



## Berichte aus dem TFZ

# Sorghum als Energiepflanze

– Optimierung der  
Produktionstechnik





# **Sorghum als Energiepflanze – Optimierung der Produktionstechnik**





# **Sorghum als Energiepflanze**

– Optimierung der Produktionstechnik

Dr. Karen Zeise  
Dr. Maendy Fritz

**Berichte aus dem TFZ 29**

Straubing, November 2012

**Titel:** Sorghum als Energiepflanze –  
Optimierung der Produktionstechnik

Abschlussbericht des Technologie- und Förderzentrums im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe

**Autoren:** Dr. Karen Zeise  
Dr. Maendy Fritz

**weitere Mitarbeiter:** Franz Heimler; Alois Aigner; Michael Kandler; Josef Sennebogen  
und Benno Sötz

Das diesem Bericht zugrunde liegende Forschungsvorhaben wurde mit Mitteln des Bayerischen Staatsministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten unter dem Förderkennzeichen N/09/09 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt liegt bei den Autoren.

© 2012  
Technologie- und Förderzentrum (TFZ)  
im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe, Straubing

Alle Rechte vorbehalten.  
Kein Teil dieses Werkes darf ohne schriftliche Einwilligung des Herausgebers in irgendeiner Form reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt, verbreitet oder archiviert werden.

**ISSN:** 1614-1008

**Hrsg.:** Technologie- und Förderzentrum (TFZ)  
im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe  
Schulgasse 18, 94315 Straubing

**E-Mail:** [poststelle@tfz.bayern.de](mailto:poststelle@tfz.bayern.de)  
**Internet:** [www.tfz.bayern.de](http://www.tfz.bayern.de)

**Redaktion:** TFZ  
**Verlag:** Eigenverlag TFZ  
**Erscheinungsort:** Straubing  
**Erscheinungsjahr:** 2012  
**Gestaltung:** Zeise, Eidenschink

**Fotonachweis:** Zeise (Seiten: 29, 71, 101, 102)

# Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis.....</b>	<b>5</b>
<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>7</b>
<b>Tabellenverzeichnis.....</b>	<b>11</b>
<b>1 Einleitung.....</b>	<b>13</b>
<b>2 Bisherige Erkenntnisse .....</b>	<b>15</b>
<b>3 Zielstellung .....</b>	<b>17</b>
<b>4 Material und Methoden .....</b>	<b>19</b>
<b>4.1 Sortenscreening – Untersuchungen zu Ertrag und Qualität am Standort Straubing .....</b>	<b>19</b>
4.1.1 Charakteristik des Versuchsstandortes.....	19
4.1.2 Witterungsverläufe am Standort Straubing .....	19
4.1.3 Verwendete Genotypen .....	21
4.1.4 Versuchsanlage und -durchführung .....	21
4.1.5 Ernte und Probenaufbereitung .....	22
4.1.6 Bestimmung der wertgebenden Inhaltsstoffe .....	22
4.1.7 Kalkulation von Biogas- und Methanausbeute .....	23
4.1.8 Schnittzeitversuch.....	24
4.1.9 Blausäurebestimmung .....	24
4.1.10 Siliereignung .....	25
<b>4.2 Gewächshausversuch zur Ermittlung der Kühletoleranz .....</b>	<b>25</b>
<b>4.3 Bayernweiter Sortenvergleich .....</b>	<b>26</b>
4.3.1 Charakteristik der Versuchsstandorte .....	26
4.3.2 Versuchsanlage und -durchführung .....	27
<b>4.4 Produktionstechnische Versuche .....</b>	<b>28</b>
4.4.1 Wirkung verschiedener Vorfrüchte.....	28
4.4.2 Versuche zur Optimierung des Aussaatverfahrens .....	28
4.4.2.1 Einfluss der Saatbettbereitung .....	28
4.4.2.2 Einfluss der Ablagetiefe .....	29
4.4.2.3 Einfluss der Saatechnik .....	29
4.4.3 Mindestbedarf an Stickstoff.....	29
4.4.3.1 Freilandversuch (Standort Straubing) .....	29
4.4.3.2 Gewächshausversuch.....	31
4.4.4 Einfluss von Saatstärke und Stickstoffversorgung .....	31
4.4.5 Verwertung organischer Düngemittel .....	33
<b>4.5 Statistische Auswertung .....</b>	<b>33</b>
<b>5 Ergebnisse und Diskussion .....</b>	<b>35</b>
<b>5.1 Sortenscreening am Standort Straubing .....</b>	<b>35</b>
5.1.1 Ertragsleistung der Genotypen .....	35

5.1.2	Ableitung eines Reifegruppenmodells aus den Ergebnissen des Sortenscreenings .....	38
5.1.3	Biotische und abiotische Schadursachen an Sorghum.....	43
5.1.4	Bestimmung der Entwicklungsstadien von Sorghum.....	45
5.1.5	Wertgebende Inhaltsstoffe und Biogaspotenzial.....	48
5.1.5.1	Analysen und Kalkulationen im Sortenscreening zur Ernte .....	48
5.1.5.2	Analysen und Kalkulationen im Schnittzeitversuch.....	53
5.1.6	Blausäureakkumulation im Vegetationsverlauf.....	58
5.1.7	Siliereignung .....	62
<b>5.2</b>	<b>Bayernweiter Sortenvergleich .....</b>	<b>65</b>
<b>5.3</b>	<b>Produktionstechnische Versuche.....</b>	<b>69</b>
5.3.1	Einfluss der Vorfrucht auf den Ertrag von Sorghum .....	69
5.3.2	Optimierung der Aussaatverfahren.....	70
5.3.2.1	Einfluss der Saatbettbereitung auf den Ertrag von Sorghum.....	70
5.3.2.2	Einfluss der Saattechnik auf den Ertrag .....	72
5.3.2.3	Einfluss der Ablagetiefe auf den Ertrag .....	72
5.3.3	Mindestbedarf an Stickstoff .....	73
5.3.3.1	Freilandversuch.....	73
5.3.3.2	Gewächshausversuch .....	77
5.3.4	Einfluss von Saatstärke und Stickstoffdüngung.....	80
5.3.5	Verwertung organischer Düngemittel .....	87
	<b>Zusammenfassung und Schlussfolgerungen.....</b>	<b>91</b>
	<b>Quellenverzeichnis .....</b>	<b>95</b>
	<b>Anhang .....</b>	<b>101</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Witterungsverlauf am Standort Straubing in den Versuchsjahren .....	20
Abbildung 2:	Lage der Versuchsstandorte in den Boden-Klima-Räumen Bayerns.....	27
Abbildung 3:	Intensivste (links) und minimale Variante (rechts) der Saatbettbereitung.....	29
Abbildung 4:	Ergebnisse des Sortenscreenings 2009 am Standort Straubing .....	35
Abbildung 5:	Ergebnisse des Sortenscreenings 2010 am Standort Straubing .....	36
Abbildung 6:	Ergebnisse des Sortenscreenings 2011 am Standort Straubing .....	37
Abbildung 7:	Ergebnisse des Sortenscreenings als einfache mehrjährige Mittelwerte.....	38
Abbildung 8:	Mehrjährige Mittelwerte von Trockensubstanzgehalt und Reifequotient der Sorghumsorten, Fehlerindikatoren: 95 % Konfidenzintervalle.....	39
Abbildung 9:	Entwicklung der Trockensubstanzgehalte der frühen und mittelspäten Referenzsorte in Abhängigkeit von der Wärmesumme im Jahr 2010 .....	40
Abbildung 10:	Entwicklung der Trockensubstanzgehalte der Referenzsorten in Abhängigkeit von der Wärmesumme im Jahr 2011 .....	41
Abbildung 11:	Erweitertes Reifegruppenmodell mit repräsentativen Sorten.....	43
Abbildung 12:	Boniturschema zur Erfassung des prozentualen Blattbefalls (stark verändert nach [7] für Blattdürre).....	44
Abbildung 13:	Physiologische Reife von Sorghum - „black layer“ ist voll ausgeprägt.....	46
Abbildung 14:	Erreichtes BBCH-Stadium in Abhängigkeit von der Temperatursumme am Standort Straubing 2011 – Vergleich der Referenzsorten der Reifegruppen .....	47
Abbildung 15:	Kalkulation der AUGPC (area under growth progress curve) .....	48
Abbildung 16:	Rohfasergehalte von repräsentativen Sorghumsorten in Abhängigkeit vom Erntetermin (Versuchsjahr 2010) .....	53
Abbildung 17:	Zuckergehalte von repräsentativen Sorghumsorten in Abhängigkeit vom Erntetermin (Versuchsjahr 2010).....	53
Abbildung 18:	Kalkulierte Methanausbeuten von repräsentativen Sorghumsorten in Abhängigkeit vom Erntetermin (Versuchsjahr 2010) .....	55
Abbildung 19:	Rohfaser- und ELOS-Gehalte von repräsentativen Sorghumsorten in Abhängigkeit vom Erntetermin (Versuchsjahr 2011).....	56
Abbildung 20:	Zucker- und Stärkegehalte von repräsentativen Sorghumsorten in Abhängigkeit vom Erntetermin (Versuchsjahr 2011) .....	56
Abbildung 21:	Kalkulierte Methanausbeuten von repräsentativen Sorghumsorten in Abhängigkeit vom Erntetermin (Versuchsjahr 2011) .....	58

---

Abbildung 22: Konzentration an Blausäure in Abhängigkeit vom Probenahmezeitpunkt und der Sorte im Jahr 2010.....	60
Abbildung 23: Konzentration an Blausäure in Abhängigkeit vom Probenahmezeitpunkt und der Sorte im Jahr 2011.....	61
Abbildung 24: Abnahme der Blausäure durch Silierung .....	62
Abbildung 25: Bayernweiter Sortenvergleich 2011 - relative Trockenmasseerträge.....	67
Abbildung 26: Bayernweiter Sortenvergleich – mehrjährige adjustierte Mittelwerte.....	68
Abbildung 27: Trockensubstanzgehalte der frühen und mittelspäten Referenzsorte an verschiedenen bayerischen Standorten in den Jahren 2007 bis 2011 .....	69
Abbildung 28: Mittlere Erträge von Sorghum nach verschiedenen Vorfrüchten.....	70
Abbildung 29: Einfluss der Saatbettbereitung auf den Ertrag von Sorghum .....	71
Abbildung 30: Konkurrenzkraft von Sorghum gegen den Durchwuchs von Roggen – links beim Schossen, rechts zur Ernte.....	71
Abbildung 31: N-Minimierungsversuch: Sortenmittel 2010 .....	75
Abbildung 32: Stickstoffbilanz als Differenz aus N-Zufuhr ( $N_{\min}$ + N-Düngung) und N-Abfuhr mit dem Erntegut sowie $N_{\min}$ -Gehalte nach Ernte nach Sorten und N-Düngergabe, Fehlerindikator: Standardabweichung.....	76
Abbildung 33: N-Minimierungsversuch: Sortenmittel 2011 .....	77
Abbildung 34: Gewächshausversuch – Trockenmasseerträge nach Sorten und Düngestufen, unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede.....	78
Abbildung 35: Gewächshausversuch – Korrelation zwischen der N-Düngung und dem N-Gehalt der Pflanzen .....	79
Abbildung 36: Gewächshausversuch – Stickstoffbilanz als Differenz aus N-Zufuhr (N-Düngung) und Abfuhr mit dem Erntegut sowie $N_{\min}$ -Gehalte nach Ernte.....	80
Abbildung 37: Korrelation zwischen den Messwerten des YARA-Testers und dem Stickstoffgehalt der Pflanzen .....	82
Abbildung 38: Nitratgehalte in Sorghum in Abhängigkeit von der Stickstoffversorgung und Gefährdungsklassen für Raufutter nach Fjell et al. (1991) [15].....	82
Abbildung 39: TM-Erträge und N-Bilanzen nach Düngestufen für die Sorte Biomass 150 in 2011 an den Standorten Straubing (STR) und Aholting (AHO) .....	85
Abbildung 40: TM-Erträge und N-Bilanzen nach Düngestufen für die Sorte Lussi (2011) .....	87
Abbildung 41: Durch einen pilzlichen Schaderreger verursachte Oval Leaf Spots .....	101
Abbildung 42: Bakterielle Streifenkrankheit.....	101

---

Abbildung 43: Exserohilum-Blattflecken. Von links nach rechts: punktförmige Läsionen an jüngsten Blättern; ausgedehnte Läsion auf älteren Blättern; Konidienträger mit Konidien nach Inkubation in der feuchten Kammer.....	102
Abbildung 44: Bakterielle Spitzenfäule verursacht durch Erwinia sp. ....	102
Abbildung 45: Durch nasskalte Witterung während der Blüte induzierte männliche Sterilität (links) und eingeschränkte Einkörnung (rechts).....	102



## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Bodenparameter am Standort Straubing - Teilfläche Sortenscreening - vor der Aussaat in den Versuchsjahren.....	19
Tabelle 2:	Versuchsbedingungen am Standort Straubing in den Versuchsjahren .....	21
Tabelle 3:	Bayernweiter Sortenvergleich - Standortkennwerte 2011.....	26
Tabelle 4:	Geprüfte Sorten im Hauptsortiment und Anhangsorten im Jahr 2011 .....	28
Tabelle 5:	Versuchsparameter zur Ermittlung des Mindestbedarfs an Stickstoff.....	30
Tabelle 6:	Parameter der produktionstechnischen Versuche .....	32
Tabelle 7:	Im Modell berücksichtigte Sorghumsorten und ihre Merkmalsausprägung im Vergleich zu den Referenzsorten für die Reifegruppen.....	42
Tabelle 8:	Boniturschlüssel für die Blattfleckenerreger an Sorghum .....	45
Tabelle 9:	Verdaulichkeiten für die Stoffgruppen nach DLG-Futterwerttabelle [12].....	49
Tabelle 10:	Wertgebende Inhaltsstoffe und deren Schwankungsbreiten bei Sorghum .....	49
Tabelle 11:	Kalkulierte Methanausbeuten und deren Schwankungsbreiten bei Sorghum in den Versuchsjahren 2009 bis 2011 .....	50
Tabelle 12:	Vergleich der Gehalte an Gerüstsubstanzen und ELOS von bmr- und nicht bmr-Futtersorten der drei Sorghumarten .....	51
Tabelle 13:	Wertgebende Inhaltsstoffe in Abhängigkeit von der Sorghumart und dem Nutzungstyp <sup>1)</sup> .....	52
Tabelle 14:	Nach unterschiedlichen Methoden kalkulierte und gemessene Methanhektarerträge der Referenzsorten von Sorghum im Vergleich mit Mais.....	52
Tabelle 15:	Organoleptische Beurteilung der Silagen (2010).....	63
Tabelle 16:	Rohnährstoffgehalte der Silagen (2011).....	63
Tabelle 17:	Gärparameter der Silagen (2011).....	64
Tabelle 18:	Energiegehalte und Methanausbeuten der Silagen (2011) .....	64
Tabelle 19:	Bayernweiter Sortenvergleich 2011: Einzelergebnisse von Euerhausen.....	65
Tabelle 20:	Bayernweiter Sortenvergleich 2011: Einzelergebnisse von Straubing.....	66
Tabelle 21:	Bayernweiter Sortenvergleich 2011: Einzelergebnisse von Aholting .....	67
Tabelle 22:	Ertragsparameter von Sorghum nach verschiedenen Vorfrüchten - Einzelwerte der Jahre und Sorten .....	70

---

Tabelle 23:	Einfluss der Aussaattechnik auf den Ertrag von Sorghum .....	72
Tabelle 24:	Einfluss der Aussattiefe auf den Ertrag von Sorghum.....	73
Tabelle 25:	N-Minimierungsversuch: Einzelergebnisse für die Sorten 2010.....	74
Tabelle 26:	Korrelationen zwischen der Höhe der Stickstoffdüngung und N-relevanten Merkmalen (2010).....	74
Tabelle 27:	N-Minimierungsversuch: Einzelergebnisse für die Sorten 2011 .....	77
Tabelle 28:	Gewächshausversuch – Korrelationen zwischen der Höhe der Stickstoffdüngung und N-relevanten Merkmalen .....	79
Tabelle 29:	Einfluss von N-Düngung und Saatstärke auf Sorghum (2010): Ergebnisse der Kovarianzanalyse .....	81
Tabelle 30:	Einfluss von N-Düngung und Saatstärke auf <i>S. bicolor</i> (2011): Ergebnisse der Kovarianzanalyse .....	84
Tabelle 31:	Einfluss von N-Düngung und Saatstärke auf <i>S. bicolor</i> x <i>S. sudanense</i> (2011): Ergebnisse der Kovarianzanalyse.....	86
Tabelle 32:	Einfluss von Art und Zeitpunkt der N-Düngergabe auf den Ertrag von Sorghum .....	89
Tabelle 33:	Verwendete Sorghumgenotypen und Maisreferenzsorten im Anbaujahr 2011 .....	103
Tabelle 34:	Ertragsparameter und Reifeverhalten vom Material des Sortenscreenings 2011 .....	105
Tabelle 35:	Zugehörigkeit von Sorten aus dem Screening 2011 zu den Reifegruppen .....	107
Tabelle 36:	Auftreten und Befallsschwere von Krankheitserregern am Material des Sortenscreenings 2011 .....	108
Tabelle 37:	Kühletoleranz vom Material des Sortenscreenings 2011 .....	110
Tabelle 38:	Wertgebende Inhaltsstoffe im Material des Sortenscreenings 2011 .....	112
Tabelle 39:	Methanausbeute und Methanertrag vom Material des Sortenscreenings 2011 .....	114
Tabelle 40:	Korrelation der wertgebenden Inhaltsstoffe von Sorghum .....	116
Tabelle 41:	BBCH-Code Sorghum, angepasst nach [59] .....	117

# 1 Einleitung

Die attraktive Einspeisevergütung von Strom aus Biogasanlagen mit Fokus auf nachwachsende Rohstoffe hat einen rasanten Boom auf diesem Gebiet angefacht. Damit erhöht sich der Druck, auf der begrenzt verfügbaren landwirtschaftlichen Nutzfläche stetig steigende Biomasseerträge mit hohem Methanpotenzial zu produzieren. Die Vorzugspflanze Mais hat in ihren Gunstlagen bereits die maximale Anbaukonzentration nach dem Gebot der guten fachlichen Praxis erreicht. Hier wie in Gebieten mit Anbaurestriktionen infolge Befalls durch den Westlichen Maiswurzelbohrer sowie in den weniger geeigneten Trockenlagen erwächst die Notwendigkeit zur Aufnahme alternativer Energiepflanzen in die Fruchtfolgen.

Unter diesen Gesichtspunkten ist am Technologie- und Förderzentrum (TFZ) im Jahr 2005 die Arbeit mit Sorghum als Rohstoff- und Energiepflanze aufgenommen worden. Die Schwerpunkte eines dreijährigen Projektes von 2006 bis 2008 lagen im Screening eines möglichst großen globalen Sortiments an Sorghumherkünften auf prinzipielle Anbaueignung unter bayerischen Standortbedingungen sowie in der Ableitung erster Anbauempfehlungen auf der Basis produktionstechnischer Versuche. Im Ergebnis dessen kristallisierten sich Sorten und Zuchtstämme heraus, die mit zeitgleich gesättem Mais vergleichbare Trockenmasseerträge und Methanausbeuten liefern können. Durch Variation der Produktionsfaktoren Nährstoffversorgung, Saatstärke und Reihenweite wurden das für Mais geläufige Anbauverfahren auf Sorghum angepasst und gleichzeitig Schwachpunkte der gegenwärtig verfügbaren Genotypen identifiziert. Diese betreffen insbesondere die erheblichere Kälteempfindlichkeit, die zur Ernte oft unzureichenden Trockensubstanzgehalte und die Lagerneigung einiger vielversprechender massewüchsiger Sorghumherkünfte.

Aufbauend auf dem Datenfundus der dreijährigen Prüfungen von 2006 bis 2008 waren im Anschlussprojekt von 2009 bis 2011 vordergründig die Ergebnisse der produktionstechnischen Versuche im Freiland und ergänzend dazu im Gewächshaus zu verifizieren und für die verschiedenen Nutzungstypen der Sorghumarten zu konkretisieren. Darüber hinaus wurden zielgerichtet Daten zur Nährstoffeffizienz und zur Kühletoleranz erfasst. Das Screening wurde an einem kleineren Sortiment fortgeführt, das eine ständige Aktualisierung um erfolgversprechende Neuzüchtungen erfuhr. Hier lag der Fokus auf der Einteilung der Sorten in Reifegruppen und auf dem Zusammenhang zwischen inhaltstofflicher Zusammensetzung und Methanbildungspotenzial.

Im Folgenden werden in erster Linie die Ergebnisse des Anbaujahres 2011 dargestellt und unter Einbeziehung der Resultate der vorangegangenen Versuchsjahre sowie Angaben aus der Literatur diskutiert.



## 2 Bisherige Erkenntnisse

**Sorghum ist eine wärmebedürftige, trockenheitstolerante C4-Pflanze, die auch unter bayerischen Bedingungen mit dem Mais vergleichbare Erträge bilden kann [45] [46] [53].**

In dem mittlerweile fünfjährigen Screening eines weltweiten Sorghumsortiments am Standort Straubing konnten Genotypen identifiziert werden, die über die Versuchsjahre hinweg konstant hohe Trockenmasseerträge  $> 170$  dt/ha realisieren. Vielversprechende Kandidaten der drei wirtschaftlich relevanten Arten *S. bicolor* (Futter-, Dual- und Körnersorten), *S. sudanense* und *S. bicolor* x *S. sudanense* standen darüber hinaus in einem bayernweiten Sortenvergleich und bestätigten ihre Anbaueignung unter den regional verschiedenen Standortbedingungen. Als Schwachpunkte des derzeit verfügbaren Materials wurden die zur Ernte unzureichenden Trockensubstanzgehalte im Gros der Prüfsorten, eine genetische Prädisposition für Lager und die unzureichende Kühletoleranz ermittelt [46]. Zu den wesentlichen Erkenntnissen der umfangreichen Prüfungen gehören die Existenz von differenzierbaren Reifegruppen in allen Sorghumarten und –nutzungstypen sowie die enge Korrelation zwischen Massenwüchsigkeit und Spätreife. Etliche der späteren hoch ertragreichen Sorten, wie Herkules, Goliath, Sucrosorgo, Bulldozer (*S. bicolor*), Jumbo (*S. bicolor* x *S. sudanense*) und Trudan Headless (*S. sudanense*) neigen zu Lager. In der Literatur ist die Problematik der eingeschränkten Standfestigkeit von Sorghum belegt [17] [32]. Deutlich frühere Sorten von *S. bicolor* und *S. bicolor* x *S. sudanense* sind in ihrer Ertragsleistung zwar schwächer, sie erreichen aber in der relativ kurzen verfügbaren Vegetationszeit meist die gewünschten Trockensubstanzgehalte (TS-Gehalte). Von den *S. bicolor* Futtersorten ist das z. B. Maja und von *S. bicolor* x *S. sudanense* Bovital. Die sehr frühe Sorte Lussi kann selbst in den kühleren Lagen der Oberpfalz noch erfolgreich angebaut werden. Dem Dualtyp von *S. bicolor* sind Sorten zugeordnet, die weder ausgesprochene Futter- noch Körnersorten sind. Entsprechend hoch ist seine Variabilität in den Ertragsparametern. Seine geringere Massenwüchsigkeit muss allerdings nicht zwangsläufig mit Frühreife und Standfestigkeit korrelieren. So hat sich die Sorte Top Silo im bayernweiten Sortenvergleich als ausgesprochen spätreif erwiesen. Eine interessante standfeste Alternative aus dem Dualsortiment ist die Sorte Arbatax. Kurzstrohige Körnersorten von *S. bicolor* liefern unterdurchschnittliche Erträge und sind aus diesem Grund als Biogassubstrat weniger geeignet. *S. sudanense*-Sorten sind vergleichsweise unberechenbar und die Bestandesführung schwierig. Mitunter erreichen sie hohe Erträge, jedoch selten silierfähige TS-Gehalte. Insbesondere auf Böden mit guter Nährstoffnachlieferung bestocken sie bis in den Herbst hinein, während die Haupttriebe bereits verholzt sind.

Die Laboranalyse der wertgebenden Inhaltsstoffe bestätigte die auch in der Literatur dokumentierten Unterschiede zwischen den Sorghumarten und ihren Nutzungstypen [37]. Die Körnersorten von *S. bicolor* weisen einen höheren Stärkegehalt zu Lasten des Zuckergehalts auf, während in den *S. bicolor*-Futtersorten und den anderen Sorghumarten nahezu keine Stärke enthalten ist. Außerdem unterscheiden sich die Sorghumarten und –nutzungstypen in ihrem Rohfasergehalt, wobei Körnersorten von *S. bicolor* den gerings-

ten und *S. sudanense*-Sorten den höchsten Gehalt aufweisen. Angaben aus der Literatur zufolge sind Silagen aus Körnersorten von *S. bicolor* besonders gut verdaulich [24]. Sorten mit höheren Anteilen an gut verdaulichen Inhaltsstoffen zeigten allerdings mit den bisherigen Untersuchungsmethoden keine einheitliche Steigerung in der Methanausbeute (Kalkulation der theoretischen Ausbeute nach Keymer & Schilcher [28], Batchtests an der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Landtechnik [22]). In den Batchtests wurde eine Spanne der Methanausbeute von 248 bis 363 NI/kg organische Trockensubstanz (oTM) erreicht, das entspricht bezogen auf die TM-Erträge 3450 bis 8130 Nm<sup>3</sup> Methan je Hektar. Die in der Literatur vorhandenen Daten zur Methanausbeute von Sorghumsilagen liegen in einem noch größeren Schwankungsbereich von 180 bis 380 NI/kg oTM [2] [6], was Hektarerträgen von 2700 bis 8400 Nm<sup>3</sup> Methan entspricht.

**Die Sorghumarten lassen sich unproblematisch in die üblichen Anbauverfahren von Futterpflanzen integrieren.**

So kann z. B. diejenige Reihenweite zwischen 25 und 50 cm gewählt werden, die mit der im Betrieb vorhandenen Technik (Getreidedrillmaschine oder auch Einzelkornsägerät) realisierbar ist. Inwieweit eine exakte Standraumbemessung durch die Einzelkornablage im Vergleich zur weniger aufwändigen Drillsaat von Vorteil für die Ertragsbildung ist, wird weiterhin Gegenstand der Untersuchung bleiben. Versuche mit einer stufenweisen Erhöhung der Saatstärke von 25 bis 100 Körnern/m<sup>2</sup> ergaben zumindest am Standort Straubing eine positive Korrelation zum Trockenmasseertrag [46]. Ein Zusammenhang zwischen Saatstärke und Standfestigkeit ließ sich bislang allerdings nicht klar abbilden. Durch die hohe genetische Lagerneigung einiger Sorten konnte der Effekt der Saatstärke bereits bei niedrigster Stufe durch Sturm und Starkniederschlagsereignisse überlagert werden [46]. Stickstoffsteigerungen erwiesen sich auf dem Lößstandort mit einer guten Stickstoffgrundversorgung und –nachlieferung bis maximal zur Höhe des Entzuges unter Anrechnung der N<sub>min</sub>-Werte als wirkungsvoll. Entsprechend der Versuche zur Verwertung organischer Dünger in Form von Gärrest ist die vollständige Substitution von mineralischen Nährstoffen möglich [46].

**Sorghum wird umso attraktiver, je flexibler es sich in Fruchtfolgen integrieren lässt (d. h. vielfältige Vor- und Nachfruchtkombinationen und Zweitfruchtstellung möglich sind) und je wirtschaftlicher sich das Produktionsverfahren im Vergleich zu Mais darstellt.**

### 3 Zielstellung

Ziel des aktuellen Vorhabens ist die Konsolidierung und Erweiterung der gewonnenen Erkenntnisse aus dem Projekt „Sorghumhirse als Nachwachsender Rohstoff: Sortenscreening und Anbauszenarien“ (Projektlaufzeit IV/2006 bis III/2009) und die Prüfung der Reproduzierbarkeit seiner Ergebnisse unter dem Einfluss von Jahreswitterung und Standortfaktoren.

Auch im aktuellen Sorghumprojekt sind an einem Kernsortiment von Herkünften Daten zu den agronomischen und pflanzenbaulichen Parametern Feldaufgang, Bestandesentwicklung, sowie Ertragsbildung und -struktur zu erheben und das Pflanzenmaterial entsprechend zu bewerten. Über die Analyse der wertgebenden Inhaltsstoffe soll das theoretische Methanbildungspotenzial kalkuliert und in seiner Abhängigkeit von Sorte, Entwicklungsstadium sowie Witterungs- und Standorteinflüssen dargestellt werden. An einigen Sorten ist exemplarisch die Eignung zur Silierung und zur Grundfutterbereitstellung (Blausäuregehalte) zu untersuchen. Die aussichtsreichsten Sorten sind außer in bester Gäubodenlage am Standort Straubing auch an anderen für Bayern repräsentativen Standorten auf Anbaueignung zu prüfen. Der bayernweite Sortenvergleich erfolgt in enger Kooperation mit der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft und den Ämtern für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten.

In den produktionstechnischen Versuchen stehen die Ertragssicherung sowie die Verbesserung von Feldaufgang, Standfestigkeit, Abreifeverhalten und inhaltstofflicher Zusammensetzung von Sorghum im Vordergrund. In diversen zwei- und mehrfaktoriellen Feldversuchen sind Variationen von Stickstoffdüngung in Höhe und Darreichungsform (mineralisch und in Form von Gärrest), Bestandesdichte und Aussaatverfahren in ihrer Wirkung auf die Zielgrößen Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt zu erfassen. Darüber hinaus werden drei praxisübliche Vorfrüchte (Schwarzbrache, Senf, Winterroggen für GPS) zu Sorghum auf Eignung mit Blick auf ihre Ertragswirkung untersucht.

Die Freilandversuche begleitend sollen Gewächshausversuche unter streng kontrollierten Bedingungen vertiefende Erkenntnisse zu Stickstoffeffizienz und Kühletoleranz von Sorghum liefern.

Ziel des dreijährigen Projektes ist es, Landwirten ein erfolgreiches Spektrum an Sorghumsorten mit dafür maßgeschneiderter Produktionstechnik für verschiedene bayrische Standortbedingungen empfehlen zu können. Dabei wird neben sorghumspezifischen Fragen auch die Integration dieser Kultur in (Energie-)Fruchtfolgen behandelt. Die gewonnenen Erkenntnisse sollen ferner die Basis für die notwendige züchterische Bearbeitung von Sorghum ausbauen helfen.



## 4 Material und Methoden

### 4.1 Sortenscreening – Untersuchungen zu Ertrag und Qualität am Standort Straubing

#### 4.1.1 Charakteristik des Versuchsstandortes

Die Versuchsflächen befinden sich in der Landschaftseinheit des Gäubodens bei Straubing auf einer Höhe von 335 m. Die mittlere Jahrestemperatur im Durchschnitt der letzten 11 Jahre (2001 bis 2011) beträgt 9 °C und die Jahresniederschlagssumme 714 mm.

Der bestimmende Bodentyp ist Parabraunerde aus Löss mit einer Ackerzahl von 73 bis 76. Die standorttypische Bodenart ist schluffiger Lehm (uL). Als Vorfrucht stand auf den Versuchsflächen in der Regel Winterweizen mit anschließender Schwarzbrache. Zu Versuchsbeginn wurden jeweils die Nährstoffgehalte und der pH-Wert bestimmt (Tabelle 1). Dabei stellte der  $N_{\min}$ -Gehalt die Summe der Gehalte an  $NO_3$  und  $NH_4$  in 0 bis 60 cm Bodentiefe dar.

