

Bewertung von Sorghum als Energiepflanze

Zusammenfassung der Ergebnisse aus dem Verbundprojekt „Pflanzenbauliche, ökonomische und ökologische Bewertung von Sorghumarten und –hybriden als Energiepflanzen“ von 2011 bis 2014

Das Projekt wurde gefördert von der FNR und dem BMEL.



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Autoren: LfULG Sachsen: Dr. Kerstin Jäkel, Markus Theiß, Karen Pötzschke
LWK Niedersachsen: Carsten Rieckmann, Tobias Glauert
TFZ Bayern: Dr. Mandy Fritz, Dr. Anja Hartmann
LELF Brandenburg: Dr. Gerd Barthelmes, Manuela Martin
TLL Thüringen: Dr. Steffi Knoblauch, Dr. Maria Wagner
LFA Mecklenburg-Vorpommern: Dr. Andreas Gurgel
LLFG Sachsen-Anhalt: Dr. Lothar Boese
FIB Brandenburg: Dr. Dirk Knoche, Ulf Golz
UfZ Sachsen-Anhalt: Dr. Uwe Franko, Dr. Katrin Kuka



In der Landwirtschaft werden unter der Voraussetzung der guten fachlichen Praxis Wege zu mehr Umwelt- und Klimafreundlichkeit sowie höherer Biodiversität gesucht. Gerade bei den Energiepflanzen für die Biogaserzeugung und der starken Konkurrenz des Maises fehlen oft ökonomisch gleichwertige Alternativen um eine höhere Biodiversität zu erreichen. Ziel des Projektes war es deshalb Sorghumhirsen als Alternative für den Einsatz in Biogasanlagen zu beurteilen. Die Ergebnisse werden nachfolgend dargestellt.

1. Auswahl der Sorten

Die mehrjährigen Ergebnisse der Sortenprüfung von Sorghum zeigen vielversprechende Erträge und belegen, dass ein erfolgreicher Anbau unter den gemäßigten Klimabedingungen in Deutschland möglich ist.

Über mehrere Versuchsjahre wurde eine große Anzahl von Sorghumsorten aus dem Bereich der Futterhirsen, der Sudangrashybriden und der Körnerhirsen unter unterschiedlichen Standortbedingungen Deutschlands geprüft.

Neben dem Trockenmasseertrag ist für den Landwirt das Kriterium der Abreife ebenfalls entscheidend und muss bei der Sortenwahl mit berücksichtigt werden. Bei der Nennung der ertragsstärksten Sorten dominieren eindeutig Vertreter aus dem Futterhirsebereich.

Sudangrashybriden

Im Bereich der Sudangrashybriden steht mit **Lussi** eine sehr frühreife Sorte zur Verfügung. Ertraglich reichte sie aber nicht an die besten Futterhirsesorten heran. Des Weiteren zeigte Lussi bedingt durch das frühe Rispschieben Schwächen in der Standfestigkeit. In der Abreife konnte diese über die Prüffahre stets einen TM-Gehalt von ca. 30% erreichen. Dieser Vorteil erlaubt den Anbau auch auf den kühleren Nord-Standorten. Hinzu kommt die Möglichkeit, Lussi auch im Zweitfruchtanbau anzubauen. Eine ebenfalls gute Sorte der SudangrashaHybriden ist **KWS Freya**, die gute Trockenmasseerträge aufweisen konnte, sich aber in der Abreife etwas später darstellte als Lussi. Die zweijährig mitgeprüfte Sorte **KWS**

Sole ist von ihrer Charakteristik ähnlich einzuordnen wie KWS Freya, aber durchaus auf einem etwas höheren Ertragsniveau.

Futterhirsetypen

Die Futterhirsen erreichen vor allem auf den D-Süd- und den Rekultivierungsstandorten vergleichbare Erträge gegenüber Mais. Die Sorte **Hercules** zählte auf allen Standorten vielfach zu den ertragsstärksten Sorten, konnte in ihrer Abreife jedoch nicht immer überzeugen und blieb oftmals unter 25% TM-Gehalt. Die Sorte **Amiggo** als mittelfrüh abreifender Vertreter, zeigte neben einer guten Standfestigkeit und einer guten Jugendentwicklung, sogar unter ungünstigen Bedingungen ein hohes TM-Ertragsniveau. **KWS Zerberus** als mittelfrüh abreifende Sorte überzeugte besonders auf den D-Süd-Standorten. In diesem Zusammenhang ist auch die Sorte **KWS Tarzan** aufzuführen, die ein hohes Ertragspotenzial besitzt. In allen Anbauregionen ist diese Sorte empfehlenswert. Die aufgrund der eingeschränkten Saatgutverfügbarkeit nur einjährig geprüfte, aber weiterhin vom Züchter beworbene Sorte **Biomass 150** gilt ebenfalls als empfehlenswert. Sie hat sich mit Spitzenerträgen und einer guten Standfestigkeit auf allen Standorten bewährt.

Der kleinwüchsige Körnerhirsetyp **Farmsugro 180** konnte in der Abreife und optisch überzeugen, blieb aber bei den Trockenmasseerträgen als Ganzpflanze erwartungsgemäß weit hinter den Futterhirsesorten zurück.

