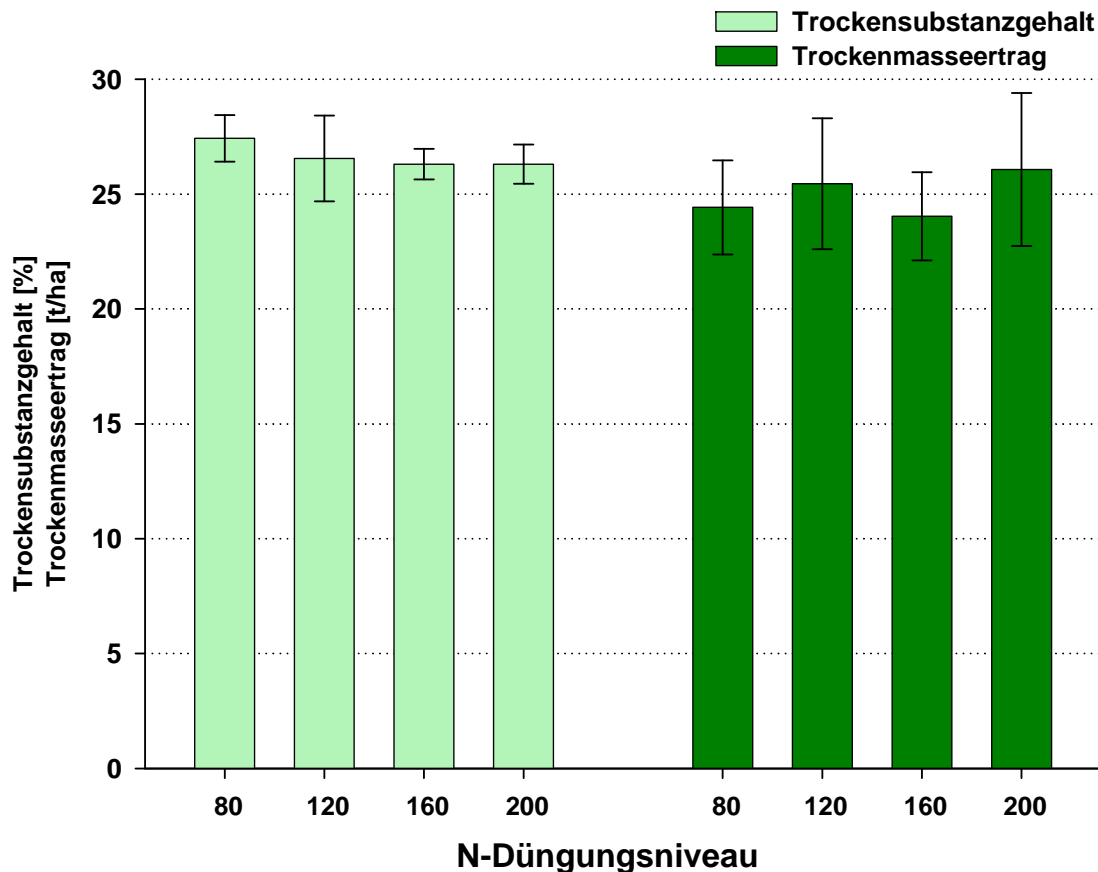


Abb. 19: Einfluss der N-Düngungshöhe [kg/ha N] auf den Trockensubstanzgehalt und die -masse von Sorghumhirsen (SS 506) im Hauptfruchtanbau Bingen 2009

### 3.1.6 Trockensubstanzgehalte und Trockenmasseerträge von Sorghumhirse im Vergleich zu früher und später Maissorte auf 4 Standorten in Rheinland-Pfalz mit unterschiedlicher Höhenlage

Eine wichtige Frage für die standortoptimierte Produktion von Biomasse für die Biogasproduktion ist, welche Standortansprüche die Sorghumhirsensorten besitzen. Um diese Frage vor allem hinsichtlich des Wärmeanspruches zu klären, wurde an 4 Standorten in Rheinland-Pfalz mit unterschiedlicher Höhenlage jeweils 2 Mais und 2 Sorghumhirsensorten angebaut und der Trockensubstanzgehaltsverlauf ab Mitte August verfolgt. Ferner wurden Trockenmasse und Trockensubstanzgehalt zum Erntetermin bestimmt. Abbildung 20 zeigt die Trockensubstanzgehalte der Arten und Sorten an den jeweiligen Standorten zur Ernte. Mit Ausnahme der Sorte SS506 am Standort Platten wurden für alle Sorten und Standorte erntefähige Trockensubstanzgehalte erreicht (Mais > 28 und Hirse > 25 % TS). Die für den Höhenstandort Kümbdchen beobachteten recht hohen TS-Gehalte für die Hirsensorten und die späte Maissorte sind nur durch die Nachtfrosteinwirkung zu erklären. Ohne die Frosteinwirkung wären die TS-Gehalte dort unter den Mindestanforderungen geblieben. Die Trockenmasseerträge (Abb. 21) machen deutlich, dass für den Standort Bingen beide Hirsensorten höhere Erträge erbrachten als die beiden Maissorten. Für den Standort Waldalgesheim zeigte die Sorte SS506 einen höheren Ertrag als alle anderen Varianten. Hingegen erreichte die späte Maissorte Mikado dort einen höheren Ertrag als die Hirsensorte Lussi. Für die Standorte Platten und Kümbdchen sind die Hirsensorten keine ertragliche Alternative zum Mais.

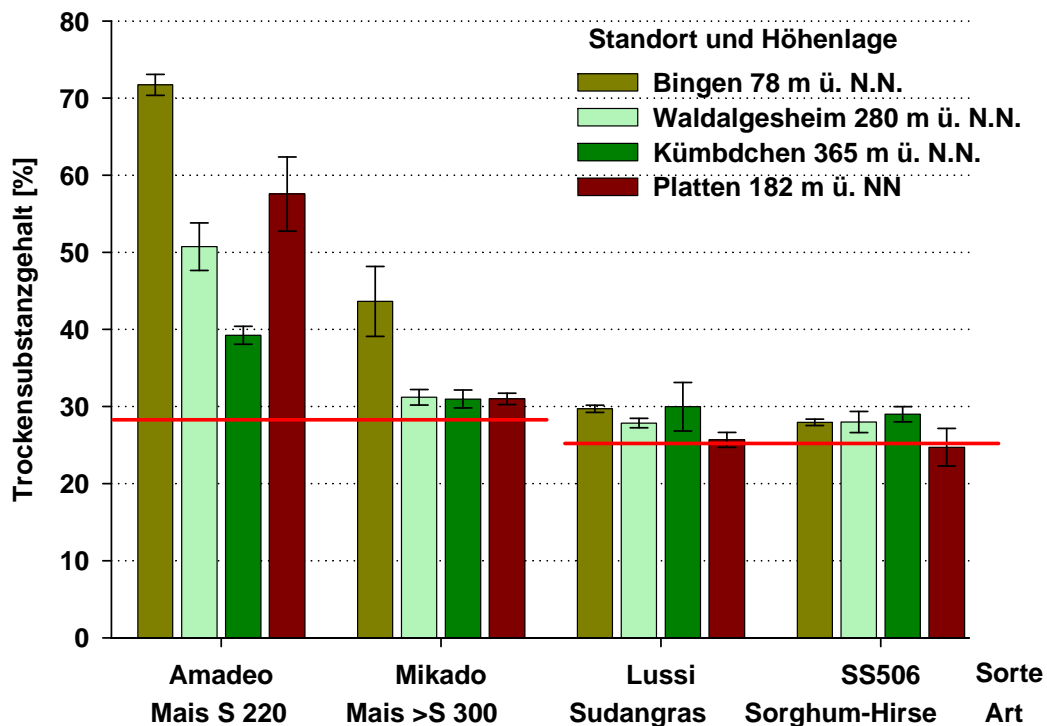


Abb. 20: Trockensubstanzgehalte von Maissorten und Sorghum-Hirsearten an verschiedenen Standorten mit unterschiedlicher Höhenlage in Rheinland-Pfalz (2009)

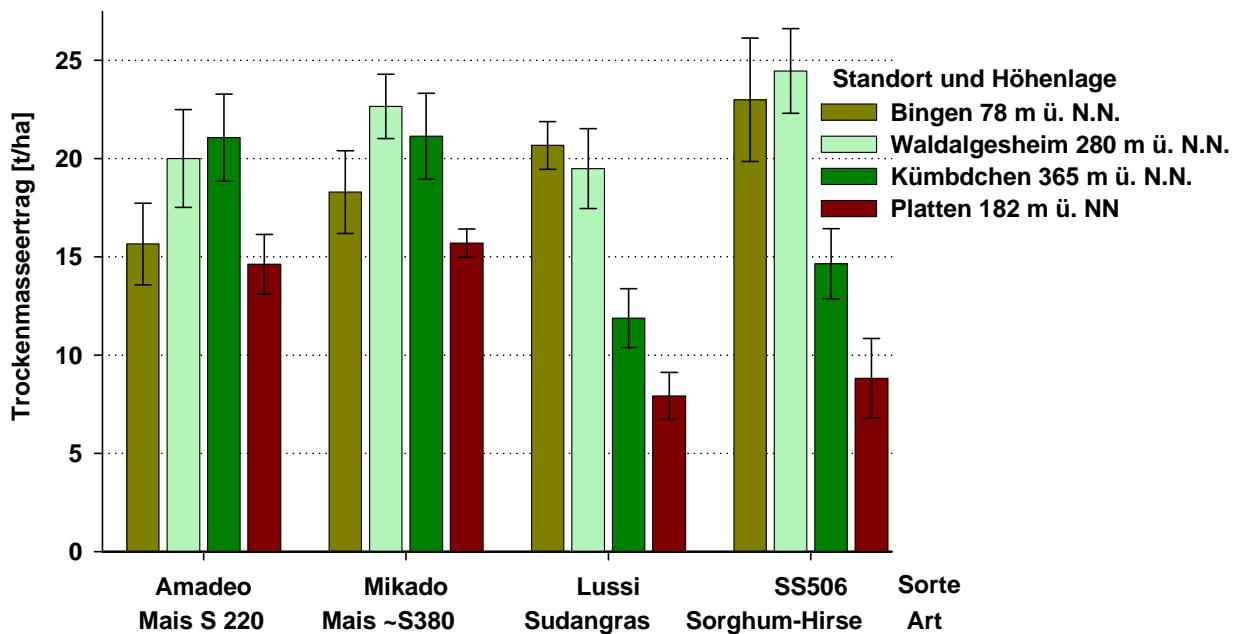


Abb. 21: Trockenmasseertrag von Maissorten und Sorghum-Hirsearten an verschiedenen Standorten mit unterschiedlicher Höhenlage in Rheinland-Pfalz (2009)

## **3.2 Mehrjährige Ergebnisse**

### **3.2.1 Feldaufgänge von Sorghumhirsen im Haupt- und Zweitfruchtanbau über 3 Versuchsjahre**

In allen drei Versuchsjahren wurden unterschiedliche Sortimente geprüft. Daher ergaben sich nicht orthogonale Datensätze. Um dennoch möglichst alle Informationen darzustellen, wurden die Ergebnisse aller Sorten unter Angabe der Anzahl der Prüffahre in den Abbildungen 22 und 23 dargestellt. Alle Sorten wurden mit 30 keimfähigen Körnern je m<sup>2</sup> mit der gleichen Sätechnik etabliert.

Im Hauptfruchtanbau (Abb. 22) sind im Sortenmittel die Pflanzdichten durchweg höher als im Zweitfruchtanbau (Abb. 23). Die Sortenunterschiede werden durch eine weite Spanne von 7 bis 32 Pfl./m<sup>2</sup> deutlich. Bei den Sorten, die in 5 Versuche enthalten waren, fiel die Spanne von 18 (Susu) bis 27 Pfl./m<sup>2</sup> (Lussi) etwas geringer weit aus. Ob die Unterschiede im Auflaufverhalten durch verschiedene Wärmeansprüche erklärt werden kann, muss offen bleiben. Erwähnt werden sollte an dieser Stelle, dass die Saatgutbehandlungen (Beizung) sehr unterschiedlich waren, so dass hier event. auch entsprechende Einflüsse eine Bedeutung haben könnten. Die geringeren Pflanzdichten im Zweitfruchtanbau machen deutlich, dass durch Wasserverbrauch und Ernterückstände der Erstfrucht (hier jeweils Wintergerste) die Bedingungen für einen zügigen und gleichmäßigen Aufgang deutlich ungünstiger sind als im Hauptfruchtanbau. Sortenunterschiede wurden auch im Zweitfruchtanbau deutlich. Saatgutmängel, Beizung und sortenspezifische Interaktionen mit den Umweltbedingungen sind allerdings nicht ursächlich von einander zu trennen.

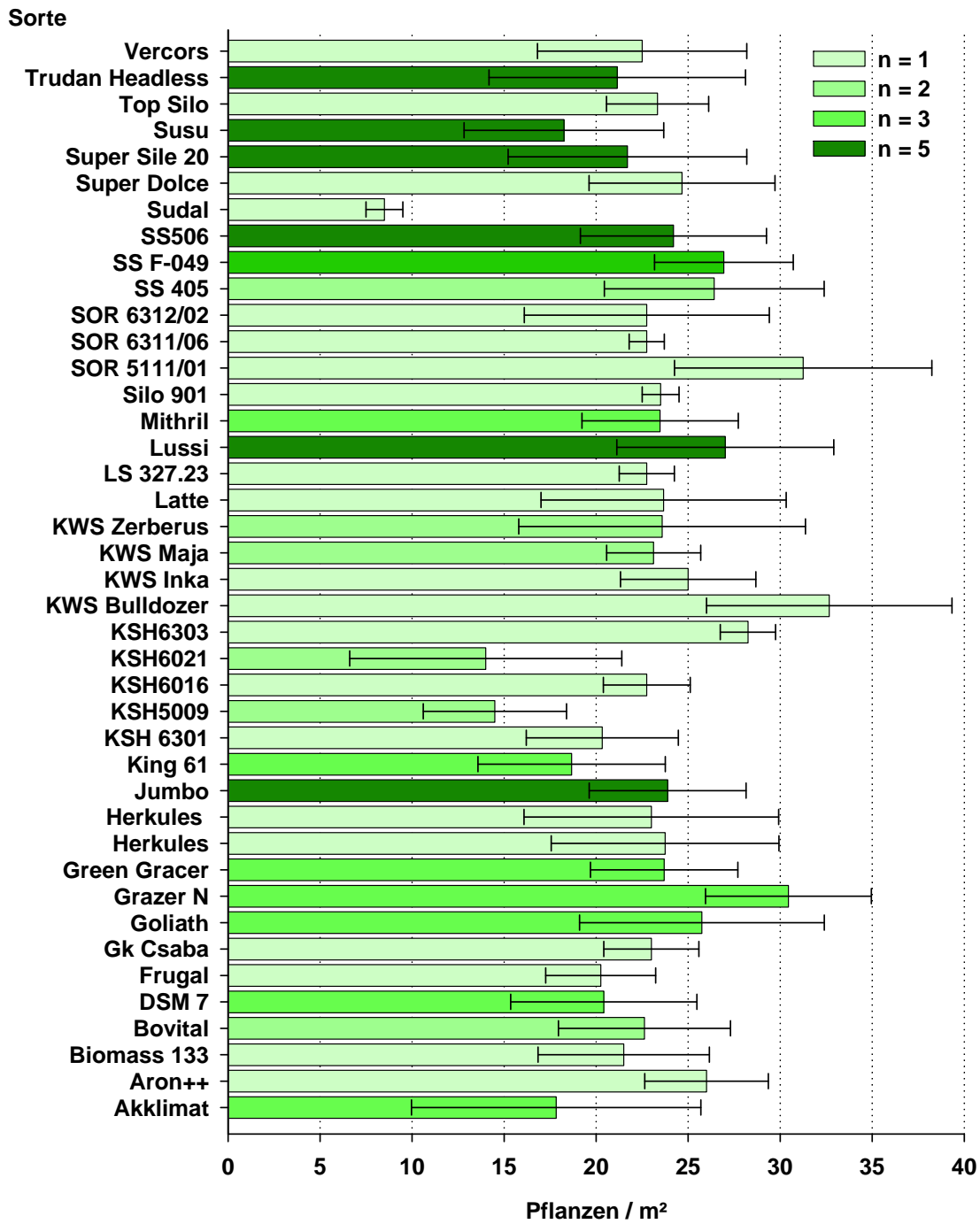


Abb. 22: Pflanzendichte je m<sup>2</sup> von Sorghumhirse - Sorten im Hauptfruchtanbau Saatstärke 30 keimfähige Körner je Quadratmeter (2007 - 2009)