*Tabelle 1: Bodenparameter am Standort Straubing - Teilfläche Sortenscreening - vor der Aussaat in den Versuchsjahren*

		2009	2010	2011
$N_{\min}$	in kg/ha	154	54	89
$P_2O_5$	Versorgungsstufe	C	C	B
$K_2O$	Versorgungsstufe	C	C	B
Mg	Versorgungsstufe	C	C	C
pH		6,7	7,0	6,5

#### 4.1.2 Witterungsverläufe am Standort Straubing

Die drei Versuchsjahre unterschieden sich maßgeblich in ihren Witterungsverläufen. Am kühlfsten war das Jahr 2010. Hier nahm die mittlere Monatstemperatur einen allmählichen Anstieg bis zu einem kurzen Peak im Juli um dann unmittelbar wieder abzusinken (Abbildung 1). Wegen der durch eine langanhaltende Regenperiode verzögerten Aussaat konnten nur 126 Vegetationstage für Sorghum mit einer Wärmesumme von 866 Gradeinheiten erreicht werden (Tabelle 2). Für die Ermittlung der Wärmesumme ist das Mais-Reifeprognosemodell nach AGPM [14] zugrunde gelegt und mit einer Basistemperatur von 10 °C an Sorghum angepasst [19] worden. Der August war extrem verregnet mit unterdurchschnittlichen Einstrahlungswerten.

Die Jahre 2009 und 2011 waren in der Hauptwachstumsphase üppig mit Niederschlägen versorgt und ähnelten sich auch im Temperaturgang. Die höhere Wärmesumme in 2011 wurde in erster Linie durch die zeitige Aussaat und die deshalb um 10 Tage verlängerte

Vegetationszeit realisiert. Aber auch der milde und sonnige September trug zum Erreichen der Siloreife von Sorghum bei. Die Strahlungswerte waren 2011 insgesamt am höchsten.

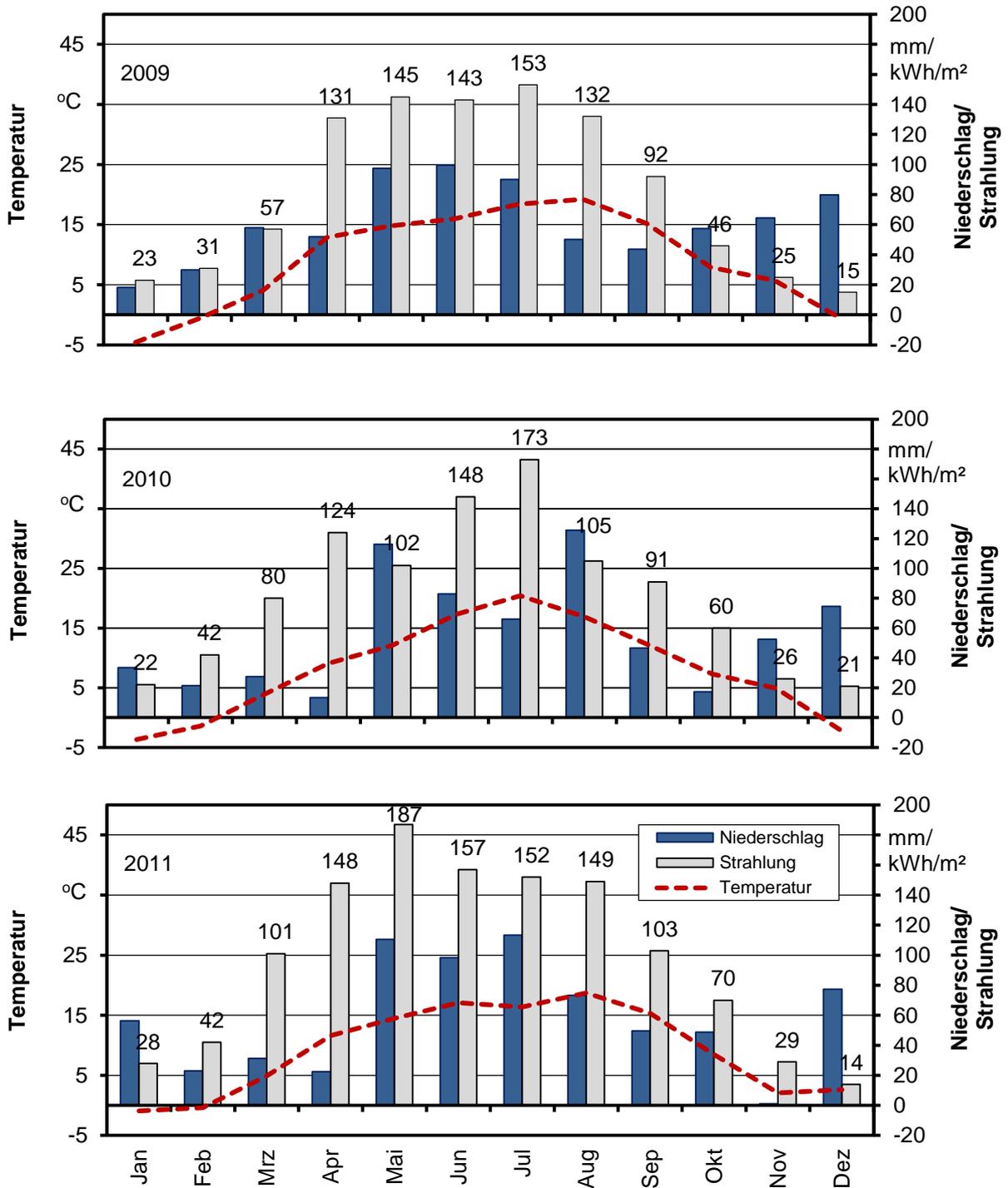


Abbildung 1: Witterungsverlauf am Standort Straubing in den Versuchsjahren

Tabelle 2: Versuchsbedingungen am Standort Straubing in den Versuchsjahren

	2009	2010	2011
Aussaat	26.05.	09.06.	20.05.
Ernte	07.10.	12.10.	12.10.
Anzahl Vegetationstage	135	126	146
Summe Niederschlag in mm	283	329	414
Summe Strahlung in kWh/m <sup>2</sup>	517	451	529
Wärmesumme in °C	978	866	1.081

#### 4.1.3 Verwendete Genotypen

Am TFZ wurde 2011 das sechste Jahr in Folge eine Kollektion von Sorghumgenotypen auf die Merkmale Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt gegen jeweils sechs Maissorten der Reifegruppen 260 bis 280 (frühe Saat) und 210 bis 220 (späte Saat) geprüft. Die insgesamt 40 Sorghumgenotypen repräsentierten sowohl etablierte als auch ganz neue Sorten sowie aussichtsreiche Zuchtstämme und deckten die praxisrelevanten Sorghumarten *S. bicolor* (20 Futter- und 8 Körnergenotypen) und *S. bicolor* x *S. sudanense* (12 Genotypen) ab (Anhang im Anhang).

#### 4.1.4 Versuchsanlage und -durchführung

Jede Sorghumart stand für sich in einer Alpha-Gitteranlage mit den Sorten in Doppelparzellen (Aussaat 27,0 m<sup>2</sup>, Ernte 10,8 m<sup>2</sup>) und 4-facher Wiederholung. *S. bicolor* erfuhr noch einmal eine Aufteilung in Körner- und Futtertyp, um eine Beschattung der deutlich kürzeren Körner- durch die hohen Futtersorten zu vermeiden und deren gleichmäßige Abreife zu ermöglichen. Die Saatstärke für *S. bicolor* betrug 25 Körner/m<sup>2</sup> und für *S. bicolor* x *S. sudanense* 40 Körner/m<sup>2</sup> bei jeweils 37,5 cm Reihenabstand. Die Aussaat- und Erntetermine sind der Tabelle 2 zu entnehmen. Herbizidbehandlung und Stickstoffdüngung erfolgten in BBCH 13. Der Sollwert für die Stickstoffversorgung war auf 120 kg N/ha festgelegt worden. Für die Berechnung der Düngemenge wurde von diesem der N<sub>min</sub>-Gehalt zum Zeitpunkt der Aussaat abgezogen.

Auch die Referenz-Maissorten standen entsprechend ihrer Reifegruppenzugehörigkeit in zwei Alpha-Gitteranlagen. Die frühe Saat der spätreifen Sorten erfolgte Mitte April mit 75 cm Reihenabstand. Sie wurden bei Aussaat mit 30 kg N/ha unter Fuß und in BBCH 13 bis zu einem N-Sollwert von insgesamt 180 kg/ha gedüngt. Ebenfalls in BBCH 13 erhielten sie eine Herbizidbehandlung. Die Ernte erfolgte bei Erreichen eines Trockensubstanzgehaltes von 30 bis 35 %.

Das frühreife Maissortiment kam mit 75 cm Reihenabstand zusammen mit Sorghum in den Boden. An Stickstoff wurden 30 kg/ha unter Fuß zur Aussaat und der Rest bis zu einem N-Sollwert von insgesamt 180 kg/ha in BBCH 13 gegeben. In diesem Stadium

erfolgte auch die Herbizidapplikation. Geerntet wurde der spät gesäte Mais zusammen mit den Sorghumsorten Anfang bis Mitte Oktober (Tabelle 2).

#### 4.1.5 Ernte und Probenaufbereitung

Von den insgesamt 8 je Doppelparzelle angelegten Reihen erfolgte eine Kernbeerntung der mittleren 4 Reihen. Deren gesamter Aufwuchs wurde mit einem reihenunabhängigen Häcksler auf eine Schnittlänge von ca. 1 cm zerkleinert und auf dem Feld verwogen. Aus dem Häckselgut jeder Parzelle wurden ca. 1 kg Frischmaterial entnommen, bei 60 °C getrocknet und bis zur Inhaltsstoffbestimmung trocken gelagert (Abschnitt 4.1.6). Über Referenzproben, die bei 105 °C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet worden sind, erfolgte die Bestimmung der absoluten Trockensubstanzgehalte (TS-Gehalte). Dieses Verfahren ist für Mais geläufig und niedergelegt in [7] als Methode 3: „Bestimmung des TS-Gehaltes mittels Indikatorproben“.

#### 4.1.6 Bestimmung der wertgebenden Inhaltsstoffe

Die Bestimmung der wertgebenden Inhaltsstoffe wurde in Anlehnung an die Futtermittelanalytik vorgenommen. Neben der Quantifizierung der Stoffgruppen Rohprotein, Rohfett und Rohfaser nach dem Weender-Verfahren [25] erfolgte eine Differenzierung der Fraktion der Kohlenhydrate nach van Soest et al. [51] in die Gerüstsubstanzen Zellulose, Hemizellulose und Lignin und den organischen Rest. Aus dem organischen Rest sind darüber hinaus die Gehalte an Zucker und Stärke bestimmt worden. Die Analysen wurden von der Food GmbH Jena Analytik & Consulting unter Verwendung der folgenden Standardprozeduren durchgeführt:

**Trockenmasse (TM):** VDLUFA, MB Bd. 3, Kap. 3.1

**Rohasche (XA):** VDLUFA, MB Bd. 3, Kap. 8.1.

**Organische Trockenmasse (oTM):** VDLUFA, MB Bd. 3, Kap. 8.1

**Rohprotein (XP):** über die Bestimmung des Stickstoffgehaltes (Dumas) nach VDLUFA MB. Bd. 3, Kap. 4.1.2; Multiplikation von Gesamt-N mit dem Faktor 6,25 ergibt den Rohproteingehalt der Ausgangssubstanz

**Rohfett (XL):** VDLUFA, MB Bd. 3, Kap. 5.1.1

**Rohfaser (XF):** VDLUFA, MB Bd. 3, Kap. 6.1.2

**N-freie Extraktstoffe (NfE):** rechnerische Ermittlung aus der Differenz zwischen organischer Trockenmasse und der Summe aus Rohfett-, Rohprotein- und Rohfasergehalt

**NDF (van Soest):** neutral detergent fiber; VDLUFA, MB Bd. 3, Kap. 6.5.1; Fraktion enthält Hemizellulose, Pektine, Zellulose und Lignin

**ADF (van Soest):** acid detergent fiber; VDLUFA, MB Bd. 3, Kap. 6.5.2.; Fraktion enthält Zellulose und Lignin; die Differenz zwischen NDF und ADF entspricht dem Gehalt an Hemizellulosen

**ADL (van Soest):** acid detergent lignin; VDLUFA, MB Bd. 3, Kap. 6.5.3.; Differenz zwischen ADF und ADL entspricht dem Gehalt an Zellulose

**Stärke:** VDLUFA, MB Bd. 3, Kap. 7.2.1

**Gesamtzucker:** VDLUFA MB Bd. 3, Kap. 7.1.1

**Mineralstoffe:** P, K, Mg und Ca atomspektroskopisch nach VDLUFA MB Bd. 3, Kap. 2.2.2.6, Nitrat nach ASU L 26.00-1 2001 07 HPLC/IC-Verfahren

**Methanbildungspotenzial/Methanausbeute:** Hohenheimer Biogasertragstest (HBT) nach DIN 38414 und VDI 4630

#### 4.1.7 Kalkulation von Biogas- und Methanausbeute

*Methode „Baserga“:*

Grundlage dieser Berechnung der Biogasausbeute sind die Gehalte an Rohasche, Rohfett, Rohprotein, Rohfaser und NfE in der Trockenmasse (Weender-Analyse) [27] [28] sowie deren Verdaulichkeiten nach DLG-Futterwerttabelle [12]. Unterstellt man die von Baserga [4] veröffentlichten Biogasausbeuten für die Stoffgruppen Kohlenhydrate (Rohfaser + NfE), Rohprotein und Rohfett von 790, 700 bzw. 1.250 l/kg organischen Trockenmasse (oTM), lässt sich die theoretische Biogasausbeute für das Substrat darstellen. Für die Bestimmung des Gesamtmethangehaltes werden die Methangehalte in den Fraktionen Kohlenhydrate, Rohprotein und Rohfett von 50, 71 bzw. 68 % in Relation zu ihrem Anteil an der oTM des Substrates gesetzt. Nachteile des Verfahrens sind a) die Notwendigkeit einer kompletten Weender-Analyse (hohe Kosten) sowie b) die unzureichenden Informationen zur Verdaulichkeit von Sorghum. So sind dem DLG-Standardwerk lediglich die entsprechenden Koeffizienten in den Stadien „Beginn Rispen-schieben“, „volles Rispen-schieben“ und „Beginn Blüte“ und auch nur für „Sudangras“ zu entnehmen. Den Berechnungen „nach Baserga“ sind, wenn nicht anders angegeben, die Verdaulichkeiten der Stoffgruppen für Sudangras zu Blühbeginn zugrunde gelegt.

*Methode „Weißbach“*

Weißbach [58] hat für seine Modelle Gleichungen zur Schätzung der fermentierbaren organischen Trockensubstanz (FoTS) etabliert. Für die meisten Substrate basieren diese auf dem Rohfasergehalt („Weißbach XF“). Für Sorghum sollte das Modell von Mais eine gute Annäherung liefern (Weißbach, mündliche Mitteilung):

- $FoTS = 984 - (XA) - 0,47(XF) - 0,00104(XF)^2$  in g/kg TM Mais

Im Vergleich dazu wurde auch die für Gras und Grassilage entwickelte Schätzgleichung auf der Basis des Gehaltes an enzymunlöslicher organischer Substanz (EULOS) verwendet („Weißbach EULOS“):

- $FoTS = 1000 - (XA) - 0,62(EULOS) - 0,000221(EULOS)^2$  in g/kg TM Gras(-silage)

Der EULOS-Anteil an % in der TM ist die Differenz von 100 und dem Anteil an enzymlöslicher organischer Substanz (ELOS), der mit der Standardprozedur VDLUFA MB. Bd. 3, Kap. 6.6.1 bestimmt wurde.

Biogas- und Methanausbeuten errechnen sich nach Weißbach ausgehend von der ermittelten FoTS schließlich wie folgt:

- *Normvolumen Biogas in l/kg TM = 0,80 FoTS*
- *Normvolumen Methan in l/kg TM = 0,42 FoTS*

#### **4.1.8 Schnittzeitversuch**

Für die Schnittzeitversuche wurden repräsentative Sorten in einer Blockanlage mit dreifacher Wiederholung ausgesät. Die Bestandesführung erfolgte analog zum Sortenscreening (Abschnitt 4.1.4).

Beprobt wurde in wöchentlichem Rhythmus ab ca. 100 Tage nach der Aussaat bis zur Ernte. Je Sorte wurden aus jeder Wiederholung fünf komplette Pflanzen oberhalb 10 cm Stoppelhöhe entnommen, verwogen und mit dem Laborhäcksler auf 1 cm Schnittlänge zerkleinert. Die Bestimmung des TS-Gehaltes erfolgte nach Trocknung von ca. einem Drittel jeder Probe bei 105 °C bis zur Gewichtskonstanz und Rückwaage des Pflanzenmaterials. Von den verbleibenden zwei Dritteln wurden die drei Wiederholungen der Sorten zu Mischproben vereint, bei 60 °C getrocknet und zur Analyse der wertgebenden Inhaltsstoffe zum Dienstleistungslabor gesandt.

#### **4.1.9 Blausäurebestimmung**

Für die Blausäureuntersuchungen sind in den Jahren 2010 und 2011 Ganzpflanzen aus den drei Wiederholungen des Schnittzeitversuchs entnommen und sortenrein zu Mischproben von etwa einem Kilogramm zusammengefasst worden. Die Termine der Beprobung während der Jugendphase von Sorghum waren an das Erreichen definierter Bestandeshöhen (40, 75 und 120 cm) geknüpft. Darüber hinaus sollte flexibel bei wieder einsetzendem Niederschlag nach Trockenperioden beprobt werden. Als einziger fester Termin war eine Probenahme unmittelbar vor der Ernte angesetzt.

Das für die Blausäuremessung bestimmte Pflanzenmaterial wurde mit dem Laborhäcksler auf 1 cm Schnittlänge zerkleinert, fest in Folie verschlossen und bei minus 18 °C gelagert. Die Proben wurden vom Zentralinstitut für Ernährung und Lebensmittelforschung (ZIEL) der Technischen Universität München analysiert.

Im Jahr 2011 wurde von drei der zu den frühen Terminen beprobten Sorten frisch gehäckseltes Material in Weckgläser (1,5 l Fassungsvermögen) gepresst und als „Minisilos“ kühl und trocken für 5 Monate bis zur Blausäureuntersuchung gelagert.

#### **4.1.10 Siliereignung**

Aus dem Sortenscreening wurde erntefrisches Material von repräsentativen Sorten in 10 l-Plastikbeutel gepresst und luftdicht eingeschlossen. Nach fünf Monaten trockener und dunkler Lagerung bei Raumtemperatur wurde die Gärqualität der Silage bestimmt. Im Jahr 2011 wurde als Referenz unter den gleichen Bedingungen die Maissorte Salgado siliert und analysiert. Zielparameter waren Nährstoffe nach Weender und erweiterter Weender-Analyse sowie die umsetzbare Energie für Wiederkäuer in MJ.

## **4.2 Gewächshausversuch zur Ermittlung der Kühletoleranz**

Alle im Sortenscreening 2011 verwendeten Sorghumgenotypen wurden im Gewächshaus auf Kühletoleranz geprüft. Um das geplante Temperaturregime umsetzen zu können, ist dieser Versuch in den Wintermonaten gelaufen.

Am 2. Dezember sind Keimprüfungen in Anlehnung an die ISTA-Vorschriften (Inkubation von 100 Körnern pro Genotyp auf Filterpapier bei Wechsellicht und Raumtemperatur) angelegt und alle zwei Tage bis zum Tag 8 ausgewertet worden. Parallel wurde von jedem Genotyp eine mit Pikiererde gefüllte Multitopfpalette besät, d. h. in jede der 54 Kammern von je 100 ml Fassungsvermögen kam ein Samenkorn in 2 cm Tiefe zur Ablage. Die Paletten wurden auf Gewächshaustischen bei einer Temperatur von 15 °C tagsüber und 8 °C während der Nacht inkubiert. Der Tag-Nacht-Rhythmus war auf 12 Stunden eingestellt. Bewässert wurden die Paletten drei Mal täglich von oben mittels Gießwagen, dessen feine Düsen eine sehr behutsame, gleichmäßige Befeuchtung realisierten. Am 10. Januar wurde die Länge von jedem aufgelaufenen Pflänzchen und am 16. Januar von jeder Palette die Anzahl der Pflänzchen insgesamt sowie derer mit Anomalien und Absterbeerscheinungen erfasst. Die unter den kühlen Gewächshausbedingungen erreichte Auflauftrate wurde gegen die Keimfähigkeit bei Raumtemperatur korrigiert. Pro Palette wurden 20 der optisch am besten entwickelten Pflänzchen unmittelbar oberhalb des Bodens abgeschnitten und die Gesamtfrisch- und -trockenmasse ermittelt. Pflänzchen mit Absterbeerscheinungen wurden auch dann nicht berücksichtigt, wenn weniger als 20 pro Palette zur Verfügung standen. In solchen Fällen wurden die Frisch- und Trockenmassen von den vorhandenen Pflänzchen rechnerisch auf 20 korrigiert. Die Bewertungsschemata für TM-Ertrag, Pflanzenlänge und Keimfähigkeit sowie die Abzüge für den Anteil abgestorbener Pflanzen sind den Fußnoten der Tabelle 37 aufgeführt.

### 4.3 Bayernweiter Sortenvergleich

#### 4.3.1 Charakteristik der Versuchsstandorte

Der Sortenversuch kam 2011 an drei Standorten Bayerns zur Auswertung, die unterschiedliche regionale Boden-Klimaräume für Mais abdecken (Abbildung 2). Eine vierte Anlage in Neuhoof wurde wegen des unterdurchschnittlichen Feldaufgangs vorzeitig umgebrochen. Die Standortkennwerte sind in Tabelle 3 zusammengefasst.

Tabelle 3: Bayernweiter Sortenvergleich - Standortkennwerte 2011

Standorte	Euerhausen	Straubing	Aholting
Kennwerte			
Region	Fränkisches Gäu	Straubinger Gäu	Donauniederung/ Niederbayer. Schotterebene
Höhe über NN in m	310	330	322
Bodenart	uL	uL	sL
Ackerzahl	80	76	49
Niederschlag in mm	526 <sup>1)</sup>	714 <sup>2)</sup>	671 <sup>1)</sup>
Jahresdurchschnittstemperatur in °C	9,2 <sup>1)</sup>	9,0 <sup>2)</sup>	8,9 <sup>1)</sup>
Versuchsbedingungen von Aussaat bis Ernte			
Aussaat	09.05.	10.05.	10.05.
Ernte	17.10.	30.09.	29.09.
Vegetationstage	161	143	142
Wärmesumme <sup>3)</sup>	1.034	1.079	1.040
Summe Niederschlag in mm	278	385	457
Summe Globalstrahlung in kWh/m <sup>2</sup>	753	541	676

<sup>1)</sup> langjährige Temperatur- und Niederschlagsmittel von 1990 – 2011

<sup>2)</sup> langjährige Temperatur- und Niederschlagsmittel von 2001 – 2011

<sup>3)</sup> Wärmesumme nach [14], mit einer Basistemperatur von 10 °C an Sorghum angepasst [19]

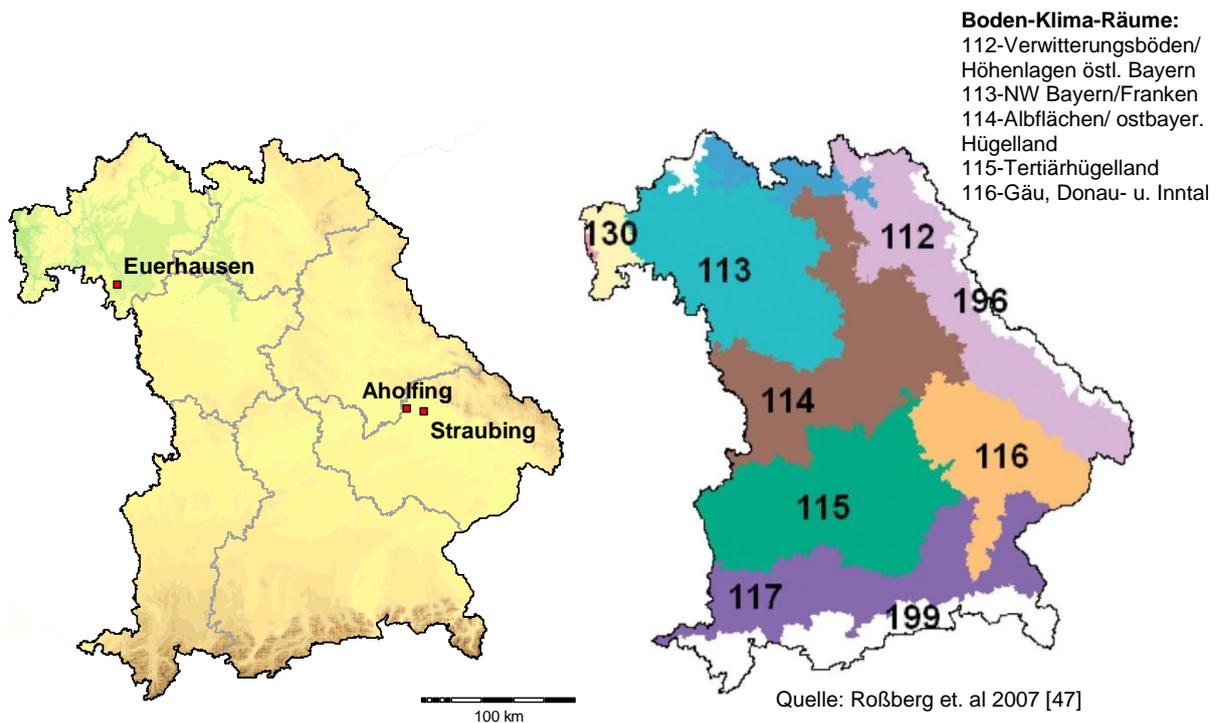


Abbildung 2: Lage der Versuchsstandorte in den Boden-Klima-Räumen Bayerns

#### 4.3.2 Versuchsanlage und -durchführung

Die Auswahl der Sorten war darauf abgestellt, möglichst alle Arten und Nutzungstypen einzubeziehen sowie Verfügbarkeit und Bekanntheitsgrad am Markt und den Anspruch des Versuches auf Mehrjährigkeit der Ergebnisse zu berücksichtigen (Tabelle 4).

Die einjährigen Prüfergebnisse wurden an den drei Standorten gemäß Tabelle 1 realisiert. Sorten mit zwei und drei Jahren Prüfdauer standen 2009 und 2010 in Straubing, Euerhausen, Neuhof (Südlicher Jura) und Almesbach (Ostbayrisches Mittelgebirge).

Der Versuch wurde an allen Standorten nach dem folgenden Grundmuster durchgeführt:

Die Parzellen wurden mit doppelter Breite in einer Alpha-Gitteranlage in dreifacher Wiederholung angelegt. Die Saatstärke betrug für die Sorten der Art *S. bicolor* 25 Körner/m<sup>2</sup> und für die Art *S. bicolor* x *S. sudanense* 40 Körner/m<sup>2</sup> bei 37,5 cm Reihenweite. Die Aussaat erfolgte in Abhängigkeit von den örtlichen Gegebenheiten in einen ausreichend erwärmten Boden. Die N-Düngung orientierte sich an der standortüblichen Gabe zu Mais abzüglich 30 %, um die Standfestigkeit zu verbessern. Bei Bedarf wurde eine Herbizidbehandlung im Nachauflauf (BBCH 13) mit Mais-Banvel (0,5 l/ha) oder Certrol B (1,5 l/ha) durchgeführt. Beerntet wurden die vier Kernreihen je Parzelle Ende September bis Mitte Oktober (siehe Tabelle 3).

Tabelle 4: Geprüfte Sorten im Hauptsortiment und Anhangsorten im Jahr 2011

Anbau- nummer	Sortenname	Sorghumart	Reife- gruppe	Prüfjahre	Züchter/Sorten- inhaber
1	Odin	<i>S. bicolor</i> Futter	mittelfrüh	1	KWS
2	Biomass 150	<i>S. bicolor</i> Futter	mittelspät	2	Euralis
3	Herkules	<i>S. bicolor</i> Futter	mittelspät	<3	Saaten Union
4	Wotan	<i>S. bicolor</i> Futter	mittelspät	1	KWS
5	Zerberus	<i>S. bicolor</i> Futter	mittelspät	<3	KWS
6	Hugin	<i>S. bic. x S. sud.</i>	mittelfrüh	1	KWS
7	Lussi	<i>S. bic. x S. sud.</i>	früh	<3	Caussade
8	Freya	<i>S. bic. x S. sud.</i>	mittelfrüh	1	KWS
9	Mithril	<i>S. bic. x S. sud.</i>	mittelspät	<3	Andreae-Saaten
10	Inka	<i>S. bic. x S. sud.</i>	mittelspät	1	KWS
Anhang	Amiggo	<i>S. bicolor</i> Futter	mittelfrüh	1	RAGT

#### 4.4 Produktionstechnische Versuche

##### 4.4.1 Wirkung verschiedener Vorfrüchte

Der zweifaktorielle Versuch (Vorfrucht x Sorte) wurde in den Jahren 2010 und 2011 in vierfacher Wiederholung mit jeweils 45 m<sup>2</sup> großen Aussaat- und 12,3 m<sup>2</sup> großen Ernteparzellen am Standort Straubing angelegt. Als Vorfrüchte standen Winterroggen, Senf und Schwarzbrache. Die gesamte Versuchsfläche war dafür im Herbst gepflügt und das Saatbett für die termingerechte Aussaat von Winterroggen und Senf hergerichtet worden. Die Variante Schwarzbrache hat als raue Furche überwintert. Die drei Varianten wurden einheitlich nach der Ernte vom Grünroggen durch ein- bis zweimaliges Kreiseln für die Sorghumaussaat Anfang Juni vorbereitet. Ausgesät wurden drei repräsentative und standfeste Sorten der Arten *S. bicolor* und *S. bicolor x S. sudanense*. Die Bestandesführung erfolgte analog zum Sortenscreening. Zielgrößen waren die Parameter TM-Ertrag und TS-Gehalt.

##### 4.4.2 Versuche zur Optimierung des Aussaatverfahrens

###### 4.4.2.1 Einfluss der Saatbettbereitung

Im Jahr 2011 wurde am Standort Straubing ein Versuch zur Saatbettbereitung von Sorghum als Zweitfrucht nach GPS-Roggen (Ernte am 26. Mai) als Langparzellenanlage mit gleitendem Standard angelegt. Bodenbearbeitung und Aussaat fanden am 7. Juni unter idealen Bedingungen statt (Abbildung 3). In BBCH 13 wurden Gardo Gold + Certrol B (2,0 + 0,75 l/ha) sowie Stickstoff in Form von KAS (90 kg/ha) appliziert. Geerntet wurde der Versuch am 7. Oktober.



Abbildung 3: Intensivste (links) und minimale Variante (rechts) der Saatbettbereitung

#### 4.4.2.2 Einfluss der Ablagetiefe

Der Parzellenversuch zur Ablagetiefe fand in den Jahren 2010 und 2011 statt. Es wurden vier repräsentative Sorten der Arten und Nutzungstypen mit 25 (*S. bicolor*) bzw. 40 Körnern/m<sup>2</sup> (*S. bicolor* x *S. sudanense*) in jeweils vierfacher Wiederholung in 2 und 8 cm Tiefe mittels Einzelkornsämaschine abgelegt. In BBCH 13 erfolgten Herbizidbehandlung und Düngung (N-Sollwert von 120 kg/ha). Geerntet wurde Anfang bis Mitte Oktober. Neben den Ertragsparametern (TM-Ertrag, TS-Gehalt) sind auch Feldaufgang und Lager erfasst worden.

#### 4.4.2.3 Einfluss der Saattechnik

Für den Vergleich Drillsaat versus Einzelkornablage wurde 2011 ein Versuch mit den Sorten Zerberus (*S. bicolor*) und Inka (*S. bicolor* x *S. sudanense*) in Doppelpartellen und 4-facher Wiederholung angelegt. Drillsaat und Einzelkornablage erfolgten am 31. Mai auf Endabstand mit 25 (Zerberus) bzw. 40 Körnern/m<sup>2</sup> (Inka). Der Bestand wurde analog zum Sortenscreening geführt. Zielgrößen waren die Ertragsparameter TM-Ertrag und TS-Gehalt.