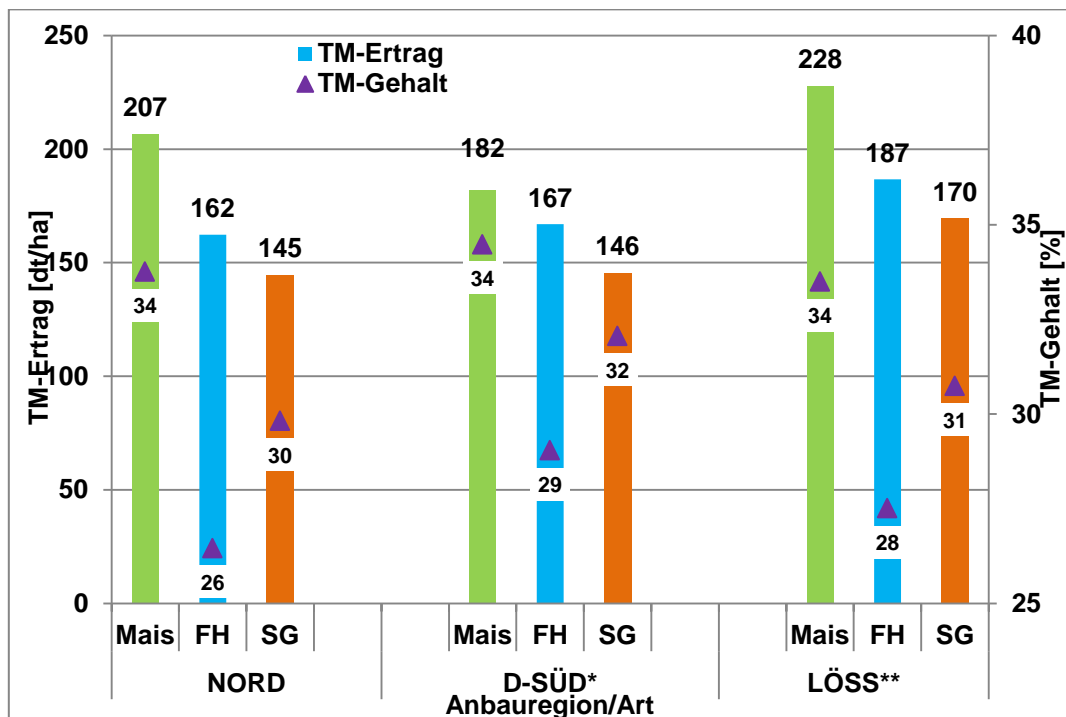
Empfehlung für bestimmte Standortgruppen

Auf den Standorten der Anbauregion **D-Nord** zeigt sich die Dominanz der Maissorten, die als Referenz über alle Versuchsjahre mitgeführt wurden. Im Mittel dieser Standorte erreichte der Mais 207 dt TM/ha und war damit gegenüber den Futterhirsesorten mit einem Mehrertrag von über 40 dt TM/ha und im Vergleich zu den Sudangrashybriden mit über 60 dt TM/ha Mehrertrag deutlich überlegen. Dennoch können die Hirsen unter günstigen Wachstumsbedingungen akzeptable Erträge erzielen. Dies wurde z.B. in Dasselsbruch (NDS) deutlich, dort erreichten die Futterhirsesorten im Mittel ein Ertragsniveau von 174 dt TM/ha, mit einer ausreichenden Abreife von 28 % TM. Insgesamt kann der höhere Wärmebedarf der Sorghumhirsen unter den in dieser Anbauregion vorherrschenden kühleren Bedingungen nicht genügend gedeckt werden. Ausschließlich frühe und mittelfrühe Sorten (z.B. Lussi) sind auf derartigen Standorten für einen Anbau geeignet.

Auf den **D-Süd**-Standorten sind die Wachstumsbedingungen für den Mais, z.T. bedingt durch Sommertrockenheit, nicht optimal. Die Sorghumhirsen können sich oftmals besser regenerieren und das Ertragsniveau vom Mais erreichen bzw. sogar übersteigen. Besonders die Standorte in Brandenburg liegen im Mittel bei den Futterhirsen mit nur 17 dt TM/ha unterhalb der Maiserträge. In Drößig (BB) sind die Futterhirsesorten und Sudangrashybriden nahezu auf einem Ertragsniveau mit Mais. Das auf derartigen wärmeren und trockeneren Standorten vielversprechende Ertragspotenzial gegenüber dem Mais wird auch auf den Standorten in Sachsen deutlich.

Die Anbaueignung von Sorghum auf den Hohertragsstandorten der Anbauregion **Löss** wurde über die Prüfjahre ebenfalls deutlich. Im Durchschnitt erreichten die Futterhirsesorten ein Ertragsniveau von 187 dt TM/ha, die Sudangrashybriden 170 dt TM/ha. Der Mais zeigte sich aber erwartungsgemäß mit 228 dt TM/ha stets überlegen. Besonders in Bernburg (SA) und Straubing (BY) konnten die dreijährig geprüften Futterhirsesorten sehr hohe TM-Erträge generieren. Auch die ansonsten ertraglich deutlich schwächer abschneidenden Sudangrashybriden konnten mit über 170 dt TM/ha überzeugen. Generell sind auf den Löss-Standorten auch später abreifende Sorten für den Anbau geeignet.

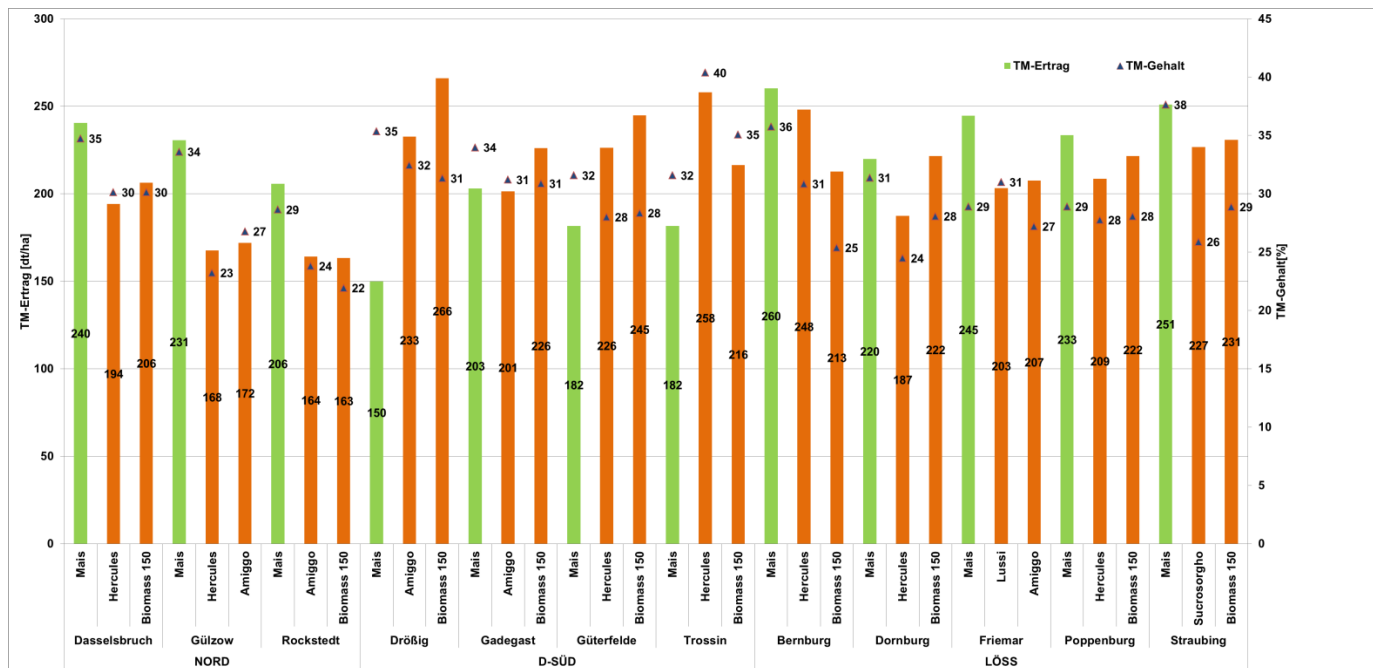
Die nachfolgende Tabelle zeigt eine Zusammenfassung der Sortenmittel im Durchschnitt der Standortgruppen.