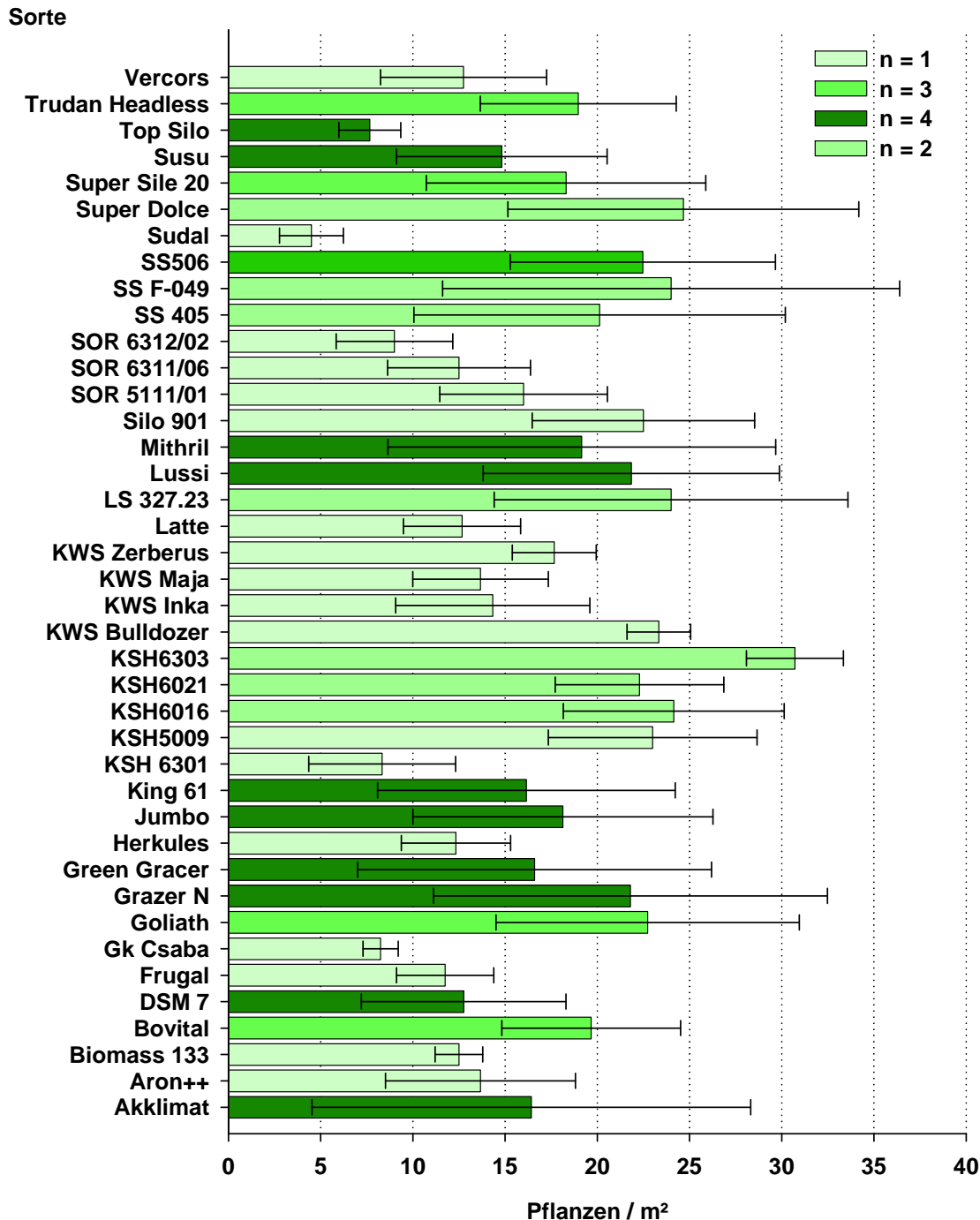


Abb. 23: Pflanzendichte je m<sup>2</sup> von Sorghumhirse - Sorten im Zweitfruchtanbau (Saatstärke 30 keimfähige Körner je Quadratmeter 2007 - 2009)

### 3.2.2 Stabilität der Trockensubstanzgehalte und Trockenmasseerträge im Haupt- und Zweitfruchtanbau über 3 Jahre

Die Trockensubstanzgehalte der Sorghumhirsens im Hauptfruchtanbau zeigt Anhand des nicht-orthogonalen Datensatzes, dass erhebliche Sorteneinflüsse beobachtet werden konnten (Abb. 24). Auch mehrjährig zeigten beispielsweise die Sorten DSM-7 und Jumbo mit durchschnittlich 23 % TS sehr niedrige Werte auf. Diese Sorten sind unter deutschen Anbaubedingungen in der Regel nicht anbauwürdig. Die meisten Sorten liegen mit 25 bis 30 % TS in einem Bereich, der eine ausreichende Energiedichte und eine Silierbarkeit verspricht. Deutlich wird jedoch auch, dass es Sorten gibt, die auch höhere TS-Gehalte

aufweisen, die wiederum zu suboptimalen Methanausbeuten führen könnten. Hierzu zählt insbesondere die Sorte Lussi sowie SS F-049, KWS Maja und Bovital. Bei diesen Sorten muss – je nach Standort - der Erntetermin event. deutlich vor Ende der Vegetationsperiode erfolgen. Bei allen übrigen Sorten ist die Gefahr der verringerten Methanausbeute durch zu hohe TS-Gehalte zur Ernte eher geringer.

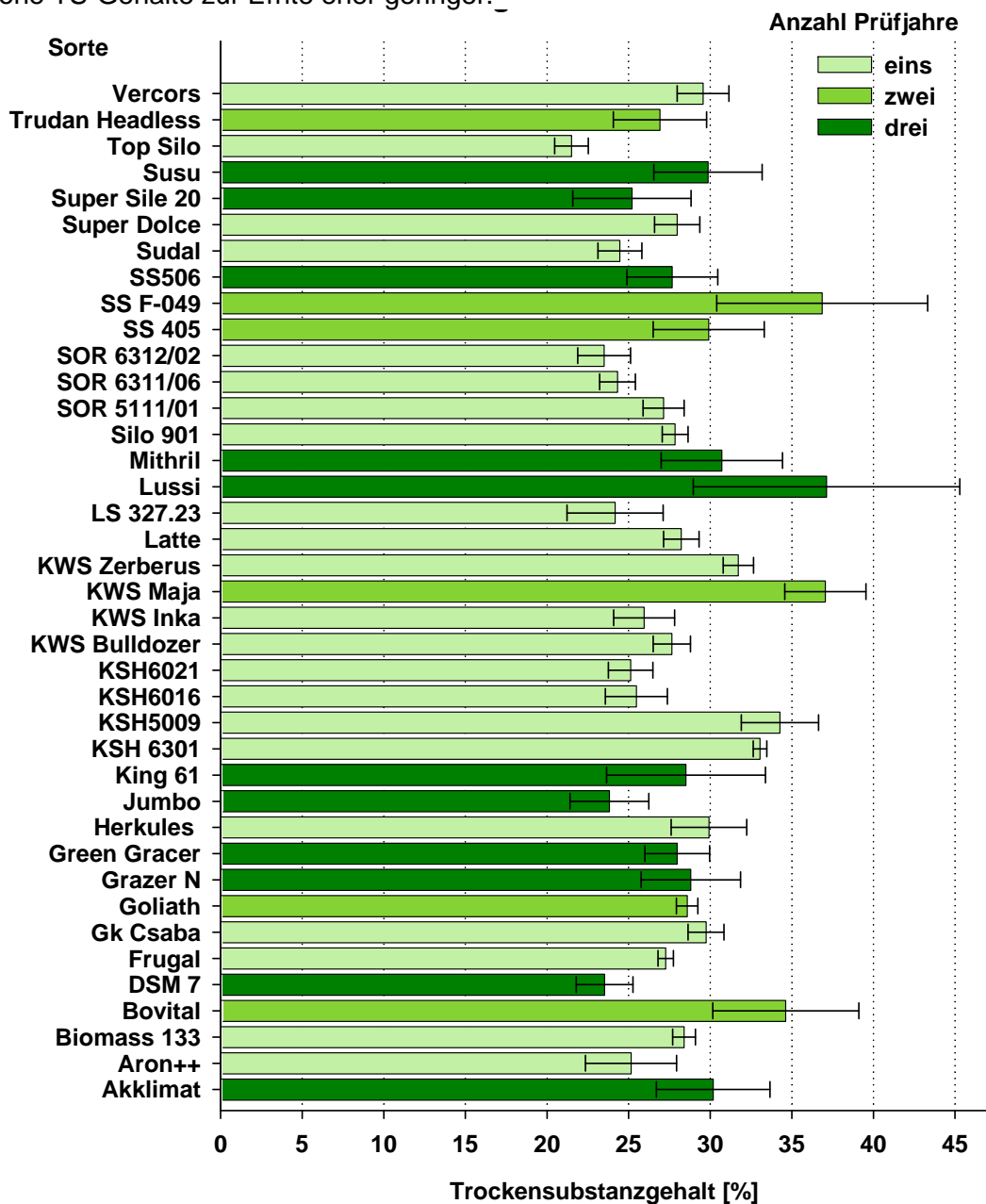


Abb. 24: Trockensubstanzgehalte von Sorghumhirse-Sorten im Hauptfruchtanbau Bingen 2007 bis 2009 (nicht orthogonaler Datensatz)

Die mehrjährige Auswertung zum Trockensubstanzgehalt der dreijährig geprüften Sorten in Bingen zeigt signifikante Einflüsse der Sorten, aber auch des Jahres (Abb. 25). Signifikante Wechselwirkungen zwischen Jahr x Sorte konnten nicht nachgewiesen werden. Einige Sorten wie Goliath, Green Gracer sowie Grazer N zeigen recht konstante TS-Gehalte im Hauptfruchtanbau. Bei anderen Sorten sind zwischen den Jahren bis zu 7 % (absolut) Differenzen im TS-Gehalt aufgetreten. Teilweise rutschen die Sorten damit in manchen Jahren auch unter die Silierbarkeitsgrenze von 25 % (Super Sile 20). Die meisten Sorten bleiben trotz gewisser Schwankungen etwa in dem Bereich von 25 bis 30 % und erreichten damit in allen Prüfjahren eine Ernte- und Konservierbarkeit.

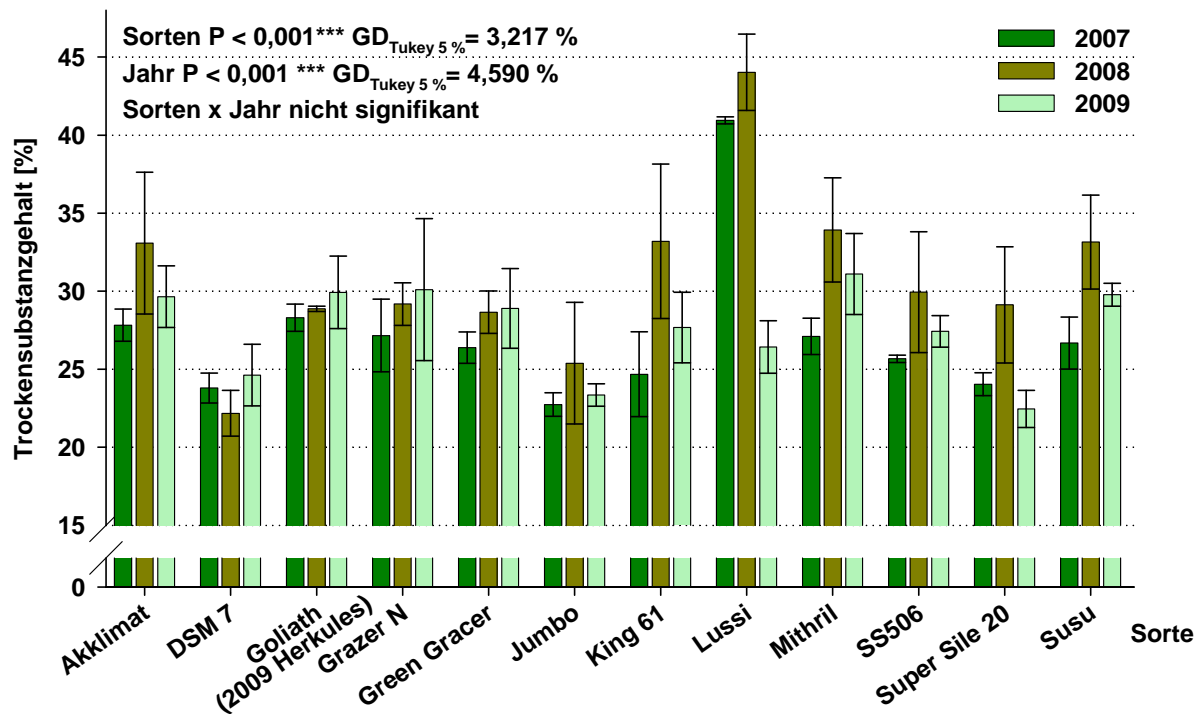


Abb. 25: Trockensubstanzgehalt von Sortenhirsensorten im Hauptfruchtanbau in Abhängigkeit des Jahres (2007 bis 2009 Bingen)

Die Trockenmasseerträge im Hauptfruchtanbau schwanken zwischen den Sorten recht stark (Abb. 26). Am Beispiel des nicht-orthogonalen Datensatzes wird deutlich, dass je nach Sorte zwischen 11 und 28 t/ha Trockenmasse erzielt wurden. Insbesondere einige Neuzüchtungen zeigten interessante Biomassepotentiale auf, die bei Bestätigung sicherlich in manchen Regionen die Sorghumhirse zu einer interessanten Alternative zum Mais werden lassen könnte. Die unterschiedlichen Wuchstypen von Sorghum zeigen eine ertragliche Überlegenheit der langwüchsigen *Sorghum bicolor* Typen. Sudangräser und auch *S. bicolor* Typen mit einem kompakten Wuchs mit entsprechendem Kornansatz reichen zumeist nicht an das Ertragspotential der Massetypen heran.

Der orthogonale Datensatz der dreijährig in Bingen geprüften Sorten zeigt signifikante Ertragsunterschiede zwischen Sorten und Prüfjahren sowie auf signifikante Wechselwirkungen auf (Abb. 27). Bei vielen Sorten werden deutliche, signifikante Schwankungen der Erträge zwischen den Jahren beobachtet. Allerdings leisten ertragreiche Sorte selbst in ungünstigeren Jahren mit 24,5 t/ha Trockenmasse gute Ertragswerte (z.B. SS 506). In günstigeren Jahren erreichen diese Sorte allerdings auch um 6 t/ha Trockenmasse höhere Erträge. Wurden in der Vergangenheit Sorten wie Susu und Super Sile 20 für den Anbau empfohlen, so machen die Projektergebnisse deutlich, dass Sorten wie SS506, Goliath und Lussi ein deutlich höheres Ertragspotential besitzen.

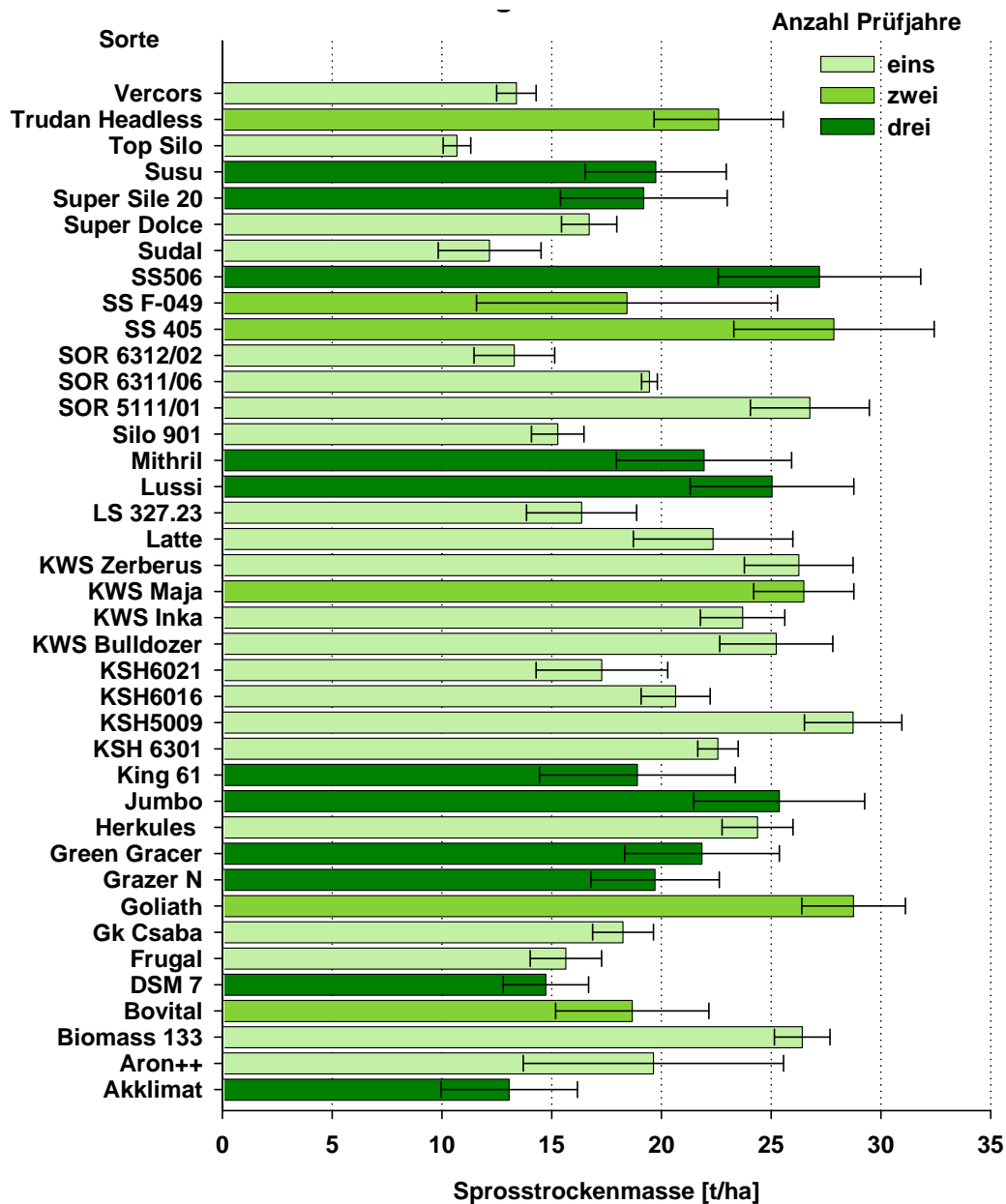


Abb. 26: Sprosstrockenmasseerträge von Sorghumhirse-Sorten im Hauptfruchtanbau (Bingen 2007 bis 2009; nicht orthogonaler Datensatz)