#### 4.4.3 Mindestbedarf an Stickstoff

##### 4.4.3.1 Freilandversuch (Standort Straubing)

Zur Bestimmung des Mindestbedarfs an Stickstoff (N) wurde auf der Versuchsfläche Straubing eine Spaltanlage mit Dreifachpartellen für vier N-Düngestufen (0, 30, 60 und 90 kg/ha) und in vierfacher Wiederholung angelegt (Tabelle 5). In den Jahren 2009 und 2010 war diese Anlage auf einem Teilstück gelegen, das zwar eine geringe Stickstoffversorgung und –nachlieferung aufwies, allerdings stark mit *Cirsium arvense* (Acker-Kratzdistel), *Amaranthus retroflexus* (Ackerfuchsschwanz), *Atriplex* sp. (Melde) und *Echinochloa crus-galli* (Hühnerhirse) verunkrautet war. Für 2011 wurde eine deutlich weniger verunkrautete, dafür besser mit Nährstoffen versorgte Fläche ausgewählt. Auf die-

ser erfolgte die Aussaat von Winterroggen als Vorfrucht, der, ungedüngt und im späten Frühjahr als Grünroggen geerntet, am  $N_{\min}$ -Vorrat gezehrt hatte, so dass ein an N abgereicherter Standort zur Verfügung stand.

Die Aussaat fand Anfang bis Mitte Juni mit 25 (*S. bicolor*) bzw. 40 Körnern/m<sup>2</sup> (*S. bicolor* x *S. sudanense*) statt. In BBCH 13 wurde eine Herbizidbehandlung durchgeführt und der Stickstoff gemäß den Dünge­stufen unabhängig von  $N_{\min}$ -Gehalt verabreicht.

Tabelle 5: Versuch­parameter zur Ermittlung des Mindestbedarfs an Stickstoff

	2009	2010	2011
$N_{\min}$ -Gehalt in kg/ha	64	32	45
Sorten	Herkules PR83G66 Lussi	Maja Alföldi Lussi	Biomass 150 Freya Lussi

Prüfkriterien in diesem Versuch waren die Ertragsparameter (TM-Ertrag, TS-Gehalt), die  $N_{\min}$ -Gehalte des Bodens vor Aussaat und nach Ernte von Sorghum, der N-Versorgungsstatus von Sorghum im Verlaufe der Entwicklung und zur Ernte sowie die Bestandsentwicklung und die Erträge der Nachfrucht Winterweizen zum Abbilden der erwarteten Auszehrung der Bodennährstoffvorräte (nur 2011).

*Erfassung des N-Versorgungsstatus im Verlaufe der Entwicklung und zur Ernte:*

Im Jahr 2010 wurde die N-Versorgung der Pflanzen zum Ende des Schossens mit dem YARA N-Tester erfasst [60]. Bei diesem Tester handelt es sich um ein optisches Gerät, mit dem der N-Versorgungsstatus indirekt über den Chlorophyllgehalt im Blatt gemessen wird. Das Messprinzip ist die Schwächung von Lichtstrahlen bestimmter Wellenlängen beim Durchtritt durch das Blatt. Das Gerät gibt nach 30 Messungen/Blättern (mittig am zweitjüngsten Blatt einer Pflanze angesetzt) einen dimensionslosen Messwert aus. Je Parzelle ist ein solcher Messwert generiert worden.

Parallel wurde dazu eine Sichtbonitur nach dem folgenden Bewertungsschlüssel durchgeführt:

- 1 keine Symptome, Pflanze dunkelgrün
- 3 bis ein Drittel der unteren Blätter mit Mangelsymptomen, Pflanze insgesamt deutlich heller
- 5 bis Hälfte der Blätter mit deutlichen Mangelsymptomen, Pflanze hellgrün
- 7 über die Hälfte der Blätter mit deutlichen Mangelsymptomen, Pflanze hellgrün

Zur Ernte des Versuches Anfang bis Mitte Oktober wurde von jeder Parzelle eine Pflanzenprobe zur Bestimmung des N-Gehaltes gezogen.

#### 4.4.3.2 Gewächshausversuch

Zur Ermittlung der Wuchs- und Ertragsleistung von Sorghum bei unterschiedlicher N-Versorgung wurde in 2010 ein begleitender Gewächshausversuch durchgeführt.

Das Versuchsdesign war auf 7 N-Stufen (50, 75, 100, 125, 150, 200 und 250 kg/ha) und sechs Wiederholungen abgestellt. Die drei Sorghumsorten Alföldi, Lussi und Herkules wurden am 14. April in Einzeltopfpaletten (Nullerde) gesät und am 4. Mai zu je drei Pflanzen in 20 l-Töpfe, gefüllt mit einem nährstoffarmen Mineralbodengemisch aus zwei Teilen Grobsand und einem Teil Ackerkrume (pH 7,1;  $N_{\min}$  10 kg/ha), umgesetzt. Unmittelbar vor dem Umsetzen wurden die Hauptnährstoffe außer N und die Spurenelemente in der Höhe des durchschnittlichen Entzugs eingemischt. Für die Elemente K, P, Mg und Ca waren das umgerechnet auf die Aufwandmenge pro Hektar 280, 55, 40 und 75 kg/ha. Stickstoff wurde in den jeweiligen Stufen bis maximal 150 kg/ha in die Töpfe gegeben. Die 2. N-Gabe in den Varianten oberhalb 150 kg/ha wurde am 6. Juni verabreicht.

Ziel- und Messgrößen des Versuches waren die Ertragsparameter pro Topf (TM-Ertrag, TS-Gehalt), Stickstoffmangelsymptome nach visueller Bonitur und YARA N-Tester (10 Messpunkte pro Pflanze; bei 3 Pflanzen ergibt das einen Messwert pro Topf) sowie stickstoffrelevante Qualitätsparameter (Gesamtstickstoffgehalt in allen Düngestufen und Nitratgehalt in der höchsten).

Die Ernte erfolgte gestaffelt nach der Abreife der Sorten: Alföldi am 3. August, Lussi am 9. August und Herkules am 31. August.

#### 4.4.4 Einfluss von Saatstärke und Stickstoffversorgung

In Weiterführung der produktionstechnischen Versuche des vorangegangenen Sorghumprojektes lag der Fokus in den Versuchsjahren 2009 bis 2011 auf den Faktoren Saatstärke und Stickstoffversorgung. Dazu wurden an den Standorten Straubing und Aholting mehrere zweifaktorielle Spaltanlagen (Saatstärke x N-Düngung) jeweils gesondert für die Vorfrüchte Schwarzbrache und Winterweizen-GPS (nur 2009) sowie für die Sorghumarten- und Nutzungstypen angelegt (Tabelle 6).

Tabelle 6: Parameter der produktionstechnischen Versuche

Versuchsjahr		2009	2010	2011
Standort/Vorfrucht/ N <sub>min</sub> in kg/ha	Straubing/Schwarzbrache	154	-	89
	Straubing/Winterweizen-GPS	55	-	-
	Ahofling/Schwarzbrache	-	102	86
N-Düngung in kg/ha	0	x	x	x
	50	x	x	x
	100	x	x	x
	150	x	x	x
Sorten	Alföldi		x	
	Arbatax	x	x	
	Biomass 150		x	x
	Herkules		x	
	Inka			x
	Lussi	x	x	x
	Maja	x		
	Sucrosorgo 405	x		
	Trudan Headless	x	x	
	Zerberus			x
Saatstärke in Kö/m <sup>2</sup>	15			x
	20			x
	25	x	x	x
	35			x
	40	x	x	
	45			x
	80	x	x	

Die Größe der Aussaatparzellen betrug 13,5 m<sup>2</sup>, die der Ernteparzellen 10,8 m<sup>2</sup>. In BBCH 13 wurden die Herbizidbehandlung und die N-Düngung nach Düngestufen gemäß Tabelle 6 ungeachtet des N<sub>min</sub>-Gehaltes durchgeführt. Im Jahr 2010 wurde zum Ende des Schossens der N-Versorgungsstatus der Pflanzen mittels YARA N-Tester erfasst. Zielgrößen des Versuches waren die Ertragsparameter (TS-Gehalt, TM-Ertrag) sowie die Rohproteingehalte, die parzellenscharf im Jahr 2010 von den Sorten Herkules, Lussi und Alföldi und 2011 von allen Prüfsorten bestimmt worden sind. Von der niedrigsten Saatstärke erfolgte in beiden Jahren darüber hinaus die Analyse des Pflanzenmaterials auf Nitrat.

#### 4.4.5 Verwertung organischer Düngemittel

Zur Überprüfung der Verwertung organischer Dünger durch Sorghum wurden in den Jahren 2009 am Standort Straubing und in den Jahren 2010 und 2011 in Aholting Freilandversuche in je 4-facher Wiederholung für 4 bis 5 Sorten in folgenden Varianten angelegt:

- Gärrest früh (Mitte April), anrechenbare N-Zufuhr von 90 kg/ha (MDÄ 70 %)
- Gärrest vor Saat, anrechenbare N-Zufuhr von 90 kg/ha (MDÄ 70 %)
- Gärrest nach Auflauf (BBCH 13) anrechenbare N-Zufuhr von 90 kg/ha (MDÄ 70 %)
- Mineralische Stickstoffgabe nach Auflauf (BBCH 13) in Höhe von 90 kg/ha als KAS

Die Aussaatparzellengröße von 68 m<sup>2</sup> war an die Arbeitsbreite des Güllefasses angepasst. Die Größe der Ernteparzellen betrug 15 m<sup>2</sup>. Zur Aussaat kamen fünf repräsentative Sorten der Sorghumarten und –nutzungstypen mit einer Saatstärke von 25 Körnern/m<sup>2</sup> (*S. bicolor*) bzw. 40 Körnern/m<sup>2</sup> (*S. bicolor* x *S. sudanense*, *S. sudanense*). Die Herbizidbehandlung gegen Unkräuter erfolgte in BBCH 13. Der Versuch wurde Ende September/Anfang Oktober geerntet. Zielgrößen waren die Ertragsparameter TM-Ertrag und TS-Gehalt.

#### 4.5 Statistische Auswertung

Zur statistischen Auswertung des Datenmaterials wurde, wenn nicht ausdrücklich anders gekennzeichnet, das Programm SAS, Version 9.2, (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) verwendet. Varianzanalysen wurden unter Verwendung der Prozeduren Mixed Models und GLM ausgeführt. Für multiple Mittelwertvergleiche wurde der Tukey-Test benutzt. In allen Abbildungen und Tabellen sind signifikante Effekte ( $p < 0,05$ ) mit \* oder mit verschiedenen Buchstaben gekennzeichnet. Beziehungen zwischen zwei Variablen wurden mit Regressionsfunktionen beschrieben und der Zusammenhang mit dem Korrelationskoeffizienten nach Pearson dargestellt.



## 5 Ergebnisse und Diskussion

### 5.1 Sortenscreening am Standort Straubing

#### 5.1.1 Ertragsleistung der Genotypen

Im Jahr 2009 folgte der Aussaat von Sorghum in einen ausreichend erwärmten Boden eine Periode mit nächtlichen Tiefsttemperaturen um 5 °C, die zu einem zögerlichen Feldaufgang von durchschnittlich 60 % und einer langsamen Jugendentwicklung führte. Dennoch konnten die Sorten Green Grazer, Mithril, Latte und Bovital aus dem *S. bicolor* x *S. sudanense*-Sortiment mit dem frühreifen Mais vergleichbare Erträge bei TS-Gehalten von über 28 % realisieren (Abbildung 4). TS-Gehalte von mindestens 28 % wiesen darüber hinaus die Körnersorten von *S. bicolor* Arlys, Alföldi und Arbatax auf, allerdings lagen ihre TM-Erträge nur zwischen 100 und 150 dt/ha. Auf der anderen Seite warteten die Futtersorten von *S. bicolor*, wie Goliath, Herkules und Bulldozer, zwar mit TM-Erträgen von über 180 dt/ha auf, sie erreichten aber nur TS-Gehalte zwischen 24 und 26 %.

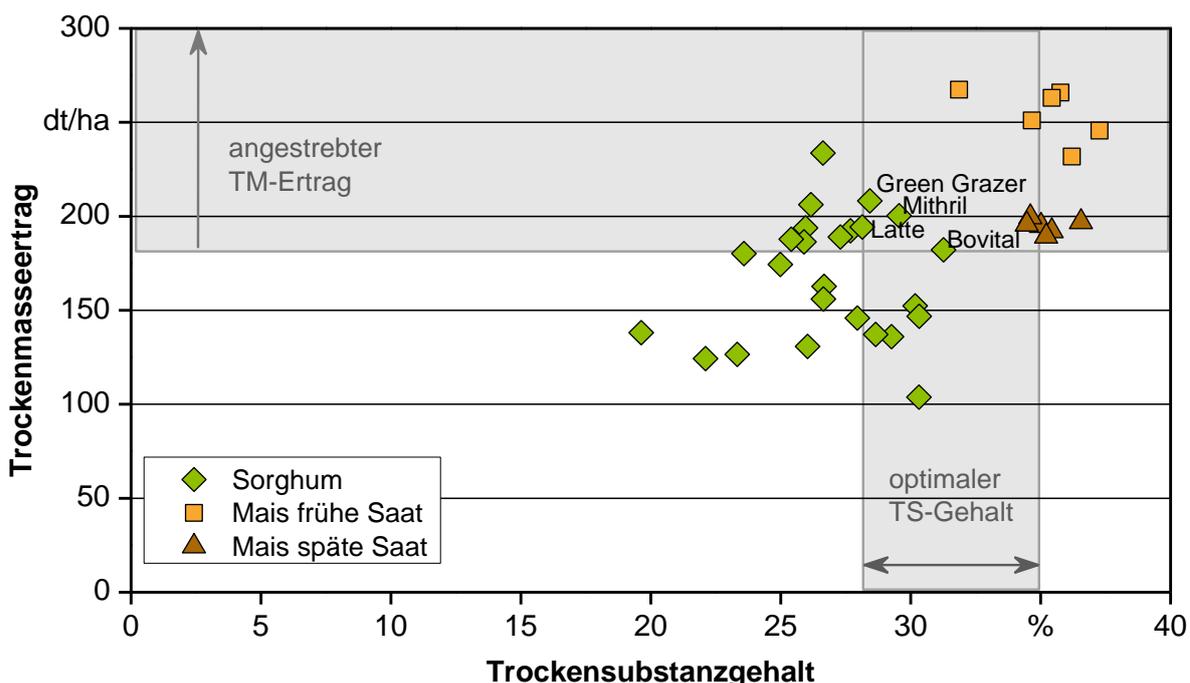


Abbildung 4: Ergebnisse des Sortenscreenings 2009 am Standort Straubing

Im Jahr 2010 war eine planmäßige frühzeitige Sorghumaussaat wegen täglicher Niederschlagsereignisse und einer insgesamt überdurchschnittlichen Regensumme im Monat Mai nicht möglich. Die schließlich am 9. Juni unter günstigen Witterungsbedingungen eingebrachte Saat lief zügig und gleichmäßig auf. Das Wachstum war allerdings in der Trockenperiode ab Ende Juni stark abgebremst und setzte erst wieder mit den Regenfällen Mitte Juli ein. Der August war entschieden zu nass. Der viele Niederschlag hatte ei-

nen massiven Wachstumsschub befördert mit der Folge, dass zu dünne und weiche Halme unter einem stetig nassen, schweren Blattapparat den Starkwindereignissen Mitte August nachgaben und die Bestände teilweise in irreversibles Lager gingen. Die Monate September und Oktober waren etwas kühler als das langjährige Mittel, vor allem aber fehlte der Sonnenschein. Das wenig wüchsige Wetter im September und hohe lagerbedingte Ernteverluste mündeten in Erträgen, die weit hinter den Erwartungen zurück geblieben sind. Allerdings hatte der Mais noch viel deutlicher als Sorghum unter der Frühlings-trockenheit gelitten, so dass die Punktswollen für Mais frühe und späte Saat sehr eng zusammen gerückt sind und sich der spät gesäte Mais im TM-Ertrag nicht wesentlich von den besten Sorghumsorten (Biomass 150, Zerberus, Freya und Lussi) unterschied. Allein die Sorte Lussi konnte auch im Merkmal TS-Gehalt mit den spät gesäten Maissorten konkurrieren (Abbildung 5). Unter den extremen Bedingungen erreichten ferner die Sorten Freya (*S. bicolor* x *S. sudanense*) und Zerberus (*S. bicolor*) annähernd die angestrebten Werte von Ertrag und Qualität. Standfeste körnerbetonte (Alföldi) und Dualsoorten (Arbatax) aus dem *S. bicolor*-Sortiment schafften immerhin TM-Erträge von ca. 150 dt/ha mit TS-Gehalten über 25 %. Die meisten massewüchsigen Sorten der drei Sorghumarten kamen wegen hoher lagerbedingter Ernteverluste ebenfalls nur auf 150 t/ha TM-Ertrag und blieben überdies auch mit ihren TS-Gehalten weit unter 25 %. Der bmr-Stamm 11 (**b**rown **m**idrib als Marker für reduzierten Ligningehalt) war lagerbedingt gar nicht zu beernten.

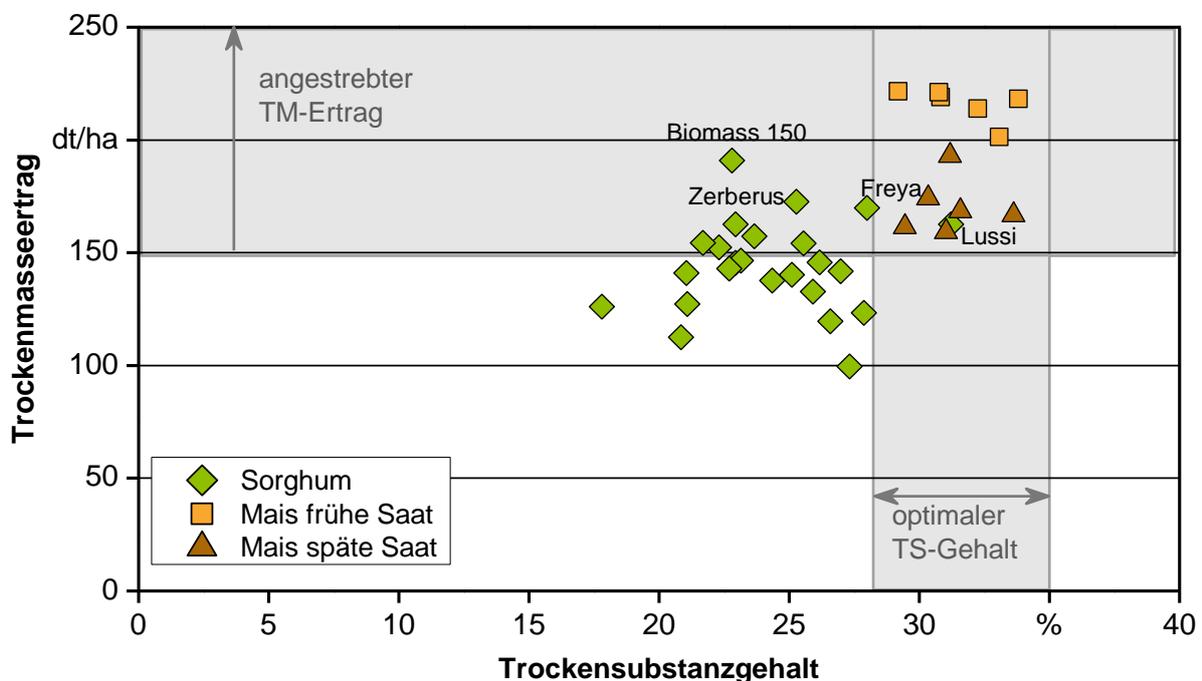


Abbildung 5: Ergebnisse des Sortenscreenings 2010 am Standort Straubing

Im Jahr 2011 erfolgte die Aussaat des Sortenscreenings planmäßig Mitte Mai bei idealen Witterungs- und Bodenverhältnissen. Die wenige Tage später einsetzenden Nieder-



Das Ergebnis der mindestens dreijährigen Prüfung kann als endgültig und das der zweijährigen als vorläufig gewertet werden. Das einjährige Prüfungsergebnis repräsentiert einen Trend.

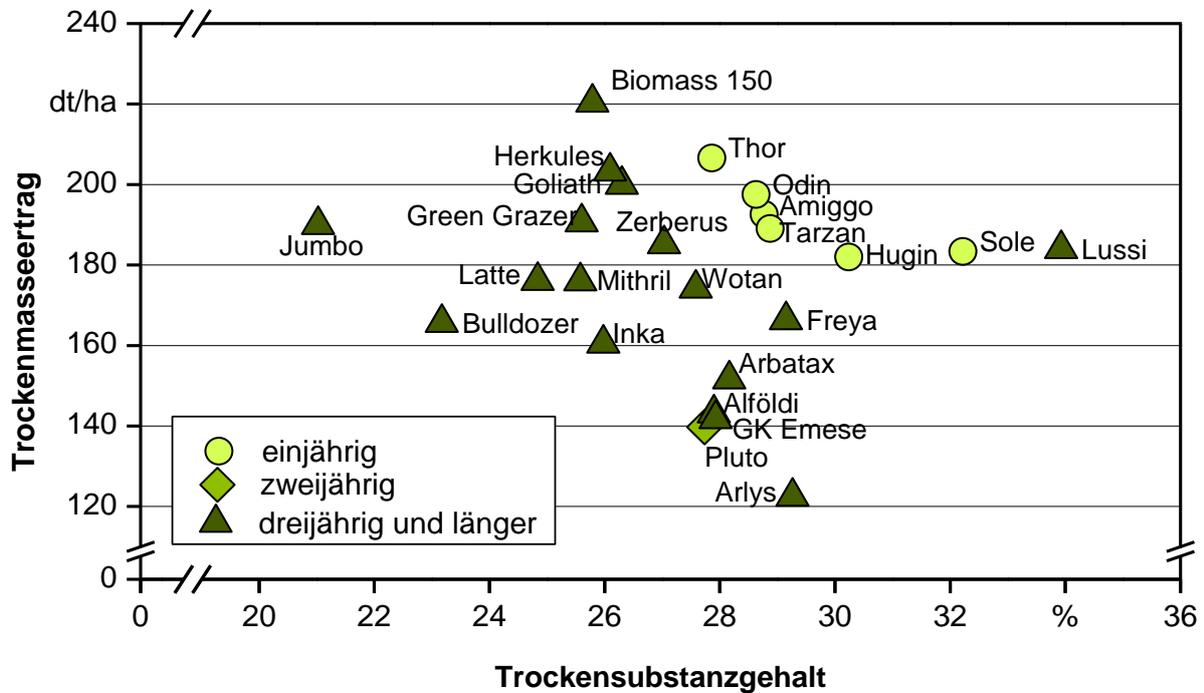


Abbildung 7: Ergebnisse des Sortenscreenings als einfache mehrjährige Mittelwerte

### 5.1.2 Ableitung eines Reifegruppenmodells aus den Ergebnissen des Sortenscreenings

Zu den wesentlichen Erkenntnissen der mittlerweile sechsjährigen Sortenversuche am TFZ gehört, dass grundsätzlich differenzierbare Reifegruppen in den drei wirtschaftlich relevanten Sorghumarten existieren, die es für eine Klassifizierung des umfangreichen Prüfmaterials zu definieren galt. In einem ersten Schritt war in Anlehnung an einen Vorschlag von der KWS [29] eine vorläufige Unterteilung in die Reifegruppen „mittelfrüh“ (Referenzsorte Maja), „mittelspät“ (Referenzsorte Inka) und „spät“ (Referenzsorte Bulldozer) vorgenommen worden. Für die derzeit früheste Sorte Lussi wurde die Reifegruppe „früh“ eingerichtet. Dieses Modell wurde in einem weiteren Schritt mit statistisch belastbaren Fakten hinterlegt. Die dafür verwendeten Sorten sind der Tabelle 7 zu entnehmen.

Das Abreifeverhalten der Sorten spiegelt sich unmittelbar in den zur Ernte erreichbaren Trockensubstanzgehalten wieder. Wie in Abbildung 8 ersichtlich, unterschieden sich die derzeit marktgängigen Sorten im mehrjährigen mittleren TS-Gehalt zum Zeitpunkt der Ernte signifikant voneinander (graue Säulen mit Fehlerindikatoren). Von den 27 ausgewählten Sorten erreichten sieben unter den konkreten Anbaubedingungen des Straubinger Gäubodens im Mittel über die Jahre 2007 bis 2010 den angestrebten TS-Gehalt von

> 28 %. Unter ihnen ragte die Sorte Lussi mit den signifikant höchsten Werten heraus. Auf durchschnittlich nur 22 % TS-Gehalt kam Bulldozer und unter diesem Wert blieben die Sorten Super Sile 20, GK Aron und Jumbo.

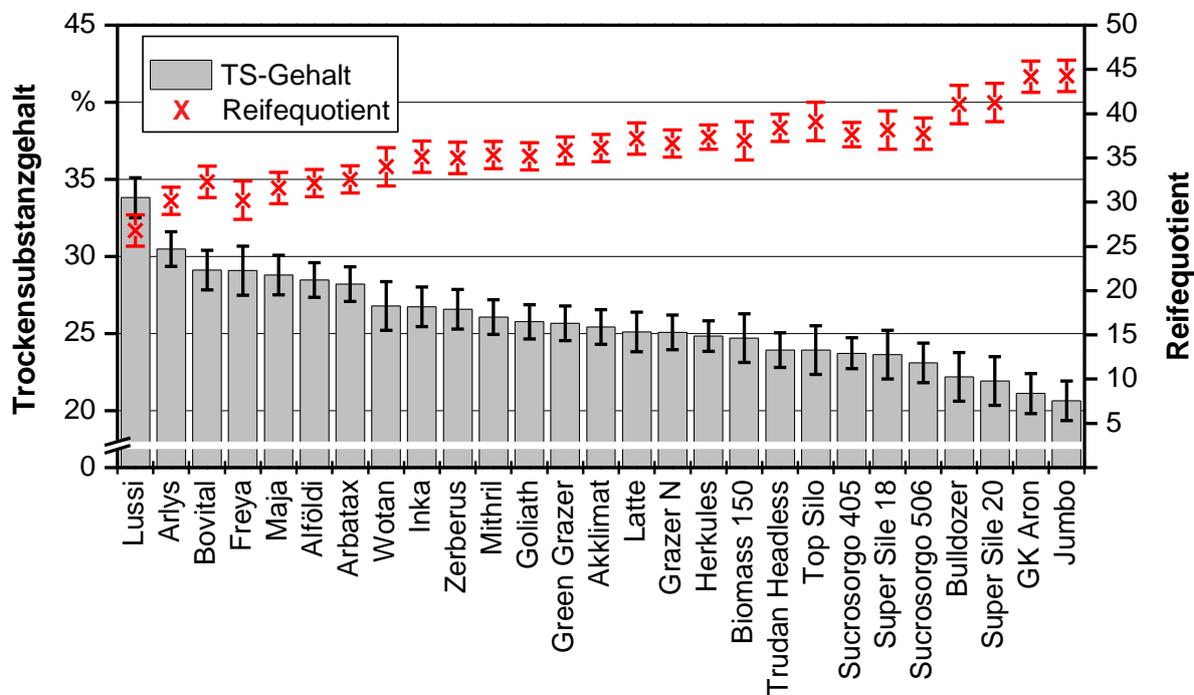


Abbildung 8: Mehrjährige Mittelwerte von Trockensubstanzgehalt und Reifequotient der Sorghumsorten, Fehlerindikatoren: 95 % Konfidenzintervalle

Aus dem Prüfsortiment wurden diejenigen Sorten als Referenzen für die vier Reifegruppen bestimmt, die sich a) gemäß Tukey-Test voneinander signifikant im mittleren TS-Gehalt unterschieden, b) einen hohen Bekanntheitsgrad haben und c) mit großer Wahrscheinlichkeit auch künftig am Markt verfügbar sein werden. Für die Reifegruppe früh blieb die Sorte Lussi als deren bislang einzige Repräsentantin stehen. In der Reifegruppe mittelfrüh wurde die vom Markt scheidende Maja aus dem vorläufigen Modell gegen Freya ersetzt. Die Sorte Herkules erfüllte alle Kriterien als Referenzsorte für die mittelspäte und die Sorte Jumbo für die späte Reifegruppe. Mit den Referenzsorten wurde ein multipler Mittelwertvergleich unter Verwendung des Dunnett-Testes gegen die Prüfsorten durchgeführt; die signifikanten Unterschiede sind in Tabelle 1 mit \* markiert. Waren Prüfsorten nicht von einer der Referenzsorten verschieden, gehörten sie der gleichen Reifegruppe an wie diese.

Die TS-Gehalte können in Abhängigkeit von der Witterung und der realisierten Vegetationszeit von Jahr zu Jahr großen Schwankungen unterliegen. Um diesen Effekt auszugleichen, wurde das Reifegruppenmodell über ein zweites Merkmal validiert. Wie bei Mais werden auch bei Sorghum Wachstum und Entwicklung in erster Linie durch die Temperatur gesteuert. Im Mais-Reifeprognosemodell nach AGPM etwa sind definierte

Temperatursummen von der Aussaat bis zum Erreichen der Siloreife für frühe, mittelfrühe und mittelspäte Sorten zugrunde gelegt, womit nach Eder et al., 2011 [14] auch für Bayern eine hohe Treffsicherheit für die Bestimmung des Erntezeitpunktes erreicht wird. Für Sorghum war die Temperatursummenberechnung zunächst an dessen Kälteempfindlichkeit anzupassen. Dazu wurde einem Vorschlag von Gerit et al. (2003) [19] folgend die Basistemperatur des AGPM-Modells von 6 auf 10 °C erhöht.

Der für zwei der Referenzsorten ermittelte Zusammenhang zwischen der Wärmesumme und dem TS-Gehalt erwies sich aufgrund der hohen Bestimmtheitsmaße als außerordentlich eng (Abbildung 9). Wegen der Linearität der Funktionen war es möglich, auf einfache Weise den „Reifequotienten“ zu kalkulieren, der dem Bedarf an Tagesgrad- bzw. Wärmeeinheiten für die Erhöhung des TS-Gehaltes um 1 % entspricht (Reifequotient = Wärmesumme/TS-Gehalt). In Abbildung 8 mit einem  $x$  dargestellt ist dieser umso höher, je niedriger die TS-Gehalte des Sorghummateriale zur Ernte liegen.