Quelle: LWK NS. Glauert, Rieckmann

Abbildung 1: TM-Ertrag und TM-Gehalt 3-jährig geprüfter Sorten im Mittel aller Standorte in den Standortgruppen, Mittel 2011 – 2013

Die Vorzüglichkeit der Futterhirsen in bestimmten Jahren auf den D-Süd-Standorten (trocken, warm) zeigt Abbildung 2. Hier werden die zwei besten Futterhirsesorten im Jahr 2011 im Vergleich zum Mais dargestellt. Auch am Standort Dornburg (TH), auf Löss, konnte Ertragsgleichheit mit Mais erzielt werden.



Quelle: LWK NS. Glauert, Rieckmann

Abbildung 2: TM-Ertrag und TM-Gehalt der besten Sorten aller Standorte in den Standortgruppen, 2011

In den Bundesländern Sachsen und Brandenburg gibt es viele ehemalige Bergbaustandorte, die jetzt wieder landwirtschaftlich genutzt werden. Diese Flächen werden als **Kippenstandorte (K)** bzw. Rekultivierungsflächen bezeichnet und eignen sich sehr gut für den Anbau von Sorghum. Der Mais erzielte auf diesen Flächen deutlich geringere Erträge. In der nachfolgenden Tabelle sind die 3-jährig geprüften Sorten auf K-Standorten relativ zum Mais und im Vergleich zu den D-Standorten aufgeführt.

Tabelle 1: Vergleich der relativen Trockenmasseerträge (dt/ha) der Sorghumsorten mit Mais (Sortenmittel = Bezugsbasis) auf den D- und K-Standorten

Sorte	Jahr	D-Standorte			K-Standorte			D	K
		2011	2012	2013	2011	2012	2013 ¹⁾		
Atletico	Mais	98	100	99	106	100	104	99	103
LG 32.16	Mais	102	100	101	94	100	96	101	97
Mittelwert Mais=									
Bezugsbasis absolut		178,2	185,0	154,2	154,2	137,9	124,7	172,5	138,9
3-jährig									
Lussi	S.b. x S.s.	89	81	70	95	92	88	81	92
KWS Freya	S.b. x S.s.	96	87	74	107	89	94	86	97
KWS Zerberus	S.b.	109	86	78	108	97	77	91	95
Amiggo	S.b.	111	95	83	109	100	98	97	103
Hercules	S.b.	115	89	83	107	95	85	96	97

Quelle: LELF: Martin, Dr. Barthelmes

2. Produktionstechnik

Aussaat

Der **optimale Termin** für die Aussaat ist **Mitte Mai**, auch wenn sich auf warmen Standorten ohne Spätfrostgefahr ein Ertragsplus durch das Vorverlegen der Saat auf Anfang Mai erreichen lässt. Eine Saat zum ortsüblichen Maistermin, etwa Ende April, ist für Sorghum ebenfalls möglich. Ein Mehrertrag ist dabei jedoch nicht zu verzeichnen, aber die TS-Gehalte zur Ernte liegen dadurch etwas höher als bei der Saat Mitte Mai. Untersuchungen zum spezifischen Wärmebedarf der geprüften Sorten bis zum Erreichen des Ziel-TS-Gehaltes von 28% beweisen den starken Zusammenhang zwischen der während der Vegetationszeit akkumulierten Wärmesumme und der Entwicklung des TS-Gehaltes. Zu beachten ist deshalb, dass eine sichere Abreife aller Sorten (28% TS) auch bei langer Standzeit von 130 – 160 Tagen nicht immer gewährleistet ist. Für den Anbau der Folgefrucht sollte bedacht werden, dass sich die Ernte unter Umständen bis Mitte Oktober bzw. bis zum ersten Frost hinauszögern kann. Bei sehr früher Saat ist die Gefahr von Frostschäden und von erhöhtem Unkrautdruck, bedingt durch das langsame Wachstum von Sorghum bei kühlen Temperaturen, gegeben. Je weiter der Saattermin in den Juni verschoben wird, desto geringer fallen die Sorghumerträge aus. Die verfügbare Zeit und die Wärmesumme reichen dann nicht mehr aus um das volle Ertragspotential auszuschöpfen. Auf kühlen oder auch sehr trockenen Standorten sollte kein Zweitfrucht-Anbau von Sorghum stattfinden.