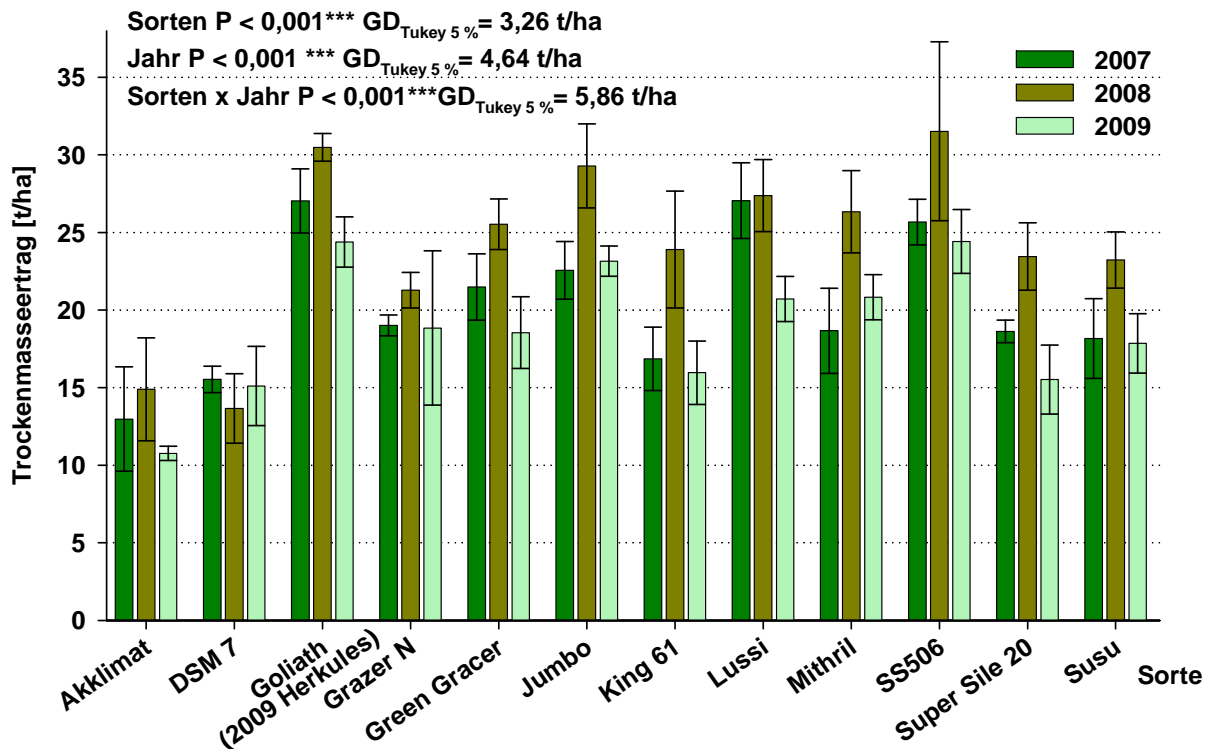


Abb. 27: Trockenmasseertrag von Sortenhirsesorten im Hauptfruchtanbau in Abhängigkeit des Jahres (2007 bis 2009 Bingen)

Der Trockensubstanzgehalt von Sorghumhirse als Zweitfrucht zeigt, dass manche Sorten in einigen Jahren deutlich unterhalb der Mindestanforderungen bleiben (Abb. 28 und 29). Damit nimmt die Ertragssicherheit von Sorghumhirse im Zweitfruchtanbau deutlich ab. Wenige Sorten erreichten bzw. überstiegen in allen Jahren die 25 % Marke. Um die Ernte- und Sillierfähigkeit zu verbessern, kann eintretender (Nacht)Frost vor der Ernte deutliche Verbesserungen erzielen. Ob hierdurch aber Risiken wie Ertrags- oder Ernteverluste bedingt sind, muss zunächst ungeklärt bleiben.

Der Zweitfruchtanbau von Sorghumhirse zeigt, dass trotz zeitiger Saat (zumeist Ende Mai) das Ertragspotential der Sorten im Hauptfruchtanbau nicht annähernd erreicht wird (Abb. 30 und 31). Vor allem die Wasserentzüge der Erstfrucht, die schwierigen Saatbedingungen (Bodentrockenheit) und der häufig trockenheitsbedingte verzögerte Aufgang führen zu den Ertragseinbußen im Vergleich zum Hauptfruchtanbau. In etwa wird nur die Hälfte der Trockenmasse im Vergleich zum Hauptfruchtanbau erzielt. Hinzu kommen stärkere Ertragsschwankungen zwischen den Jahren, die auch zu noch geringeren Erträgen (< 30 % im Vergleich zum Hauptfruchtanbau) führen können. Damit ist nicht in jedem Jahr der wirtschaftliche Anbau einer Sorghumzweitfrucht gewährleistet.

Der in den Jahren 2007 und 2008 praktizierte Zweitfruchtanbau in höheren Lagen (Emmelshausen bzw. Kümbdchen) wies in beiden Jahren keine erntewürdigen Bestände auf. Der generell schwierige und unsichere Zweitfruchtanbau von Sorghumhirse sollte in Höhenlagen (> 300 m) unterbleiben.

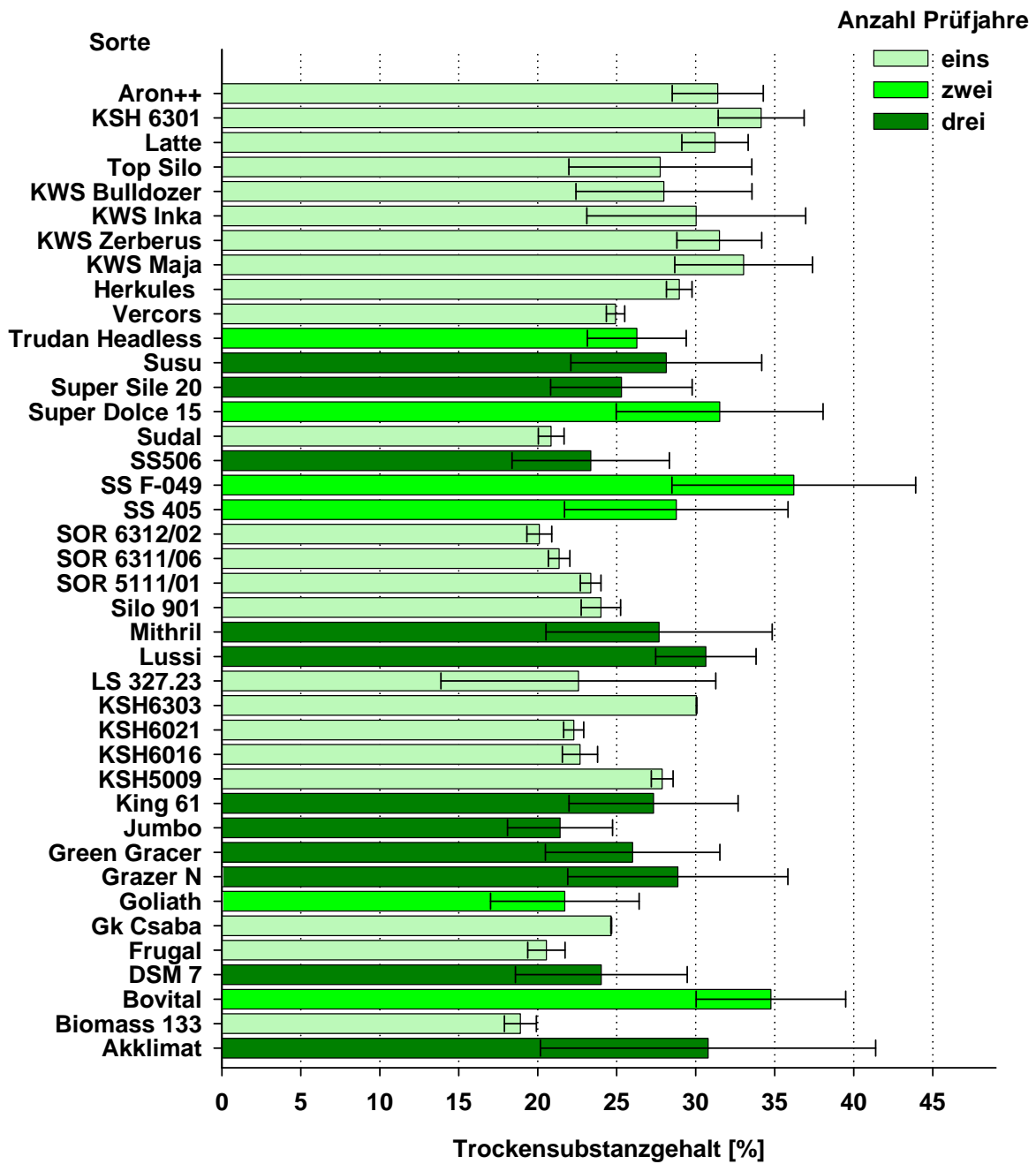


Abb. 28: Trockensubstanzgehalt von Sorghumhirsesorten im Zweitfruchtanbau Bingen 2007 bis 2009

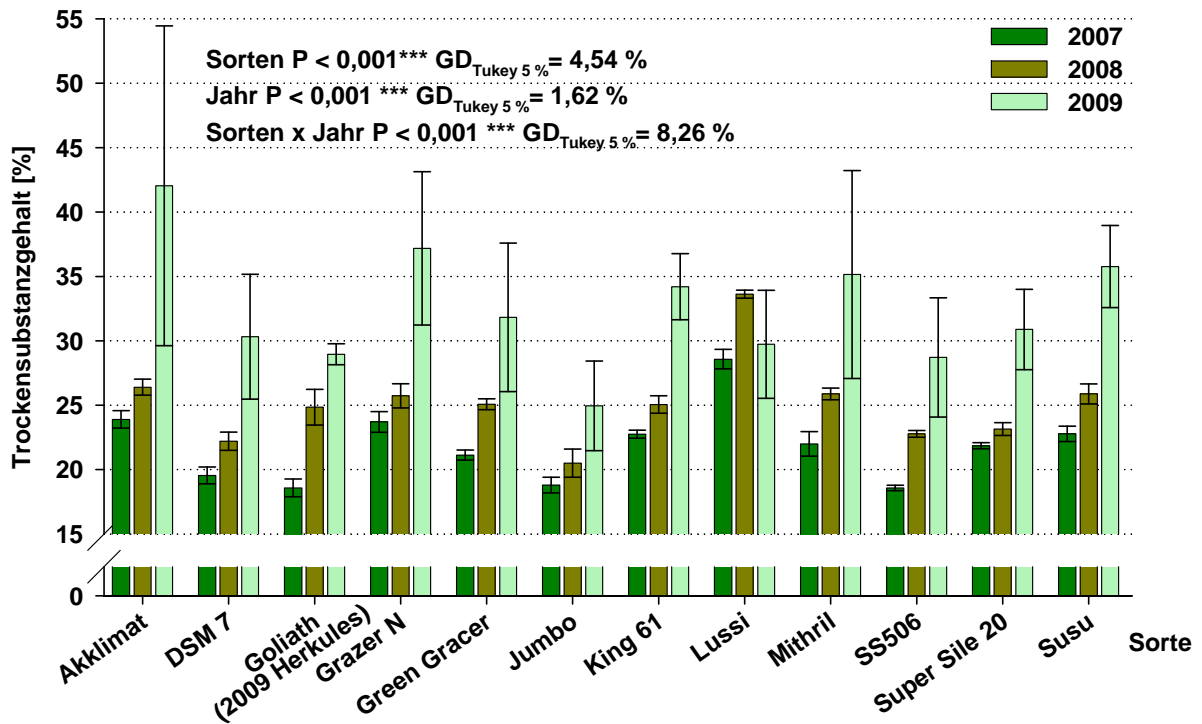


Abb. 29: Trockensubstanzgehalt von Sortenhirsesorten im Zweitfruchtanbau in Abhängigkeit des Jahres (2007 bis 2009 Bingen)

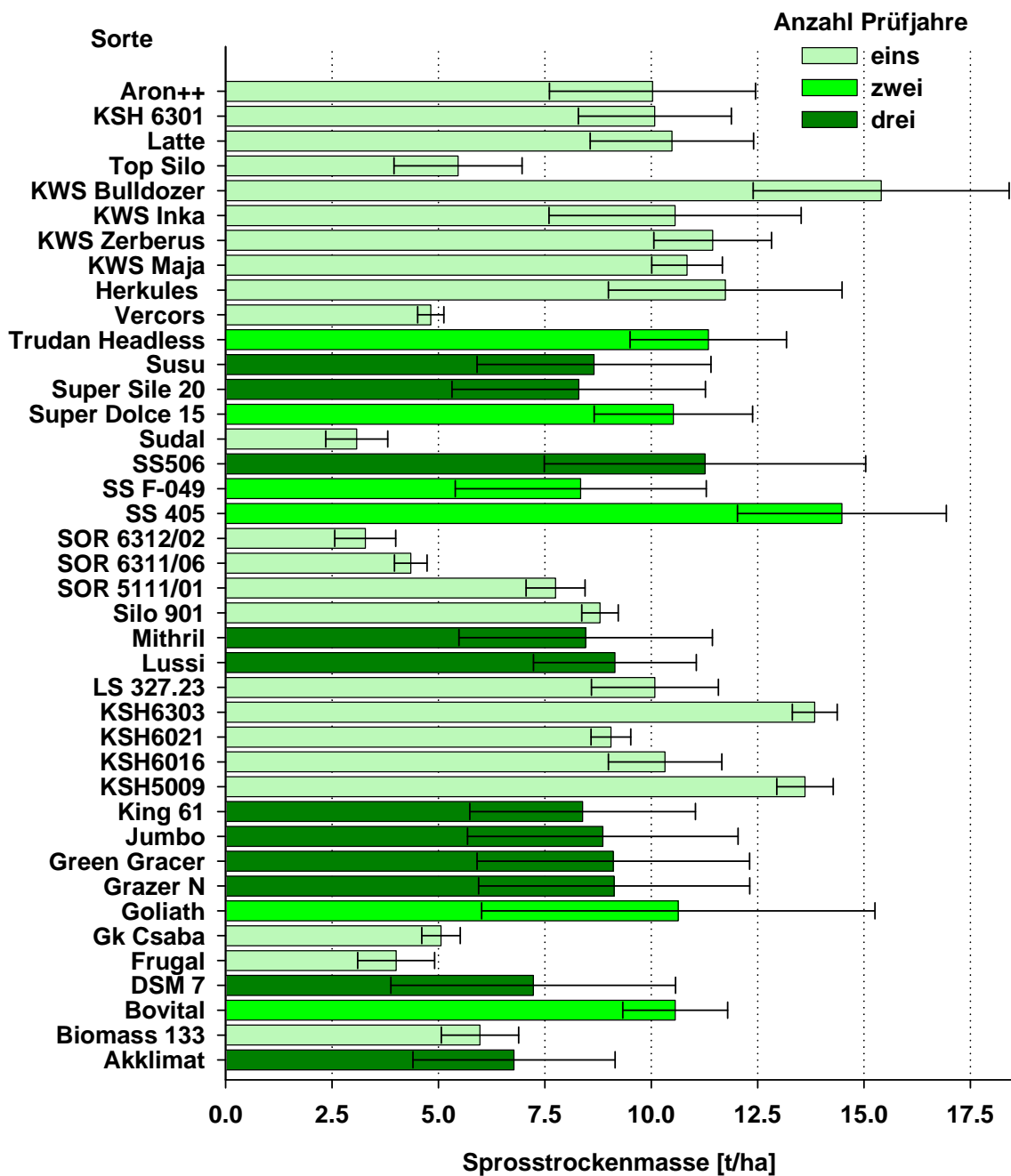


Abb. 30: Trockenmasseerträge von Sorghumhirsesorten im Zweitfruchtanbau Bingen 2007 bis 2009

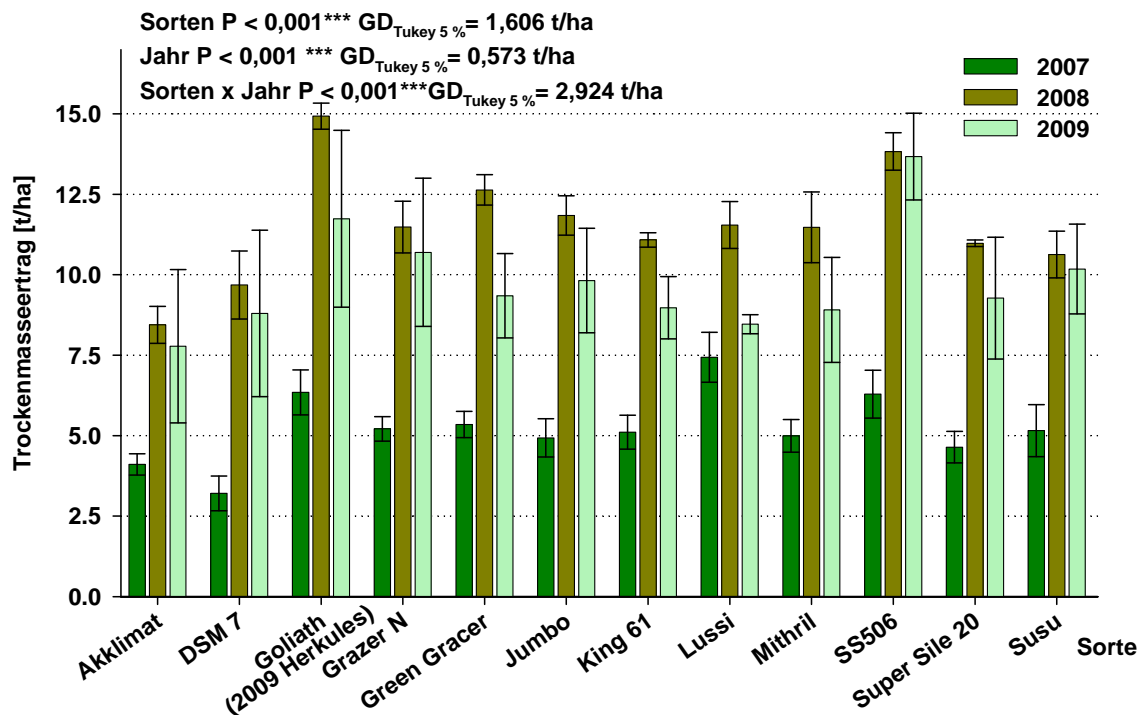


Abb. 31: Trockenmasseertrag von Sortenhirsearten im Zweitfruchtanbau in Abhängigkeit des Jahres (2007 bis 2009 Bingen)

### 3.2.3 Einfluss der Saatstärke von Sorghumhirse-Sorten auf Ertrag- und Qualität sowie auf pflanzenmorphologische Parameter

In den Sortenversuchen zum Haupt- und Zweitfruchtanbau wurde stets mit Aussaatstärken von 30 Körner/m<sup>2</sup> operiert. Um zu klären, ob die Saatstärke für die Biomasseproduktion mit Sorghumhirse nicht noch optimiert werden kann, wurden in 3 Jahren mit drei Sortentypen Kleinparzellenversuche mit unterschiedlichen Saatstärken durchgeführt.