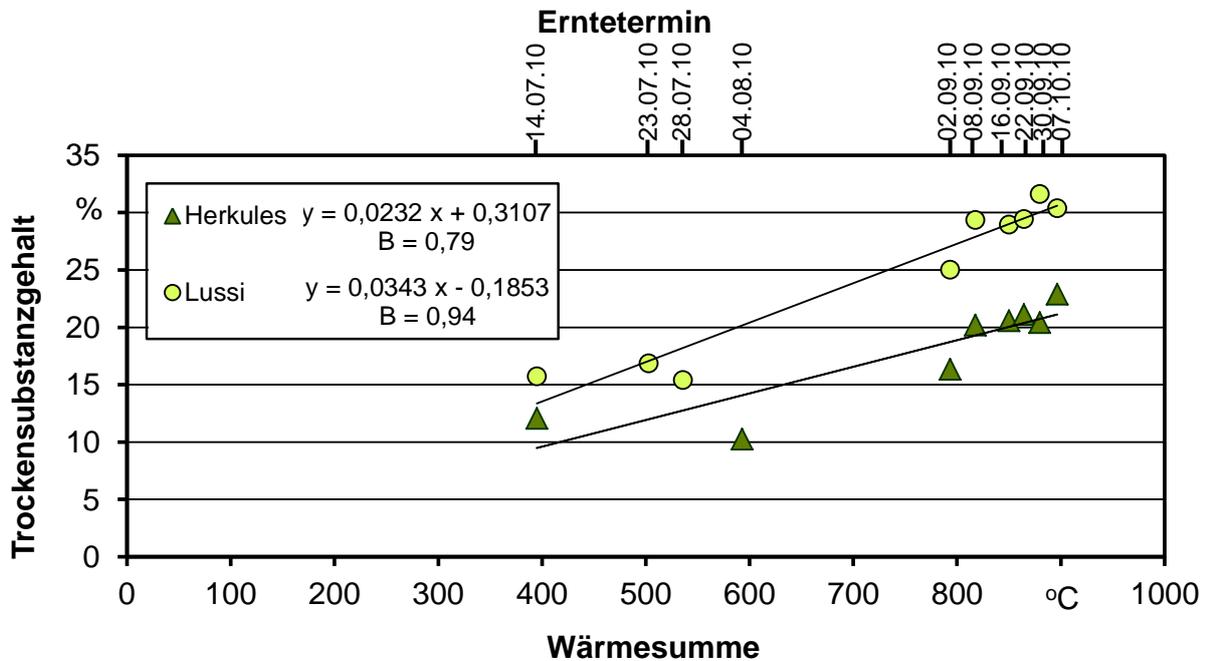


Abbildung 9: Entwicklung der Trockensubstanzgehalte der frühen und mittelspäten Referenzsorte in Abhängigkeit von der Wärmesumme im Jahr 2010

Der für den TS-Gehalt beschriebene multiple Mittelwertvergleich mit Dunnett-Test erfolgte in gleicher Weise für den Reifequotienten. Die Ergebnisse sind in Tabelle 7 dargestellt. Es zeigte sich insgesamt eine gute Übereinstimmung in der Zuordnung der Prüfsorten zu den Reifegruppen basierend auf den beiden ausgewählten Merkmalen. Beim Reifequotienten ergab sich zwischen den Gruppen früh und mittelfrüh eine Unschärfe insofern, als sich die Konfidenzintervalle zwischen Lussi und Arlys und Lussi und Freya schwach überlappten. Der große Unterschied im Merkmal TS-Gehalt von Arlys und Freya zu Lussi rechtfertigt jedoch die Alleinstellung der Sorte Lussi in der Reifegruppe

früh. In den Reifegruppen mittelspät und spät waren es vier Sorten, die eine Zwischenstellung einnahmen und zwar nach dem TS-Gehalt Super Sile 18 und Sucrosorgo 506 und nach dem Reifequotienten Bulldozer und Super Sile 20. Im Gesamtbild beider Merkmale war aber auch für diese vier Sorten eine klare Zuordnung möglich.

Bezogen auf die Basistemperatur von 10 °C kann demnach folgender Wärmebedarf (Temperatursumme) für das Erreichen der Siloreife von Sorghum (TS-Gehalt von 28 %) unterstellt werden:

- Reifegruppe früh: 750
- Reifegruppe mittelfrüh: 850 bis 900
- Reifegruppe mittelspät: 950 bis 1050
- Reifegruppe spät: 1150 bis 1240

Diese Prognosewerte galt es im Versuchsjahr 2011 zu verifizieren. In Abbildung 10 sind die TS-Verläufe der Referenzsorten (Lussi, Freya und Herkules) über der Wärmesumme, dem Datum des Probeschnitts bzw. der Anzahl der Vegetationstage aufgetragen. Hier wird die Entwicklung der TS-Gehalte in den Sorten Lussi und Freya am besten durch Polynome 2. Ordnung beschrieben. Nichtsdestotrotz liegen die ermittelten Felddaten vollkommen in dem durch das Modell erwarteten Rahmen. Die frühe und mittelfrühe Referenzsorte hatten bereits nach 100 Vegetationstagen und gut 800 Gradeinheiten die Siloreife erreicht. Die mittelspäte Sorte Herkules brauchte 17 Vegetationstage und ca. 150 Gradeinheiten mehr dafür.

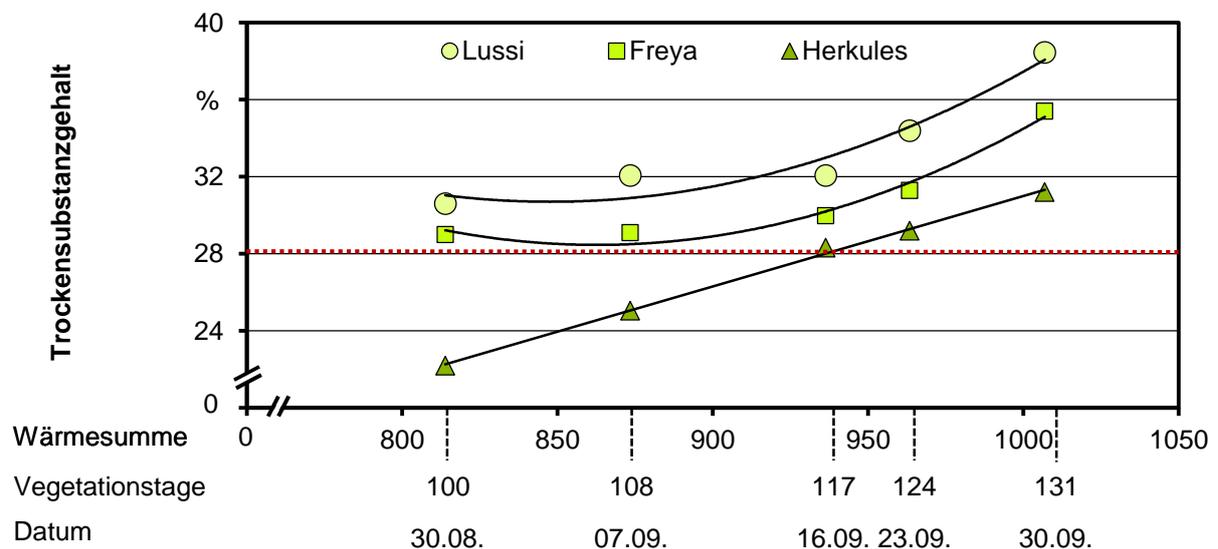


Abbildung 10: Entwicklung der Trockensubstanzgehalte der Referenzsorten in Abhängigkeit von der Wärmesumme im Jahr 2011

Tabelle 7: Im Modell berücksichtigte Sorghumsorten und ihre Merkmalsausprägung im Vergleich zu den Referenzsorten für die Reifegruppen

Sorghum		Prüfjahre				Signifikant verschieden im Merkmal <sup>1)</sup>								
Sorte	Art	2007	2008	2009	2010	TS-Gehalt				Reifequotient <sup>2)</sup>				Reifegruppe <sup>3)</sup>
						Lussi (fr.)	Freya (mfr.)	Herkules (msp.)	Jumbo (sp.)	Lussi (fr.)	Freya (mfr.)	Herkules (msp.)	Jumbo (sp.)	
Lussi	<i>S. bic. x S. sud.</i>	x	x		x		*	*	*		*	*	*	1
Arllys	<i>S. bicolor</i> (K)	x	x	x	x	*		*	*		*	*	*	2
Bovital	<i>S. bic. x S. sud.</i>	x	x	x		*		*	*	*	*	*	*	2
Freya	<i>S. bic. x S. sud.</i>			x	x	*		*	*		*	*	*	2
Maja	<i>S. bicolor</i> (F)		x	x	x	*		*	*	*	*	*	*	2
Alföldi	<i>S. bicolor</i> (K)	x	x	x	x	*		*	*	*	*	*	*	2
Arbatax	<i>S. bicolor</i> (D)	x	x	x	x	*		*	*	*	*	*	*	2
Wotan	<i>S. bicolor</i> (F)			x	x	*		*	*	*	*	*	*	3
Inka	<i>S. bic. x S. sud.</i>		x	x	x	*		*	*	*	*	*	*	3
Zerberus	<i>S. bicolor</i> (F)		x	x	x	*		*	*	*	*	*	*	3
Mithril	<i>S. bic. x S. sud.</i>	x	x	x	x	*	*	*	*	*	*	*	*	3
Goliath	<i>S. bicolor</i> (F)	x	x	x	x	*	*	*	*	*	*	*	*	3
Green Grazer	<i>S. bic. x S. sud.</i>	x	x	x	x	*	*	*	*	*	*	*	*	3
Akklimat	<i>S. sudanense</i>	x	x	x	x	*	*	*	*	*	*	*	*	3
Latte	<i>S. bic. x S. sud.</i>		x	x	x	*	*	*	*	*	*	*	*	3
Grazer N	<i>S. bic. x S. sud.</i>	x	x	x	x	*	*	*	*	*	*	*	*	3
Herkules	<i>S. bicolor</i> (F)		x	x	x	*	*	*	*	*	*	*	*	3
Biomass 150	<i>S. bicolor</i> (F)			x	x	*	*	*	*	*	*	*	*	3
Tr. Headless	<i>S. sudanense</i>	x	x	x	x	*	*	*	*	*	*	*	*	3
Top Silo	<i>S. bicolor</i> (D)	x	x			*	*	*	*	*	*	*	*	3
Sucrosorgo 405	<i>S. bicolor</i> (F)	x	x	x	x	*	*	*	*	*	*	*	*	3
Super Sile 18	<i>S. bicolor</i> (D)	x	x			*	*	*	*	*	*	*	*	3
Sucrosorgo 506	<i>S. bicolor</i> (F)	x	x			*	*	*	*	*	*	*	*	3
Bulldozer	<i>S. bicolor</i> (F)			x	x	*	*	*	*	*	*	*	*	4
Super Sile 20	<i>S. bicolor</i> (D)	x	x			*	*	*	*	*	*	*	*	4
GK Aron	<i>S. bicolor</i> (F)		x	x	x	*	*	*	*	*	*	*	*	4
Jumbo	<i>S. bic. x S. sud.</i>	x	x		x	*	*	*	*	*	*	*	*	4

- <sup>1)</sup> Der Asterisk \* steht für signifikante Unterschiede der Prüfsorten gegen die vier Referenzsorten der jeweiligen Reifegruppe gemäß Dunnett-Test.
- <sup>2)</sup> Reifequotient: RQ = Wärmesumme von Aussaat bis Ernte/TS-Gehalt zur Ernte.
- <sup>3)</sup> Die Reifegruppen sind wie folgt definiert: 1 = früh, 2 = mittelfrüh, 3 = mittelspät, 4 = spät.

Mithin ist die Bestätigung dafür erbracht worden, dass Wachstum und Entwicklung moderner Sorghumsorten weniger durch Licht als durch Temperatur gesteuert werden [19]. Eine Ausnahme davon bildet pps (photoperiode sensitive)-Material, das nur unter Kurztagsbedingungen in die generative Phase kommt [34]. Abweichungen von Prognosewerten sind wie auch bei Mais durch Unterschiede in der Wasserversorgung zu erwarten. Dabei führt Trockenstress zu einem schnellen Abreifen und länger anhaltende Regenperioden können eine Reifeverzögerung zur Folge haben [14]. Nicht nur die sehr gute Wasserversorgung während der Abreife im Jahr 2011, auch der zähe allmorgendliche Nebel zur Erntezeit bedingten vor allem in den kompakten Körnersorten höhere Wassergehalte, so dass die ursprünglich im Modell ermittelte Reifegruppenzugehörigkeit einiger Genotypen von 2011 verfehlt worden ist. In Tabelle 35 (Anhang) ist die Zuordnung des diesjährigen Screeningmaterials zu den Reifegruppen nach Abgleich mit den Referenzsorten dargestellt. Ob die darin vorgenommene Spreizung der Reifegruppen von 4 auf 8 sinnvoll ist, muss in den kommenden Jahren überprüft werden (Abbildung 11).

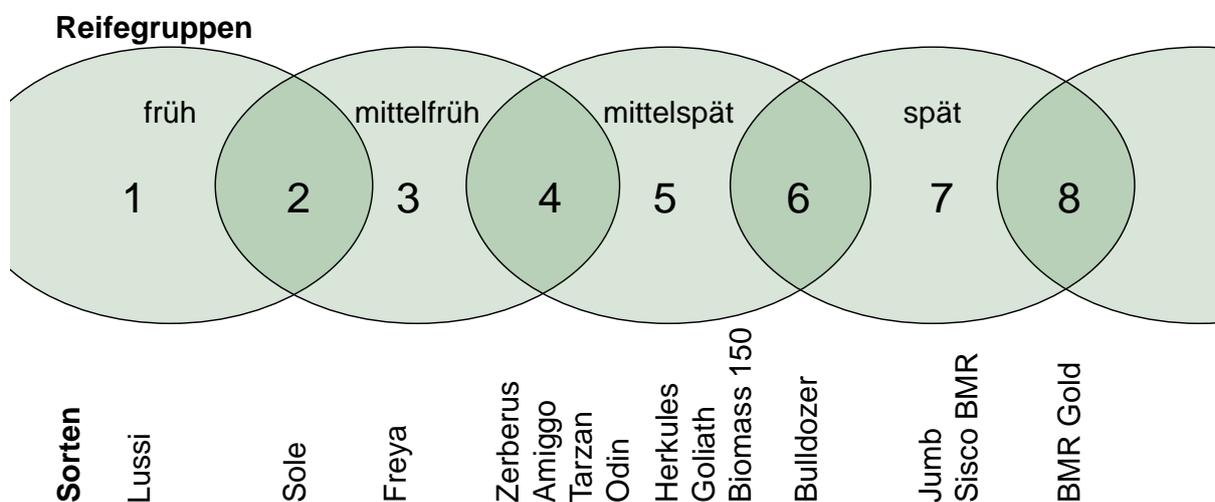


Abbildung 11: Erweitertes Reifegruppenmodell mit repräsentativen Sorten

### 5.1.3 Biotische und abiotische Schadursachen an Sorghum

An den Sorghumpflanzen am Standort Straubing wurden in den Prüffahren verschiedene Schaderreger beobachtet, die jedoch keinen wirtschaftlichen Schaden verursacht hatten.

Ausgesprochen häufig traten 2010 und 2011 Symptome auf, bei denen es sich nach Abgleich der Schadbilder mit denen in der Literatur um den durch *Ramulispora* verursachten Oval Leaf Spot handeln könnte [16]. Zunächst hatten sich kleine pergamentartige

Läsionen mit einem markanten rotbraunen Hof und einem rotbraunen punktförmigen Zentrum gebildet (Abbildung 41, Anhang), die sich schnell vergrößerten und miteinander verschmolzen. Der Befall war nicht nur an Randpflanzen sondern auch tief im Bestand sichtbar. Es scheint unterschiedlich anfällige Sorten zu geben. Ebenfalls auffällig im Jahr 2011 war das Auftreten der Bakteriellen Streifenkrankheit (Abbildung 42, Anhang). Auch hier wurden Sortenunterschiede festgestellt, wobei hohe Befallswerte insbesondere im Sortiment der Körnersorten beobachtet wurden. Der Eindruck einer negativen Korrelation zwischen dem Auftreten der Bakteriellen Streifenkrankheit und den Oval Leaf Spots konnte statistisch nicht erhärtet werden. Als Erreger der Streifenkrankheit kommt *Burkholderia andropogonis* infrage, der weltweit verbreitet und an einer ganzen Reihe von mono- und dikotylen Pflanzen pathogen ist. In zahlreichen Ländern unterliegt er Quarantäneregelungen beim Handel mit Sorghumsaatgut [16]. Zwar sind Resistenzgene in Sorghum beschrieben, doch findet wegen der geringen wirtschaftlichen Bedeutung der Krankheit derzeit keine züchterische Bearbeitung statt [16]. Die Abschlussklasse 2012 der Kommunalen Berufsfachschule für biologisch-technische Assistenten in Straubing hat *Burkholderia andropogonis* aus streifenkranken Sorghumblättern isoliert und identifiziert. Daneben wurde *Microbacterium testaceum* gefunden, das im Inneren von Pflanzen vorkommt, jedoch ohne Symptome zu verursachen [36].

Im Sortenscreening wurden 2011 erstmals Auftreten und Schwere der auffälligen Symptome von Oval Leaf Spots (OLS) und Bakterieller Streifenkrankheit (BSK) zum Zeitpunkt der Ernte bonitiert. Zur Erfassung der prozentual befallenen Blattfläche auf a) den mittleren und b) den oberen Blattetagen kam unabhängig vom Erreger der Schlüssel in Abbildung 12 zur Anwendung. Die Differenzierung der Schadbilder nach OLS und BSK erfolgte nach dem Schema in Tabelle 8.

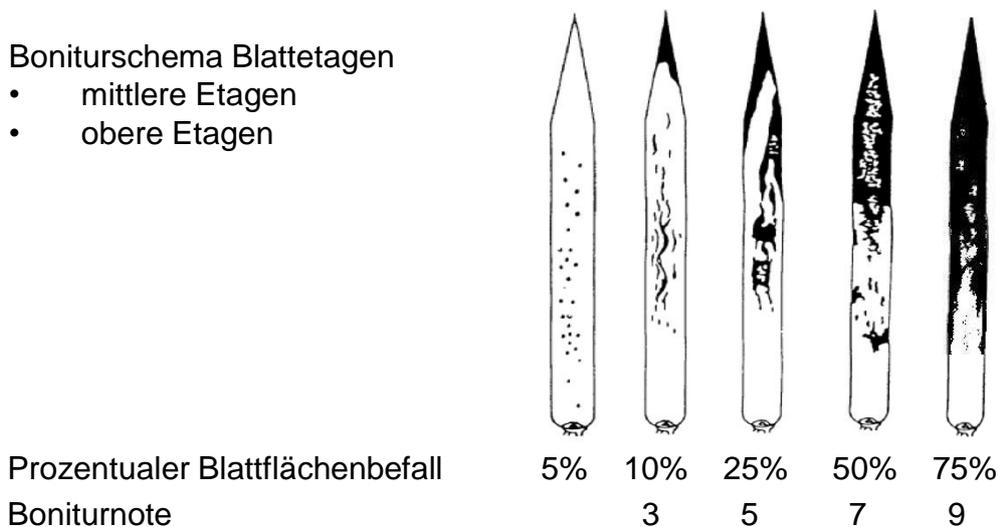


Abbildung 12: Boniturschema zur Erfassung des prozentualen Blattbefalls (stark verändert nach [7] für Blattdürre)

Tabelle 8: Boniturschlüssel für die Blattfleckenerreger an Sorghum

Code		Beschreibung
-	1	Keine Symptome sichtbar
(+)	3	Wenige spezifische Blattflecken sichtbar
+	5	Spezifischer Befall ist auffällig
++	7	Spezifischer Befall ist sehr ausgeprägt
+++	9	Spezifische Blattflecken sind dominierend

Eine klare Zuordnung zu dem pilzlichen Krankheitserreger *Exserohilum turcicum* (syn. *Helmithosporium turcicum* Pass.) konnte für die Symptome in Abbildung 43 (Anhang) vorgenommen werden. Dieser Pilz wurde gelegentlich im Jahr 2010 und nur äußerst selten im Jahr 2011 beobachtet. Nach 5-tägiger Inkubation von befallenem Blattmaterial in der feuchten Kammer hatte der Pilz üppig sporuliert und seine unverwechselbaren Konidien gebildet.

In allen Versuchsjahren trat auf allen Standorten gelegentlich eine Spitzenfäule auf, die auf *Erwinia* sp. zurückzuführen ist [16]. Der Erreger ist weltweit verbreitet und schädigt Sorghum insbesondere in Zusammenhang mit einem zu hohen Wasserangebot. Letzteres trifft auf jeden Fall auf die verregnete Saison 2010 aber auch auf den überdurchschnittlich feuchten Juli 2011 zu. Kennzeichen eines Befalls ist das Absterben der oberen Pflanzenteile, während die unteren Blätter gesund bleiben (Abbildung 44, Anhang). Die abgestorbenen oberen Stängelsegmente lassen sich leicht herausziehen und sondern einen strengen Weichfäulegeruch ab.

*Diabrotica virgifera virgifera* wurde auf keiner der Sorghumflächen beobachtet und tritt nach bisherigem Kenntnisstand in dieser Kultur auch nicht auf [20].

Aufgrund der nasskalten Witterung und der geringen Strahlungsintensität in der Blütezeit von Sorghum im Jahr 2010 waren die Pollenbildung und in ihrer Folge die Einkörnung nahezu vollständig unterbunden (Abbildung 45, Anhang). Es traten lediglich die weiblichen federigen Narben hervor, Antheren wurden nicht/selten beobachtet. Über eine durch niedrige Temperaturen induzierte männliche Sterilität wird auch in der Literatur berichtet [39].

#### 5.1.4 Bestimmung der Entwicklungsstadien von Sorghum

Wegen der fehlenden Pollenbildung im Jahr 2010 war es unmöglich, die der Blüte folgenden Entwicklungsstadien anzusprechen. Auch in 2011 gab es kurze nasskalte Perioden zwischen Mitte August und Mitte September, auf die zu dieser Zeit blühwillige und besonders empfindliche Sorten mit schwacher Einkörnung reagierten. In den meisten Sorghumparzellen fanden jedoch Blüte und anschließende Fruchtbildung und Samenreife statt. Zur Bestimmung der Entwicklungsstadien wurde der BBCH-Schlüssel für Getreie

de als am besten geeignet befunden [30] [33] [59]. Allerdings musste er in einigen Details auf Sorghum angepasst werden (Tabelle 41 im Anhang). Das betraf insbesondere die Phase der Fruchtbildung (70). In der Phase der Samenreife (80) ist das Stadium der physiologischen Reife um den Verweis auf den schwarzen Fleck unmittelbar oberhalb des Nabels (Hilum) ergänzt worden. Dieses Stadium wird in der amerikanischen Literatur als „black layer“ beschrieben [19] und wurde in unseren Versuchen an allen Pflanzen mit physiologisch reifen Körnern beobachtet (Abbildung 13).

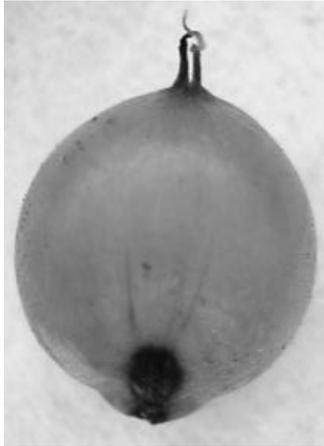


Abbildung 13: Physiologische Reife von Sorghum - „black layer“ ist voll ausgeprägt

Um dem Landwirt eine einfache Methode zur Bestimmung der Siloreife seines Bestandes an die Hand zu geben, wurde die nachgewiesene Korrelation zwischen Wärmesumme und TS-Gehalt um das erreichte Entwicklungsstadium erweitert. In Abbildung 14 sind die am Standort Straubing 2011 zu verschiedenen Terminen und in unterschiedlichen Versuchen erhobenen BBCH-Stadien von Sorghum über der Wärmesumme aufgetragen worden. Im Ergebnis wurden Kurven generiert, die zumindest zwischen den Referenzsorten für mittelfrüh, mittelspät und spät eine klare Differenzierung erlaubten. Die Kurven für die frühe und die mittelfrühe Sorte lagen dagegen eng beieinander. Das mag daran liegen, dass die BBCH-Bestimmung in den Sorghumarten unterschiedlich schwierig war. Sie gelang mühelos in *S. bicolor*, verursachte jedoch deutlich größere Umstände in *S. bicolor* x *S. sudanense*. Hier mussten zunächst die Haupttriebe für die BBCH-Ansprache ermittelt werden, was umso aufwändiger war, je mehr die Sorte dem *S. sudanense*-Elter ähnelte. Solche Sorten zeichnen sich durch die fortlaufende Ausbildung immer neuer Bestockungstriebe aus, sodass zu einem Boniturtermin Rispen mit sehr unterschiedlicher Entwicklungs- und Reifegrade anstehen. Über den Abgleich der Abbildung 14 mit Abbildung 10 lässt sich jedoch ableiten, dass für einen TS-Gehalt von 28 % mindestens das Stadium der Kornfüllung (BBCH 73/75) erreicht sein muss.

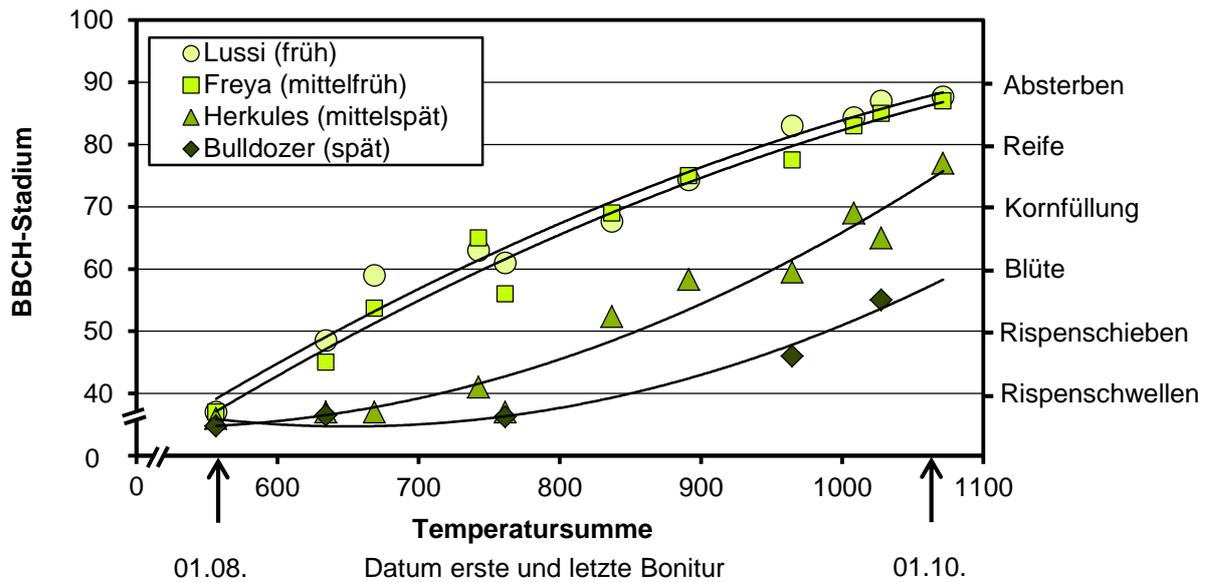


Abbildung 14: Erreichtes BBCH-Stadium in Abhängigkeit von der Temperatursumme am Standort Straubing 2011 – Vergleich der Referenzsorten der Reifegruppen

Für einen Vergleich aller Screeningsorten hinsichtlich der erreichten BBCH-Stadien untereinander wurden die an sieben Boniturtagen ermittelten Einzelwerte (T1 bis T7) zu einem Wert zusammengefasst. Dafür ist auf das Verfahren zur Berechnung der AUDPC (area under disease progress curve) zurückgegriffen worden [9]. Der so kalkulierte Kennwert könnte mit AUGPC (area under growth progress curve) tituliert werden. Die methodische Vorgehensweise ist in Abbildung 15 skizziert. Die Einzelergebnisse für die Sorten und Stämme sind in Tabelle 34 (im Anhang) dargestellt. Die Sorte mit der schnellsten Entwicklung war GK Emese mit einem AUGPC von 4.300 und zu den langsamsten gehörte die BMR Gold mit einem AUGPC von 2.485. Für die sehr frühe Sorte Lussi wurde ein AUGPC von 3.931 ermittelt. Der Korrelationskoeffizient der AUGPC zum TS-Gehalt betrug zwar lediglich 0,26. Er war aber mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 0,0011 hoch signifikant. Der unerwartet schwache Zusammenhang mag an den Witterungsbedingungen zur Ernte liegen, als langanhaltender Morgennebel zu erhöhten Feuchtigkeitsgehalten besonders in den kompakten Körnersorten aber auch in stärker geneigtem oder lagerndem Material führte.

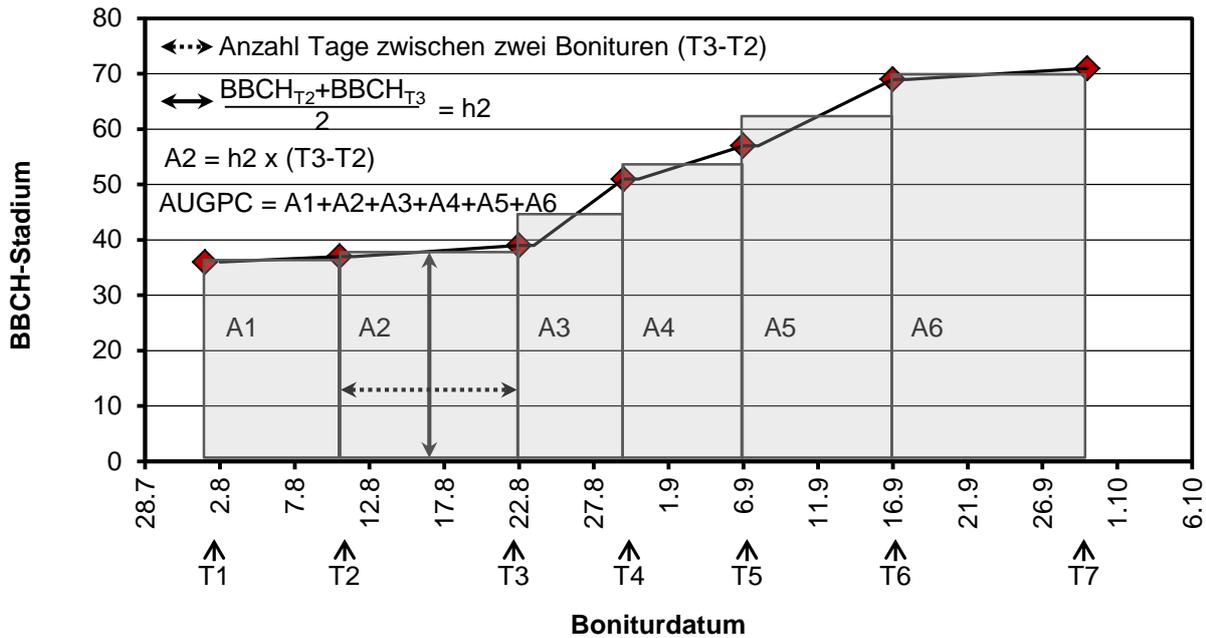


Abbildung 15: Kalkulation der AUGPC (area under growth progress curve)

## 5.1.5 Wertgebende Inhaltsstoffe und Biogaspotenzial

### 5.1.5.1 Analysen und Kalkulationen im Sortenscreening zur Ernte

Für Sorghum gibt es erst wenige belastbare Literaturangaben zu Methanausbeuten. Eine in der Praxis weit verbreitete näherungsweise Bestimmung ist über Bezugsgrößen möglich, die der Futtermittelanalytik für Wiederkäuer entlehnt sind. Diese basiert auf den prozentualen Anteilen der Stoffgruppen Rohfett (XL), Rohprotein (XP), Rohfaser (XF) und N-freie Extraktstoffe (NfE) in der organischen Trockenmasse (Weender Analytik) und ihrer in Fütterungsversuchen ermittelten Verdaulichkeit nach DLG Futterwerttabelle [12] [27] [28]. Unterstellt man die von Baserga [4] veröffentlichten Gasausbeuten für die Stoffgruppen Kohlenhydrate (790 l/kg mit 50 % CH<sub>4</sub>), Fette (1.250 l/kg OS mit 68 % CH<sub>4</sub>) und Proteine (700 l/kg OS mit 68 % CH<sub>4</sub>), können bei der Vergärung von 1 kg oTS Sorghum („Sudangras Ende Blüte“) ca. 541 NI Biogas mit einem Methangehalt von ca. 52 % erwartet werden (siehe Tabelle 10). Ein großer Schwachpunkt des Modells „Baserga“ liegt im Fehlen von differenzierten Verdaulichkeitswerten für die verschiedenen Sorghumarten und –nutzungstypen und deren Reifegrade [12]. Für das geprüfte Sorghummaterial wurden einheitlich die Verdaulichkeiten für „Sudangras, Ende Blüte“ benutzt (Tabelle 9). Eine Nivellierung etwaiger Sortenunterschiede findet ferner durch die nur rechnerische Bestimmung des NfE-Gehaltes statt. Dieser korreliert zwar streng negativ mit dem Rohfasergehalt, allerdings werden der NfE-Fraktion ähnliche Gasausbeuten [4] und Verdaulichkeiten wie der Rohfaserfraktion unterstellt. Im Vergleich mit Sorghum war die nach Baserga berechnete Methanausbeute von Mais nur um 9 bis 13 % höher (Tabelle 39 im Anhang).