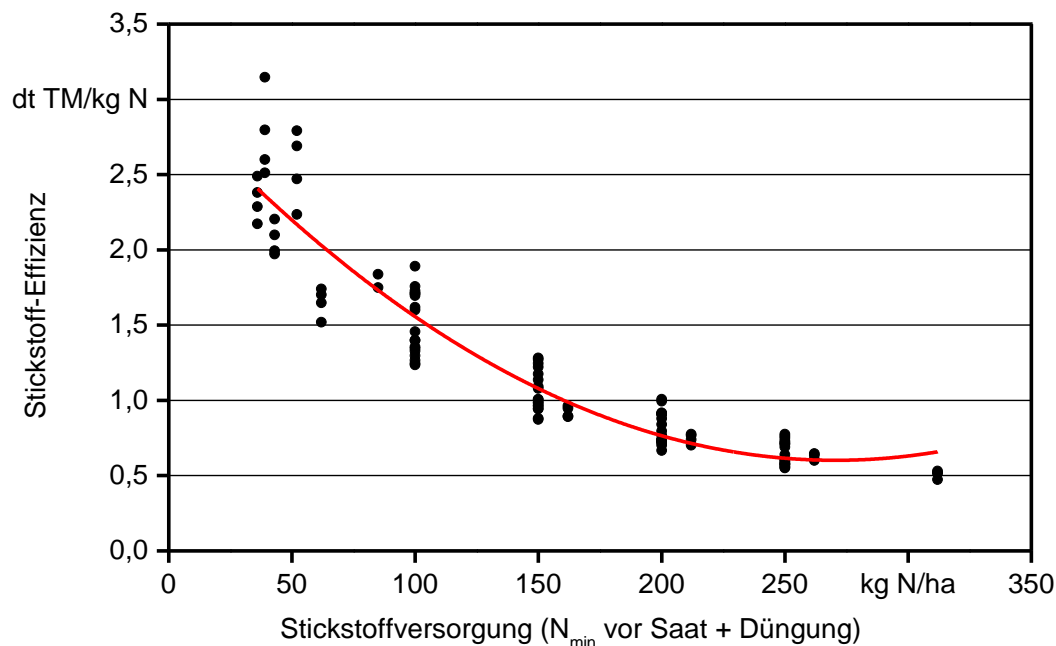
Die früh abreifenden Sudangrashybridsorten erzielten in einer vergleichsweise kürzeren Vegetationszeit von 110-130 Tagen den optimalen TS-Gehaltsbereich in der Regel sicher. Aufgrund der zügigen Abreife eignen sich diese sowohl für den Hauptfruchtanbau bei zeitiger Ernte (v.a. für kühlere Standorte), als auch für den Zweitfruchtanbau nach Grünschnittroggen oder Ganzpflanzengetreide.

Düngung

Die Ergebnisse von dreijährigen Versuchen zeigten für mehrere Standorte, dass hohe TM-Erträge mit einer moderaten N-Düngung (≤ 150 kg N/ha unter Anrechnung von N_{min}) erreicht werden können. Auch wenn der theoretische Maximalertrag bei einer N-Versorgung von 200 bis 250 kg N/ha (als N-Sollwert) lag, konnten ab etwa 150 kg N/ha nur geringe und nicht signifikante Mehrerträge erzielt werden. Höhere N-Aufwendungen sind in Regel nicht wirtschaftlich und können sich negativ auf die Substratqualität (überhöhte Nitratgehalte) auswirken. Nur auf ertragsstarken Standorten wie z. B. in Straubing (BY) kann der optimale N-Sollwert etwas höher liegen (bis 200 kg N/ha inklusive N_{min}), um das Ertragspotenzial aus zu schöpfen.

Bei der Ermittlung der **N-Effizienz** wird der je Kilogramm Stickstoff erzielte TM-Ertrag betrachtet. Dieser Parameter gibt einen Hinweis auf die Ausnutzung des Stickstoffdüngers durch den Pflanzenbestand. Abbildung 3 zeigt, dass in den niedrigen Düngungsvarianten die höchste N-Effizienz erreicht bzw. der Stickstoff am besten ausgenutzt wurde. Dies spricht wiederum für ein gutes Nährstoffaneignungsvermögen von Sorghum, da der vorhandene

Bodenstickstoff effizient in Trockenmasse umgesetzt wurde. Mit zunehmender Stickstoff-Düngung sank die N-Effizienz. Die Pflanze war nicht in der Lage, den zusätzlich gedüngten Stickstoff gleichermaßen in Ertrag umzuwandeln.



Quelle: TFZ: Dr. Hartmann, Dr. Fritz

Abbildung 3: Stickstoff-Effizienz von Sorghum bei unterschiedlichen N-Varianten; Dasselsbruch (NS) 2011 bis 2013, Aholting (BY) 2011 bis 2012, Straubing (BY) 2012

Der **TS-Gehalt** wurde ebenfalls von der N-Versorgung beeinflusst, allerdings nur in geringem Maße.

Im Laufe der Versuchsjahre wurde keine eindeutig durch die Düngung bedingte erhöhte **Lageranfälligkeit** bei hohen N-Gaben beobachtet. Die Heterogenität der Ergebnisse und das insgesamt geringe Auftreten von Lager ließen keinen Rückschluss auf einen direkten Zusammenhang zu.

In Bezug auf die Nährstoffaneignung von Sorghum muss auf den im Vergleich zu Mais höheren **Kalium- und Kalzium-Entzug** (1,5 kg bzw. 0,33 kg/dt TM im Vergleich zu 1,05 kg bzw. 0,24 kg/dt TM), insbesondere der massewüchsigen Futterhirsen, hingewiesen werden. Dieser ist bei der Planung der Düngung zu Sorghum, aber auch zur Nachfrucht zu berücksichtigen. Dies gilt insbesondere für leichte sorptionsschwache Böden, auf denen Sorghum vorrangig angebaut wird.

Pflanzenschutz

Unkrautbekämpfung

Aufgrund der botanischen Verwandtschaft (Familie der Süßgräser / Poaceae) zwischen Sorghum und den in Deutschland heimischen Süßgräsern, insbesondere den Schadhirschen,

nimmt die Kontrolle einkeimblättriger Ungräser in Sorghum eine besondere Stellung ein. Zurzeit ist das Spektrum der in Sorghum zugelassenen und genehmigten Herbizide mit 6 Präparaten verschiedener Wirkstoffe sehr gering (Tabelle 2). Der Einsatz aller Herbizide in Sorghum ist erst ab dem 3-Blatt-Stadium (BBCH 13) erlaubt. Eine gezielte Bekämpfung monokotyle Ungräser ist nur mit Gardo Gold und Spectrum möglich. Beide Mittel wirken jedoch am besten bis maximal zum 3-Blatt-Stadium der Kulturart.

Die langsame Jugendentwicklung und die geringe Kältetoleranz von Sorghum bedingen die schwache Konkurrenzfähigkeit gegenüber heimischen Unkräutern und Ungräsern. In Jahren mit für Sorghum ungünstigen Standortbedingungen können Schadhirsens einen enormen Entwicklungsvorsprung erlangen, der eine Bekämpfung erfordert. Dies ist dann jedoch häufig noch nicht möglich, da sich Sorghum zu dem Zeitpunkt noch nicht im 3-Blatt-Stadium befindet.