Abbildung 32 zeigt den Einfluss der Saatstärke auf den Trockensubstanzgehalt. Deutlich wird, dass bei den drei Sortentypen (*S. bicolor*; spätes Sudangras (Sudal) und frühe Sudangrassorte (Lussi)) der Trockensubstanzgehalt linear mit zunehmender Pflanzenzahl leicht ansteigt. Erklärt werden kann dies mit der abnehmenden Bestockungsneigung bei höherer Saatstärke.

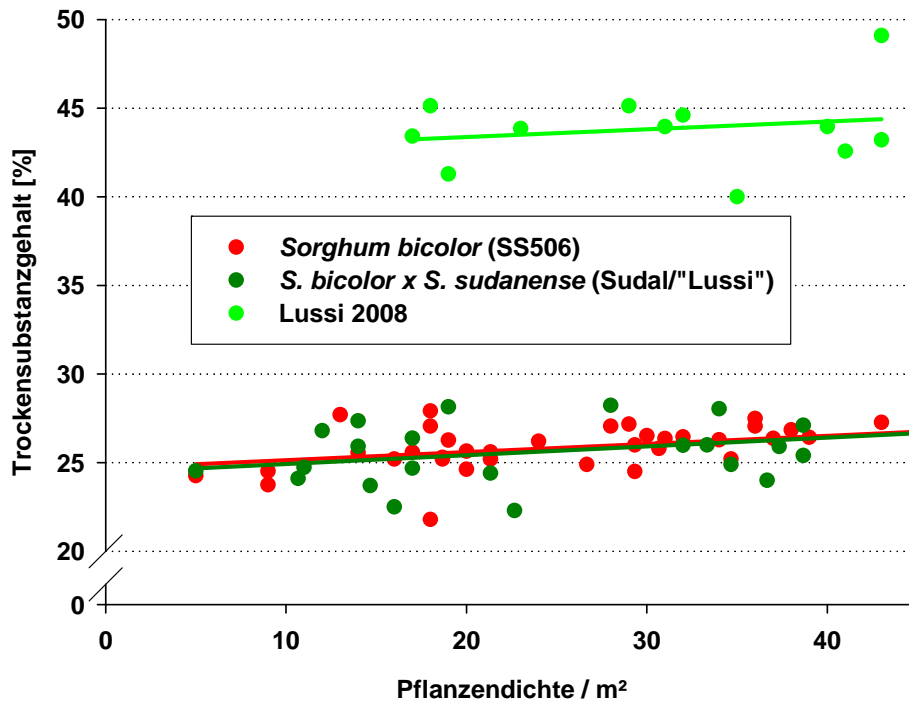


Abb. 32: Einfluss der Pflanzendichte von Sorghumhirse in Abhängigkeit vom Sortentyps auf den Trockensubstanzgehalt - Hauptfruchtanbau Bingen 2007 – 2009

Der Trockenmasseertrag wird ebenfalls durch eine zunehmende Pflanzendichte positiv beeinflusst (Abb. 33). Bei beiden Sortentypen steigt der Ertrag linear in dem geprüften Bereich an. Der Anstieg ist für das Sudangras etwas stärker als für *Sorghum bicolor*. Die Streuung der Ergebnisse ist allerdings für beiden Sortentypen hoch, so dass eine Empfehlung für optimale Saatstärken zunächst offen bleiben muss. Allerdings muss an dieser Stelle angemerkt werden, dass mit zunehmender Pflanzendichte der Stängeldurchmesser der Sorghumhirse mehr oder weniger deutlich abnimmt (Abb. 34), während die Sprosslänge kaum beeinflusst wird (Abb. 35). Dies kann eine zunehmende Gefahr für Lagerbildung bedeuten, auch wenn das für die hier verwendeten Sorten in keinem Jahr beobachtet werden konnte. Ein geeigneter Kompromiss zwischen Ertragshöhe, Trockensubstanzgehalt und Standfestigkeit könnte bei Pflanzendichte von 20 bis 30 Pflanzen/m<sup>2</sup> liegen. Für weniger standfeste Sorten sollte eher eine Pflanzendichte im unteren und für standfeste Sorte eher eine im oberen Bereich angestrebt werden.

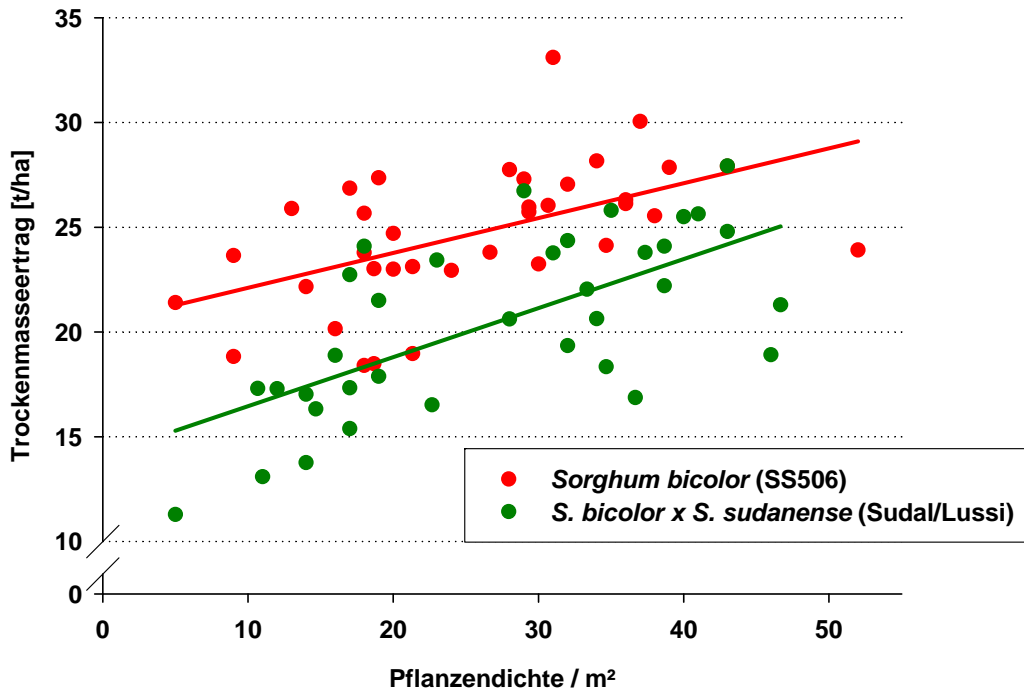


Abb. 33: Einfluss der Pflanzendichte von Sorghumhirse in Abhängigkeit vom Sortentyp auf den Trockenmasseertrag - Hauptfruchtanbau Bingen 2007 – 2009

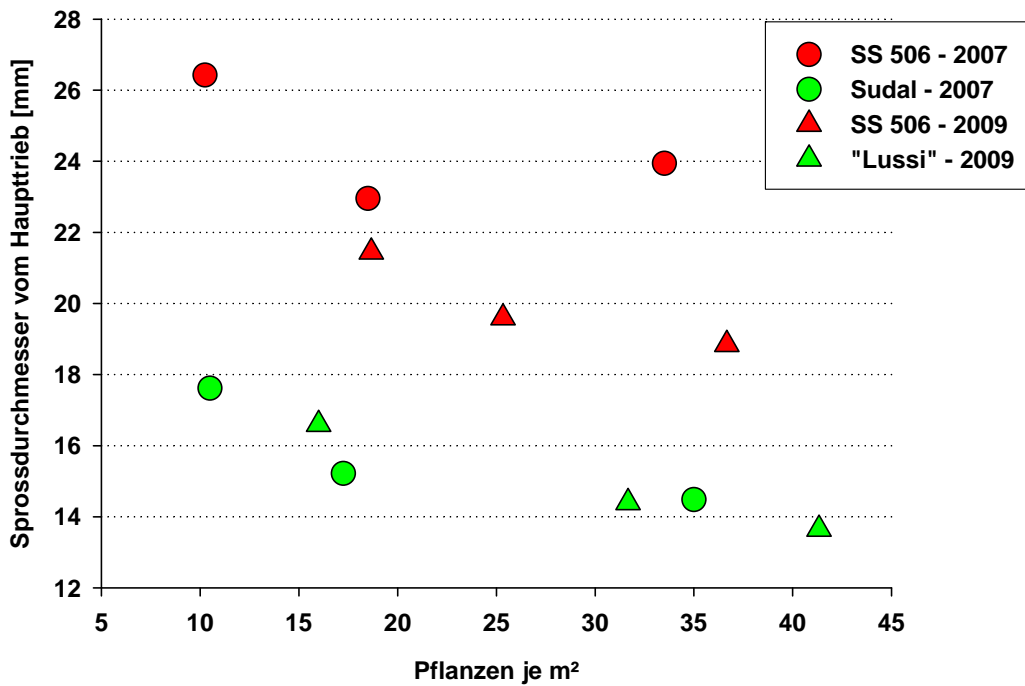


Abb. 34: Einfluss der Saatstärke auf den Sprossdurchmesser des Haupttriebes von *Sorghum bicolor* (SS506) und Sudangras (Bingen 2007 und 2009)

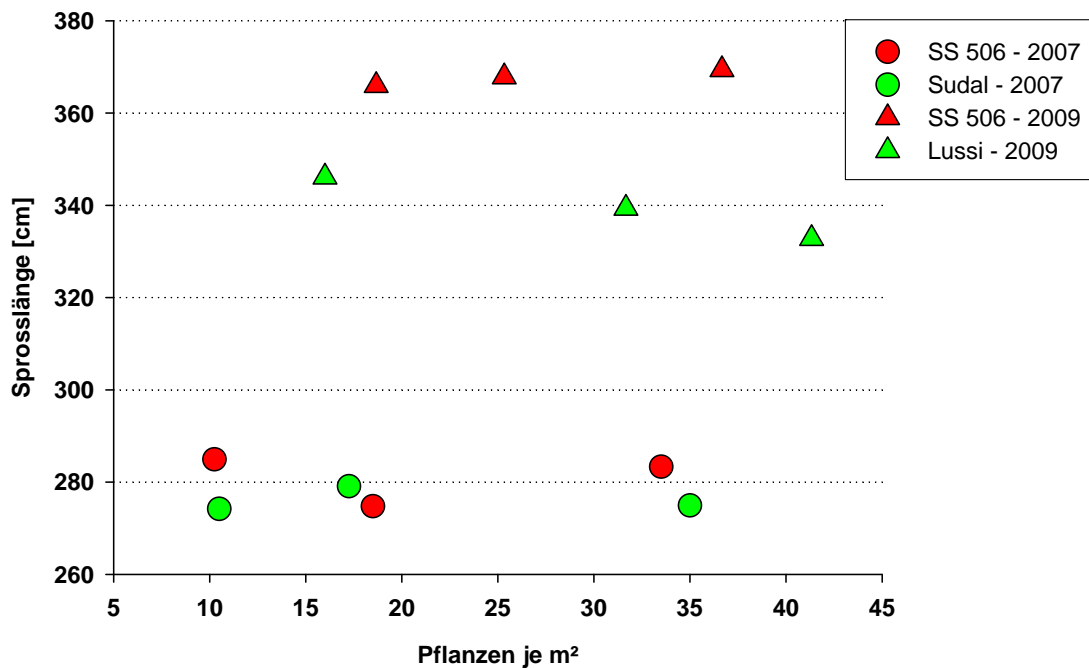


Abb. 35: Einfluss der Saatstärke auf die Sprosslänge von *Sorghum bicolor* (SS506) und Sudangras (Bingen 2007 und 2009)

### 3.3.4 Mischanbau von Mais und *Sorghum bicolor* zur Stabilisierung vom Trockenmasseertrag

Der Mischanbau von Mais und *S. bicolor* wurde mit dem Hintergrund geprüft Biomasseerträge trotz Witterungsschwankungen über die Jahre zu stabilisieren. Die Idee ist dabei ertragreichen und qualitativ hochwertigen, aber trockenheitsanfälligen Mais mit hitze- und trockenheitstoleranter Sorghumhirse zu kombinieren. Die unterschiedliche Witterung der Versuchsjahre 2007 bis 2009 zeigte, dass die Sorghumhirse den Mais ertraglich stets überlegen war (Abb. 37). Die Ertragssicherheit nahm mit zunehmendem Maisanteil sogar ab, obwohl die Witterung in allen 3 Jahren für Mais günstig war. Zu erklären ist dies mit dem späten Maissaattermin (Mais wurde zusammen mit der Sorghumhirse etwa 3 Wochen später als der übliche Maissaattermin ausgesät). Während dieser spät etablierte Mais in den Jahren 2007 und 2008 gute Erträge zeigte, fiel die Sorte in 2009 deutlich zurück. In den beiden ersten Jahren lagen die Erträge der verschiedenen Mischungsverhältnisse recht eng beieinander, jedoch fiel in 2009 der Ertrag mit zunehmendem Maisanteil deutlich ab. Trotz gleicher Sorten in 2008 und 2009 gab es folglich gegenteilige Ergebnisse. Demzufolge sind Wechselwirkungen zwischen Jahreswitterung und Konkurrenzbeziehungen von Mais und Sorghumhirse sowohl beim Trockensubstanzgehalt (Abb. 36) wie auch dem Trockenmasseertrag aufgetreten.

In 2009 wurde genau das Gegenteil durch die Mischkultur erreicht als erhofft wurde. Ein extremes trockenes und warmes Jahr war im Versuchszeitraum nicht enthalten, in dem die Hypothese auch hätte Bestätigung finden können. Weitere Versuche mit unterschiedliche Sortenkombinationen (Reifegruppe) müssten zeigen, ob durch Mischanbau von Mais und Sorghum nicht doch eine Ertragsstabilisierung über die Jahre möglich sein kann.

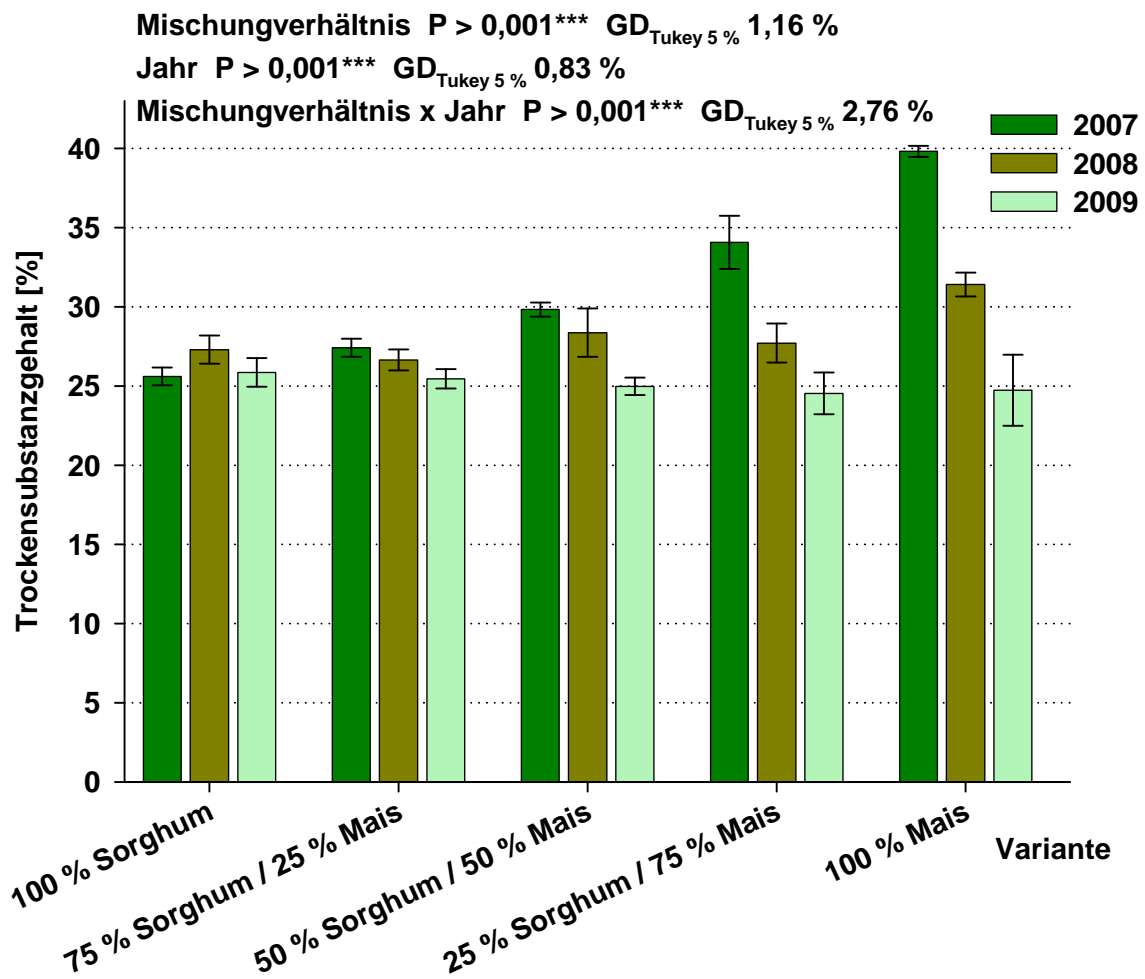


Abb. 36: Trockensubstanzgehalt von Mais und *Sorghum bicolor* im Mischanbau in Abhängigkeit des Mischungsverhältnisses der beiden Arten und des Jahres am Standort Bingen