Tabelle 9: Verdaulichkeiten für die Stoffgruppen nach DLG-Futterwerttabelle [12]

Pflanzenart	Erntestadium				
		XP	XL	XF	NfE
„Sudangras“ frisch	Beginn Rispenschieben	75	60	76	71
	volles Rispenschieben	62	63	66	70
	Beginn Blüte	61	38	65	63
	Ende Blüte	53	53	64	59

Tabelle 10: Wertgebende Inhaltsstoffe und deren Schwankungsbreiten bei Sorghum

Wertgebender Inhaltsstoff	Anzahl der Analysen <sup>1)</sup>	Mittelwert	Standard-	Minimum	Maximum
			abweichung		
			in % TM		
ELOS	84	47,4	6,85	30,8	59,4
Rohfaser	590	27,6	3,23	18,3	40,0
Rohfett	601	1,3	0,36	0,4	3,1
Rohprotein	601	8,4	1,41	4,5	19,8
Rohasche	601	6,6	0,90	4,1	9,8
Zucker	372	13,4	5,24	0,8	28,3
Stärke	601	2,4	5,66	0,1	34,2
NDF	471	56,7	5,02	43,3	73,0
ADF	489	33,8	4,13	21,9	48,1
ADL	461	4,9	1,38	1,8	8,9

<sup>1)</sup> Ergebnisse der Analysen aus den Jahren 2006 – 2011

Deutlich größere Unterschiede zwischen den Sorghumsorten aber auch zwischen Sorghum und Mais traten nach dem Modell Weißbach unter Verwendung des Rohfasergehaltes („Weißbach XF“) [58] zutage (Tabelle 11). Im Versuchsjahr 2011 etwa überstiegen die Maisreferenzsorten den Mittelwert von Sorghum um 27 bis 35 % (Tabelle 39 im Anhang).

Eine noch bessere Differenzierung zwischen den Sorghumsorten ließ sich nach dem Modell Weißbach unter Verwendung Gehaltes an enzymunlöslicher organischer Substanz darstellen („Weißbach EULOS“) [58], wobei sich EULOS wie folgt errechnet:

$$EULOS = 100 - ELOS$$

Während die ELOS-Werte bei Mais nur geringfügig um die 70 %-Marke variierten, zeigten die Sorghumsorten deutlich größere Schwankungen in einem Bereich zwischen 31

und knapp 60 %. Die Gehalte an ELOS und den Gerüstsubstanzen stehen in engem Zusammenhang. So ergaben sich nach Angaben in der Literatur [8] für die Rinderfütterung hoch signifikante Korrelationen zwischen der umsetzbaren Energie und ELOS- (positiv) bzw. Rohfasergehalt (negativ). Anhand der vorliegenden Daten konnte die strenge negative Beziehung zwischen dem ELOS- und dem Rohfasergehalt mit einem Korrelationskoeffizienten von -0,84 (bei  $p < 0,0001$ ) bestätigt werden. Signifikante Korrelationen von ELOS bestanden darüber hinaus mit den anderen Kohlenhydrat-/Gerüstfraktionen wie folgt: positiv mit NfE (0,46) und Zucker (0,51), negativ mit NDF(-0,9), ADF (-0,79) und ADL (-0,69) (Tabelle 40 im Anhang).

*Tabelle 11: Kalkulierte Methanausbeuten und deren Schwankungsbreiten bei Sorghum in den Versuchsjahren 2009 bis 2011*

		2009	2010	2011
Methanausbeute nach Baserga in NI/kg TM	Mittelwert	275	282	263
	Minimum	260	279	249
	Maximum	288	291	269
	Spannweite	28	12	20
Methanausbeute nach Weißbach (XF) in NI/kg TM	Mittelwert	259	256	240
	Minimum	236	239	205
	Maximum	300	275	280
	Spannweite	64	35	76
Methanausbeute nach Weißbach (EULOS) in NI/kg TM	Mittelwert	232	248	214
	Minimum	196	215	173
	Maximum	263	270	263
	Spannweite	67	54	90

Von den 2011 insgesamt geprüften 32 Futtersorten der drei Arten wiesen die sechs bmr-Sorten im Vergleich zu den nicht-bmr-Sorten deutlich reduzierte Ligningehalte auf (Tabelle 12). Auch die Gehalte der anderen Gerüstfraktionen waren in den bmr-Sorten niedriger, was deren Verdaulichkeit positiv beeinflusste. Über ähnliche Relationen wird in der Literatur berichtet [43]. Trotzdem erreichten die bmr-Sorten bei weitem nicht die hohe Verdaulichkeit von Mais. In zahlreichen Publikationen wird auf die eingeschränkte Standfestigkeit von bmr-Material hingewiesen, jedoch auch betont, dass sich das Problem züchterisch beheben ließe [34] [35] [38] [43] [56]. Von den sechs in Straubing geprüften bmr-Sorten fielen vier durch extrem frühes und schweres Lager auf, das in beträchtlichen Ertragseinbußen mündete. Nur eine Sorte war in der Lagerbonitur besser als das Sorghummittel. Insgesamt blieben die bmr-Sorten in ihrer Ertragsleistung um durchschnittlich 30 % hinter den nicht-bmr-Sorten zurück. Nach Berichten anderer Autoren sind die bmr-Sorten generell ertragsschwächer als Sorten ohne diese Eigenschaft [10].

In der Verdaulichkeit dicht am bmr-Material lagen die Körnersorten (Tabelle 13 und Tabelle 38 im Anhang). Nach Undersander et al. (1990) [56] betrug die Verdaulichkeit der Trockenmasse einer Futtersorghumsorte, in der Milchreife geerntet und siliert, zwischen 52 und 65 %. Sie nahm mit steigendem Kornanteil zu und gipfelte in 90 % für die silierten reinen Sorghumkörner. Die Abhängigkeit der Verdaulichkeit vom Kornanteil wurde auch von McCollum (2005) [34] im Vergleich mehrerer Futtersorten von unterschiedlicher Futterqualität gefunden. Hier war das Maximum der Verdaulichkeit bei etwa 35 % Kornanteil erreicht. Keine solche Relation ließ sich für bmr-Sorten nachweisen. Die Verdaulichkeit erreicht hier die Plateauphase bereits bei 2 % Kornanteil [34].

*Tabelle 12: Vergleich der Gehalte an Gerüstsubstanzen und ELOS von bmr- und nicht bmr-Futtersorten der drei Sorghumarten*

Futtersorten	n	NDF	ADF	ADL	ELOS
		in % TM			
nicht bmr	26	65,2	40,3	6,4	40,2
bmr	6	60,6	35,3	3,4	47,2
Differenz		-7,1 %	-12,4 %	-46,1 %	+17,4 %

Die Angaben in der Literatur passen genau auf die in Tabelle 13 dokumentierten Unterschiede in der Zusammensetzung der Kohlenhydratfraktionen der Sorghumarten und Nutzungstypen. Zwar ging der höhere Stärkegehalt der Körnersorten eindeutig zulasten ihres Zuckergehaltes, doch wiesen sie auch signifikant geringere Massenanteile an den schwer verdaulichen Gerüstsubstanzen auf, was sich günstig auf ihre Verdaulichkeit und die kalkulierten Methanausbeuten auswirkte. Allerdings waren letztere nicht hoch genug, um die geringeren TM-Erträge der Körner- im Vergleich zu den Futtersorten im Merkmal Methanhektarertrag kompensieren zu können (Tabelle 39 im Anhang). Das wiegt umso schwerer, wenn die Einkörnung aufgrund ungünstiger Witterungsbedingungen stark reduziert ist oder sogar ausbleibt, wie im Jahr 2010 am Standort Straubing geschehen, und der kleine Vorteil körnerbetonter Sorten in der Verdaulichkeit geschwunden ist. Wegen der großen Abhängigkeit der Einkörnung vom Witterungsverlauf in der Blütezeit ist der Anbau von Körner- und Dualsorten in den meisten bayerischen Anbaugebieten als riskant einzuschätzen.

Im Jahr 2011 sind alle Screeningsorten dem Hohenheimer Biogasertragstest unterzogen worden. Dabei wurde großer Wert auf die absolut einheitliche Behandlung des Probenmaterials gelegt (identisches Inokulum und Unterbringung aller Proben in einem Ansatz). Entsprechend niedrig war die Standardabweichung bei den Doppelbestimmungen pro Sorte, doch auch die Spannweite zwischen den Sorten fiel überraschend klein aus. So kamen die über die theoretischen Kalkulationsmodelle herausgearbeiteten Sortenunterschiede nur im Falle einer einzigen bmr-Sorte zum Tragen (Tabelle 39 im Anhang). In Tabelle 13 sind die Methanhektarerträge von vier Sorghumsorten und einer frühen

Maissorte basierend auf den Ergebnissen von 2011 als absolute Werte gegenübergestellt. Während bei Mais die Kalkulationen nach XF und EULOS sehr gute Annäherungen an den Hohenheimer Biogasertragstest (HBT) ergaben, wurde Sorghum über die theoretischen Modelle viel schlechter als nach HBT eingeschätzt.

Tabelle 13: Wertgebende Inhaltsstoffe in Abhängigkeit von der Sorghumart und dem Nutzungstyp<sup>1)</sup>

		<i>S. bicolor</i> K	<i>S. bicolor</i> D	<i>S. bicolor</i> F	<i>S. bic. x S.</i> <i>sud.</i>	<i>S. suda-</i> <i>nense</i>
N <sub>org.</sub>	% TM	1,6 a	1,5 b	1,3 c	1,3 c	1,5 b
Zucker	% TM	8,5 a	13,4 bc	15,4 b	12,5 c	10,3 c
Stärke	% TM	8,1 a	2,6 b	0,3 b	2,9 b	3,2 b
Rohfaser	% TM	24,6 a	26,3 ab	28,0 b	28,9 c	29,8 c
NDF	% TM	54,9 a	55,0 ab	56,4 ab	57,8 b	59,0 b
ADF	% TM	29,4 a	32,0 b	34,5 c	35,5 c	36,3 c
ADL	% TM	4,3 a	4,5 ab	4,8 b	5,7 c	5,4 bc
ELOS	% TM	53,9 a	51,2 ab	45,3 b	47,6 ab	49,9 ab
Methan <sub>Baserga</sub>	NI/kg TM	262,5 a	262,9 a	263,8 a	261,7 a	261,0 a
Methan <sub>XF</sub>	NI/kg TM	270,0 a	264,9 ab	258,8 b	253,3 c	249,0 c
Methan <sub>EULOS</sub>	NI/kg TM	250,4 a	242,6 a	221,4 a	229,3 a	236,9 a

<sup>1)</sup> Ergebnisse der Analysen aus den Jahren 2006 – 2011

Tabelle 14: Nach unterschiedlichen Methoden kalkulierte und gemessene Methanhektarerträge der Referenzsorten von Sorghum im Vergleich mit Mais

Sorte	Reifegruppe	Methanhektarertrag nach					
		TM-Ertrag	TS-Gehalt	Baserga	Weiß- bach (XF)	Weiß- bach (EULOS)	HBT <sup>2)</sup>
		dt/ha	%	Nm <sup>3</sup> /ha	Nm <sup>3</sup> /ha	Nm <sup>3</sup> /ha	Nm <sup>3</sup> /ha
Lussi	früh	179	34	4.740	4.375	4.101	5.314
Freya	mittelfrüh	177	29	4.671	4.329	3.632	5.013
Biomass 150	mittelspät	237	28	6.322	5.236	4.863	6.913
Jumbo	spät	203	22	5.327	4.897	4.493	5.655
Mais Salgado	früh (S200)	250	42	7.440	8.083	8.237	8.633

<sup>2)</sup> Analyse der Methanausbeute (NI/kg TM) über Hohenheimer Biogasertragstest

### 5.1.5.2 Analysen und Kalkulationen im Schnittzeitversuch

Von den Sorten im Schnittzeitversuch des Jahres 2010 wurden beginnend Anfang September wöchentlich die TS-Gehalte bestimmt und außerdem das Material in 14-tägigem Rhythmus einer vollständigen Inhaltsstoffanalyse unterzogen. Wegen der nachweislich engen Beziehungen zwischen der kalkulierten Methanausbeute und den Kohlenhydratfraktionen, insbesondere dem Rohfasergehalt, erhielt der Parameter XF besondere Aufmerksamkeit (Abbildung 16).

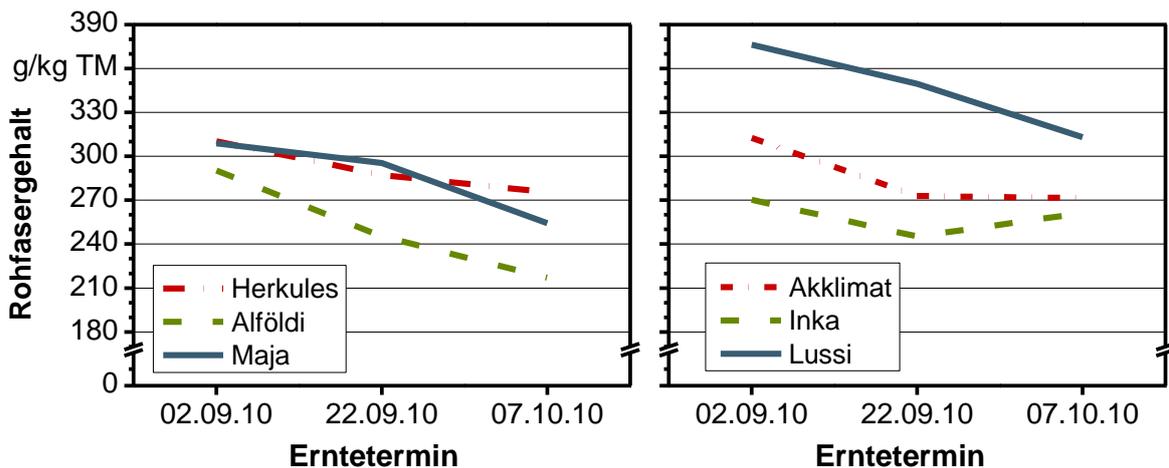


Abbildung 16: Rohfasergehalte von repräsentativen Sorghumsorten in Abhängigkeit vom Erntetermin (Versuchsjahr 2010)

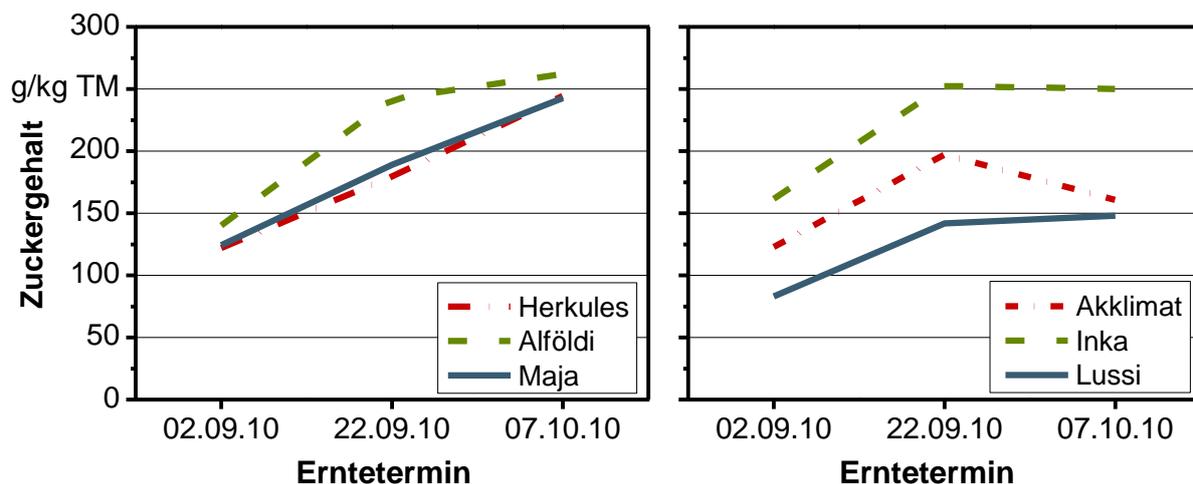


Abbildung 17: Zuckergehalte von repräsentativen Sorghumsorten in Abhängigkeit vom Erntetermin (Versuchsjahr 2010)

Die niedrigsten XF-Gehalte wies die Körnersorte Alföldi auf, deutlich höhere Werte hatten die Sorten Herkules, Maja, Inka und Akklimat und mit Abstand am höchsten lagen sie

bei der Sorte Lussi. Beachtenswert ist die Abnahme der Gehalte über den Beprobungszeitraum, die besonders markant bei der Körnersorte Alföldi ausfiel. Den spiegelbildlichen Verlauf dazu nahmen die Kurven der kalkulierten Methanausbeuten nach dem Modell „Weißbach XF“ (Abbildung 18).

Mit der Reduktion der XF-Gehalte einher ging bei den Sorten von *S. bicolor* eine Erhöhung der Zuckergehalte (Abbildung 17), die selbst bei Alföldi wegen der unterbliebenen Körnerbildung im Jahr 2010 bis zur Ernte unvermindert anhielt. Reziprok zu den höchsten XF-Gehalten in der Sorte Lussi waren ihre Gehalte an Zucker am niedrigsten.

Die Kurven für die Methanausbeute nach „Weißbach EULOS“ lagen bei allen Sorten unter denen nach „Weißbach XF“, nahmen aber einen relativ ähnlichen Verlauf (Abbildung 18). Allerdings war der Abstand zwischen XF und EULOS bei Akklimat am größten und gab es bei Lussi zum Ende der Beprobung ein Auseinanderdriften; während die XF-Kurve weiterhin leicht stieg, war die EULOS-Kurve nach einem Kulminationspunkt nach unten gerichtet. Für die Kalkulation nach Baserga kamen die in Tabelle 9 gelisteten Verdaulichkeiten für „Sudangras“ zu Anwendung. Leider decken die darin verfügbaren Werte nur einen kleinen Entwicklungsabschnitt von Sorghum ab. So gibt es keine für die Schosspphase und für die der Blüte nachfolgenden Stadien. Obwohl sich die Sorten (außer Lussi) am ersten Probenahmetermin (2.9.) noch in der Schoßphase befanden, musste für sie der Wert für „Beginn Rispenschieben“ verwendet werden. An den nachfolgenden zwei Terminen stellte das Stadium „Beginn Blüte“ aufgrund der ausgebliebenen Antherenbildung die beste Annäherung für alle Sorten dar. Bei der Sorte Lussi fiel der erste Termin bereits mit dem Beginn der Blüte zusammen. Auch wenn das Baserga-Modell dadurch extrem eingeschränkt war, so ist doch klar, dass die Methanausbeute nach „Beginn Rispenschieben“ aufgrund der sinkenden Verdaulichkeiten absinken muss, was durch die Modelle von Weißbach (XF und EULOS) keineswegs so unterstützt wird. Hier stiegen die Werte bis zur Blüte noch an (Abbildung 18).

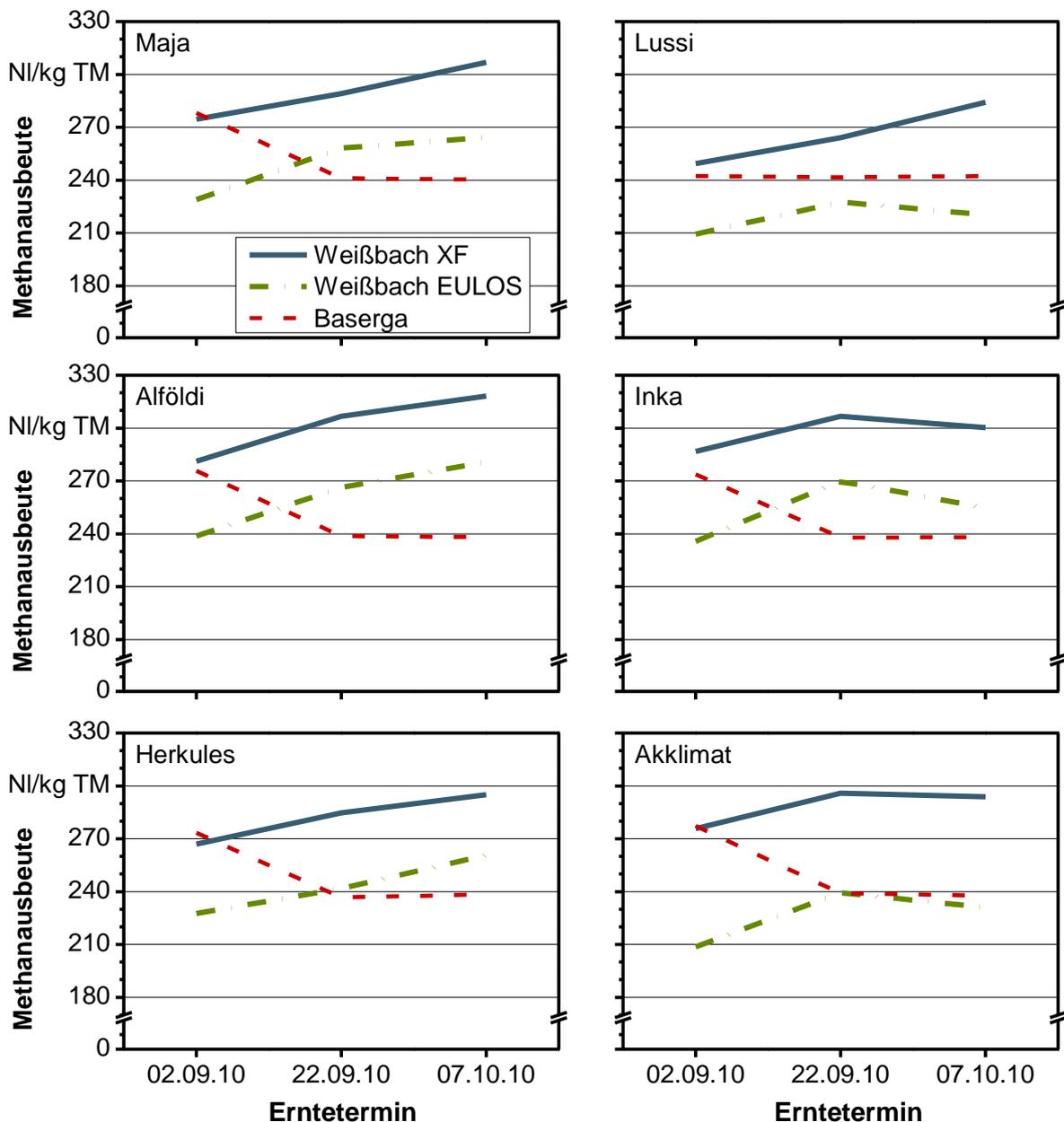


Abbildung 18: Kalkulierte Methanausbeuten von repräsentativen Sorghumsorten in Abhängigkeit vom Erntetermin (Versuchsjahr 2010)

In 2011 fand aufgrund günstigerer Witterungsbedingungen bei den meisten Sorten eine Bestäubung statt, so dass auch Informationen über die inhaltstofflichen Veränderungen in den Stadien Fruchtbildung und Samenreife gesammelt werden konnten. Es ließ sich zeigen, dass die Zuckergehalte bei Freya und Herkules bis BBCH 75 (Mitte Milchreife) stiegen (vergleiche Abbildung 20 und Abbildung 21), während die XF-Gehalte sanken (Abbildung 19). Ab der späten Milchreife fiel bei dem ausgesprochenen „Einzelrispentyp“ Herkules der Zuckergehalt wieder ab und zwar zugunsten eines kontinuierlich steigenden Stärkegehaltes. Bei den Bestockungstypsorten Lussi und Freya wurden immer wie-

der Seitentriebe gebildet, die bis zum Ende der Prüfperiode das Verhältnis Zucker/Stärke/XF stetig veränderten.

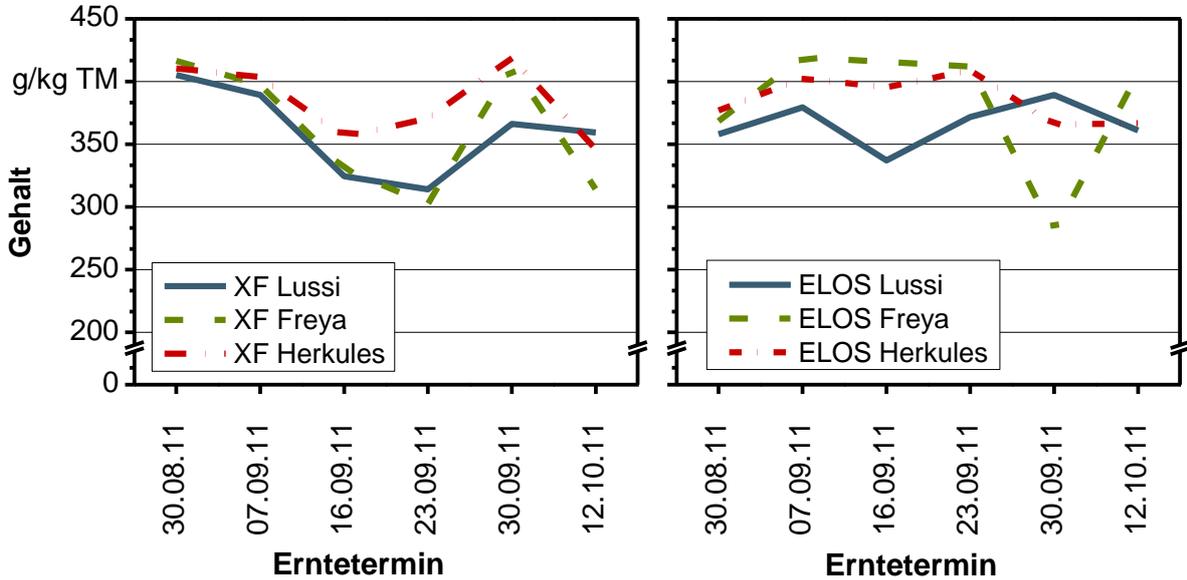


Abbildung 19: Rohfaser- und ELOS-Gehalte von repräsentativen Sorghumsorten in Abhängigkeit vom Erntetermin (Versuchsjahr 2011)

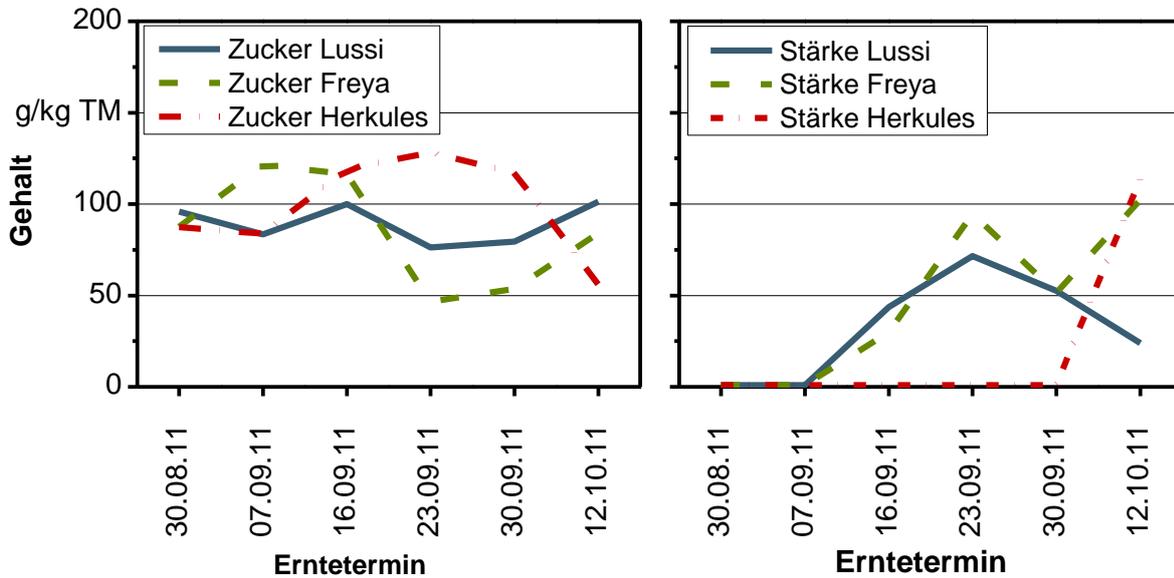


Abbildung 20: Zucker- und Stärkegehalte von repräsentativen Sorghumsorten in Abhängigkeit vom Erntetermin (Versuchsjahr 2011)

Für den auffälligen Peak in der Freya-XF-Kurve zum vorletzten Termin gibt es vorerst keine Erklärung. Da in perfekter Übereinstimmung dazu der ELOS-Wert absinkt, kann es sich nicht um einen Analysefehler handeln, weil zwei verschiedene methodische Ansätze zugrunde lagen. Möglicherweise sind die großen qualitativen Veränderungen zum Ende der Prüfperiode auch dadurch bedingt, dass zu den Terminen 1 bis 5 händisch Einzelpflanzen und überwiegend die Haupttriebe davon entnommen worden sind, während die Probenahme zum 6. Termin aus dem gehäckselten Aufwuchs der gesamten Parzelle erfolgte.

Die Darstellung der kalkulierten Methanausbeuten für das Versuchsjahr 2011 ließ, verglichen mit dem Vorjahr, sehr viel weniger ein Muster erkennen (Abbildung 21). Am ehesten widerspiegelten sie das Auf und Ab im Gehalt der besser und schlechter verdaulichen Kohlenhydratkomponenten, das durch das Abreifeverhalten der Sorten zustande kam. Nur bei Herkules peakte die Weißbach-EULOS-Kurve recht eindeutig, was bei einem gleichmäßig abreifenden Einzelrispentyp auch so erwartet werden kann. Kein eindeutiger Trend war dagegen bei den beiden Bestockungssorten zu sehen, bei denen das Verholzen der Haupttriebe durch den Aufwuchs frischer Seitentriebe überlagert zu werden schien. Mit Blick auf Herkules lässt sich vermuten, dass die Verholzung, dargestellt als Abfall der Weißbach-EULOS-Kurve, mit BBCH 70 (Beginn der Fruchtbildung) einsetzte. Mit Hilfe von Trendlinien für polynomische Funktionen (gepunktete Linien) konnte zumindest für die XF-Kurven eine Korrelation mit der Reifegruppenzugehörigkeit der Sorten angedeutet werden. Der Höhepunkt der Methanausbeute fiel danach auf den Beginn der Samenreife (BBCH 81/83), die bei den Sorten zu jeweils unterschiedlichen Terminen erreicht worden ist. Nach dem Modell Baserga suggerieren auch die Daten im Jahr 2011 abnehmende Methanausbeuten bereits mit Einsetzen der Blüte.

Zusammenfassend stehen drei Modelle, nach denen der Höhepunkt der Methanausbeute zu unterschiedlichen Entwicklungsstadien erwartet werden kann: nach Baserga mit Beginn Blüte (BBCH 60), nach Weißbach EULOS mit Beginn Fruchtbildung (BBCH 70) und nach Weißbach XF mit Beginn Samenreife (BBCH 80). Wegen der fehlenden/ungenügenden Korrelation jedes Modells mit den Ergebnissen des Hohenheimer Biogaswerttestes, kann derzeit noch keines der drei ausreichend begründet favorisiert werden (Abschnitt 5.1.5.1). Nach beiden Weißbachmodellen jedoch fallen die Entwicklungsstadien mit den höchsten Methanausbeuten recht gut mit denen für einen ausreichend hohen TS-Gehalt zusammen, so dass kein Kompromiss für die Bestimmung des optimalen Erntezeitpunktes gefunden werden müsste.