In der nachfolgenden Tabelle werden alle in Sorghum zugelassenen Herbizide dargestellt. Geprüft wurden eine große Anzahl weiterer nicht zugelassener Mittel und der Einsatz von Safener, die jedoch nachfolgend nicht aufgeführt werden. Von den zugelassenen Mitteln wurden in den letzten drei Jahren Gardo Gold und Gardo Gold in Verbindung mit B 235 (Certrol B) geprüft.

Tabelle 2 Übersicht der in Sorghum zugelassenen und genehmigten Herbizide nach Art. 51 VO (EG) Nr. 1107/2009, ehemals § 18a PflSchG (BVL, Stand 02/2014)

Mittel	Wirkstoff (HRAC)	Genehmigung bis	zugel. AWM	ab BBCH	Wirkungsspektrum
ARRAT ¹⁾	Dicamba (O) Tritosulfuron (B)	12/2022	200 g/ha	13	<u>vorwiegend blattaktiv</u> ein- und mehrjährige zweikeimblättrige Unkräuter
B 235 / CARACHO 235 / BROMOXYNIL 235 / PROFI BROMOXYNIL (früher Certrol B)	Bromoxynil (C3)	12/2015	1,5 l/ha	13	<u>vorwiegend blattaktiv</u> einjährige zweikeimblättrige Unkräuter, auch Gänsefuß, Winden weniger gut
GARDO GOLD / PRIMAGRAM ¹⁾ GOLD	Terbuthylazin (C1) S-Metolachlor (K3)	12/2015	4,0 l/ha	13	<u>Bodenherbizid</u> einjähriges Rispengras, Schadhirsens , einjährige zweikeimblättrige Unkräuter
MAIS-BANVEL WG	Dicamba (O)	12/2021	500 g/ha	13	<u>systemisches Spezialherbizid</u> Gemeine Zaunwinde, Acker-Winde, Gänsefuß-Arten, Winden-Knöterich
SPECTRUM	Dimethenamid-P (K3)	12/2014	1,4 l/ha	13	<u>Bodenherbizid</u> Einjährige zweikeimblättrige Unkräuter, Schadhirsens
STOMP AQUA / STOMP RAPS	Pendimethalin (K1)	12/2017	2,5 l/ha	13	<u>Bodenherbizid</u> einjährige zweikeimblättrige Unkräuter

¹⁾ Anwendung nur in Sorghum zur Nutzung als nachwachsender Rohstoff für technische Zwecke (u.a. Biogas)

Quelle: LELF: Martin, Dr. Barthelmes

Nur die in Sorghum genehmigten Varianten Gardo Gold zum Einsatztermin ab BBCH 13 und die Kombination Gardo Gold mit B 235 (Certrol B) erzielten gute Erfolge (Tabelle 3).

Die Wirkung der Herbizide auf Unkräuter und Ungräser, insbesondere Schadhirse, lag beim zeitigen Einsatztermin von Gardo Gold deutlich höher als zum 3-Blatt-Stadium. Jedoch fiel der Ertrag niedriger aus, was auf eine erhöhte phytotoxische Reaktion an der Sorghumhirse zurückzuführen ist.

Tabelle 3: Gesamtwirkung und Spannweiten (%) der Herbizide im Mittel der geprüften Standorte, orientiert an Futterhirse

Herbizide 3-jährige Prüfung	Prüfjahre	Sudangrashybride		Futterhirse	
		MW/JW	Spanne	MW/JW	Spanne
Gardo Gold + B 235	2011-2013	91	82...97	87	76...97
Gardo Gold	2011-2013	88	71...97	79	56...94

Quelle: LELF: Martin, Dr. Barthelmes

Ein Vergleich des Bekämpfungserfolges bei Schadhirse (Hühnerhirse) an den Standorten Güterfelde (BB) und Aholting (BY) in den Jahren 2011 und 2013 wird in Tabelle 4 dargestellt. Die unterschiedliche Wirkung ist auf die standortbedingten Einflüsse vor und nach der Applikation zurückzuführen. Insbesondere im Jahr 2011 (Sto. BB) und im Jahr 2013 (Sto. BY) spiegelten die trockenen Bedingungen nach dem Herbizideinsatz eine verminderte Wirkung der bodenwirksamen Herbizide wider. Auch der witterungsbedingt verzögerte Applikationstermin in Aholting (BY) 2013 führte zu deutlichem Wirkungsverlust, da die Anwendung in bereits gut etablierte Hühnerhirse (BBCH 21-31) erfolgte. Der Spritztermin in Güterfelde (BB) erfolgte bei günstiger Witterung zum optimalen Zeitpunkt (Entwicklung ECHCG BBCH bis 14).

Tabelle 4: Wirkung (%) des Präparates Gardo Gold gegen Schadhirse

Wirkung (%) auf ECHCG	Wirkstoffe / -gehalte (Formulierung)	Güterfelde		Aholting
		2012 SG / FH	2013 SG / FH	2013 SG / FH
Gardo Gold	S-Metolachlor 312,5 g/l Terbutylazin 187,5 g/l (Suspensionskonzentrat)	99 / 99	81 / 74	0 / 0

SG Sudangrashybrid, FH Futterhirse

Quelle: LELF: Martin, Dr. Barthelmes

Krankheiten und Schädlinge

Schädlinge wie der Maiszünsler (*Ostrinia nubilalis*) wurden auch in Sorghum beobachtet, jedoch in deutlich reduzierter Befallsintensität. Der Maiswurzelbohrer (*Diabrotica virgifera virgifera*) dagegen befällt Sorghumarten bisher nicht. Ein Befall durch weitere tierische Schaderreger ist zum Beispiel durch Blattläuse, Fritfliege und Drahtwürmer nach Grünlandumbruch möglich. Auch das Auftreten von Blattfleckenkrankheiten wurde beobachtet. Diese können durch verschiedene Bakterien und Pilze hervorgerufen werden. Bisher gibt es keine zugelassenen Bekämpfungsmittel. In Ausnahmefällen können Anträge

für die Genehmigung nach § 22 Abs. 2 PflSchG (ehem. § 18 a und b PflSchG) bei der zuständigen Behörde gestellt werden.