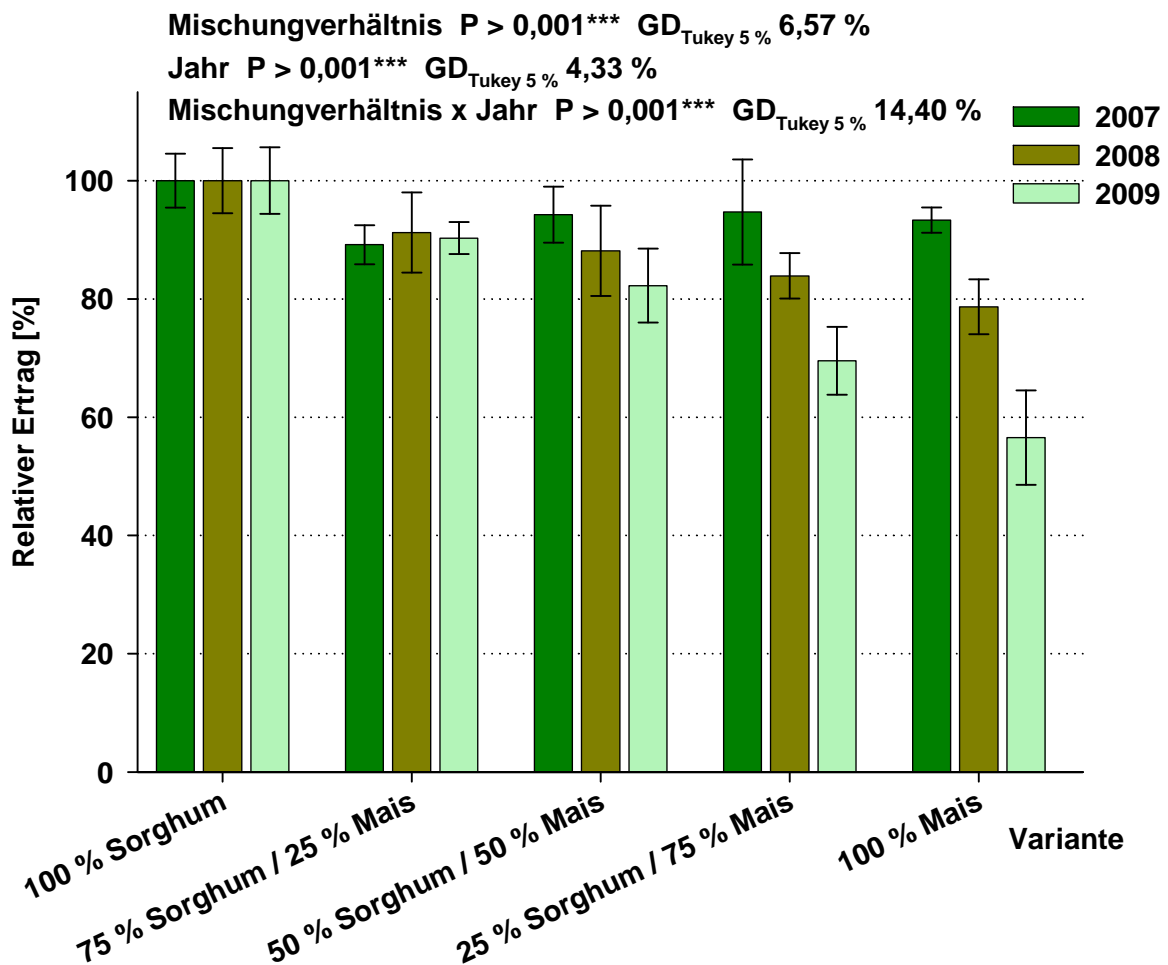


Abb. 37: Trockenmasseertrag von Mais und *Sorghum bicolor* im Mischanbau in Abhängigkeit des Mischungsverhältnisses der beiden Arten und des Jahres am Standort Bingen (100 % = 25,63 t/ha – 2007, 28,70 t/ha – 2008, 25,15 t/ha – 2009)

### 3.2.5 Verträglichkeit von Herbiziden zur Regulierung von Schadhirs in *Sorghum bicolor*

Sorghumhirsen entwickeln sich gerade in der Jugendphase eher langsam und sind daher konkurrenz anfällig. Unkrautkontrolle ist häufig eine Notwendigkeit zur Ertragssicherung. Während die Kontrolle von dikotylen Unkräutern mit einigen Herbiziden aus dem Maisbereich problemlos möglich ist, ist die Regulierung von Ungräsern mit Herbiziden aus Gründen der mangelnden Selektivität nicht ohne weiteres machbar.

Die gräserwirksamen Wirkstoffe aus der Gruppe der Chloracetamide sind zwar im Nachauflaufverfahren in Sorghum zu verwenden, jedoch ist eine wirksame Ungraskontrolle mit diesen Mitteln nur im Voraufverfahren möglich. Dieser Einsatztermin kommt jedoch aus Verträglichkeitsproblemen in der Regel nicht in Frage. Um nun doch die Voraufanwendung möglich zu machen, bleibt die Möglichkeit eines Safener-Einsatzes. Safener können sowohl im Herbizid selbst wie auch in die Saatgutbeizung integriert werden. Beide Varianten wurden ebenso in 2-jährigen Feldversuchen geprüft wie auch die Anwendung von Vor- und Nachauflaufanwendungen.

Die Herbizidanwendungen haben im Vorauf ohne Safeneranwendung in einem der 4 durchgeführten Versuche zu signifikanten Reduktionen der Pflanzendichten geführt (Abb. 38). In allen anderen Fällen wie auch im Mittel über alle Versuche waren durch die Herbizidanwendung der Aufgang der Sorghumhirse und auch eine Ausdünnung des Bestandes nach dem Auflaufen in einem statistisch signifikanten Maße nicht zu beobachten.

Die unerwartet geringen Schäden der Chloracetamide auch im Voraufbau ohne Safener sind vermutlich bedingt durch geringe bzw. ausbleibende Niederschläge in der Phase zwischen Herbizidanwendung und Aufbauf.

Entsprechend der geringen Schäden in der Pflanzendichte waren auch die Erträge und die Trockensubstanzgehalte nicht signifikant beeinflusst (Abb. 39). Der Ertragsunterschied zu den unbehandelten Kontrollen war sehr gering, da alle drei beernteten Versuche nur sehr gering verunkrautet waren und Konkurrenzeffekte durch Unkraut nicht im nennenswerten Umfang auftraten.

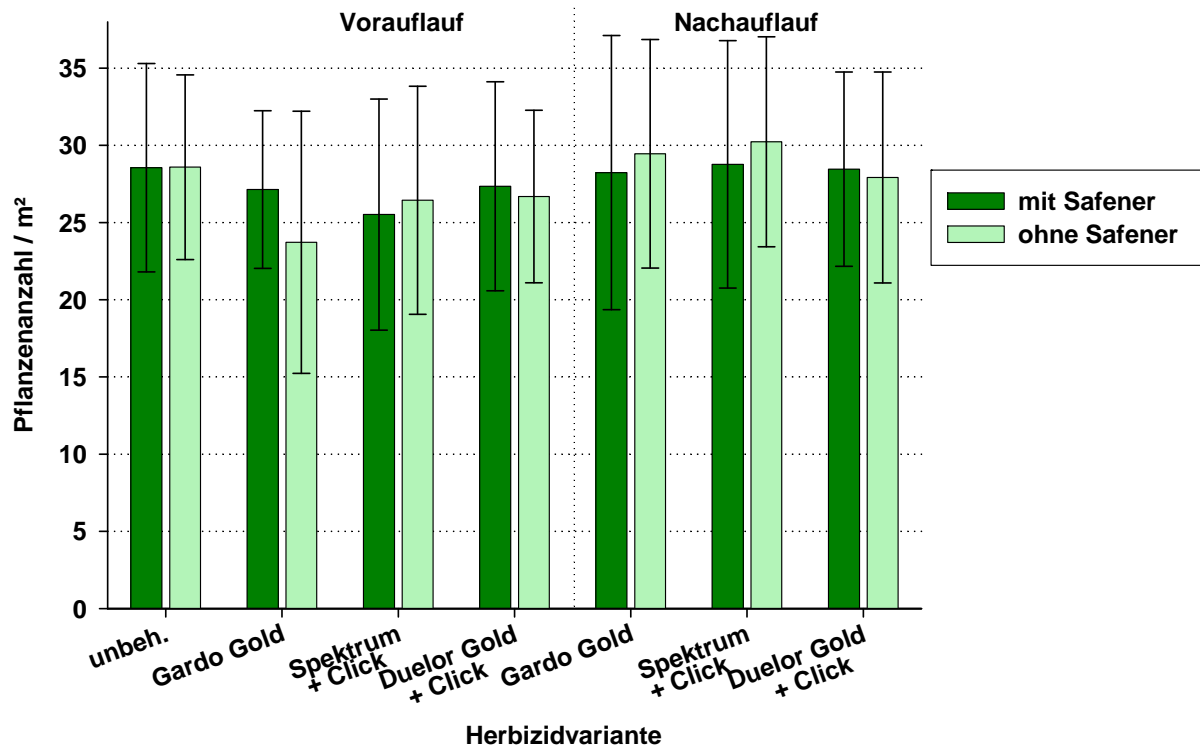


Abb. 38: Einfluss der Herbizidbehandlung auf die Pflanzendichte von *Sorghum bicolor* in Abhängigkeit des Behandlungstermins und des Safenerereinsatzes am Saatgut (Sorte SS 506; n = 4; 2008 und 2009; Saatstärke 30 kf/Körner je m²)

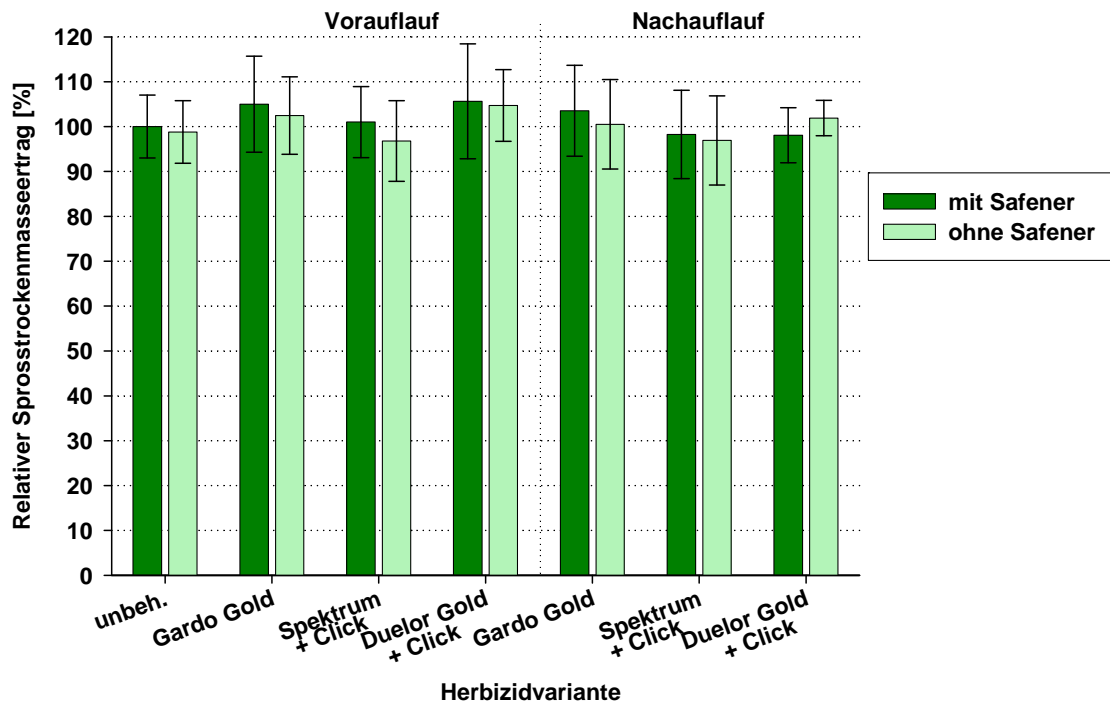


Abb. 39: Einfluss der Herbizidbehandlung auf den relativen Trockenmasseertrag von *Sorghum bicolor* in Abhängigkeit des Behandlungstermins und des Safenerereinsatzes am Saatgut (Sorte SS 506; n = 3; 2008 und 2009; 100 % = 21,22 t/ha unbeh. mit Safener)

### 3.2.6 Einfluss der Temperatursumme auf den Ertrag und die Qualität von Sorghumhirsen im Vergleich zu früher und später Maissorte

Sorghumhirsen haben einen im Vergleich zu anderen Kulturen hohen Temperaturanspruch. Die Fragen die sich hieraus ergeben sind, ob es Unterschiede im Temperaturanspruch zwischen verschiedenen Sorghum-Arten und -sorten gibt und wie hoch dieser höhere Temperaturanspruch im Vergleich zu Maissorten ausfällt deren sortenspezifischer Temperaturanspruch ganz gut in unseren Breiten beschrieben ist. Dieser Vergleich zu Maissorten würde die Möglichkeit bieten Regionen auszuweisen, die für einen Sorghumanbau geeignet sein könnten.

An 3 Standorten in 2008 und 4 Standorten in 2009 wurden je zwei Mais- und Hirsesorten angebaut und der Trockensubstanzgehaltsverlauf ab Mitte August bis zur Ernte verfolgt. Erwartungsgemäß nahm der TS-Gehalt mit zunehmender Temperatursumme zu. Allerdings konnte sowohl beim Mais wie auch bei Sorghum ein differenzielles Verhalten der Sorten beobachtet werden (Abb. 40). Die Sorte Lussi wies bereits bei Beginn der Messreihe an dem wärmsten Standort (Bingen) einen hohen TS-Gehalt auf. Bis zum Enderntetermin wurde bei allen Standorten für diese Sorte ein TS-Gehalt erreicht, der die Mindestanforderung deutlich überstieg. Für die späte Sorte Sucrosorgo 506 gilt dies nicht. Nur an den wärmeren Standorten wurde ein TS-Gehalt von > 25 % erreicht. Während die Geschwindigkeit der TS-Zunahme für Lussi und SS 506 über die Zeit etwa gleich war, so betrug die Differenz im TS-Gehalt zwischen diesen beiden Sorten bei einer Temperatursumme ca. 10 % (absolut). Die 2009 geprüfte späte Sudangrassorte hatte anfänglich etwa die gleichen Ansprüche an die Temperatur wie SS 506, im weiteren Verlauf der Entwicklung war die Zunahme des TS-Gehaltes dann aber deutlich zügiger.

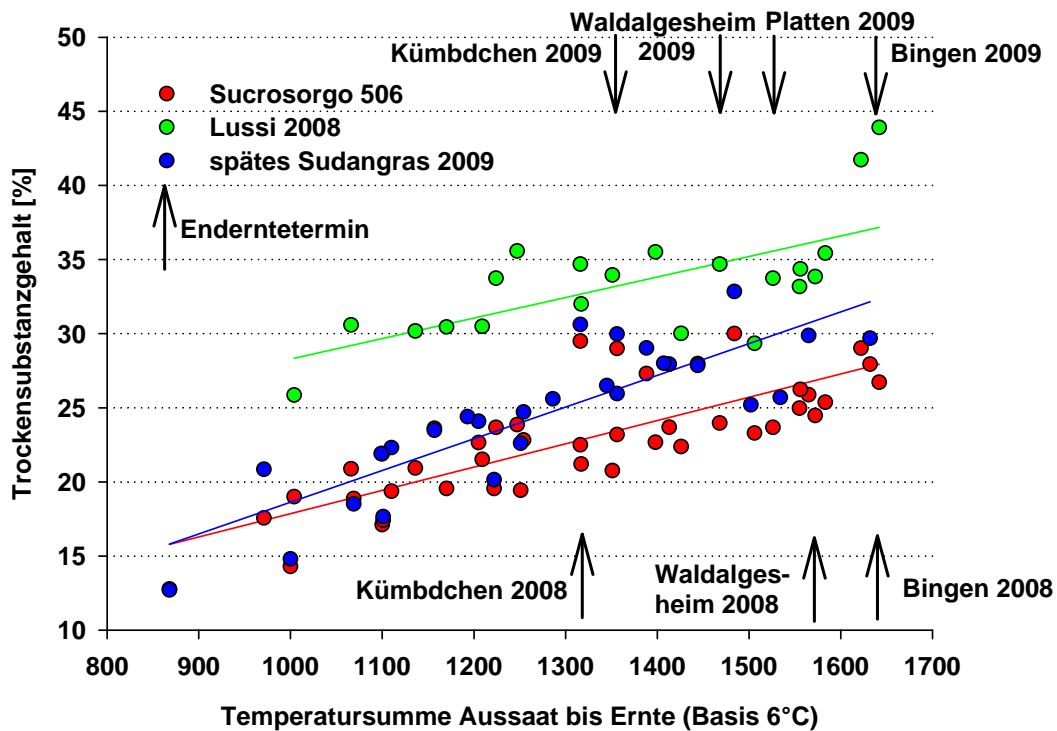


Abb. 40: Entwicklung des Trockensubstanzgehaltes von Sorghumhirsen im Hauptfruchtanbau auf Standorten mit unterschiedlicher Höhenlage (2008, n = 3 und 2009, n = 4)

Der Temperatursummenanspruch für die Maissorten war ein deutlich anderer. Bedingt durch die früheren Saattermine für den Mais im Vergleich zur Hirse (ca. 3 Wochen früher) kommen andere Zahlen zustande. In Abbildung 41 wird aber deutlich, dass sich frühe (Amadeo) und späte (Mikado) Maissorte deutlich von einander differenzieren. Während bis zur Endernte auf den kühleren Standorten die späte Maissorte den Mindest-TS-Gehalt von 28 % verpassten oder gerade so erreichten, wurden diese Anforderung für die frühe Sorte immer erfüllt. Im Vergleich zu den Hirsearten bedeutet dieses Ergebnis, dass eine sehr späte Maissorte geringere Temperaturansprüche aufweist, als eine späte *Sorghum bicolor* Sorte. Der Anbau von frühen Sudangräsern (wie Lussi) im Hauptfruchtanbau ist vom Erreichen des erforderlichen TS-Gehaltes her problemlos möglich.