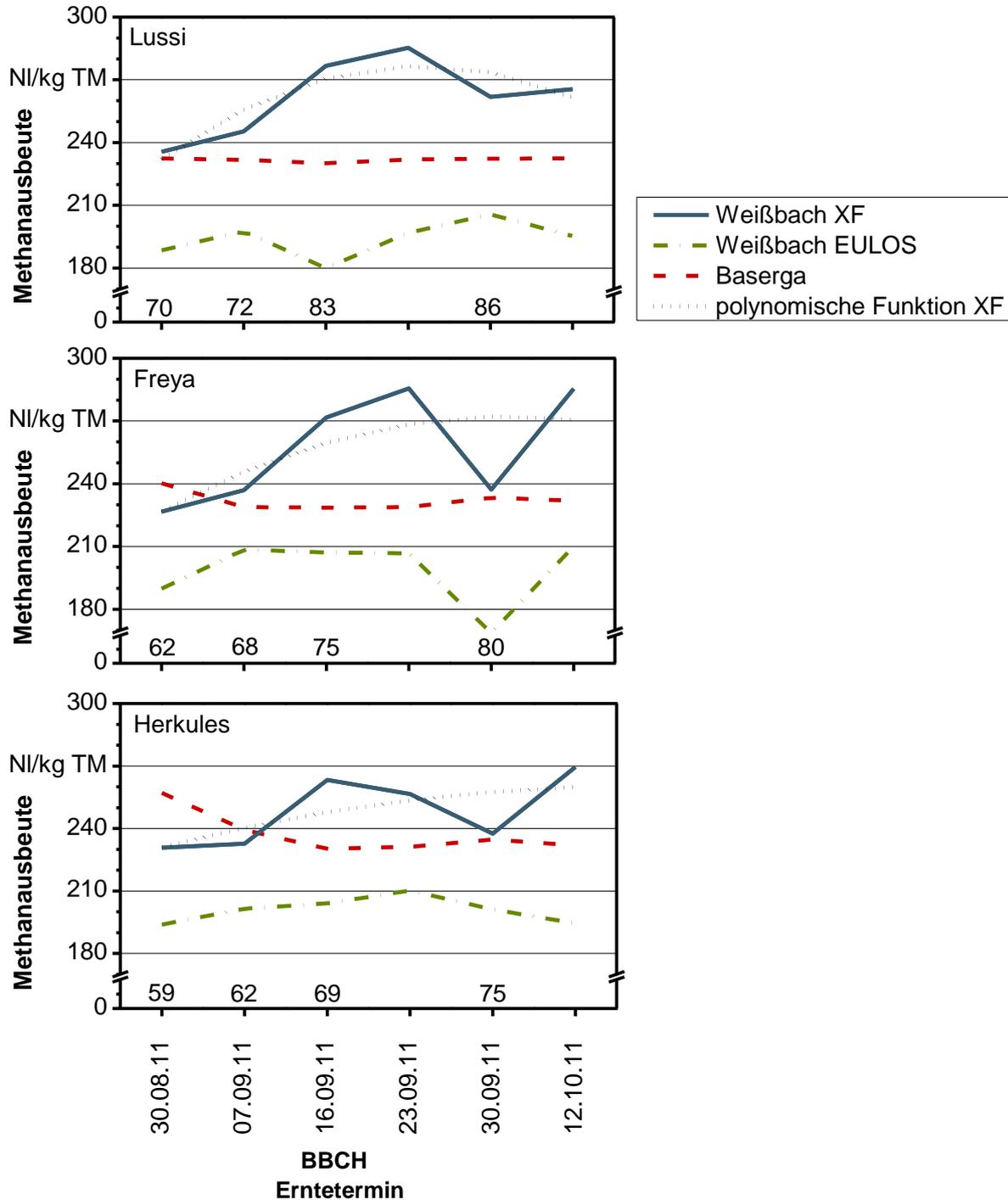


Abbildung 21: Kalkulierte Methanausbeuten von repräsentativen Sorghumsorten in Abhängigkeit vom Erntetermin (Versuchsjahr 2011)

### 5.1.6 Blausäureakkumulation im Vegetationsverlauf

Sorghum gehört zu den Futterpflanzen, die während Phasen massiver Wachstumsschübe (Jugendentwicklung und/oder Wiederaustrieb nach abiotischen Stressbedingungen wie Trockenheit) für Wiederkäuer toxische Blausäuregehalte akkumulieren. Diese spielen bei einem Einsatz als Biogassubstrat zwar keine Rolle, dennoch ist eine Futternutzung von Sorghum in anderen Ländern absolut gebräuchlich und auch in Deutschland

nicht per se ausgeschlossen. Deshalb wurde in das aktuelle Projekt die Thematik der Blausäuregefährdung durch Sorghum als Raufutter aufgenommen.

Sorghum wird als Milchviehfutter insbesondere in den USA und in Australien eingesetzt. Hinweise zur Vermeidung von Blausäurevergiftungen ließen sich ausschließlich in Merkblättern agrarwissenschaftlicher Einrichtungen für die Landwirte dieser Regionen finden. Darin wird eine weite Spanne an unkritischen Blausäuregehalten von 200 [3] über 250 [42] [54] bis hin zu 500 ppm [15] in der Trockensubstanz angegeben. Einig ist man sich in der Empfehlung, Sorghum stets erst nach einer gewissen Grundsättigung, also nicht an ausgehungertes Vieh, zu verabreichen [44] [54] [26]. In Deutschland werden Blausäuregrenzwerte für in Verkehr gebrachte Futtermittel nach der Futtermittelverordnung (FuttMV 1981) definiert. In Anlage 5 der FuttMV [18] ist die maximale Konzentration für Einzel- und Alleinfuttermittel auf 50 ppm (bezogen auf TM mit 88 % TS-Gehalt) begrenzt. Dieser Grenzwert ist auf jeden Fall bei einem Verkauf von Sorghumsilage bindend (Herr Dr. Herbert Schuster, LfL, mündliche Mitteilung).

Überhöhte Blausäurekonzentrationen können im Verlaufe der Entwicklung von Sorghum immer wieder auftreten [52]. Eine akute Gefährdung geht dabei stets von sehr jungen Beständen aus. Häufig wird eine Mindestpflanzenlänge angegeben, unterhalb derer die Verfütterung an Wiederkäuer unterlassen werden sollte. Als Faustzahlen werden beispielsweise 50 cm [44], 45 bis 60 cm [26] bzw. 60 bis 90 cm [52] genannt. Nach Rhykerd und Johnson [48] sind die höchsten Gehalte in Blättern, deutlich niedrigere in Halmen und gar keine in den Körnern von Sorghum nachzuweisen. Die Gefahr einer Vergiftung ist wegen des hohen Blattanteils demzufolge durch Pflanzen in der Schossphase und/oder bei verstärkter Seitentriebbildung am höchsten und sinkt allmählich mit Eintritt in die generative Phase. Unabhängig von Wuchshöhe oder Entwicklungsstadium wird vor jedweder Darreichungsform (Frischfutter, Weide, Heu) von gestressten Pflanzenbeständen gewarnt. Dabei ist weniger der Trockenstress selbst das auslösende Moment als vielmehr der frische Aufwuchs nach wiedereinsetzendem Regen [26]. Blausäure liegt in der intakten Pflanze glycosidisch gebunden als Dhurrin vor, das seinerseits völlig harmlos ist [15] [54] [57]. Erst durch einen enzymatischen Abbau des Dhurrins wird die toxische Blausäure freigesetzt. So sind sowohl die Glycosidanreicherung (z. B. in jungem, schnell wachsendem Gewebe [57]) als auch die Aufhebung der räumlichen Trennung von Dhurrin (in der Epidermis) und Enzym (im Mesophyll) durch Zerstörung von Gewebe (Herbizide, Schnitt, Tritt, Fraß, Frost [15] [54]) für hohe Blausäurekonzentrationen verantwortlich. Für den Abbau überhöhter Werte benennen Jennings und Gadberry [26] eine Wartezeit von mindestens 4 Tagen nach einem Regen und von mindestens 7 Tagen nach einem Frostereignis.

Die Probenahmen im Jahr 2010 setzten in sehr jungen Beständen mit ca. 40 und 75 cm Wuchshöhe ein. Blausäurekonzentrationen weit oberhalb der gesetzlichen (nach FuttMV) bzw. empfohlenen (amerikanische Literatur) Grenzwerte waren also nicht verwunderlich (Abbildung 22). Obwohl mit 120 cm den kritischen Pflanzenhöhen entwachsen, enthielten alle Sorghumsorten zum dritten Termin immer noch zu viel Blausäure. Selbst zur Ernte lag die Konzentration bei zwei von sechs Sorten oberhalb des amerikanischen Richtwertes für risikoarmes Futter. Als Grund für die stets überhöhten Werte

werden fehlende Blüte und Einkörnigkeit von Sorghum bei fortlaufenden Schüben vegetativen Wachstums unter den sehr regnerischen Bedingungen in der gesamten Saison 2010 angenommen. Neben den generellen ließen sich auch sortenspezifische Aussagen ableiten. So wies die Körnersorte Alföldi stets die höchsten Blausäurekonzentrationen auf mit besonders markanten Werten zum Zeitpunkt der ersten Probenahme. Diese Beobachtung deckt sich mit Angaben aus der amerikanischen Literatur. Während Robson [44] alle Sorghumarten als gleichermaßen gefährdend einstuft, gibt es nach Fjell et. al [15] erhebliche Differenzen zwischen den Arten. Sie definieren das Akkumulationspotenzial bei den Körnersorten von *S. bicolor* als hoch bis sehr hoch, bei *S. sudanense* x *S. bicolor* und den Futtersorten von *S. bicolor* als mittel bis hoch und bei den echten Sudangräsern (*S. sudanense*) als gering bis mittel. Nach Rhykerd und Johnson [48] liegt die Blausäurekonzentration bei den Sudangräsern um 40 % niedriger als bei allen anderen Sorghumarten und -sorten. Nach unseren Daten unterschieden sich die Futtersorten von *S. bicolor* und *S. bicolor* x *S. sudanense* nicht wesentlich und gab es keine nennenswerten Differenzen zu *S. sudanense* (Akklimat).

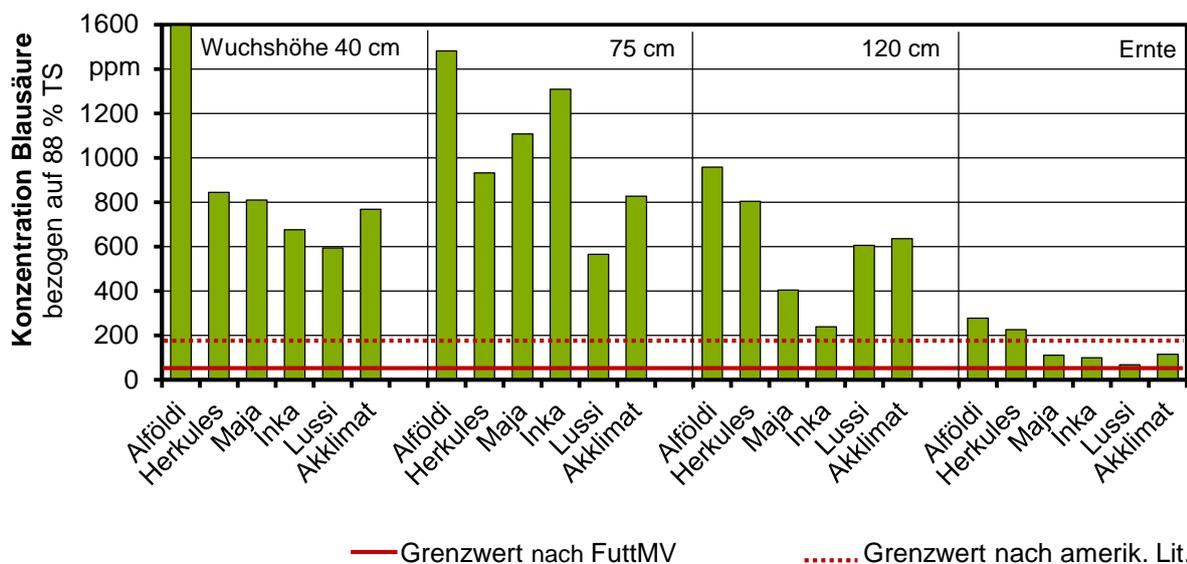


Abbildung 22: Konzentration an Blausäure in Abhängigkeit vom Probenahmezeitpunkt und der Sorte im Jahr 2010

Auch 2011 wurde die erste Beprobung in sehr jungen, ca. 40 cm hohen Beständen durchgeführt. Trockenheit blieb nach der Aussaat von Sorghum aus und nach der kurzen Kühleperiode Ende Juni waren die Bedingungen so wüchsig, dass etliche Sorten zum zweiten Probenahmetermin die Ziellänge von 75 cm bereits überschritten und 120 cm erreicht hatten. Darum wurde die dritte Probenahme auf das Stadium „Rispenziehen“ verlegt.

Hohe Gehalte zum ersten Termin wiesen alle *S. bicolor*-Sorten, sowie die Sorte Freya (*S. bicolor* x *S. sudanense*, mit Ähnlichkeit zum *S. bicolor*-Elter) auf. Auffällig niedrig aber

immer noch über dem amerikanischen Richtwert waren die Gehalte in der Sorte Lussi (*S. bicolor* x *S. sudanense*, mit Ähnlichkeit zum *S. sudanense*-Elter). Eine mutmaßlich gefährdetere Körnersorte war 2011 nicht dabei. Die Gehalte sanken im Verlaufe der Entwicklung kontinuierlich ab und lagen ab dem Rispenschieben unter dem amerikanischen Richtwert von 200 ppm in der TM. Der Grenzwert nach FuttMV von nur 50 ppm stellte sich dagegen als selten erreichte Hürde heraus (Abbildung 23).

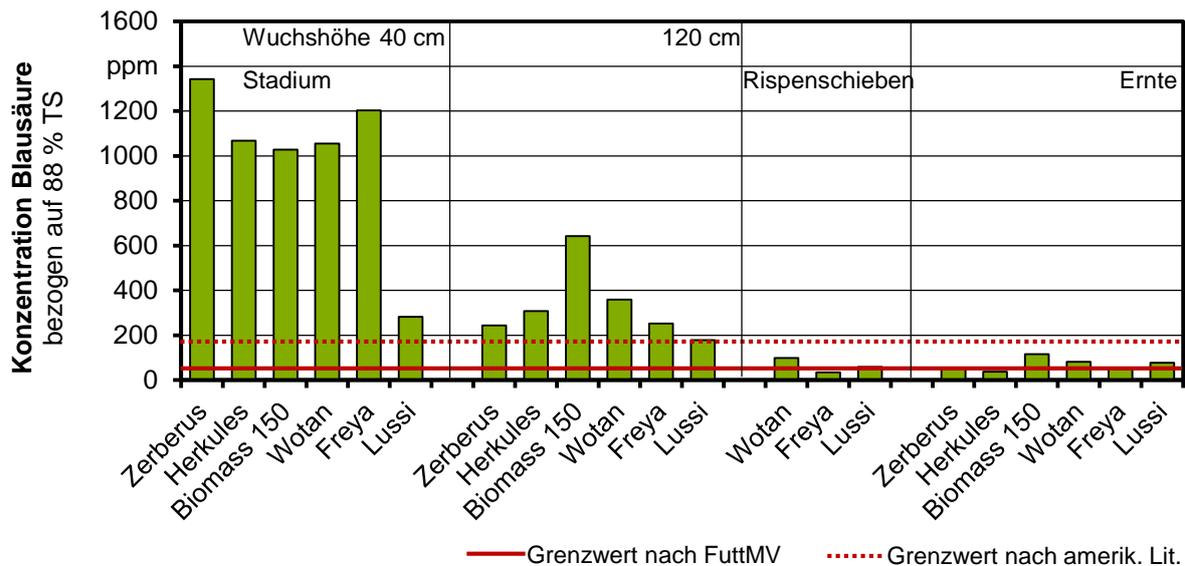


Abbildung 23: Konzentration an Blausäure in Abhängigkeit vom Probenahmezeitpunkt und der Sorte im Jahr 2011

Nach Robson (2007) [44] wird Blausäure in einem ordnungsgemäßen Silostapel innerhalb von drei Wochen bis zur Hälfte ihres Ausgangswertes abgebaut. Ganz ähnliche Abbauraten von Blausäure in Sorghum wurden von der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft nach einer 5-monatigen Silolagerung unter Praxisbedingungen ermittelt. In unseren eigenen Versuchen zum Einfluss der Silierung auf den Blausäuregehalt im Jahr 2011 wurde auf sehr junges, hoch belastetes Sorghummaterial des ersten Schnittermins zurückgegriffen. Auch in unseren Minisilos konnte eine Reduzierung der sehr hohen Ausgangskonzentrationen um mehr als 50 % erreicht werden. In Material mit einer vergleichsweise geringen Konzentration, wie das der Sorten Herkules und Zerberus zum zweiten Termin, wurde keine Reduktion beobachtet (Abbildung 24). Verschiedene Autoren gehen davon aus, dass ein großer Anteil von Blausäureanteile aus der Silage als Gas entweicht, sobald diese bei der Entnahme aus dem Stapel bewegt wird [44] [48] [57]. Während in den meisten Veröffentlichungen diese „Ausgasung“ als ausreichend sicher betrachtet wird, rät Robson dringend zu einer Analyse von Silofutter, das mit zu hohen Ausgangswerten eingebracht wurde [44].

Als (vorläufige) Empfehlung ist aus den Daten der zwei Versuchsjahre abzuleiten, dass in unserer Region angebautes und zur Fütterung vorgesehenes Silosorghum stets auf

Blausäure untersucht werden sollte, auch wenn der Pflanzenbestand bereits die blattreiche vegetative Phase verlassen und die generative Phase erreicht hat. Selbst ordnungsgemäß siliertem Material kann nicht mit absoluter Gewissheit ein Blausäuregehalt unter dem Grenzwert nach FuttmV unterstellt werden. Darum kommt in der Regel auch nur eine hofeigene Verwendung auf eigenes Risiko, nicht aber ein Verkauf als Viehfutter infrage. Keine Blausäuregefährdung geht von reinen Sorghumkörnern aus [48].

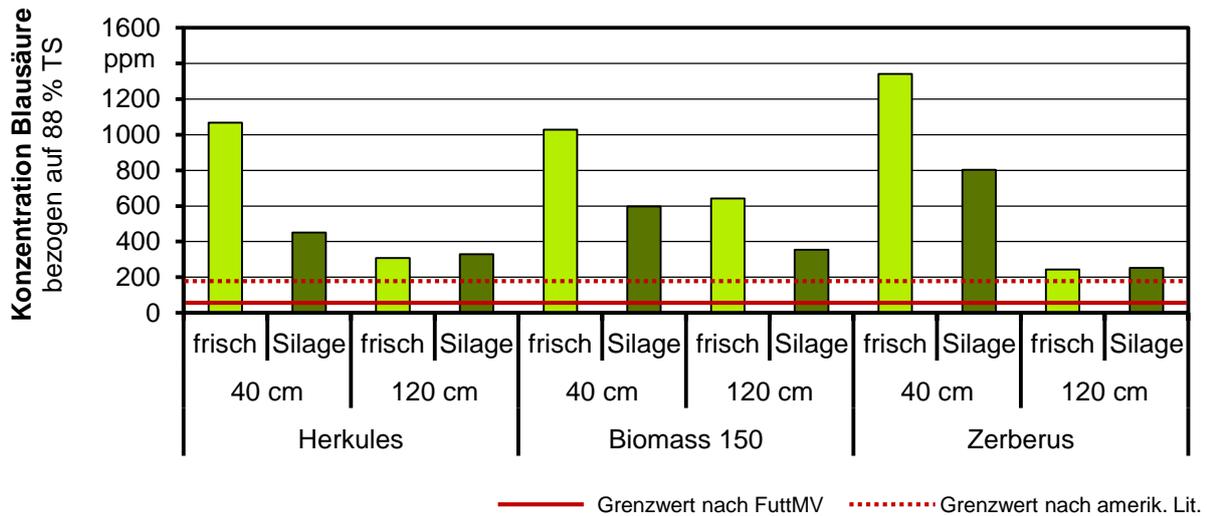


Abbildung 24: Abnahme der Blausäure durch Silierung

### 5.1.7 Siliereignung

Das luftdicht gelagerte Probenmaterial der 2010 getesteten Sorten ergab nach 135-tägiger Lagerung eine überwiegend mit gut bewertete Silage (Tabelle 15). Die Einschätzung erfolgte auf Grundlage des Bewertungsschlüssels von Gärfutterproben gemäß Gross und Riebe von 1974 [23]. Lediglich das deutlich zu nass geworbene Erntegut der späten Sorte Trudan Headless erhielt neben dem für alle Silagen erteilten Punktabzug für einen etwas stechenden Geruch einen zusätzlichen Punkt weniger für eine Farbveränderung während der Silierung. Allerdings sind diese qualitativen Einschränkungen für die Nutzung der Silagen als Biogassubstrat im Vergleich zur Futternutzung nicht relevant.

Die von ausgewählten Sorten im Jahr 2011 angefertigten Silagen waren für die Bestimmung des Siliererfolges im Frühjahr 2012 an die Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Tierernährung und Futterwirtschaft, Zentrallabor Grub gesandt worden. Neben der Bewertung der Gärqualität wurden die Analyse der Inhaltsstoffe mit nasschemischen Verfahren sowie die Berechnung des Futterwertes vorgenommen. Neben fünf Sorghumsorten stand auch die frühe Maissorte Salgado zur Prüfung an.

Tabelle 15: Organoleptische Beurteilung der Silagen (2010)

Merkmal	Arbatax	Maja	Herkules	Lussi	Trudan Headless
Geruch	10	10	10	10	10
Gefüge	4	4	4	4	4
Farbe	2	2	2	2	1
Punkte	16	16	16	16	15
Güteklasse	gut	gut	gut	gut	befriedigend

Tabelle 16: Rohrnährstoffgehalte der Silagen (2011)

	Mais	Sorghum	Sorghum	Sorghum	Sorghum	Sorghum (bmr)
	Salgado	Herkules	Wotan	Freya	Lussi	Stamm 9
TS in %	39,55	24,67	27,43	29,27	33,15	23,03
XA in % TM	3,70	6,63	6,37	6,98	6,26	7,29
XP in % TM	7,78	7,62	8,16	8,57	8,01	7,83
XF in % TM	19,26	40,59	36,23	34,33	34,23	34,55
XL in % TM	3,73	1,82	1,94	2,20	2,39	1,92
ADF in % TM	23,61	45,79	42,78	42,58	41,98	40,79
NDF in % TM	37,22	66,25	62,78	63,75	60,94	59,90
Lignin in % TM	2,75	6,28	6,62	7,34	8,56	6,98
Stärke in % TM	37,84	6,41	12,59	13,72	16,02	2,85
Zucker in % TM	1,45	0,33	0,00	0,00	0,00	9,60

XA Rohasche

XP Rohprotein

XL Rohfaser

XL Rohfett

ADF Säuredetergenzfaser ohne Ascheanteil (Fraktion enthält Zellulose und Lignin)

NDF Neutraldetergenzfaser ohne Ascheanteil (Fraktion enthält alle Faseranteile)

In den Rohrnährstoffgehalten ergaben sich große Unterschiede zwischen Mais und Sorghum, die Sorghumsorten differenzierten nur wenig (Tabelle 16). So zeigte sich nicht einmal die Silage des bmr-Stammes den anderen Sorghumsilagen in den Gehalten an schwer verdaulichen Gerüstsubstanzen überlegen. Im Stärkegehalt widerspiegelte sich der Anteil an Körnern bzw., im Falle von Sorghum, das Abreifeverhalten der Sorten. Die gegenläufige Entwicklung von Zucker- und Stärkegehalt mag die Führung des sehr späten bmr-Stammes im Zuckergehalt erklären. Die Orientierungswerte für qualitativ hochwertige Maissilagen liegen bei Gehalten (% i.d.TM) von XF zwischen 18 und 20, von NDF zwischen 35 und 40, von ADF zwischen 18 und 25 und von ELOS bei über 66 [31]. Von keiner der Sorghumsilagen sind diese Werte annähernd erreicht worden.

Bei der Beurteilung der Gärqualität nach [5] mussten lediglich für den Parameter Essigsäuregehalt Punkte abgezogen werden und zwar im Falle von Herkules und Wotan für eine leichte Überschreitung und im Falle von Salgado für eine deutliche Unterschreitung der optimalen Werte. Allerdings waren die Siliersäcke unterschiedlich stark von eingedrungener Schimmel betroffen, wobei der Mais am schlechtesten aussah. Die Proben für die Analyse sind zwar aus den gut verfestigten Kernen genommen worden, doch lässt sich eine Beeinträchtigung des Säuremusters insgesamt nicht ausschließen (Dr. Manfred Schuster, LfL, mündliche Mitteilung). Trotz der genannten Einschränkungen bei der Benutzung der Siliersäcke waren alle Silagen gut bis sehr gut gelungen (Tabelle 17).

Tabelle 17: Gärparameter der Silagen (2011)

	Mais	Sorghum	Sorghum	Sorghum	Sorghum	Sorghum (bmr)
	Salgado	Herkules	Wotan	Freya	Lussi	Stamm 9
pH-Wert	3,92	4,11	4,25	4,28	4,25	4,10
Ammoniak in % TM	0,08	0,08	0,07	0,07	0,09	0,09
Essigsäure in % TM	0,83	4,42	3,72	3,04	2,96	3,08
Buttersäure in % TM	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
DLG-Bewertung	86,00	94,00	95,00	100,00	100,00	100,00
	gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut

Tabelle 18: Energiegehalte und Methanausbeuten der Silagen (2011)

	Mais	Sorghum	Sorghum	Sorghum	Sorghum	Sorghum (bmr)
	Salgado	Herkules	Wotan	Freya	Lussi	Stamm 9
ELOS in % TM	67,02	45,72	48,38	47,42	47,26	54,82
ME Rind in MJ/kg TM	10,97	7,55	8,12	8,32	8,41	8,14
NEL in MJ/kg TM	6,62	4,24	4,63	4,77	4,82	4,65
Methanausbeute in NI/kg oTM	298,18	209,50	224,74	230,00	232,39	224,86

ELOS Enzymlösliche organische Substanz

ME Metabolische Energie

NEL Nettoenergielaktationen

Methanausbeute berechnet nach Keymer und Schilcher (2003) [28]

In Tabelle 18 sind die kalkulierten Energiegehalte und Methanausbeuten der Silagen zusammengestellt. Für Rationsberechnungen wird üblicherweise eine metabolische Energie (ME) von 11 MJ/kg TM für Rinder angesetzt [5], die im vorliegenden Fall in der Maissilage Salgado, jedoch nicht annähernd in den Sorghumsilagen erreicht worden sind. Auch im Parameter Nettoenergielaktationen mit einem angestrebten Wert von > 6,3 MJ NEL/kg TM fallen die Sorghumsilagen beträchtlich ab. Sollte Sorghum als Raufutter verwendet werden, können für die Zusammenstellung von Rationen auf keinen Fall die Richtwerte von Maissilagen herangezogen werden. Die Belastbarkeit der Werte für die Methanausbeute (Modell Baserga) ist in Abschnitt 5.1.5 ausführlich diskutiert.

## 5.2 Bayernweiter Sortenvergleich

Die statistische Verrechnung der Ergebnisse des bayernweiten Sortenvergleiches wurde von der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Abteilung Versuchswesen und Biometrie durchgeführt. Sie entspricht im Wesentlichen der für die Landessortenversuche für Mais üblichen Vorgehensweise. Die unterschiedliche Anzahl von Versuchsstandorten/Prüfjahren oder der Ausfall von Wiederholungen wird durch Adjustierung ausgeglichen. Damit sind die Sorten untereinander vergleichbar. Jedes Jahr geht mit dem gleichen Gewicht in das mehrjährige Mittel ein. Im Folgenden sind die Einzelergebnisse von 2011 dargestellt. Die Daten der Versuchsjahre 2009 und 2010 flossen in das mehrjährige mehrortige Mittel ein.

Tabelle 19: Bayernweiter Sortenvergleich 2011: Einzelergebnisse von Euerhausen

Sorte	TM-Ertrag			TS-Gehalt			Lager Bonitur- note vor Ernte
	Adjustiertes Sortenmittel dt/ha	Relativ- wert %		Adjustiertes Sortenmittel %	Relativ- wert %		
Odin	177,3	98	bcd	30,9	97	b	2,0
Biomass 150	202,4	112	a	30,0	94	b	4,0
Herkules	186,7	103	ab	29,5	93	b	2,0
Wotan	178,4	99	bc	31,0	98	b	2,3
Zerberus	177,5	98	bc	30,7	97	b	2,3
Hugin	193,7	107	ab	36,3	114	a	3,3
Lussi	159,7	88	de	34,8	109	a	3,3
Freya	184,8	102	ab	34,7	109	a	2,0
Mithril	164,7	91	cde	28,0	88	c	3,0
Inka	155,0	86	e	26,2	82	d	2,3
Standortmittel	180,6			31,8			2,7

In Euerhausen verlief das Auflaufen aufgrund der Trockenheit sehr zögerlich, wobei sich auf der leicht geneigten Fläche große Unterschiede zwischen den Blöcken zeigten. Bis Ende August war schließlich ein sehr guter Bestand herangewachsen. Es gab nur wenig Lager ohne Auswirkungen auf die Ernte. Die Einzelergebnisse von Euerhausen sind der Tabelle 19 zu entnehmen.

In Straubing begünstigten gute Aussaatbedingungen und der Ende Mai einsetzende Regen einen zügigen und gleichmäßigen Feldaufgang und eine rasche Jugendentwicklung. Allerdings wurde das vegetative Wachstum durch die wechselhaft kühle Witterung im Juni stark abgebremst. Trotz schwerer Gewitterstürme im August blieben alle Sorten bis weit in den September hinein aufrecht stehen. Einige hatten sich erst zur Ernte hin mehr oder weniger stark geneigt. Die Häckselarbeiten waren dadurch nicht beeinflusst. Es traten durch Bakterien und Pilze verursachte Blattflecke auf (Abbildung 41 und Abbildung 42 im Anhang), die jedoch nicht ertragsrelevant waren. Die Standortmittel in Tabelle 20 wurden nur aus den Sorten des Hauptsortiments berechnet (Sorten 1 bis 10). Die Daten der Anhangsorte Amiggo flossen nicht ein.

Tabelle 20: Bayernweiter Sortenvergleich 2011: Einzelergebnisse von Straubing

Sorte	TM-Ertrag			TS-Gehalt			Lager
	Adjustiertes Sortenmittel dt/ha	Relativ- wert %		Adjustiertes Sortenmittel %	Relativ- wert %		Bonitur- note vor Ernte
Odin	198,0	101	bc	30,3	97	bc	1,7
Biomass 150	259,3	132	a	31,7	102	b	1,3
Herkules	210,2	107	b	30,2	97	bc	2,0
Wotan	204,6	104	b	30,1	96	bc	2,0
Zerberus	186,5	95	cd	29,9	96	c	1,3
Hugin	186,8	95	cd	33,5	107	a	4,0
Lussi	173,9	89	de	33,7	108	a	5,0
Freya	185,7	95	cd	34,6	111	a	5,7
Mithril	161,2	82	e	27,2	87	d	4,3
Inka	182,9	93	d	26,7	85	d	3,3
Amiggo (Anhang)	202,9	103	b	30,4	97	bc	3,3
Standortmittel	196,2			31,3			3,1

In Aholting waren Feldaufgang und Jugendentwicklung gleichmäßig und gut. Es traten im Verlaufe der Saison ähnliche Befallssymptome wie am Standort Straubing zutage. Lager gab es nicht. Einige Sorten hatten sich geneigt, ohne jedoch die Erntearbeiten zu beeinträchtigen. Auch hier flossen die Werte der Anhangsorte Amiggo nicht in die Standortmittel gemäß Tabelle 21 ein.

Tabelle 21: Bayernweiter Sortenvergleich 2011: Einzelergebnisse von Aholfing

Sorte	TM-Ertrag			TS-Gehalt			Lager
	Adjustiertes Sortenmittel dt/ha	Relativ- wert %		Adjustiertes Sortenmittel %	Relativ- wert %		Bonitur- note vor Ernte
Odin	199,0	103	bc	28,1	95	a	1,0
Biomass 150	242,2	126	a	29,6	100	ab	1,3
Herkules	207,6	108	b	28,4	96	ab	1,0
Wotan	194,6	101	bc	29,8	100	bc	1,0
Zerberus	171,9	89	de	27,9	94	cd	1,3
Hugin	190,8	99	bcd	32,1	108	cd	4,0
Lussi	194,1	101	bc	34,0	115	de	3,0
Freya	183,5	95	cd	32,2	109	de	3,3
Mithril	151,7	79	e	25,0	84	de	3,7
Inka	190,2	99	bcd	27,1	91	e	1,7
Amiggo (Anhang)	199,3	103	bc	31,6	106	f	1,7
Standortmittel	192,8			29,7			2,1

Über die relativen Trockenmasseerträge jeder Prüfsorte zum Sortenmittel an den Versuchsstandorten (Bezugsbasis = 100 %) lassen sich Ertragsstabilität und Ertragsstärke darstellen (Abbildung 25). Ertragsstabile Sorten streuen wenig über die Standorte, ertragsstarke liegen möglichst weit oberhalb des 100 %-Niveaus.