Die Verwendung von Saatgut mit einer **Beizung** gegen samenbürtige Pilze ist zu empfehlen. Ungebeiztes Saatgut führt unter ungünstigen Bedingungen zu stark verminderten Feldaufgängen. In der Regel wird das Saatgut bereits gebeizt angeboten.

3. Substratqualität und Biogasausbeute

Neben dem höheren Gehalt an Kalium und Kalzium beim Sorghum gibt es gegenüber Mais noch einige Unterschiede. Wie Tabelle 5 zeigt, ist bei den Hirsearten nur in der Körnerhirse Stärke enthalten. Dafür sind die Zuckergehalte in allen Hirsearten höher als beim Mais. Die leichtverdaulichen Stoffe sind beim Mais und die schwer verdaulichen Rohfaseranteile sind bei den Sorghumarten deutlicher ausgeprägt. Das lässt auf höhere Biogasausbeuten für den Mais schließen.

Tabelle 5: Gehalte an Rohnährstoffen und Gerüstsubstanzen bei Mais und Sorghum – Sortenversuch 2011 – 2013 (Standort- und Sortenmittel; * keine Stärkeanalyse mit NIRS möglich) 1) berechnet nach Weißbach

Parameter	Einheit	Mais	SGH früh	Futterhirse	Körnerhirse	SGH spät
		n = 84 MW	n = 112 MW	n = 322 MW	n = 28 MW	n = 84 MW
TS	%	33,4	31,0	26,0	25,7	23,5
Rohprotein	% TS	6,8	8,0	7,5	8,9	8,7
Rohfett	% TS	2,3	1,3	1,1	1,7	1,3
Stärke	% TS	26,2	*	*	8,5	*
Zucker	% TS	6,9	8,3	13,9	10,2	16,9
ELOS	% TS	64,9	43,0	46,7	53,1	52,1
Rohasche	% TS	4,4	4,8	5,4	7,0	6,6
Rohfaser	% TS	20,3	34,5	34,9	27,0	29,4
aNDFom	% TS	42,9	67,3	64,9	60,1	58,5
ADFom	% TS	25,1	36,8	35,7	31,9	33,3
ADL	% TS	2,2	6,6	5,6	6,2	5,3
foTS	g/kg TS	801	649	638	709	689

Quelle: LfULG: Theiß. Dr. Jäkel

Von den geprüften Standorten und Sorten wurden Pflanzenproben auf ihre **Biogasausbeute** untersucht. Die im Batch-Versuch mit dem Hohenheimer Biogasertragstest gemessenen Methanausbeuten erlauben nun, gegenüber berechneten Werten, genaue Aussagen zum möglichen Biogas- bzw. Methanbildungspotenzial der Substrate.

Da die untersuchten Silagen vor der Vergärung verfahrensbedingt getrocknet wurden, beziehen sich die erzielten Gasausbeuten auf das von flüchtigen Substanzen befreite Substrat. Es wurden ausschließlich silierte Proben der Erntejahre 2011 und 2012 untersucht. Die Ergebnisse sind in Tabelle 6 dargestellt.

Mais wies mit durchschnittlich 346 NI/kg oTS erwartungsgemäß signifikante Vorteile in der Methanausbeute im Vergleich zu Sorghum auf. Die Sudangrashybriden (303 NI/kg oTS) und Futterhirsen (309 NI/kg oTS) blieben im Mittel 12 % bzw. 11 % unter der Methanausbeute des Maises, wobei die Werte bei der Futterhirse, bedingt durch den höheren Stichprobenumfang, vergleichsweise stärker streuten. Vergleichbare Relationen in der Methanausbeute zwischen Mais und Sorghum wurden auch von HERMANN et al. (2012) in Batchversuchen mit 1,5 l Fermentern festgestellt. Somit unterscheiden sich die Biogaserträge von Mais und Sorghum nicht so stark, wie in Berechnungen (z.B. nach Weißbach) angenommen.

Zielgröße beim Anbau von Energiepflanzen zur Biogasproduktion ist der **Methanhektarertrag**. Zahlreiche Untersuchungen im Rahmen von Energiepflanzenprojekten haben gezeigt, dass der Methanhektarertrag von Biogassubstraten maßgeblich durch die Höhe des Trockenmasseertrages bestimmt wird.

Tabelle 6: Gemessene Methanausbeuten (HBT) von Mais und Sorghum (Sortenversuch, Versuchsjahre 2011/12, Silagen)

	N	Methanausbeute (NI/kg oTS)		MW
		Min.	Max.	
Mais	26	316	375	346 <i>100</i>
Sudangras- hybride	13	283	323	303 <i>88</i>
Futterhirse	37	267	335	309 <i>89</i>

Quelle: LfULG: Theiß. Dr. Jäkel

Beim Vergleich der Kulturen Sorghum und Mais hinsichtlich der Effizienz der Flächennutzung ist das fruchtartspezifische Gasbildungspotenzial, hervorgerufen durch die unterschiedliche Pflanzenzusammensetzung, hingegen doch von Relevanz. Da Sorghum im Gegensatz zum Mais keinen hochverdaulichen Kolben (sehr stärkereich) ausbildet, ist grundsätzlich mit Nachteilen in der Methanausbeute gegenüber Mais zu rechnen. Folglich ist eine annähernd mit Mais vergleichbare Flächeneffizienz des Sorghumanbaus mit den derzeitigen biomassebetonten Sorten nur über eine sichtbar höhere Ertragsleistung zu erreichen. Dies erscheint unter für Sorghum günstigen Witterungsbedingungen am ehesten auf den leichten sommertrockenen Standorten erreichbar.

Unter günstigen Witterungsbedingungen waren die ertragsstarken Futterhirsen in der Lage, den Mais deutlich im TM-Ertrag zu übertreffen und somit annähernd vergleichbare Methanhektarerträge (5300 – 7000 Nm³/ha) zu erbringen. Auch auf einem frischen Rekultivierungsstandort in Welzow (BB) zeigten sich die Futterhirsen dem Mais unter sehr trockenen Anbaubedingungen im Jahr 2012 ertraglich überlegen und somit hinsichtlich

Flächeneffizienz konkurrenzfähig. Unter vergleichsweise kühleren und somit für Sorghum ungünstigeren Anbaubedingungen zeigte der Mais aufgrund der deutlichen Ertragsvorteile eine sichtbar höhere Flächeneffizienz.