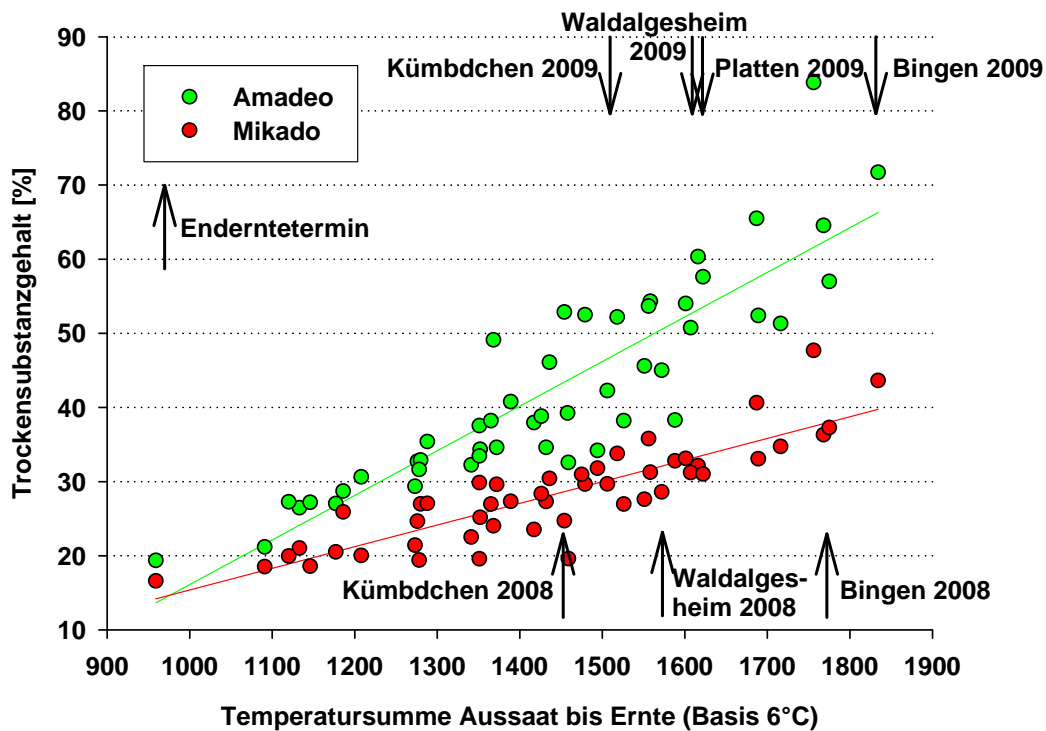


Abb. 41: Entwicklung des Trockensubstanzgehaltes von früher und später Maissorte im Hauptfruchtanbau auf Standorten mit unterschiedlicher Höhenlage (2008, n = 3 und 2009, n = 4)

Neben dem Erreichen des notwendigen TS-Gehaltes ist die Ertragshöhe natürlich das entscheidende Kriterium für die standortspezifische Wahl von Kulturart und Sorte. Die Abbildung 42 zeigt, dass die beiden Arten Mais und Hirse aber auch die jeweiligen Sorten auf den Prüfstandorten sehr unterschiedliche Ergebnisse erzielt haben. Am Standort Bingen waren beiden Hirsesorten den Maissorten in beiden Prüfjahren ertraglich deutlich überlegen. Der Abstand zwischen Mais und Hirse war in 2008 aber deutlicher als in 2009. Am Standort Waldalgesheim, dem zweitwärmsten nach Bingen in der Versuchsserie, lagen alle 4 Sorten ertraglich etwa gleich. An den kühleren Standorten Kümbdchen und Platten hingegen sind die Hirsen keine Alternative zum Mais, da hier die Trockenmasseerträge um ca. 50 % gegenüber dem Mais abfielen. Beim Vergleich von früher und später Maissorte fällt auf, dass die spätere Maissorte an allen Standorten mindestens die gleiche Ertragshöhe erreichte, jedoch mit zunehmenden Temperaturen je Standort die Erträge der beiden Maissorten zu Gunsten der späten Sorte Mikado größer wurden. Allerdings muss hier wie bereits zuvor berichtet eingeschränkt werden, dass die Sorte Mikado nicht immer in den kühleren Lagen die für Mais notwendigen 28 % TS-Gehalt erreichte.

Insgesamt machen diese Ergebnisse aber deutlich, dass es bereits heute Standorte gibt auf den Hirsesorten trotz fehlender züchterischer Anpassung höhere Erträge bringen können als adaptierte Maissorten. Mit zunehmender Intensität der Züchtung insbesondere hinsichtlich der Kältetoleranz dürfte die Hirse für die Biomasseproduktion zunehmend interessant werden. Auf der anderen Seite wurde aber auch deutlich, dass für viele Anbauregionen aufgrund des deutlichen Unterschieds der Ertragsleistung von Hirse und Mais der Mais der Mais auf absehbare Zeit seine Bedeutung als Hauptenergiepflanze für Biogasanlage behalten wird.

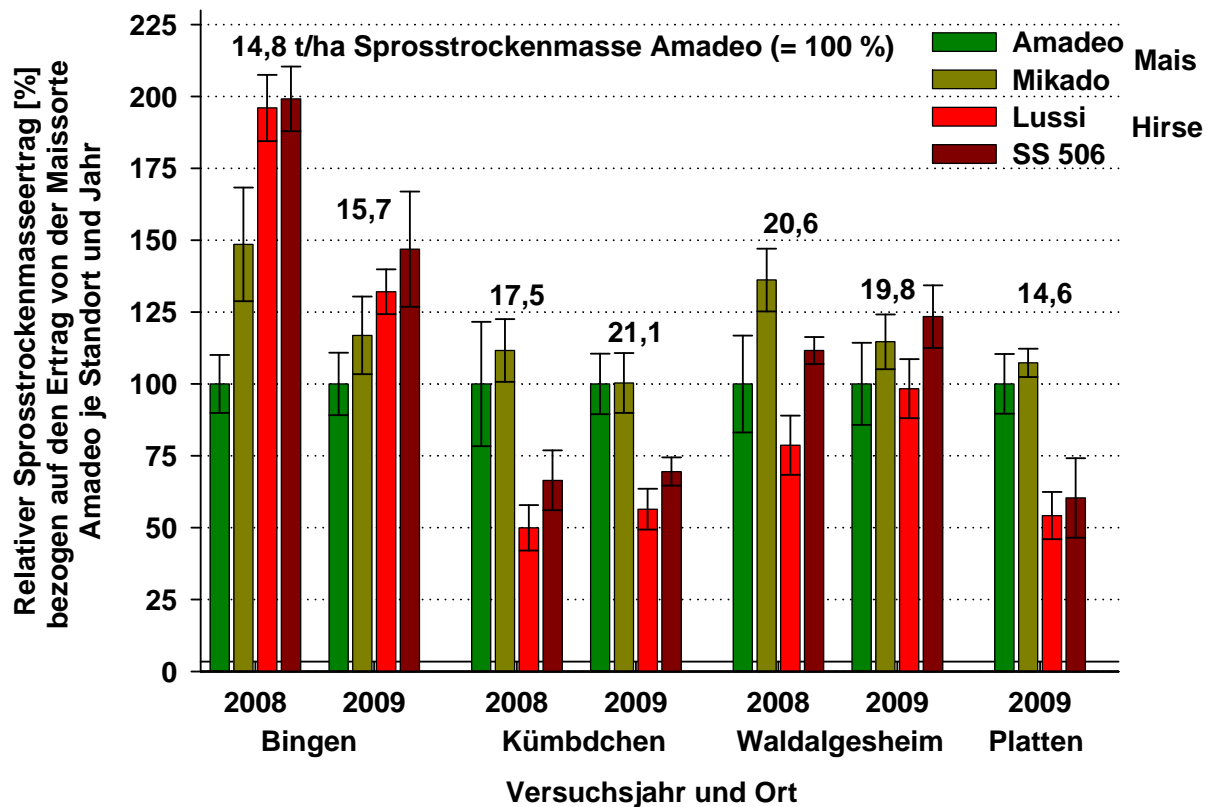


Abb. 42: Sprosstrockenmasseertrag von frühen und späten Sorghum- sowie Maissorten im Hauptfruchtanbau auf unterschiedlichen Standorten in Rheinland-Pfalz (2008 und 2009)

### 3.2.7 Methanausbeuten und Methanerträge von Sorghumhirsesilagen und Korrelationen der Pflanzeninhaltsstoffe mit der Methanausbeute

Neben dem Biomasseertrag spielt für die Biogasproduktion die Methanausbeute der pflanzlichen Substrate eine wichtige Rolle. Die aus den Versuchen gewonnenen Hirsesilage wurden in Kleinfementern in Batchversuchen zu Biogas vergoren. Da die Versuche zeitintensiv sind und nur eine begrenzte Untersuchungskapazität zur Verfügung steht, werden im Folgenden die Ergebnisse der Versuchsjahre 2007 und 2008 dargestellt. Die Analyse der Proben 2009 steht noch aus.

Abbildung 43 zeigt die Methanausbeuten der Hirsesorten aus dem Binger Hauptfruchtanbau des Jahres 2008. Deutlich wird eine weite Spreizung der Ergebnisse. Die Sorte mit der geringsten Methanausbeute war Lussi mit ca. 250 Normlitern Methan je kg oTs. Mit 425 Normlitern Methan lag die Sorte DSM 7 auf dem anderen Ende der festgestellten Spanne. Die meisten Sorten wiesen eine Methanausbeute von ca. 270 bzw. von ca. 330 Normlitern/kg oTs auf. Damit ist die Methanausbeute von Hirse etwas bzw. deutlich ungünstiger als von Mais (ca. 350 Normliter/kg oTs). Auf der anderen Seite scheint es bei Sorghumhirse deutlicher Sortenunterschiede in der Methanausbeute zu geben als beim Mais. Dies ist zum einen deutlich für die Sortenwahl, aber auch für die Züchtung eine eigentlich günstige Voraussetzung. Starke Variation in einem Merkmal im Genpool bedeutet zumeist auch gute Möglichkeiten zur züchterischen Verbesserung.

Werden die Methanausbeuten mit den Trockenmasseerträgen der Sorten des Jahres 2008 kombiniert, so ergeben sich zum Teil erhebliche Methanerträge (Abb. 44). Die Methanerträge reichen von 3500 Norm-m<sup>3</sup> der Sorte Akklimat bis zu 9000 m<sup>3</sup> der Sorten Goliath, SS 505 und SS 506. Folglich müssen nicht unbedingt die Sorten mit der höchsten Methanausbeute diejenigen sein, die die höchsten Erträge erzielen. Die sehr biomasseertragreichen *Sorghum bicolor* Sorten erscheinen als die geeigneten Varianten für die Biogaserzeugung. Als Nachteile dieser Sorte könnte sich der geringe Trockensubstanzanteil (Transportwürdigkeit

des Erntegutes) und die hohe Pflanzenlänge (Lagergefahr und Erntbarkeit) herausstellen. Bei den Methanerträgen wird aber auch deutlich, dass Sudangräser nicht an die Methanerträge der *Sorghum bicolor* Sorten (Massetypen) heranreichen können. Auch die *Sorghum bicolor* Sorten mit kompakteren Wuchs (Körner betonte Typen z.B. King 61) oder aber brown mid rip Typen (DSM 7) bleiben mit deutlich Abstand hinter den Masse betonten Sortentypen zurück.

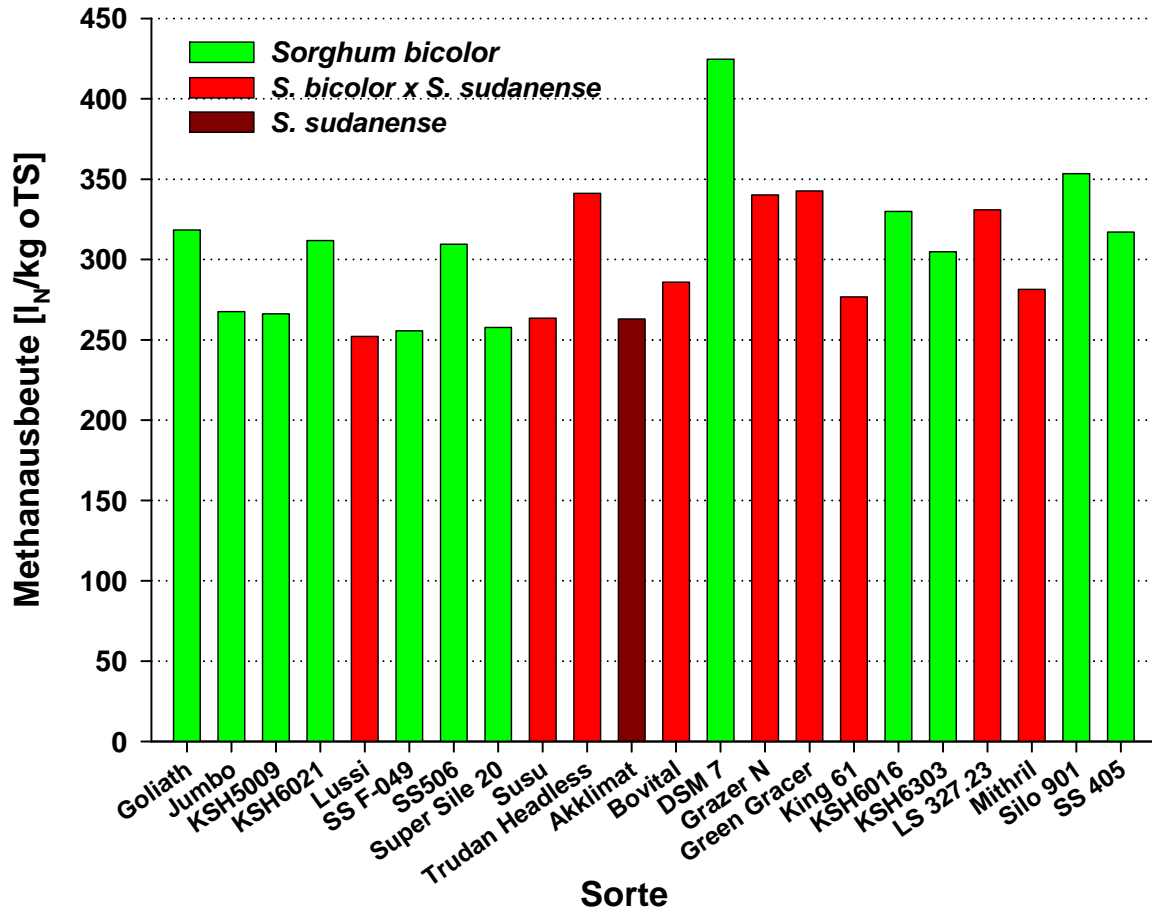


Abb. 43: Methanausbeute von Sorghumhirsen aus dem Hauptfruchtanbau Bingen 2008

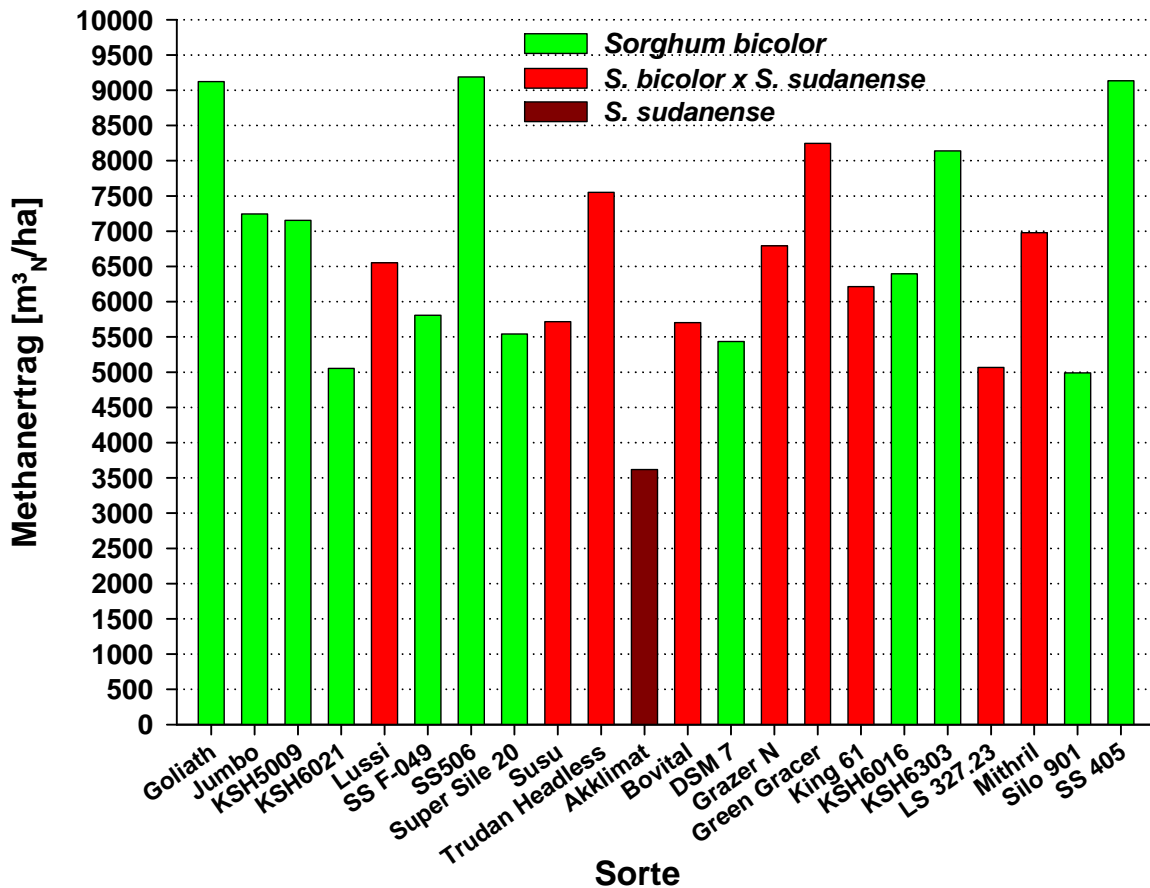


Abb. 44: Methanertrag von Sorghumhirsen aus dem Hauptfruchtanbau Bingen 2008

Die im Sortiment des Jahres 2008 festgestellten Sortenunterschiedlich in der Methanausbeute lassen sich auch zum größten Teil im zweijährigen Vergleich wieder finden (Abb. 45). Bei den zweijährig geprüften Methanausbeuten findet sich die gleiche Spanne der Methanausbeute wieder wie bereits in Abbildung 43 dargestellt. Größere Unterschiede zwischen den Methanausbeuten zwischen den Jahren wurden nur bei den Sorten Jumbo, Mithril und Susu festgestellt. Vermutlich gegen diese Unterschieden auf die höheren, die Methanausbeute reduzierenden, Trockensubstanzgehalte des Jahres 2008 zurück. Deutlich höhere TS-Gehalte wurden nicht für alle Sorghumsorten des Jahres 2008 im Vergleich zu 2007 beobachtet, so dass hier die Abweichung in der Methanausbeute unterschiedlich ausfallen bzw. nicht vorhanden sind.