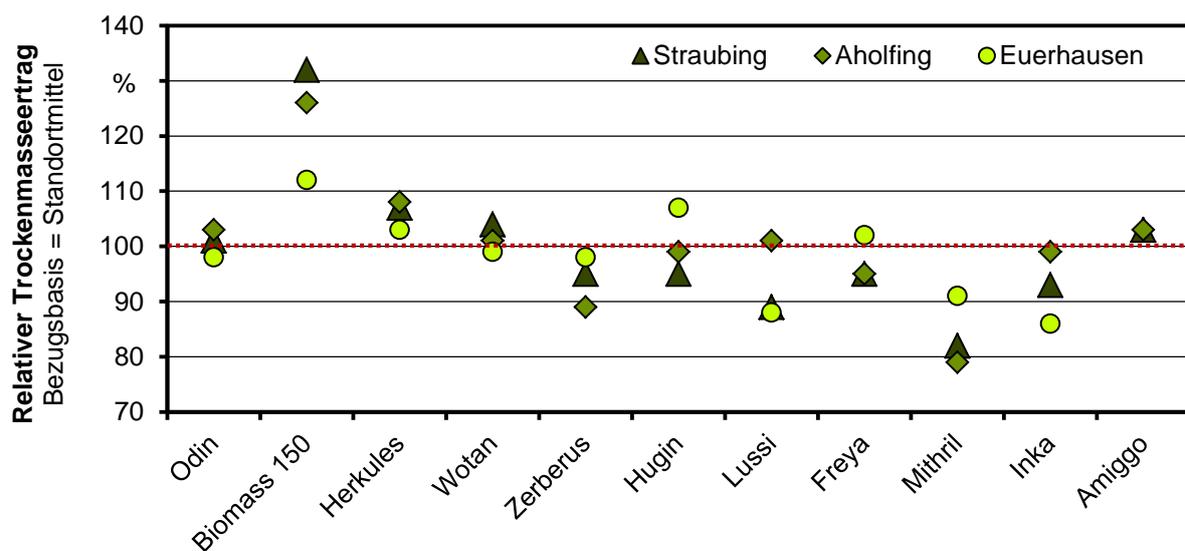


Abbildung 25: Bayernweiter Sortenvergleich 2011 - relative Trockenmasseerträge

Die im Jahr 2011 führende Sorte Biomass 150 lag an allen Standorten über dem Mittel der Prüfsorten, allerdings mit einer recht großen Spannweite. Im Ertragsniveau dicht bei einander und nahe der Bezugsbasis von 100 % befanden sich die Sorten Odin, Herkules, Zerberus, Hugin, Freya und Amiggo. Etwas mehr streuten die Sorten Lussi und Inka. Auch bei Mithril fiel der Standorteinfluss auf. Er blieb als einziger überall unter der 100 % Marke.

In Abbildung 26 sind die Ergebnisse des bayernweiten Sortenvergleiches als mehrjährige adjustierte Mittelwerte dargestellt. Die einjährigen Prüfergebnisse wurden an den drei Standorten gemäß Tabelle 3 realisiert. Sorten mit zwei und drei Jahren Prüfdauer standen außer in Straubing und Euerhausen auch an den Standorten Neuhof (Südlicher Jura) und Almesbach (Ostbayerisches Mittelgebirge). Das Ergebnis der dreijährigen Prüfung kann als endgültig und das der zweijährigen als vorläufig gewertet werden. Das einjährige Prüfungsergebnis repräsentiert einen Trend. Auch im mehrortigen Vergleich wird das Sortiment von mittelfrühen Sorten (Referenz Herkules) dominiert. Lussi bestätigte sich als die früheifste Sorte am Markt.

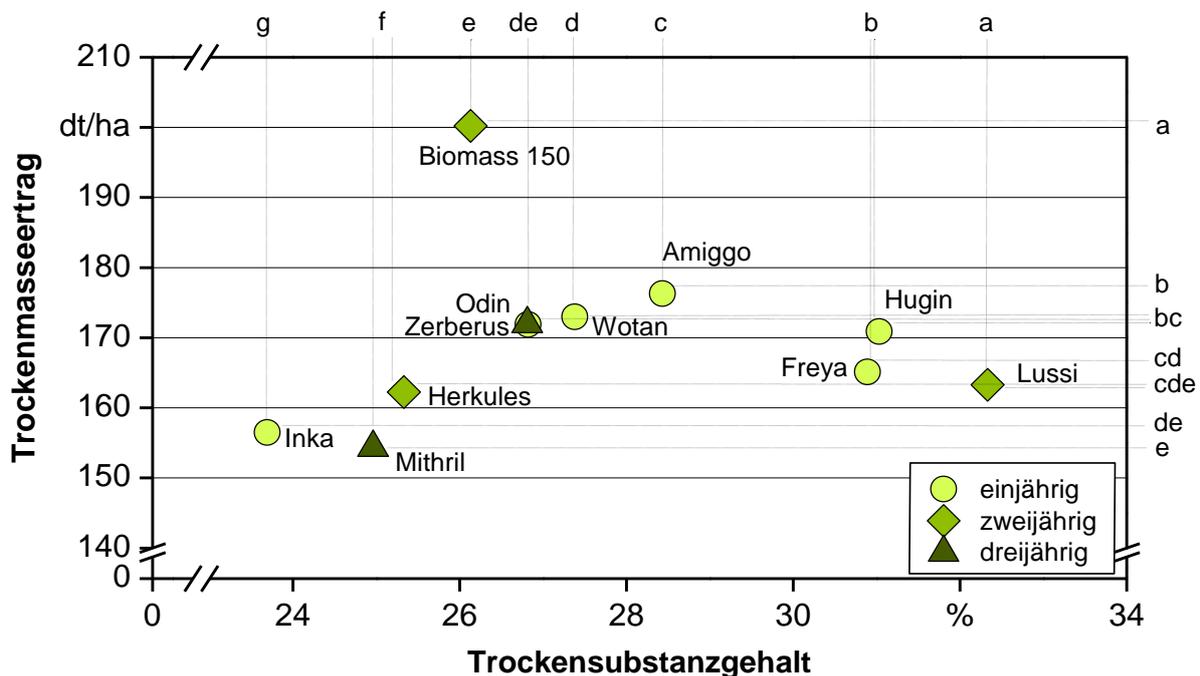


Abbildung 26: Bayernweiter Sortenvergleich – mehrjährige adjustierte Mittelwerte

In Abbildung 27 sind die realisierten TS-Gehalte der frühen (Lussi) und der mittelspäten Referenzsorte (Herkules) an drei der bayernweiten Versuchsstandorten dargestellt, die ganz unterschiedliche Boden-Klima-Räume abdeckten. Dabei steht Almesbach für einen ausgesprochen kühlen Standort, Straubing für milde feuchte und Euerhausen für milde trockene Bedingungen. Der Grafik zufolge lassen sich die Eignungsgebiete für die leis-

tungsstarken mittelspäten Sorten auf sommertrockene Standorte mit hoher Einstrahlung reduzieren. Standorte wie Almesbach definieren dagegen die Grenzlagen für den Sorghumanbau.

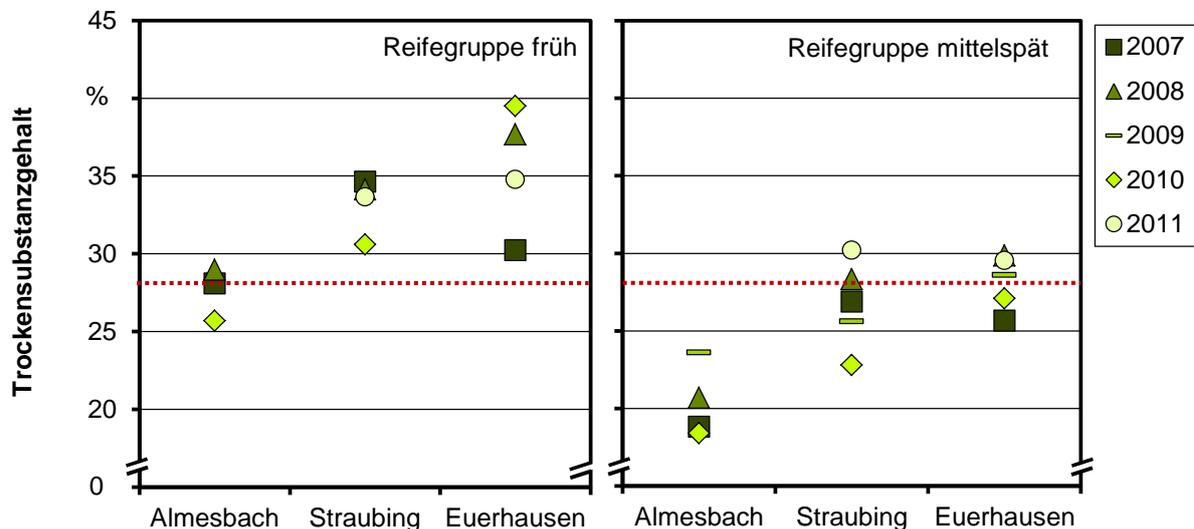


Abbildung 27: Trockensubstanzgehalte der frühen und mittelspäten Referenzsorte an verschiedenen bayerischen Standorten in den Jahren 2007 bis 2011

### 5.3 Produktionstechnische Versuche

#### 5.3.1 Einfluss der Vorrucht auf den Ertrag von Sorghum

Die Vorrüchte Schwarzbrache, Senf und Winterroggen als GPS wurden bei gleicher Saatzeit geprüft, d. h. der Vorteil einer längeren Vegetationsperiode durch frühestmögliche Aussaat nach Schwarzbrache/Senf war nicht Versuchsgegenstand. Es sollte vielmehr die direkte Vorruchtwirkung ermittelt werden. Auch die Bodenbearbeitung wurde der besseren Vergleichbarkeit wegen nicht variiert. Die Vorruchtwirkung war im Mittel der Jahre und Sorten signifikant am schlechtesten bei Winterroggen (Abbildung 28), was sich nur bedingt durch die stärkere Beanspruchung des Nährstoff- und Wasserhaushaltes und des Bodengefüges erklären lässt. Ganz maßgeblich kamen hier die Unzulänglichkeiten des Saatbettes nach nur zweimaligem Kreiseln der frisch beernteten Fläche zum Tragen. Im Rahmen von Energiefruchtfolgen als positiv zu verbuchen sind allerdings die erosionsschützende Wirkung der Winterzwischenfrucht und ihr zusätzlicher Ertrag, der in den Versuchsjahren 2010 und 2011 bei durchschnittlich 78 dt TM/ha mit einem TS-Gehalt von 31 % lag.

Die realisierten Einzelwerte in den Jahren und Sorten gemäß Tabelle 22 bestätigten den Trend, nachdem Grünroggen als Vorrucht den signifikant schlechtesten Sorghumertrag lieferte und die besten Ergebnisse nach abfrierendem Senf realisiert worden sind. Die organische (Senf-)Biomasse war zum Zeitpunkt der Saatbettbereitung vollständig zersetzt, lieferte aber noch ausreichend Bodenbedeckung, um aufkeimende Unkräuter wir-

kungsvoll zu unterdrücken. Die Schwarzbracheparzellen waren dagegen deutlich mehr verunkrautet, was sich nachteilig auf die Saatbettqualität ausgewirkt hatte.

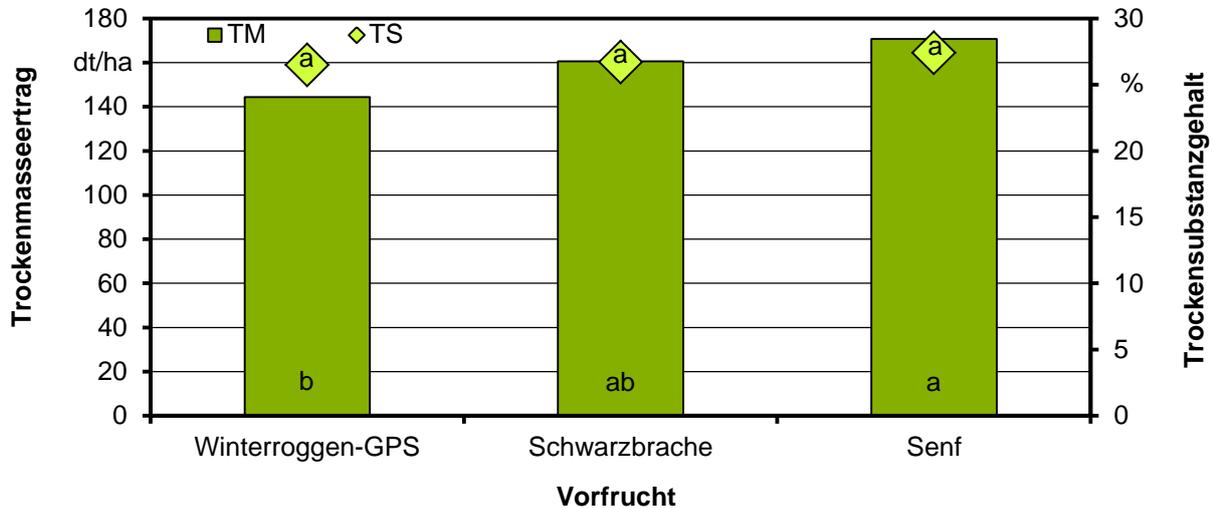


Abbildung 28: Mittlere Erträge von Sorghum nach verschiedenen Vorfrüchten

Tabelle 22: Ertragsparameter von Sorghum nach verschiedenen Vorfrüchten - Einzelwerte der Jahre und Sorten

		Trockenmasseertrag in dt/ha nach Vorfrüchten					
		Senf		Schwarzbrache		Grünroggen	
2011	Sortenmittel	198,5	a	191,2	a	171,0	b
	Freya	204,4	a	191,7	ab	168,5	b
	Lussi	187,4	a	184,9	ab	167,2	b
	Zerberus	203,7	a	197,0	a	177,4	b
2010	Sortenmittel	142,0	a	129,9	ab	117,7	b
	Arbatax	130,1	a	120,2	a	102,2	b
	Lussi	160,6	a	143,3	a	136,0	b
	Maja	138,2	a	126,2	ab	114,9	b

### 5.3.2 Optimierung der Aussaatverfahren

#### 5.3.2.1 Einfluss der Saatbettbereitung auf den Ertrag von Sorghum

Die Auswertung des Langparzellenversuches mit gleitendem Standard zum Einfluss der Saatbettbereitung nach Roggen-GPS auf Sorghum erfolgte gemäß Schuster und von Lochow (1979) [50]. Die Ergebnisse in Abbildung 29 weisen den Standard (Grubber +

Kreiselegge) als die beste und die Direktsaat als die schlechteste Variante aus, wobei die Unterschiede nicht signifikant waren.

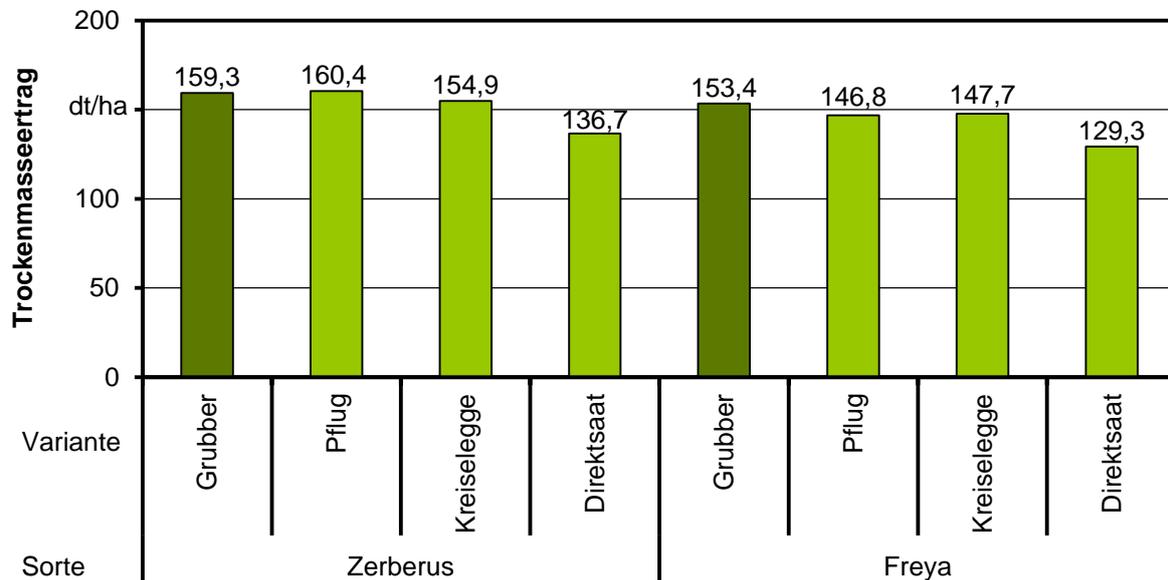


Abbildung 29: Einfluss der Saatbettbereitung auf den Ertrag von Sorghum



Abbildung 30: Konkurrenzkraft von Sorghum gegen den Durchwuchs von Roggen – links beim Schossen, rechts zur Ernte

Der Ertrag in der Direktsaat fiel angesichts des starken Roggendurchwuchses überraschend hoch aus (Abbildung 30). Ganz offensichtlich hat Sorghum ein weit besseres Konkurrenzvermögen als Mais [1] [40].

### 5.3.2.2 Einfluss der Saatechnik auf den Ertrag

Der Versuch wurde 2011 durchgeführt mit dem Ziel, den Einfluss der Aussaattechnik auf die Ertragsparameter von Sorghumsorten der Arten *S. bicolor* (Zerberus) und *S. bicolor* x *S. sudanense* (Inka) zu untersuchen. Der Reihenabstand betrug einheitlich 37,5 cm und die Saatstärke wurde an die Ansprüche der beiden Sorten angepasst. Es kamen eine Parzellendrillmaschine und eine 4-reihige Einzelkornsämaschine für jeweils 1,5 m Arbeitsbreite zum Einsatz. Nach den in Tabelle 23 dargestellten Ergebnissen gibt es keinen unmittelbaren Einfluss der Saatechnik auf den Ertrag. Die leicht höheren Werte in der Drillsaat bei beiden Sorten ließen sich nicht statistisch absichern. Jedenfalls bestätigten die Zahlen den optischen Eindruck, dass die in gedrillten Beständen ungleichmäßigere Längs- und Querverteilung der Pflanzen durch die Bestockungsfähigkeit von Sorghum schnell überwachsen werden kann. Zweifellos ist das Bestandsbild vom Auflaufen bis zum Reihenschluss bei Einzelkornsäat deutlich gleichmäßiger, allerdings setzt diese Technik qualitativ einwandfreie Saatgutpartien voraus. Bei der Drillsaat können z. B. verminderte Keimfähigkeiten sehr viel einfacher über eine Anpassung der Saatmenge ausgeglichen und auch unterschiedliche Korngrößen verwendet werden.

Tabelle 23: Einfluss der Aussaattechnik auf den Ertrag von Sorghum

	Trockenmasseertrag in dt/ha				Trockensubstanzgehalt in %			
	Einzelkornablage		Drillsaat		Einzelkornablage		Drillsaat	
Gesamt	161,0	a	173,3	a	26,0	a	25,9	a
Inka	153,2	a	167,0	a	24,3	a	24,2	a
Zerberus	168,8	a	179,5	a	27,8	a	27,6	a

### 5.3.2.3 Einfluss der Ablagetiefe auf den Ertrag

Die Aussaat 2010 erfolgte in einen oberflächlich sehr stark ausgetrockneten Boden. Der fehlende Regen in der Auflaufphase hatte auch nicht zu einem Einschlämmen der auf 8 cm abgelegten Saat geführt. Stattdessen war mit der tieferen Ablage der Anschluss an das aufsteigende Bodenwasser gewährleistet, was einen sehr viel gleichmäßigeren Feldaufgang mit zügigerem Reihenschluss und schließlich in zwei von vier Sorten signifikante Mehrerträge zur Folge hatte (Tabelle 24). In der flachen Ablage waren lange Zeit „Nachaufläufer“ zu beobachten, die zu einem ungleichmäßigen Bestandsbild führten. Allerdings gingen die dichteren Bestände der Sorte Herkules in der 8 cm-Variante bei den Gewitterstürmen im August in schwereres Lager, was auch den Ertragsrückgang zur 2 cm-Variante erklärt.

Die Aussaatbedingungen 2011 waren in Bezug auf die Bodenfeuchte ausgesprochen gut, so dass sich kein nennenswerter Unterschied zwischen den beiden Aussaatiefen einstellte.

Die Ergebnisse beider Versuchsjahre untermauern unsere Praxisempfehlung, nach der die Sorghumsaat in 3 bis 5 cm Tiefe, bei Trockenheit eher tiefer, abgelegt werden soll.

Tabelle 24: Einfluss der Aussaatiefe auf den Ertrag von Sorghum

Saattiefe	Trockenmasseertrag in dt/ha				Trockensubstanzgehalt in %			
	8 cm		2 cm		8 cm		2 cm	
2010 gesamt	96,9	a	92,2	a	20,1	a	19,6	a
Alföldi	92,0	a	75,3	b	21,4	a	21,2	a
Herkules	60,4	a	91,8	a	19,9	a	18,8	a
Inka	131,8	a	109,6	b	19,8	a	19,3	a
Tr. Headless	103,4	a	92,1	a	19,3	a	18,9	a
2011 gesamt	172,8	a	172,9	a	28,8	a	28,7	a
Biomass 150	190,4	a	185,1	a	26,6	a	26,6	a
Freya	157,6	a	154,8	a	29,1	a	28,9	a
Lussi	164,3	a	147,8	a	31,4	a	30,8	a
Zerberus	195,9	a	186,8	a	28,4	a	28,2	a

### 5.3.3 Mindestbedarf an Stickstoff

#### 5.3.3.1 Freilandversuch

Der Versuch stand 2010 auf einer stark verunkrauteten Fläche. Über die routinemäßige Herbizidmaßnahme hinaus war eine manuelle Unkrautbeseitigung nötig, die allerdings erst sehr spät erfolgte und bis zur Ernte Lücken in den Parzellen hinterließ. Möglicherweise sind aus diesem Grund nur in der Körnersorte Alföldi signifikante Unterschiede im TM-Ertrag in Abhängigkeit von der Stickstoffversorgung feststellbar. Die Einzelergebnisse aller Sorten einschließlich der linearen Regressionsfunktionen zur Darstellung der Abhängigkeit des TM-Ertrages von der Höhe der N-Düngung sind in Tabelle 25 wiedergegeben. In allen Sorten ließ sich eine hoch signifikante Korrelation zwischen der N-Düngung und dem N-Gehalt in den Pflanzen zur Ernte belegen. Der Zusammenhang war umso enger, je weniger sich die Stickstoffversorgung in Ertragsunterschieden manifestiert hatte. Weitere Korrelationen zwischen der Höhe der N-Düngung und N-relevanten Merkmalen sind der Tabelle 26 zu entnehmen.

Die N-Versorgung der Pflanzen konnte mit dem N-Tester (YARA) sehr gut abgebildet werden, sofern die Messungen am voll entwickelten Fahnenblatt (ab Stadium Blüte) vorgenommen worden sind. Obschon die zu einem so späten Zeitpunkt erhobenen Werte für die Ableitung einer Düngungsempfehlung nicht mehr zu gebrauchen waren, wurde über die enge Korrelation mit der visuellen Einschätzung des N-Mangels zumindest die Plausibilität des entwickelten Boniturschemas nach Abschnitt 4.4.3.1 nachgewiesen.

Tabelle 25: N-Minimierungsversuch: Einzelergebnisse für die Sorten 2010

	Alföldi		Lussi		Maja	
	dt TM/ha	Statistik	dt TM/ha	Statistik	dt TM/ha	Statistik
0 kg N/ha	78,1	b	123,1	a	108,4	a
30 kg N/ha	79,8	ab	130,5	a	108,7	a
60 kg N/ha	91,3	ab	124,4	a	127,5	a
90 kg N/ha	99,0	a	139,1	a	126,4	a

lineare Regression

Konstante	75,89*	<0,0001	123,00*	<0,0001	106,81*	<0,0001
Variable	0,247*	0,0070	0,139	0,3501	0,243	0,0674

Tabelle 26: Korrelationen zwischen der Höhe der Stickstoffdüngung und N-relevanten Merkmalen (2010)

Pearsonsche Korrelationskoeffizienten für N-Düngestufe mit:				
Sorte	YARA	N-Mangel (Boniturnote)	N-Gehalt der Pflanzen	N <sub>min</sub> im Boden nach Ernte
Maja	0,89	-0,84	0,82	0,58
bei p =	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,05
Lussi	0,82	-0,84	0,85	0,42
bei p =	0,0001	<0,0001	<0,0001	0,17
Alföldi	0,69	-0,84	0,59	0,59
bei p =	0,003	<0,0001	0,02	0,04

In der mittleren Ertragsleistung aller Sorten gab es 2010 keine signifikanten Unterschiede zwischen den Düngestufen, allerdings ließ sich die Beziehung als lineare Regression statistisch absichern. Dabei ist die Regressionsgerade zu Anschauungszwecken über den Datenbereich hinaus verlängert worden. Für die Konstante wurde dabei eine Irrtumswahrscheinlichkeit von <0,0001 und für die Variable von 0,046 ermittelt. Aus der Abbildung 31 geht hervor, dass mit steigender N-Düngung nicht nur die TM-Erträge, sondern auch die N-Gehalte in den Pflanzen ansteigen. Allein durch diese Gehaltserhöhung sind im Mittel der Sorten in der vierten Düngestufe 40 kg/ha mehr N als in der ersten verbraucht worden. Ob diese qualitative Änderung im Erntegut zu einer Steigerung in der Methanausbeute führte, konnte nicht ermittelt werden.

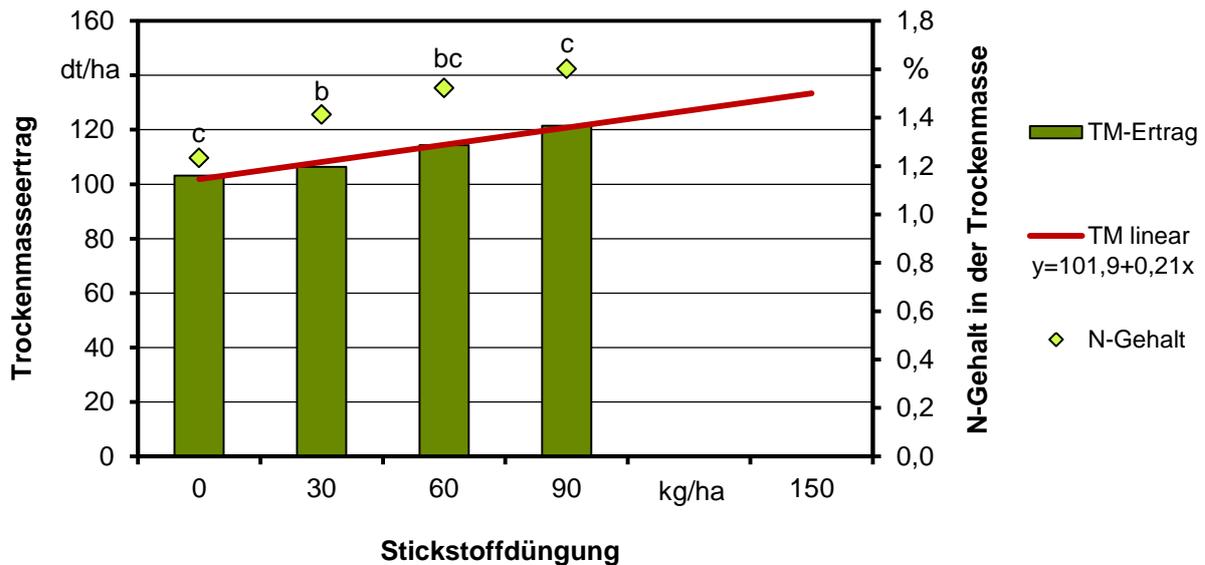


Abbildung 31: N-Minimierungsversuch: Sortenmittel 2010

Der Stickstoffbilanz in Abbildung 32 lag die Zufuhr an N als Summe der Grundgehalte im Boden ( $N_{\min}$ ) und der mineralischen Düngergaben auf der einen Seite und die kalkulierte Nährstoffabfuhr über die realisierten Trockenmasseerträge mit den dazu gehörigen N-Gehalten auf der anderen Seite zugrunde. Die Stickstoffbilanzen nach Sorten und Düngestufen wiesen für alle Varianten einen negativen Saldo auf. Demnach haben die Erträge selbst in der höchsten N-Versorgungsstufe (90 kg N/ha +  $N_{\min}$  von 32 kg/ha) eine zehrende Wirkung auf den Bodenvorrat an Stickstoff gehabt. Die für den Herbst 2010 dargestellten Unterschiede in den N-Salden hatten keinen Einfluss auf die Nachfrucht Winterweizen hinsichtlich a) des Ertrages, b) des Rohproteingehaltes im Korn und c) des Rohproteingehaltes im Stroh. Der Winterweizen war über alle Düngungsvarianten gleichmäßig mit 80 kg/ha N gedüngt worden. Allerdings war die Abstufung der N-Bilanzen nach Düngerstufen im Jahr 2010 wesentlich weniger deutlich als im Jahr 2011 ausgeprägt. Die  $N_{\min}$ -Gehalte im Boden nach der Sorghumernte zeigten in beiden Jahren eine leichte, statistisch nicht signifikante Abstufung von der höchsten zur niedrigsten Düngestufe.

Für das Jahr 2011 ist der Versuch auf einer deutlich weniger verunkrauteten Fläche angelegt worden, die sich allerdings durch ein ausgesprochen gutes Nährstoffnachlieferungsvermögen auszeichnete. Um dennoch den Einfluss einer gestaffelten N-Versorgung auf den Sorghumertrag abbilden zu können, musste der Bodenstickstoffvorrat über eine ungedüngte und bis auf die kurze Stoppel abgefahrene Winterzwischenfrucht (GPS-Roggen) reduziert werden. Tatsächlich betrug der  $N_{\min}$ -Gehalt zur Sorghumaussaat nur noch 45 kg/ha und konnten die vier Düngestufen bereits visuell im Pflanzenbestand ausgemacht werden. Schließlich war es auch gelungen, den Einfluss der N-Versorgung auf die TM-Erträge sowohl im Sortenmittel wie auch in den Einzelwerten statistisch hoch signifikant abzusichern (Tabelle 27 und Abbildung 33). Die quadratische Regression wies für das Sortenmittel ein Bestimmtheitsmaß von 0,4 auf (bei

$p = < 0,0001$ ), allerdings konnte der quadratische Term nicht mehr abgesichert werden. Die Funktion zeigte einen Ertragsanstieg, der bei der Düngestufe von 90 kg N/ha (entspricht zusammen mit  $N_{min}$  einer Gesamtversorgung von ca. 140 kg N/ha) gipfelte, um dann wieder leicht abzusinken. Ähnliche Kurvenverläufe konnten bei Biomass 150 und Freya dokumentiert werden.