Die qualitätsbetonte Körnerhirsesorte Farmsugro 180 erreichte in den beiden Prüfjahren bei guter Einkörnung und Kornausreife sichtbare Vorteile in der Methanausbeute im Vergleich zu den futterbetonten Sorghumsorten. Jedoch konnten die deutlichen Nachteile im TM-Ertrag in der Regel nicht ausgeglichen werden.

4. Wirtschaftlichkeit

In Tabelle 7 sind die Deckungsbeiträge für die einzelnen Standortgruppen zusammengefasst.

Tabelle 7: Deckungsbeiträge der Standortgruppen, 2011 – 2013 (Sortenmittel)

	Mais	Sudangrashybrid	Futterhirse
	DB €/ha	DB €/ha	DB €/ha
D-Nord	746	218	271
D-Süd und K	411	135	186
Löß	726	272	351

Quelle: LfULG: Theiß, Dr. Jäkel

Mais erweist sich im dreijährigen Prüfzeitraum an allen Versuchsstandorten als wirtschaftlichste Kultur.

Die schlechteren Deckungsbeiträge erbeben sich bei den Sorghumarten vor allem

- aus der schlechteren Methanausbeute (10-12 %)
- aus den höheren Transportkosten wegen des niedrigeren TS-Gehalts und
- aus dem niedrigeren TS-Gehalt bei der Gärrestausbringung.

Finanzielle Vorteile gegenüber dem Mais ergeben sich nur durch geringere Saatgutkosten.

Der Sorghumanbau bietet sich vorrangig auf den warmen **D-Standorten** im mittel- und ostdeutschen Trockengebiet an. Unter diesen Standortbedingungen erwiesen sich die Unterschiede im Deckungsbeitrag zwischen Mais und Sorghum aufgrund des schwächeren Abschneidens des Maises am geringsten. Zudem waren angesichts des vergleichsweise geringeren Pachtpreisniveaus in diesen Regionen auch im Sorghumanbau positive flächenkostenfreie Deckungsbeiträge realisierbar. Der Anbau von Sorghum kann daher einen Beitrag zur Risikostreuung und Einkommenssicherung im Unternehmen leisten bzw. auch eine gewinnbringende Möglichkeit zur Nutzung von Grenzertragsstandorten (z.B. Kippenböden) darstellen.

Auf den besser gestellten **Lößstandorten** zeigte sich der Mais als ausgesprochen konkurrenzstark. Die ertragreicheren Futterhirsens profitierten zwar ebenfalls von den deutlich

besseren Wachstumsbedingungen, konnten jedoch nicht an das sehr hohe Deckungsbeitragsniveau des Mais heranreichen.

Für die **kühleren Lößstandorte** in Thüringen und die Standorte in Norddeutschland (Löß und D) ist der Anbau von Sorghum mit den derzeit verfügbaren Sorten aufgrund der deutlichen wirtschaftlichen Einbußen im Vergleich zu Mais nur bedingt zu empfehlen, es sei denn andere Gründe stehen gegenüber dem Maximalgewinn im Vordergrund (z.B. Vorgaben EEG).

In den **betriebswirtschaftlichen Auswertungen von Praxisbetrieben** wurde deutlich, dass das vielversprechende Potenzial von Sorghum in der Praxis oftmals noch nicht vollständig umgesetzt wird. Nur wenige der im dreijährigen Versuchszeitraum betrachteten Betriebe, waren in der Lage positive Verfahrensergebnisse zu erzielen. In einigen Betrieben bestanden noch Unsicherheiten bezüglich der Anbautechnik. Durch Optimierung des Produktionsverfahrens für Sorghum sollten in den Praxisbetrieben zukünftig weitere Ertragsreserven zu erschließen sein.

5. Wassernutzungseffizienz und ökologische Auswirkungen

Vergleiche zwischen Sorghum und Mais in Bezug auf die **Wassernutzungseffizienz** sind relativ schwierig, da diese je nach Boden- und Wasserdargebot stark schwanken können. Allerdings nehmen Sorghumarten aus tieferen Schichten (unter 120 m) mehr Wasser auf als Mais. Auch die Zeit für den Wurzeltiefgang ist bei Sorghum kürzer. Deshalb eignet sich Sorghum besonders für die trockenen Standorte, da der Mais auf diesen nicht so schnell Wasserreserven erschließen kann. In der Regel reichen jedoch das in unseren Breiten zur Verfügung stehende Wasser und die Wärmesumme nicht aus, um das Ertragspotential der Futterhirsen voll auszuschöpfen.

Hinsichtlich der abgeschätzten Wassernutzungseffizienz (WNE) wurde im Vergleich der Versuchsjahre 2012 und 2013 festgestellt, dass unter günstigeren Bedingungen der Wasserbereitstellung während der Wachstumsperiode Hirse gegenüber Mais eine geringere Wassernutzungseffizienz aufweist. Jedoch wurde in anderen Jahren bei unterschiedlichen Böden auch das Gegenteil festgestellt. So mussten während der Vegetationsperiode 2013 für Hirse im Mittel ca. 10 l Wasser weniger zur Produktion von 1 kg Trockenmasse aufgewandt werden, als für Mais. Daher kann neben anderen positiven Aspekten der Anbau von Sorghumhirse gerade im Hinblick zukünftiger Wasserverknappung auf gering wasserversorgten Böden (D-Standorte, Niederlausitzer Bergbaufolgelandschaft) empfohlen werden.

Das **Nitrataustragspotenzial** unter Sorghum ist geringer als unter Mais. Nur in den Varianten mit geringster Wasserversorgung (0,2 PET) wurde auf den Sandböden mit geringer Abschöpfung durch die reduzierte Pflanzenbiomassebildung der Grenzwert von 50 mg/l überschritten. Bei potenzieller Wasserversorgung lag der Nitrataustrag der Hirsen deutlich unter dem Grenzwert (\varnothing 5 mg/l auf Löß, 27 mg/l auf Sand).

Die N-Salden sind bei guter Wasserversorgung durchweg negativ und damit gewässerverträglich. Mit geringerem Wasserangebot wird der N-Saldo ungünstiger entsprechend der geringer werdenden Erträge.