Der Einfluss des Trockensubstanzgehaltes von Sorghumhirse auf die Methanausbeute ist für die beiden Sorte Goliath (*Sorghum bicolor*) und Lussi (*S. bicolor x S. sudanense*) in Abbildung 46 dargestellt. Dieser Untersuchung zu Grunde liegende Proben stammten aus dem Hauptfruchtanbau der Standorte Bingen und Herxheim sowie aus dem Zweitfruchtanbau in Bingen der Jahre 2007 und 2008. Deutlich wird, dass mit zunehmendem TS-Gehalt der Silage die Methanausbeute tendenziell sinkt. Während dies aber für die Sorte Goliath aufgrund der geringen Schwankungsbreite des Trockensubstanzgehaltes nur in einem geringen Umfang zutrifft (die Methanausbeute ging etwa von 330 auf 300 Normliter zurück, während der TS-Gehalt von 25 auf 29 % anstieg), so ist das Sudangras hier in einem höherem Umfang betroffen. Der TS-Anstieg von 29 auf 43 % ging mit einem Rückgang der Methanausbeute von ca. 330 auf ca. 260 Normlitern/kg oTS einher. Während die massebetonten *S. bicolor* Sorten im Spätsommer/Herbst nur eine langsame Zunahme des TS-Gehaltes zeigen, reagieren die Sudangräser mit stärkeren TS-Zunahmen. Dies bedeutet, dass die Erntetermine für *S. bicolor* recht spät liegen können ohne die Methanausbeute zu gefährden, während Sudangräser in der Regel früher geerntet werden müssen. Der optimale Erntezeitpunkt von Sudangras dürfte im Entwicklungsstadienbereich der Blüte bis etwa der

Milchreife liegen. Genauere Eingrenzung des stadienabhängigen Erntetermins müssten weitere Versuche zeigen.

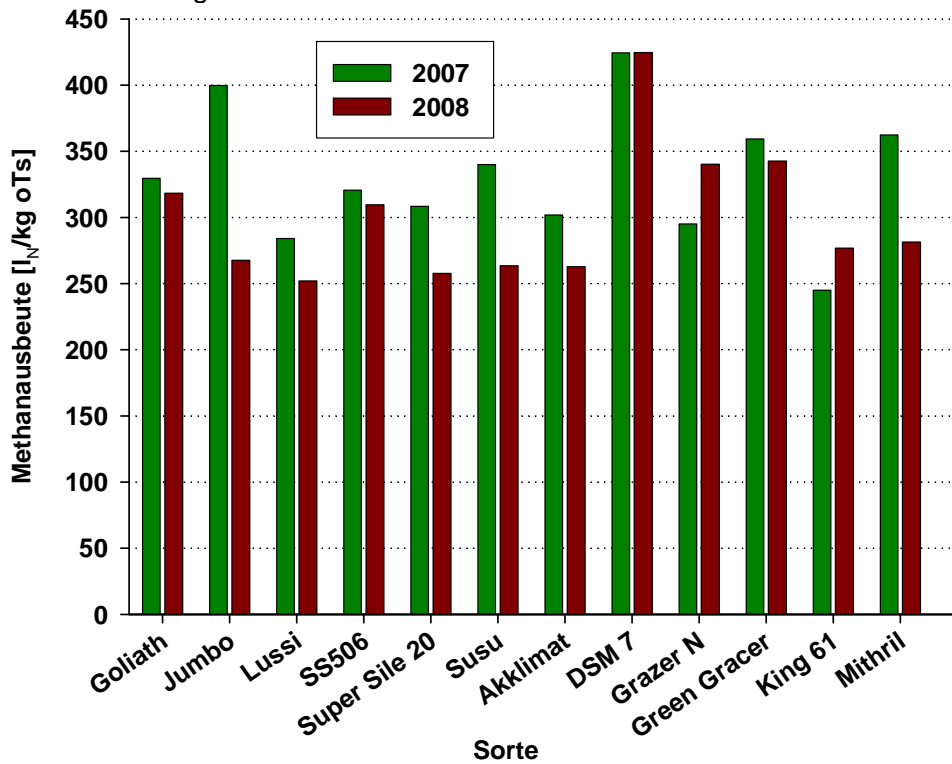


Abb. 45: Methanausbeute von Sorghumhirse in Abhängigkeit der Sorte und des Jahres (Hauptfruchtanbau Bingen 2007 und 2008)

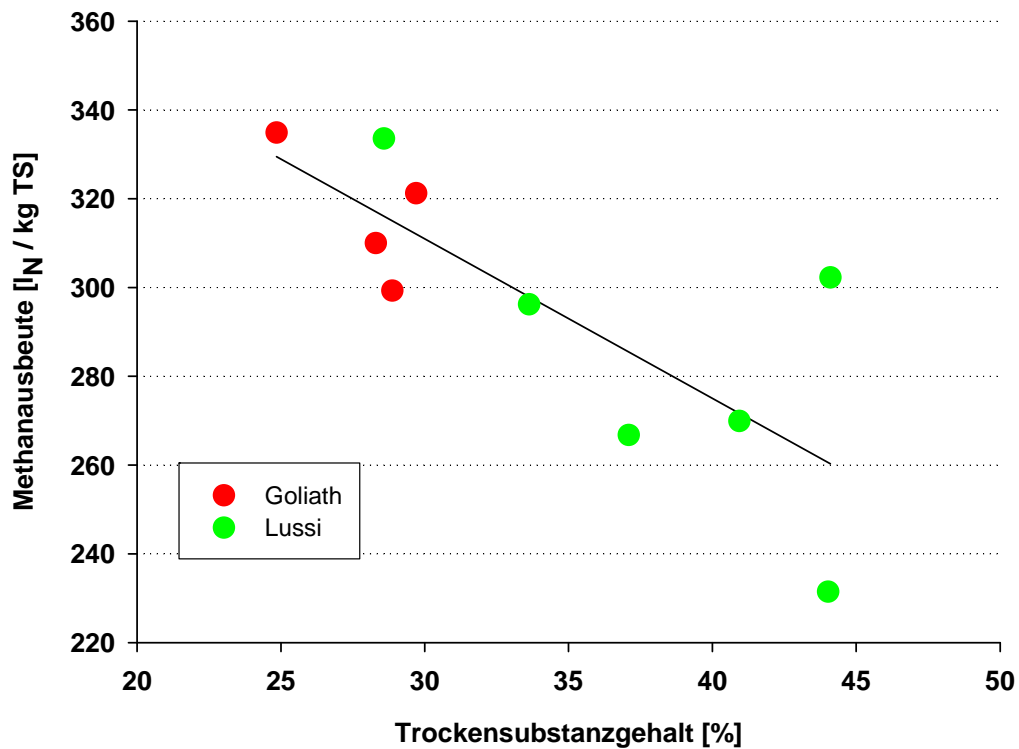


Abb. 46: Einfluss des Trockensubstanzgehaltes von zwei Sorghumhirsesorten auf die Methanausbeute

Neben dem Trockensubstanzgehalt spielen natürlich auch die Inhaltsstoffe der Hirsesilagen und deren Verdaulichkeit eine wichtige Rolle für die Methanausbeute. Um eine kausale

Analyse zwischen Inhaltsstoffen von Hirse und der Methanausbeute machen zu können, wurden entsprechende laboranalytische Verfahren eingesetzt. Neben der bereits in den vergangenen 2 Jahren verwendeten Weender Analyse wurde mit der van Soest-Methode ein weiteres Verfahren eingesetzt, dass eine weitergehende Aufschlüsselung der Inhaltsstoffe ermöglicht. Abbildung 47 stellt einen Vergleich der beiden Verfahren hinsichtlich der analysierten Inhaltsstoffe auf. Mit der van Soest-Methode in Kombination mit der Weender Analyse ist es möglich die Gehalte von Rohasche, Rohprotein, Rohfett, Lignin, Cellulose, Hemicellulose sowie anderen org. Substanzen (Stärke, Zucker, ...) von einander zu trennen.

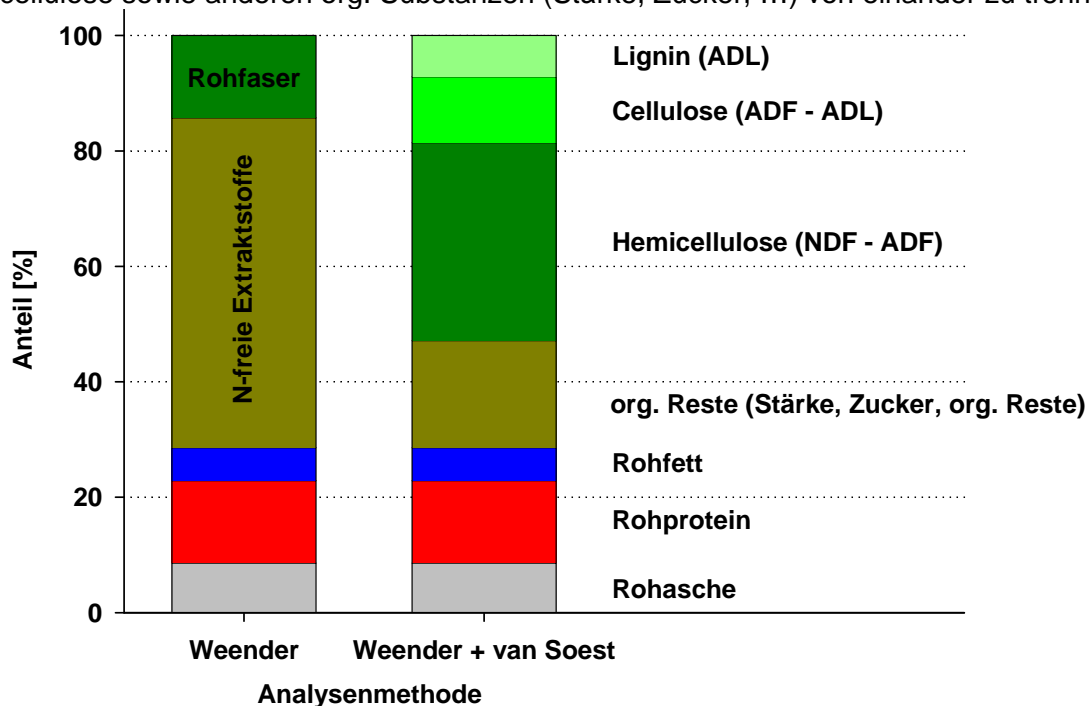


Abb. 47: Zusammensetzung der Trockenmasse in Abhängigkeit der Analysenmethode (Beispiel Weizenkleie nach Kirchgeßner 2004)

Die Ergebnisse der erweiterten Weender Analyse am Beispiel der Sorghumsorten des Hauptfruchtanbaues in Bingen 2007 und 2008 zeigen gewisse Unterschiede zwischen den Sorten. Während Rohasche, Rohfett und Rohproteingehalt sich weitgehend gleichen bzw. die rel. Unterschiede zwar groß, die absoluten Werte aber nur einen kleinen Anteil der Gesamtinhaltsstoffe ausmachen (Rohfett), lassen sich für die übrigen Parameter deutlichere/relevantere Unterschiede feststellen (Abb. 48). So schwanken die Werte je nach Sorte beim Gehalt von Zucker und Stärke von 28 bis 38 %, Hemicellulose 13 bis 20 %, Cellulose 22 bis 32 % und Lignin 3 bis 10 %. Besonders deutlich fallen die Unterschiede der Sorte DSM 7 und Lussi im direkten Vergleich auf. DSM 7 hat einen sehr hohen Gehalt an Stärke und Zucker sowie einen niedrigen Ligningehalt was auch zu der hohen Methanausbeute (siehe Abb. 45) führen dürfte. Aufgrund des hohen Trockensubstanzgehaltes der Sorte Lussi (> 40 %) ist der Lignifizierungsgrad sehr viel höher und die Methanausbeute entsprechend reduziert. Dass generell eine Beziehung zwischen Zunahme des Ligningehalts mit höherem TS-Gehalt existiert, zeigt Abbildung 49. Ausnahme bildet hier nur die Sorte DSM 7. Alle übrigen Sorten verhalten sich gleichgerichtet.

Die Analyseergebnisse der Inhaltsstoffe waren dann auch die Basis für die multiplen Regressionsanalyse zur Klärung der Bedeutung der Inhaltsstoffzusammensetzung für die Methanausbeute (Abb. 50 und 51). Bei der Analyse wurde deutlich, dass die Sorten nach den Typen *S. bicolor* und *S. bicolor* x *S. sudanense* (inkl. *S. sudanense*) unterschieden werden müssen. Dies bedeutet, dass bestimmte Parameter bzw. Inhaltsstoffe für den einen oder Sortentyp eine größere oder kleinere Rolle spielen. Durch die multiple Regressionsanalyse war es möglich den Einfluss der einzelnen Inhaltsstoffe auf die Methanausbildung zu prüfen und die bedeutenden Parameter in eine lineare Gleichung einfließen zu lassen. Mit den so bestimmten Gleichungen es annähert möglich anhand der

Inhaltsstoffgehalte der Hirsesilage auf die Methanausbeute zurück zu schließen. Die Abbildung 50 und 51 zeigen dies für die beiden Sortentypen. Während bei *S. bicolor* die entscheidenden Parameter der organische TS-Gehalt, der Hemicellulosegehalt sowie der Ligningehalt sind, spielt bei Sudangräsern vor allem der TS-Gehalt zusätzlich eine entscheidende Rolle. Weitere Inhaltsstoffanalysen und Korrelationen zur Methanausbeute sollten klären, ob anhand der Inhaltsstoffe von Hirsesilagen sicher auf die Methanausbeute zurück geschlossen werden kann. Dies würde die zeitaufwendigen Vergärungsexperimente ersetzen und könnte in einem weiteren Schritt über NIR-Methoden zu einem vereinfachten Analyseverfahren führen, der eine besondere Bedeutung für die Züchtung von Hirsen für die Methanproduktion hätte.

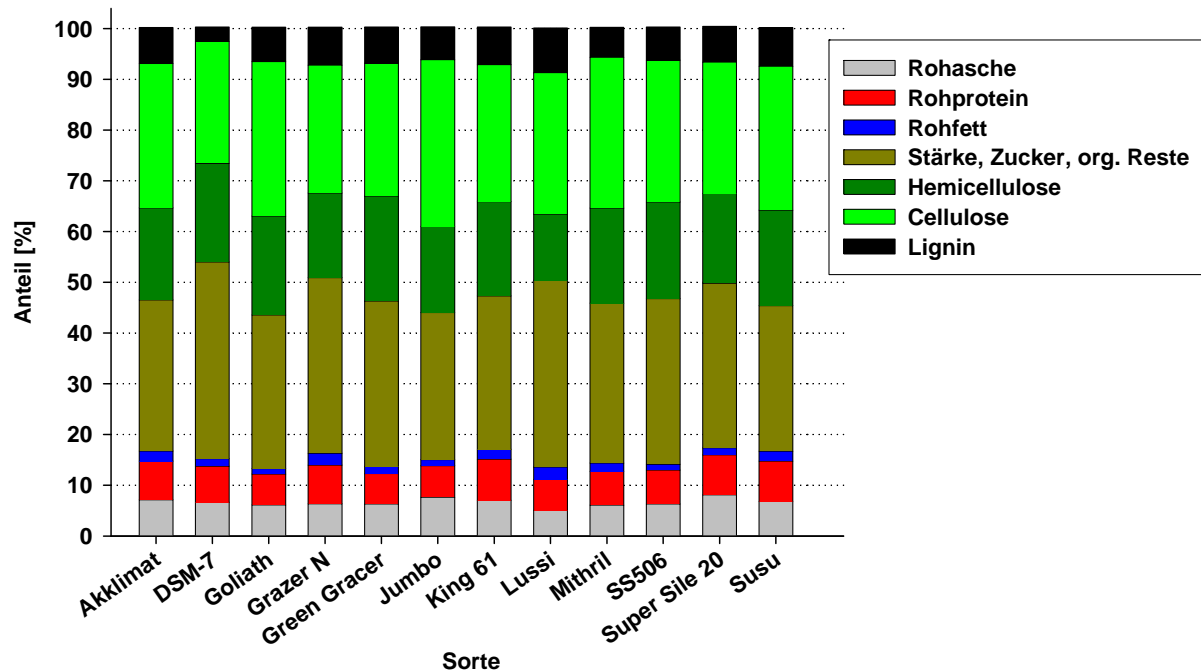


Abb. 48: Einfluss der Sorghumhirsensorte auf die Inhaltsstoffzusammensetzung Hauptfruchtanbau Bingen - Mittel 2007 und 2008

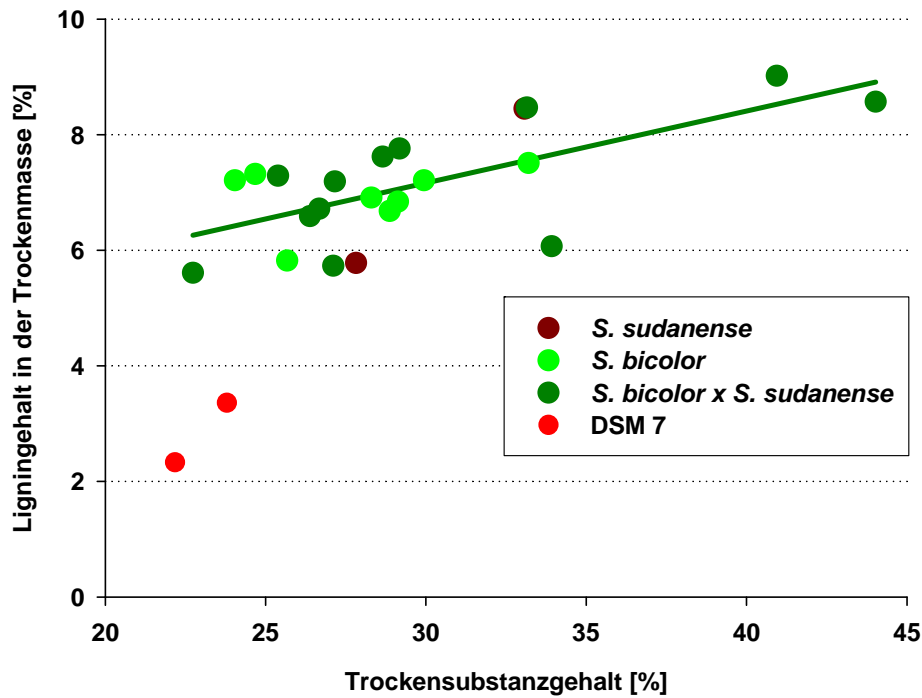


Abb. 49: Einfluss des Trockensubstanzgehaltes von Sorghumhirsen auf den Ligningehalt (Hauptfruchtanbau Bingen 2007 und 2008)

$$\text{Normliter Methan je kg oTS} = -19,32 \times \text{Lignin} - 5,79 \times \text{Cellulose} - 17,97 \times \text{Rohasche} + 723$$

$$r^2 = 0,685 \text{ *** (P > 0,001)}$$

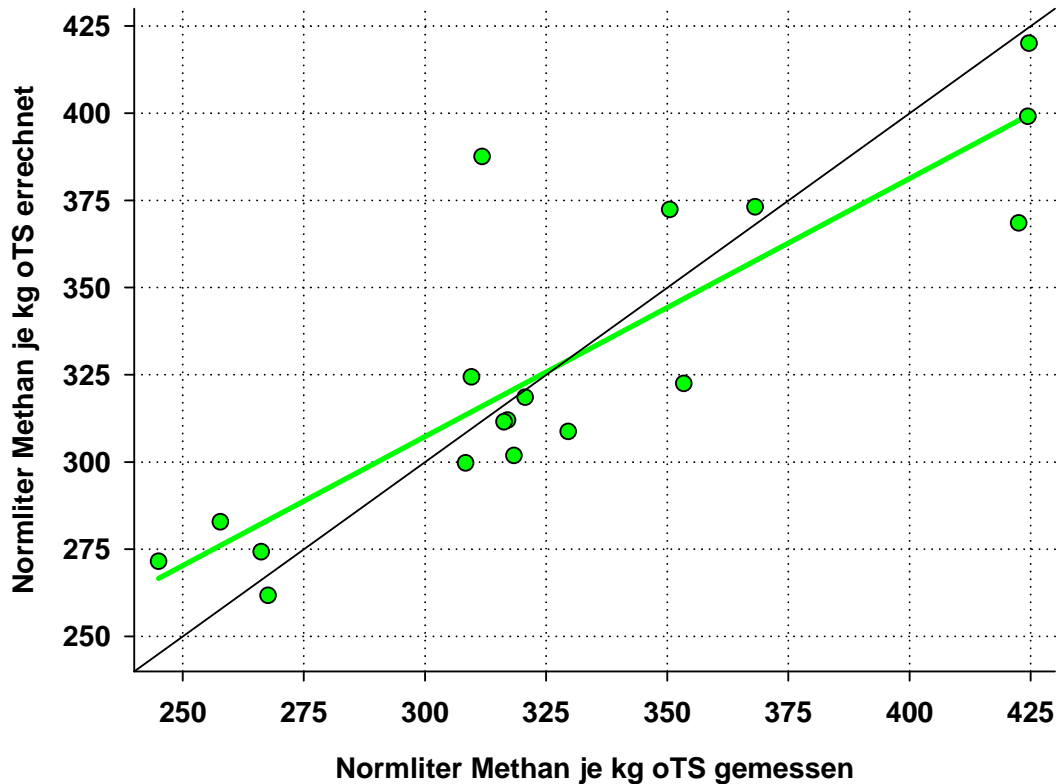


Abb. 50: Beziehung vom gemessener und errechneter Biogasausbeute von *Sorghum bicolor* Sorten Ernte 2007 und 2008 (multiple Regressionsanalyse auf Basis aller Inhaltsstoffe nach Weender Analyse + van Soest Methode)

Normliter Methan je kg oTS =  $4,45 \times \text{Stärke/Zucker} - 41,05 \times \text{Rohasche} - 8,28 \times \text{TS-Gehalt} + 973$   
 $r^2 = 0,652$  \*\*\* ( $P > 0,001$ )

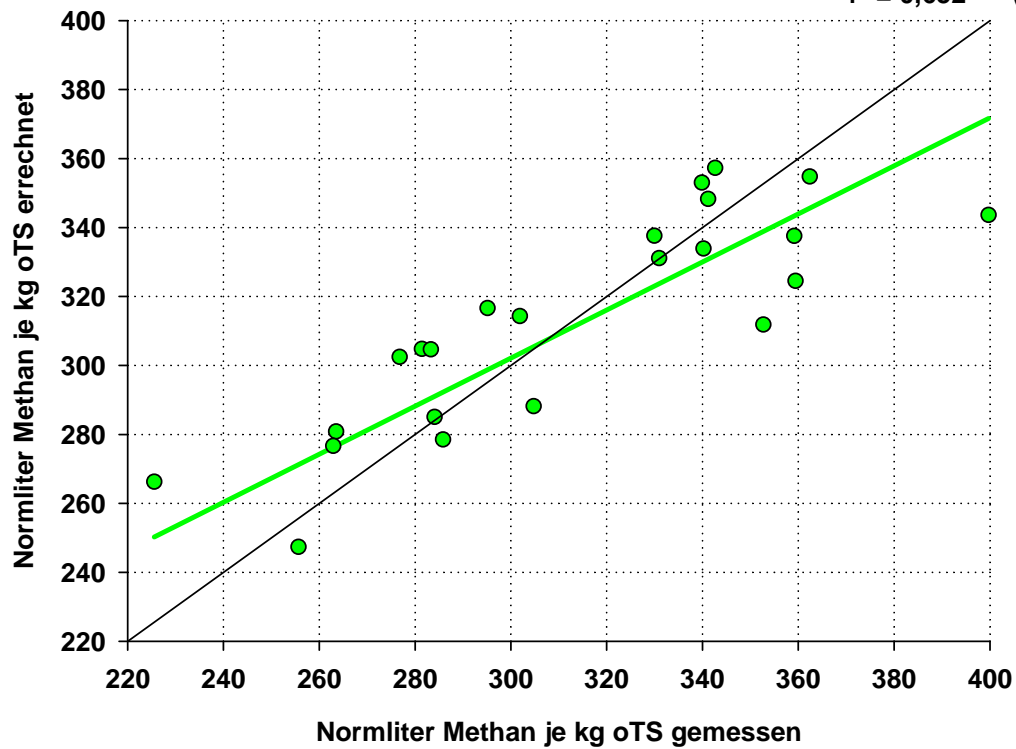


Abb. 51: Beziehung vom gemessener und errechneter Biogasausbeute von *Sorghum bicolor* x *S. sudanense* Sorten Ernte 2007 und 2008 (multiple Regressionsanalyse auf Basis von Inhaltsstoffanalyse Weender + van Soest-Methode)

#### 4 Zusammenfassung und Fazit

An mehreren Standorten in Rheinland-Pfalz wurden von 2007 bis 2009 Sorghum-Hirsesorten im Haupt- und Zweitfruchtanbau auf ihre Biomasseleistung und die Eignung als Biomethanrohstoff hin untersucht. Ferner wurden produktionstechnische Fragen wie Saatstärke, Mischbau mit Mais, Bodenbearbeitung zur Zweitfrucht, N-Düngung, Selektivität von Ungrasherbiziden in Sorghumhirse und Wechselwirkung von Standort und Sortenwahl im Vergleich zum Mais geprüft. Die Feldversuche wurden als randomisierte Blockanlagen mit 3 bis 4 Wiederholungen (Ausnahme Standort Platten Großparzellen mit 2 Wdh) angelegt. Vergärungsexperimente und Laboranalysen wurden jeweils in Doppelbestimmungen durchgeführt.

Die Versuche zum Hauptfruchtanbau zeigten, dass Sorghumhirse an wärmeren Standorten durchaus eine ertragliche Alternative zum Mais darstellen kann. Am Standort Bingen zeigten manche Sorten einen deutlich höheren Ertrag als der Mais. Dies war in allen 3 Versuchsjahren der Fall. Die besten Sorten erreichten in allen Jahren Erträge von 25 bis 30 t/ha Trockenmasse. Es zeigte sich aber auch, dass längst nicht alle Sorten für einen erfolgreichen Anbau geeignet sind. Bezogen auf den Methanertrag je Hektar unterschieden sich gute von ungeeigneten Sorten beinahe um den Faktor 3. Deutlich wurde, dass Massetypen von *Sorghum bicolor* die höchsten Erträge versprechen. Die Trockensubstanzgehalt von > 25 % werden zumeist erreicht. Ungeeignet zum Anbau sind langtagempfindliche Sorten sowie aufgrund der mangelhaften Standfestigkeit „brown mid rip“ Typen. Sudangräser erreichen zwar in der Regel höhere TS-Gehalte, müssen aber für eine hohen Methanausbeute früh geerntet werden und erreicht nicht die Biomasseleistung der *S. bicolor* Massetypen. Da bislang keine Landessortenversuche für Sorghumhirse durchgeführt werden, geben die erzielten Ergebnisse wertvolle Hinweise auf die Eignung der derzeit/zukünftig im Markt angebotenen Sorten.

Im Zweitfruchtanbau zeigten sich größere Schwankungen der Erträge gegenüber den Sorten im Hauptfruchtanbau. Aufgrund des Wasserverbrauches der Vorkultur und des späteren sowie deutlich geringeren Aufganges liegen die Erträge des Zweitfruchtanbaues etwa nur auf dem Niveau von 25 bis 50 % des Hauptfruchtanbaus. Die Erträge der besseren Sorten schwankten zwischen 8 und 15 t/ha Trockenmasse. Der notwendige Trockensubstanzgehalt zur Konservierung von mindestens 25 % wurde nicht immer von allen Sorten erreicht. Um die Erntefähigkeit von der Sorghumzweitfrucht zu verbessern, kann früh auftretender Nachtfrost im Oktober hilfreich sein, der die Vegetationszeit von Sorghum sofort beendet und den Trockensubstanzgehalt erhöht.

Der in 2007 und 2008 durchgeführte Zweitfruchtanbau in einer Höhenlage war in beiden Jahren erfolglos. Es wurden keine erntefähigen Aufwüchse erzielt. Aus der Praxis wurde aus dem Jahr 2006 über einen erfolgreichen Zweitfruchtanbau von Sorghumhirse in Höhenlagen berichtet. Dies scheint aber die Ausnahme zu sein. Von einem Anbau von Sorghum in Höhenlagen bzw. kühleren Lagen sollte derzeit generell abgesehen werden.

Zu den Ergebnissen der anbautechnischen Versuche lässt sich folgendes zusammenfassen: Der Anbau einer Sorghum-Zweitfrucht sollte stets mit konservierender Bodenbearbeitung erfolgen. Wendende Bodenbearbeitung zur Etablierung der Zweitfrucht kann aufgrund unproduktiver Wasserverluste durch Evaporation zu Ertragsverlusten führen (in 2008 ca. 20 %).

Die Saatstärke von Sorghum-Sorten sollte ca. 30 keimfähige Körner je m<sup>2</sup> betragen. Zwar führen höhere Pflanzendichten zu leicht erhöhte Biomasseerträge, jedoch steigt durch die beeinflusste Morphologie der Pflanzen die Lagergefahr zur Ernte deutlich.

Die N-Düngung im Sorghumhauptfruchtanbau wurde nur einjährig geprüft. Durch eine Steigerung der N-Düngung über 150 kg/ha N (inkl. N<sub>min</sub>) wurden keine signifikanten Ertragssteigerungen erreicht. Da mit dieser N-Versorgung auch in den Vorjahren gleich hohe und sogar höhere Erträge erzielt wurden, scheint Sorghum-Hirse eine höhere N-Effizienz zu

besitzen als der Mais. Damit könnte der Sorghumanbau zu einer gewissen Entlastung der Umwelt beitragen.

Mit einem höheren Sorghumhirse- aber auch Maisanteil in der Fruchtfolge steigt die Gefahr des Auftretens von Schadhirschen. Während diese im Mais weitgehend mit Herbiziden kontrolliert werden können, fehlt diesen Herbiziden die ausreichende Selektivität in Sorghum. Auch wenn es in den Herbizidversuchen nicht zu dramatischen Schäden durch chloracetamidhaltigen Herbizide im Voraufverfahren an Sorghum gekommen ist, so zeigte sich doch, dass mit dem Einsatz von einem Safener am Saatgut die Verträglichkeit der Herbizide deutlich gesteigert werden konnte. Wird die Zulassungssituation des Safeners positiv geklärt, eröffnet sich hier zukünftig eine Möglichkeit zur effizienten Schadhirschenkontrolle in Sorghumhirse.

Der Misanbau von Mais und Sorghum zur Stabilisierung des Trockenmasseertrages bei unterschiedlichen Jahreswitterungen ist aufgrund der unterschiedlichen Wachstumsgeschwindigkeiten und der verschiedenen ausgeprägten Toleranz gegenüber Hitze und Trockenheit der beiden Kulturpflanzen theoretisch eine Lösungsmöglichkeit. In den drei Versuchsjahren zeigte sich aber, dass die unterschiedlichen Jahreswitterungsabläufe zu unterschiedlichen Ergebnissen geführt haben. Aus den Versuchsansätzen kann weder das optimale Mischungsverhältnis von Mais und Hirse abgeleitet werden, noch kann generell die Mischung der beiden Kultur empfohlen werden. Wie bereits zum Hauptfruchtanbau von Sorghumhirse ausgeführt, zeigt sich der Sorghumanbau unter klimatisch günstigen Bedingungen stets ertraglich überlegen. Obwohl in den Versuchsjahren 2007 bis 2009 kein ausgeprägtes „Trockenjahr“ dabei war, lässt sich wohl vermuten, dass die Ertragsdifferenz zwischen Mais und Sorghumhirse erst recht sich unter solchen Verhältnissen einstellen würde. Daher lässt sich Schlussfolgern, dass ein Misanbau von Mais und Sorghumhirse in „Sorghumgunstregionen“ unabhängig von der Jahreswitterung nicht sinnvoll ist. Im Sinne einer Ertragsstabilisierung könnte der Misanbau eher in solchen Anbauregionen sinnvoll sein, wo je nach Jahreswitterung mal Mais und mal Sorghumhirse sich als ertragreicher zeigt. Hier bliebe dann allerdings zu klären, welche Sorten und welches Mischungsverhältnis zu wählen wären, um die gewünschten Effekte auch sicher zu erzielen.

Die Versuche zur Trockensubstanzentwicklung und zum Ertragspotential von Sorghum und Mais an unterschiedlichen Standorten im Vergleich von jeweils frühen und späten Sorten sollten aufzeigen, in welchen Regionen der Anbau von Sorghumhirse im Vergleich zum Mais sinnvoller Weise möglich ist. Es zeigten sich erwartungsgemäß Korrelationen der Trockensubstanzentwicklung mit der Temperatursumme. Aufgrund der bis zum Vegetationsende je Standort erreichten Wärmesumme lassen sich im Standortvergleich Anbauflächen für Sorghumhirse eingrenzen. In Rheinland-Pfalz dürften sich die Anbauflächen von Sorghum weitestgehend mit den Weinbauklimaten überschneiden. In den höheren (kühleren) Lagen ist der Sorghumanbau nicht sinnvoll. In den kühleren Lagen wird der notwendige TS-Gehalt nicht sicher erreicht und die erzielten Biomassen sind bis zu 50 % niedriger als die vom Mais. In wärmeren Lagen gelten für die Trockenmasse nahezu umgekehrte Verhältnisse. So kann der Sorghumhirseanbau beispielsweise im Rheintal zur Biomasseproduktion als Alternative zum Mais durchaus empfohlen werden. In wie weit dieses auch für andere Regionen in Deutschland gilt (zum Beispiel das Mitteldeutsche Trockengebiet) müssten entsprechende Versuche zeigen. In den meisten Regionen von Rheinland-Pfalz aber vermutlich auch in Gesamtdeutschland besitzt der Mais bis auf absehbare Zeit sicherlich das höhere Ertragspotential.

Die durchschnittliche Methanausbeute bezogen auf die organische Trockenmasse ist bei Sorghum je nach Sorte etwas oder aber auch deutlich niedriger als beim Mais. Während beim Mais etwa 350 l/kg oTS Methan erreicht werden, sind dies bei Sorghum zumeist 250 bis 330 l/kg oTS. Es zeigte sich in den Versuchen aber auch, dass eine relative weite Spannweite in der Methanausbeute von Sorghumhirse (250 bis 430 l/kg oTS Methan) zu beobachten war. Die Methanausbeute ist damit ein wichtiges Kriterium für die Sortenwahl von Sorghumhirse aber die Ergebnisse liefern auch für die Züchtung auf Hirsequalität für die

Biomethanerzeugung wertvolle Hinweise. Die Analyse der Inhaltsstoffe und deren Korrelation mit der Methanausbeute je Sorte zeigten gewisse Kausalitäten. Während bei *S. bicolor* die entscheidenden Parameter der organische TS-Gehalt, der Hemicellulosegehalt sowie der Ligningehalt sind, spielt bei Sudangräsern vor allem der TS-Gehalt zusätzlich eine entscheidende Rolle. Weitere Inhaltsstoffanalysen und Korrelationen zur Methanausbeute sollten klären, ob anhand der Inhaltsstoffe von Hirsesilagen sicher auf die Methanausbeute zurück geschlossen werden kann. Dies würde die zeitaufwendigen Vergärungsexperimente ersetzen bzw. ergänzen und könnte in einem weiteren Schritt über NIR-Methoden zu einem vereinfachten Analyseverfahren führen, der eine besondere Bedeutung für die Züchtung von Hirsen für die Methanproduktion hätte.

## **Danksagung**

Wir bedanken uns bei dem Ministerium für Wirtschaft, Verkehr, Landwirtschaft und Weinbau in Mainz für die Förderung des Projektes. Den involvierten Pflanzenzuchtunternehmen und dem TfZ, Straubing ist für die Bereitstellung des Saatgutes zu danken. Allen fleißigen Händen, die bei der Durchführung und bei der Ernte der Versuche beteiligt waren gebührt unser besonderer Dank. Dies gilt besonders Herrn Buhr vom DLR Eifel, der bei manchmal nicht ganz einfachen Verhältnissen die Ernte immer sicher im Griff hatte sowie Herrn Daiksel, Herrn Kerner, Frau Seidler und allen beteiligten Studenten. Herrn Steffen Schmitt in Waldalgesheim danken wir für die zur Bereitstellung und Vorbereitung des dortigen Versuchsfeldes.