Die **Auswaschung von K** belief sich auf den Sandböden auf durchschnittlich 4 kg/ha *a und auf dem Lößboden entsprechend der größeren K-Bindungskapazität auf 0,3 kg/ha *a.

Bei Gesamtbetrachtung von Wurzel- und Stoppelrückständen wird die **Reproduktion an organischer Bodensubstanz** von der Menge der Stoppelrückstände und deren C und N-Gehalte dominiert, die wiederum eng mit der Aussaatstärke korreliert. Die höchste **Humusreproduktionsleistung** weisen mit +260 Humusäquivalent (häq) die *S. bicolor* x *S. sudanense*-Sorten auf, was nach VDLUFA einer Reproduktion entspricht, die vergleichbar mit den Körnerleguminosen ist. Deutlich weniger, aber mit +140 häq auch eine positive Reproduktion, vergleichbar mit dem Anbau von Erbsen, wird mit *S. bicolor* erzielt. Der Energiemais hat mit -140 häq eine negative Bilanz, aber schneidet nach VDLUFA besser als Silo- oder Körnermais ab.

6. Zusammenfassung

In länderübergreifenden Anbauversuchen hat sich gezeigt, dass Sorghumhirsen, aufgrund ihres hohen Wärmebedarfs und der guten Trockentoleranz, vor allem auf den warmen, sandigen und zur Vorsommertrockenheit neigenden Standorten in Mittel- und Ostdeutschland (einschließlich der Rekultivierungsstandorte) eine sinnvolle Ergänzung als Energiepflanze in der Fruchtfolge darstellen können. Bei angepasster Bestandesführung ist unter diesen Anbaubedingungen mit stabilen Erträgen zu rechnen, welche im Mittel der Jahre an das Niveau des Mais heranreichen bzw. dieses in witterungsbegünstigten Jahren auch übertreffen können.

Dieses Potenzial besitzen vor allem die massewüchsigen **Futterhirsen**, welche jedoch für den Ausbau ihrer höheren Ertragsfähigkeit mehr Wasser und Vegetationszeit benötigen. Auf wärmeren Lößstandorten zeigten sich die besten Futterhirsensorten trotz hoher Ertragsleistungen dem Mais annähernd konkurrenzfähig. Unter vergleichsweise kühleren Anbaubedingungen in den nördlichen Anbauregionen wies Sorghum gegenüber Mais deutliche Ertragsnachteile auf. Am besten eignen sich die Futterhirsen auf den wärmeren, trockenen D- und Rekultivierungsstandorten.

Die **Sudangrashybriden** stellen wegen ihres rasch in die Bodentiefe wachsenden Wurzelsystems in niederschlagsarmen Regionen und auf den kühleren Standorten eine Anbaualternative zum Mais dar. Ihr Einsatz eignet sich v.a. als Zweit- und Sommerzwischenfrucht. Die Ertragsleistung von Mais wird in der Regel nicht erreicht.

In die Gesamtbewertung der Kultur sollten neben rein wirtschaftlichen Überlegungen weitere Kriterien, wie **Fruchtfolgeeffekte und Arbeitswirtschaft** einfließen. Aufgrund der fehlenden oder nur minimalen Wirtseignung für den westlichen Maiswurzelbohrer, bietet Sorghum gerade in Befallsgebieten oder Gegenden mit hoher Maisanbaukonzentration, eine Chance hohe Biomasseerträge mit einer effektiven Reduktion der Populationsdichte des

Schaderregers zu verbinden (GLOYNA et al, 2012). Hinzu kommen die geringere Befallshäufigkeit durch den Maiszünsler sowie die offenbar geringere Attraktivität für Wildschweine wegen des fehlenden Kolbens. Im Vergleich zu den untersuchten Maissorten haben die Hirsesorten eine positive Reproduktionsleistung an organischer Bodensubstanz und eignen sich daher besonders gut nach Fruchtfolgefeldern mit humuszehrender Wirkung. Sorghumhirsen, mit ihrem bis in tiefere Bodenschichten reichenden Wurzelsystem, tragen durch Aufnahme des in tiefere Schichten verlagerten Stickstoffs zur weiteren Minderung der N-Auswaschung bei.

Da Aussaat und Ernte von Sorghum in der Regel später anstehen als bei Mais, können vor allem in größeren Betrieben Arbeitsspitzen entzerrt werden. Auf besseren Böden besteht zudem die Möglichkeit Sorghum als Zweitfrucht nach Grünroggen oder GPS-Getreide anzubauen.

Aufgrund der geringen Konkurrenzfähigkeit von Sorghum im Jugendstadium gegenüber Unkräutern und Ungräsern ist die Anwendung von **Herbiziden** unerlässlich.

Wie sich in Batchuntersuchungen gezeigt hat, weisen Sorghumhirsen aufgrund der höheren Faseranteile im Durchschnitt eine um 12 % geringere Methanausbeute als der Mais auf. Folglich können Sie den Mais selbst bei Ertragsgleichheit hinsichtlich **Flächeneffizienz und Wirtschaftlichkeit** nicht 1:1 als Substrat in der Biogasanlage ersetzen. Annähernd wirtschaftlich konkurrenzfähig gegenüber Mais waren die Sorghumhirsen nur in Einzelfällen, unter für Sorghum sehr günstigen Anbaubedingungen und bei deutlichen Mehrerträgen, sowie unter schwierigen Anbaubedingungen für den Mais auf Rekultivierungsstandorten.

Die **Züchtung** von Sorghum für die Nutzung als Biogassubstrat erfolgt in Deutschland erst seit einigen Jahren. Neue Sorten und optimierte Anbauverfahren lassen eine verbesserte Wettbewerbsfähigkeit von Sorghum erwarten. Wichtige Zuchtziele sind eine verbesserte Kühletoleranz und eine bessere Keimfähigkeit und Triebkraft des Saatguts.

Umfrageergebnisse zeigten, dass das Wissen um die Anbaumaßnahmen von Sorghum in der Praxis zunahm und zum erfolgreichen Anbau beitrug. In vielen Betrieben hat sich Sorghum bereits als fester Bestandteil der Fruchtfolge etabliert. Dennoch gibt es Wissenslücken die erschlossen werden müssen. Deshalb sind eine intensive Öffentlichkeitsarbeit zur Verbreitung von Erfahrungen und wissenschaftlichen Ergebnissen weiterhin wichtig.