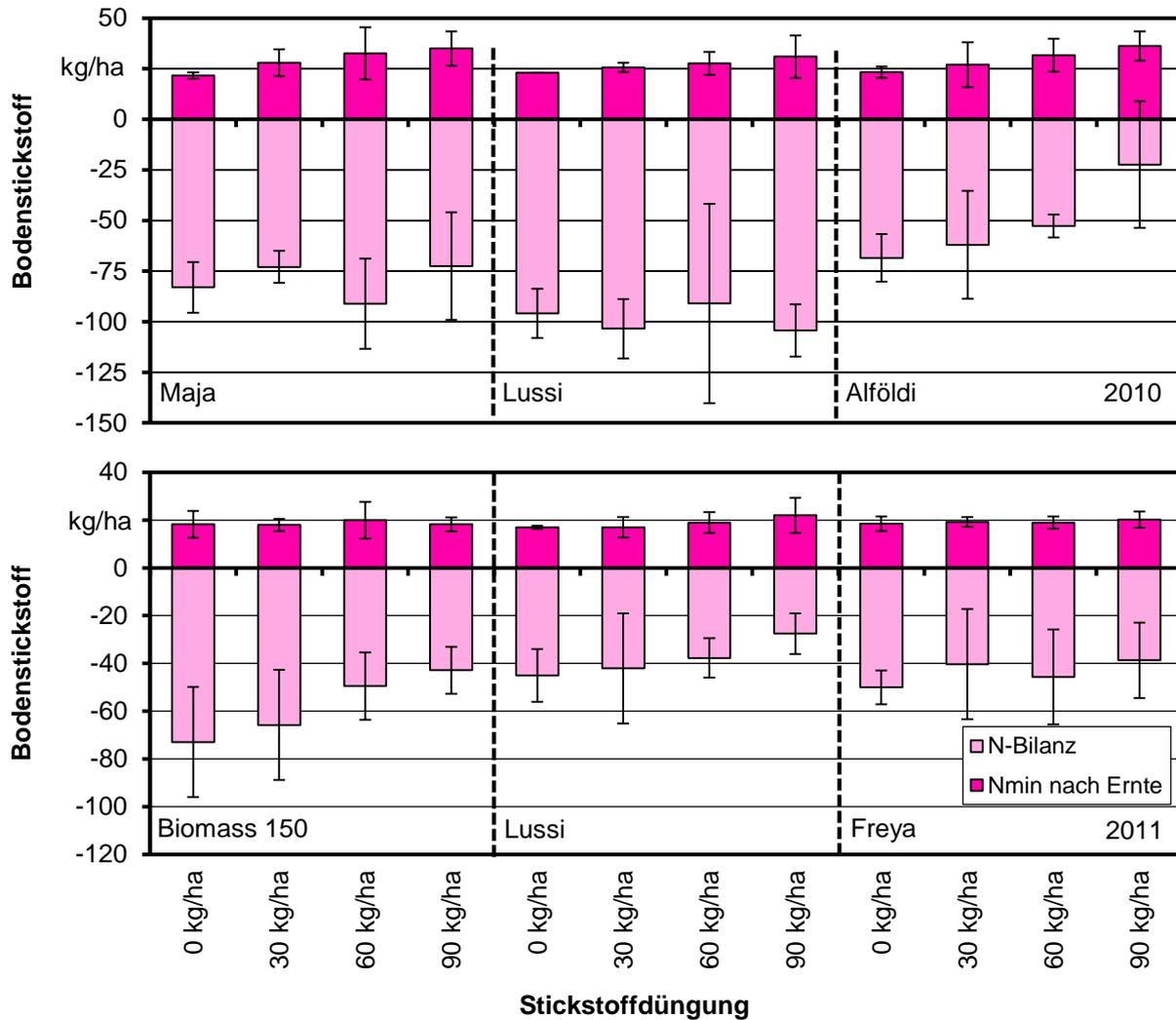


Abbildung 32: Stickstoffbilanz als Differenz aus N-Zufuhr ( $N_{min}$  + N-Düngung) und N-Abfuhr mit dem Erntegut sowie  $N_{min}$ -Gehalte nach Ernte nach Sorten und N-Düngergabe, Fehlerindikator: Standardabweichung

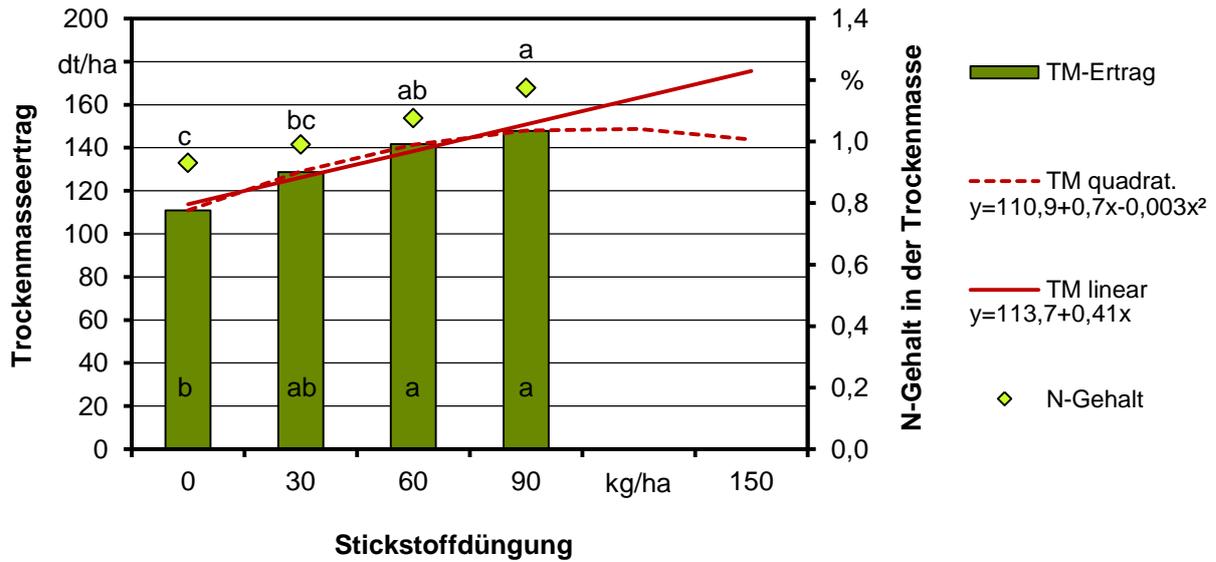


Abbildung 33: N-Minimierungsversuch: Sortenmittel 2011

Tabelle 27: N-Minimierungsversuch: Einzelergebnisse für die Sorten 2011

	Biomass 150		Freya		Lussi	
	dt TM/ha	Statistik	dt TM/ha	Statistik	dt TM/ha	Statistik
0 kg N/ha	133,09	b	100,18	b	99,64	c
30 kg N/ha	154,15	ab	120,58	ab	111,17	bc
60 kg N/ha	160,77	a	139,97	a	124,39	ab
90 kg N/ha	159,49	a	141,04	a	142,97	a
lineare Regression						
Konstante	139,00	<0,0001	104,15	<0,0001	98,06	<0,0001
Variable	0,286	0,0066	0,473	<0,0001	0,477	<0,0001
quadratische Regression						
Konstante	133,42	<0,0001	99,31	<0,0001	99,83	<0,0001
Variable	0,845	0,0106	0,957	0,0018	0,301	0,2093
Var*Var	-0,006	0,0602	-0,005	0,0591	0,002	0,4333

### 5.3.3.2 Gewächshausversuch

Gewächshausversuche haben zwar den Vorteil, dass sich Versuchsbedingungen sehr präzise einstellen lassen, aber den großen Nachteil, dass nur wenig Biomasse zur Auswertung bereit steht. Darüber hinaus werden die Schwankungen innerhalb von Varianten umso größer, je länger der Versuch in Richtung Erntereife steht. Die für diesen Versuch ausgewählten Sorten wurden mit TS-Gehalten von 22,7 % (Herkules), 39 % (Alföldi)

bzw. 43,6 % (Lussi) geerntet und ließen trotz der erwähnten Einschränkungen einen signifikanten Einfluss der N-Düngestufen auf den Ertrag erkennen (Abbildung 34).

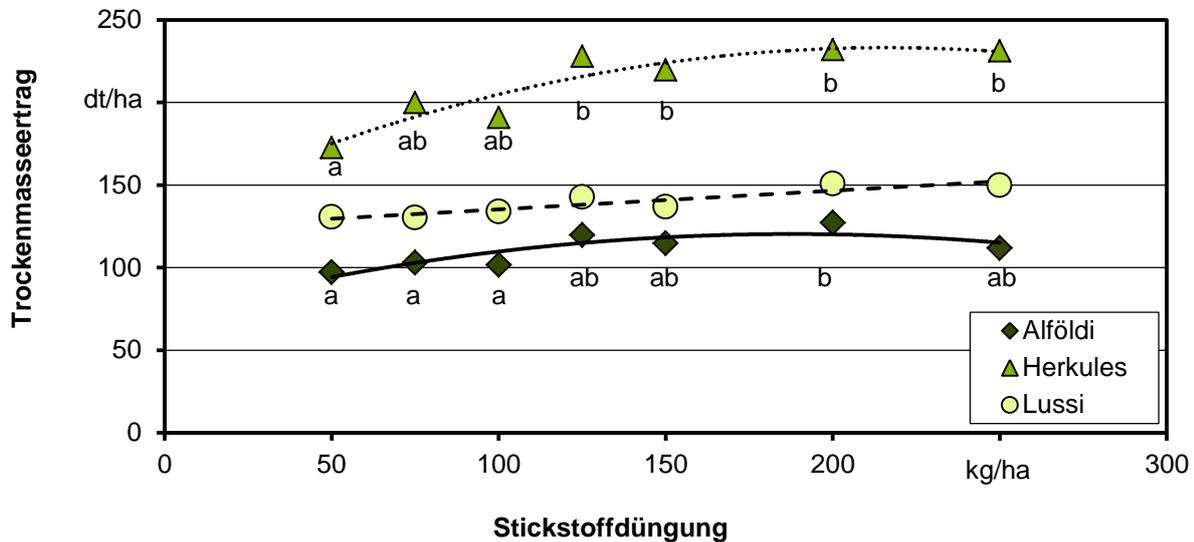


Abbildung 34: Gewächshausversuch – Trockenmasseerträge nach Sorten und Dünge-  
stufen, unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unter-  
schiede

Die Abhängigkeit des TM-Ertrages von der Höhe der Stickstoffdüngung wurde durch folgende Regressionsfunktionen beschrieben (signifikant bei  $p < 0,05$ ):

$$\text{Herkules} \quad y = -0,0017 x^2 + 0,736 x + 108,45$$

$$\text{Lussi} \quad y = 0,091 x + 99,66$$

$$\text{Alföldi} \quad y = -0,0010 x^2 + 0,414 x + 57,85$$

Danach reagierte die massewüchsige Futtersorte Herkules am stärksten und die interspezifische Hybride Lussi am wenigsten auf eine Erhöhung der N-Versorgung. Der Zusammenhang zwischen der N-Versorgung und N-relevanten Merkmalen ist mit den Pearsonschen Korrelationskoeffizienten gemäß Tabelle 28 beschrieben. Auch in diesem Versuch schlug sich die Höhe der N-Düngung signifikant auf den Chlorophyllgehalt (YARA-Messwert) und den N-Gehalt der Pflanzen nieder.

Tabelle 28: Gewächshausversuch – Korrelationen zwischen der Höhe der Stickstoffdüngung und N-relevanten Merkmalen

Pearsonsche Korrelationskoeffizienten für N-Düngestufe mit:				
Sorte	TM-Ertrag	YARA	N-Gehalt der Pflanzen	N <sub>min</sub> im Boden nach Ernte
Herkules bei p =	0,61 <0,0001	0,93 <0,0001	0,76 0,018	0,27 0,5
Lussi bei p =	0,42 0,012	0,86 <0,0001	0,91 0,0007	0,49 0,17
Alföldi bei p =	0,49 0,003	0,83 <0,0001	0,96 <0,0001	0,54 0,13

Mit einer Verfünffachung der N-Versorgung von 50 auf 250 kg/ha hatte sich der N-Gehalt der Pflanzen in etwa verdoppelt (Abbildung 35).

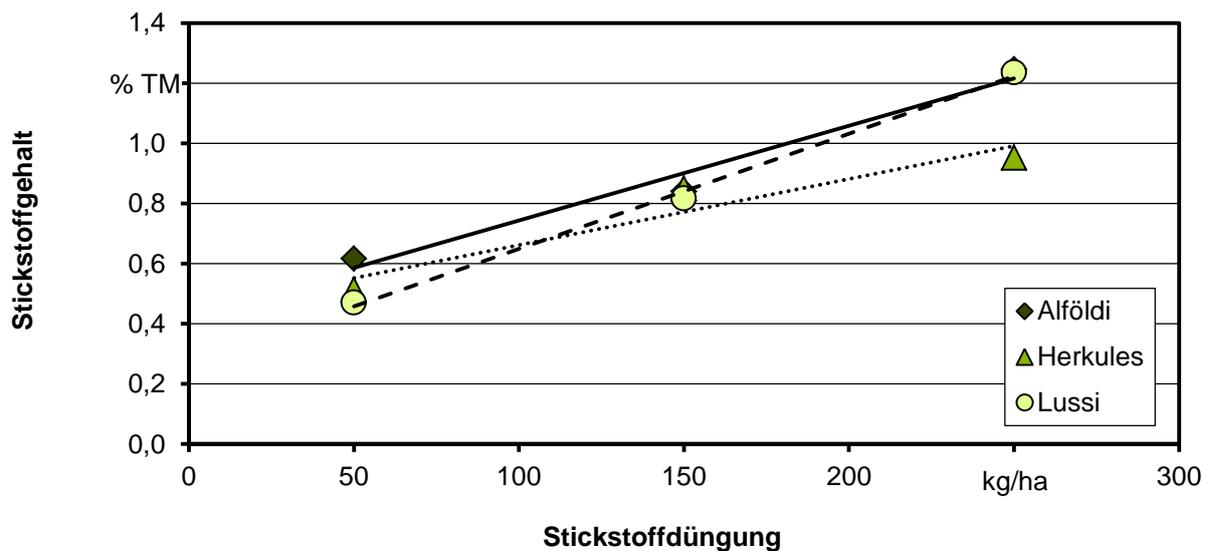


Abbildung 35: Gewächshausversuch – Korrelation zwischen der N-Düngung und dem N-Gehalt der Pflanzen

Zwischen der N-Düngung und dem N<sub>min</sub>-Gehalt des Bodens nach Ernte ließ sich zwar keine signifikante Korrelation herstellen, trotzdem zeigten die absoluten N<sub>min</sub>-Werte in Abbildung 36 eine steigende Tendenz mit der Erhöhung der Düngegaben und das umso ausgeprägter, je weniger die Sorte den Stickstoff in einen Mehrertrag umsetzte. Das Zustandekommen der negativen N-Salden in einem Mineralboden ohne inhärenten Vorrat in den niedrigen Versorgungsstufen kann nicht erklärt werden.

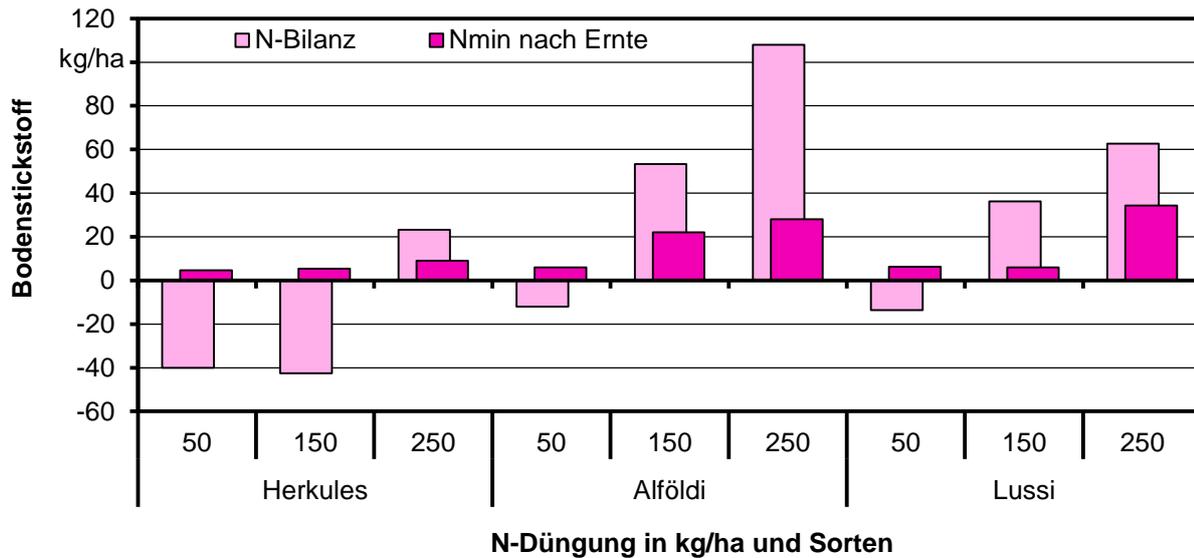


Abbildung 36: Gewächshausversuch – Stickstoffbilanz als Differenz aus N-Zufuhr (N-Düngung) und Abfuhr mit dem Erntegut sowie N<sub>min</sub>-Gehalte nach Ernte

### 5.3.4 Einfluss von Saatstärke und Stickstoffdüngung

Die Ergebnisse des dreifaktoriellen produktionstechnischen Versuches aus dem Jahr 2010 sind anhand von drei repräsentativen Sorten in Tabelle 29 dargestellt. Danach wurden die TM-Erträge weniger durch die Düngestufe als vielmehr durch die Saatstärke bestimmt. Allerdings lag der N<sub>min</sub>-Gehalt auf der Versuchsfläche bei 102 kg/ha, so dass die Pflanzen bereits ohne zusätzliche Düngergabe über eine hohe N-Grundversorgung verfügen konnten. Unabhängig von der Düngestufe stellte sich in den Parzellen mit der höchsten Saatstärke von 80 Körnern/m<sup>2</sup> schweres Lager bei allen hochwüchsigen Futtersorten ein. In diesen Varianten repräsentierte der dargestellte Ertrag nicht das, was gewachsen war, sondern nur das, was geerntet werden konnte. So wurden bei Herkules und Lussi signifikante lagerbedingte Verluste ermittelt. Dagegen reagierte die Körnersorte Alföldi auf die höchste Saatstärke mit einem signifikanten Mehrertrag. Auch wenn in den Versuchen des vorangegangenen Sorghumprojektes alle Sorten positiv auf Saatstärken bis zu 80 Körner/m<sup>2</sup> reagiert hatten [46], ist für die hochwüchsigen Futtersorten der drei Sorghumarten eine Saatstärke von über 40 Körnern/m<sup>2</sup> wegen der Gefahr der Lagerneigung grundsätzlich nicht zu empfehlen. Zwischen den Saatstärken 25 und 40 Körner/m<sup>2</sup> gab es bei keiner Sorte Ertragsunterschiede.

Die Tabelle 29 zeigt außerdem die Korrelation zwischen der Stickstoffversorgung und dem N-Gehalt der Pflanzen. Hier wurden signifikante Unterschiede sowohl zwischen den Düngestufen als auch zwischen den Saatstärken festgestellt. Obgleich die Wechselwirkung Saatstärke\*Düngung statistisch nicht abzusichern war, ließ sich über die Messung mit dem YARA-Tester in nebeneinander liegenden Parzellen der zweifaktorielle Effekt zeigen, indem der Chlorophyllgehalt (indirekt für N-Gehalt) in Richtung Steigerung der Düngung zu- und in Richtung Steigerung der Saatstärke abnahm (ohne Darstellung).

Tabelle 29: Einfluss von N-Düngung und Saatstärke auf Sorghum (2010): Ergebnisse der Kovarianzanalyse

Sorte	Variante	TM-Ertrag in dt/ha	TS-Gehalt in %	YARA- Messwert	N-Gehalt in % TM
Alföldi	150 kg N/ha	118,1 a	25,8 c	717,1 ab	1,50 a
	100 kg N/ha	113,2 ab	26,5 cb	727,5 a	1,42 a
	50 kg N/ha	100,4 ab	27,0 b	683,4 b	1,25 b
	0 kg N/ha	96,5 b	28,5 a	608,9 c	1,03 c
	80 Kö/m <sup>2</sup>	121,4 a	27,1 a	650,6 b	1,25 b
	40 Kö/m <sup>2</sup>	106,7 b	27,1 a	699,1 a	1,30 ab
	25 Kö/m <sup>2</sup>	93,1 b	26,7 a	702,9 a	1,35 a
Herkules	150 kg N/ha	133,6 a	21,7 b	678,4 a	1,64 a
	100 kg N/ha	156,1 a	22,3 ab	fehlt	1,45 ab
	50 kg N/ha	139,1 a	22,3 ab	651,9 a	1,33 bc
	0 kg N/ha	148,2 a	22,8 a	618,4 b	1,17 c
	80 Kö/m <sup>2</sup>	97,0 b	22,0 a	606,6 b	1,39 a
	40 Kö/m <sup>2</sup>	170,9 a	22,5 a	672,8 a	1,35 a
	25 Kö/m <sup>2</sup>	165,0 a	22,3 a	669,3 a	1,44 a
Lussi	150 kg N/ha	169,9 a	27,2 a	682,2 a	1,66 a
	100 kg N/ha	195,6 a	27,9 a	674,4 a	1,61 a
	50 kg N/ha	175,8 a	28,0 a	668,8 a	1,47 b
	0 kg N/ha	167,6 a	27,9 a	627,6 b	1,30 c
	80 Kö/m <sup>2</sup>	112,2 b	26,6 b	625,0 c	1,46 a
	40 Kö/m <sup>2</sup>	211,7 a	28,3 a	666,6 b	1,50 ab
	25 Kö/m <sup>2</sup>	207,7 a	28,4 a	698,2 a	1,57 b

Die sehr enge Korrelation zwischen den YARA-Werten und dem N-Gehalt der Pflanzen konnte über die zahlreichen Messreihen in diesem Versuch wiederholt belegt werden (Abbildung 37). Ganz offensichtlich müssten für Sorghum, wie schon für Mais oder Weizen geschehen, Sortenkorrekturwerte für die Interpretation der Messdaten erarbeitet werden [60]. So zeigten die Futtersorten Lussi und Herkules trotz ihrer unterschiedlichen Artzugehörigkeit einen ähnlichen, die Körnersorte Alföldi dagegen einen deutlich flacheren Anstieg der Kurve.

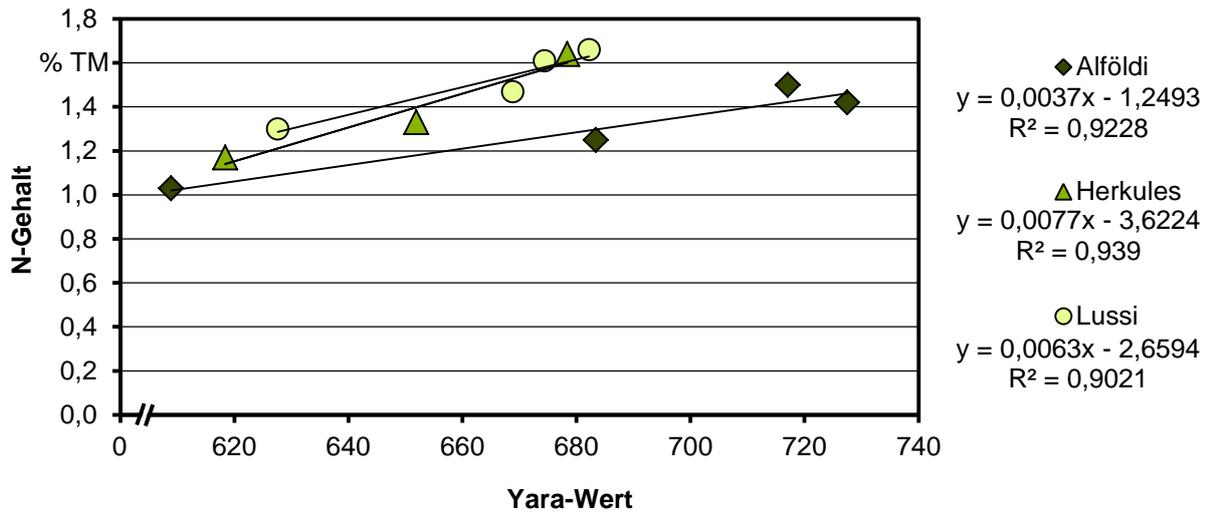


Abbildung 37: Korrelation zwischen den Messwerten des YARA-Testers und dem Stickstoffgehalt der Pflanzen

Neben dem Gesamt-N-Gehalt der Pflanzen wurden bei der geringsten Saatstärke in allen Düngestufen parzellenscharf auch die Nitratgehalte bestimmt. Bei einer N-Versorgung von über 200 kg/ha (bzw. ab Düngestufe 100 kg/ha) wurden bei Herkules bereits die Nitrat-Richtwerte laut amerikanischer Literatur überschritten (Abbildung 38).

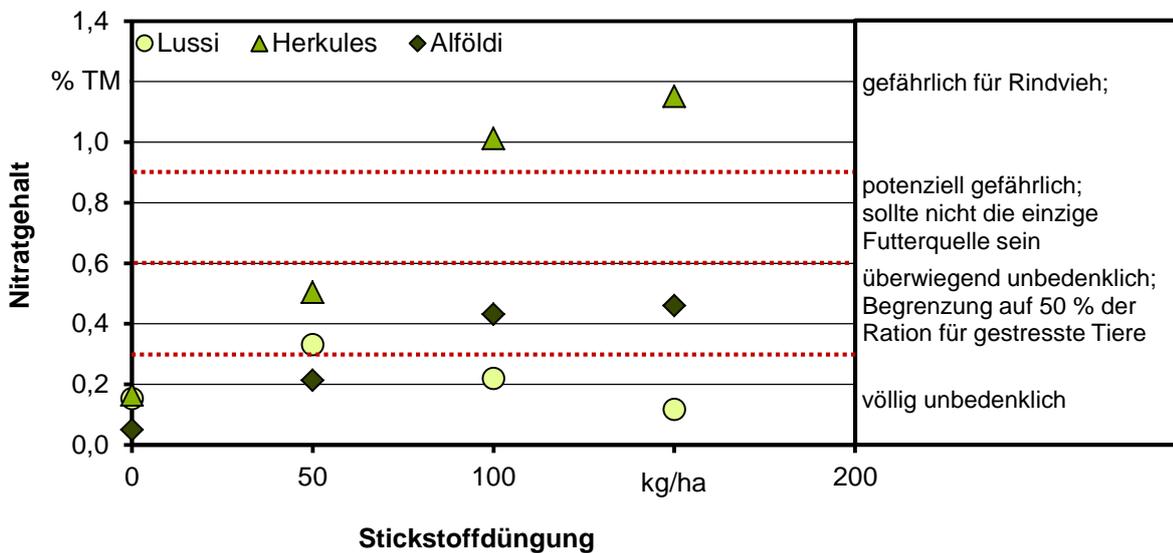


Abbildung 38: Nitratgehalte in Sorghum in Abhängigkeit von der Stickstoffversorgung und Gefährdungsklassen für Raufutter nach Fjell et al. (1991) [15]

Die Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft gibt einen maximalen Wert von 5.000 ppm (0,5 %) für Raufutter an, der in der Praxis den letzten Jahren bei Gras/Kleegrass und Mais nur höchst selten und unter sehr ungünstigen Bedingungen

überschritten worden ist (Herr Dr. Johannes Ostertag, LfL, mündliche Mitteilung). Das hier dokumentierte Resultat für die Futtersorte Herkules war dementsprechend überraschend. Fjell et. al [15] geben als Grund für die erhöhte Nitratakkumulation in wärmeliebendem Sorghum u. a. eine durch niedrige Temperaturen von unter 55 °F (entspricht 12,8°C) gehemmte Photosynthese an. Einen ähnlichen Effekt auf Sorghum haben auch langanhaltende bewölkte Phasen [52]. Der extrem nasskalte und sonnenscheinarme August des Jahres 2010 verhinderte überdies die Blüte und damit die Kornbildung, die normalerweise als Assimilations- und Eiweißsenke fungiert. Im Jahr 2011 wurde keine Nitratanreicherung nachgewiesen, was auf die deutlich günstigeren Witterungsbedingungen im August und einen normalen Blühverlauf mit Kornbildung zurückgeführt wurde.

In 2011 waren die Saatstärken in Richtung Praxisempfehlung angepasst worden. Nach dem extremen Lagerjahr 2010 ging es in erster Linie um die Prüfung von Faktorkombinationen, die eine Verbesserung der Standfestigkeit versprechen. Folglich lag der Schwerpunkt auf einer Verringerung der Pflanzendichte.

In Tabelle 30 sind die Ergebnisse der beiden Sorten von *S. bicolor* auf beiden Standorten zusammengefasst. Da im Jahr 2011 so gut wie kein Lager auftrat, konnte lediglich der Einfluss der Saatstärke auf die Zielgrößen TM-Ertrag und TS-Gehalt ermittelt werden. Die Reduzierung der Saatstärke von 25 auf 15 Körner/m<sup>2</sup> schlug sich in einem mittleren Minderertrag von 6 bis 9 % nieder, der für die Sorte Zerberus auf beiden Standorten signifikant war. Der TS-Gehalt wurde nur bei Zerberus in Aholting merklich beeinflusst, wobei der Trend in eine unerwartete Richtung ging: die höchsten TS-Gehalte wurden nicht in der niedrigsten, sondern in der höchsten Saatstärke realisiert. Wie auch im vorangegangenen Versuchsjahr waren die einzelnen Pflanzen in den dünner gesäten Varianten signifikant besser mit Stickstoff versorgt.

Tabelle 30: Einfluss von N-Düngung und Saatstärke auf *S. bicolor* (2011): Ergebnisse der Kovarianzanalyse

Sorte		Biomass 150		Zerberus	
Versuchsstandort		Straubing	Aholting	Straubing	Aholting
TM-Ertrag in dt/ha	150 kg N/ha	259,91 a	218,91 a	203,74 a	186,33 a
	100 kg N/ha	255,84 a	217,83 a	185,44 b	184,90 a
	50 kg N/ha	234,32 ab	208,05 a	192,90 ab	174,06 b
	0 kg N/ha	215,12 b	167,41 b	183,38 b	142,29 c
	25 Kö/m <sup>2</sup>	249,19 a	210,77 a	199,01 a	178,08 a
	20 Kö/m <sup>2</sup>	244,37 a	200,36 a	193,63 a	173,65 ab
	15 Kö/m <sup>2</sup>	230,32 a	198,01 a	181,46 b	163,96 b
TS-Gehalt in %	150 kg N/ha	27,17 a	27,20 b	26,24 b	26,56 b
	100 kg N/ha	27,55 a	28,45 ab	26,66 b	27,38 b
	50 kg N/ha	28,09 a	29,01 a	27,39 a	28,81 a
	0 kg N/ha	27,77 a	28,62 ab	27,91 a	28,84 a
	25 Kö/m <sup>2</sup>	27,85 a	28,45 a	27,36 a	28,22 a
	20 Kö/m <sup>2</sup>	27,61 a	28,10 a	26,94 a	28,02 ab
	15 Kö/m <sup>2</sup>	27,48 a	28,40 a	26,85 a	27,45 b
N-Gehalt in % TM	150 kg N/ha	1,04 a	1,17 a	1,18 a	1,27 a
	100 kg N/ha	1,02 a	1,06 a	1,15 a	1,16 b
	50 kg N/ha	0,89 b	0,90 b	1,05 b	0,91 c
	0 kg N/ha	0,86 b	0,74 c	0,95 c	0,80 d
	25 Kö/m <sup>2</sup>	0,98 a	0,92 a	1,04 b	0,96 b
	20 Kö/m <sup>2</sup>	0,94 a	0,97 ab	1,06 b	1,05 a
	15 Kö/m <sup>2</sup>	0,93 a	1,02 b	1,14 a	1,09 a

Der Einfluss der N-Düngung war auf beiden Standorten und in beiden Sorten hoch signifikant und konnte besonders eindrucksvoll für die Sorte Biomass 150 mit quadratischen Regressionsfunktionen beschrieben werden (Abbildung 39). Auch die N-Bilanz folgte über die Düngestufen einer quadratischen Funktion, der zufolge der höhere Ertrag in der 50 im Vergleich zur 0 kg N/ha Stickstoffvariante zu einer deutlich gesteigerten Auszehrung des Bodens in Aholting führte. Auffällig war hier, dass nicht nur die Erträge mit der N-Düngung sehr viel drastischer stiegen, sondern auch die N-Gehalte der Pflanzen (Tabelle 30). In Straubing war der N-Austrag in der am schwächsten gedüngten Variante erwartungsgemäß am höchsten.

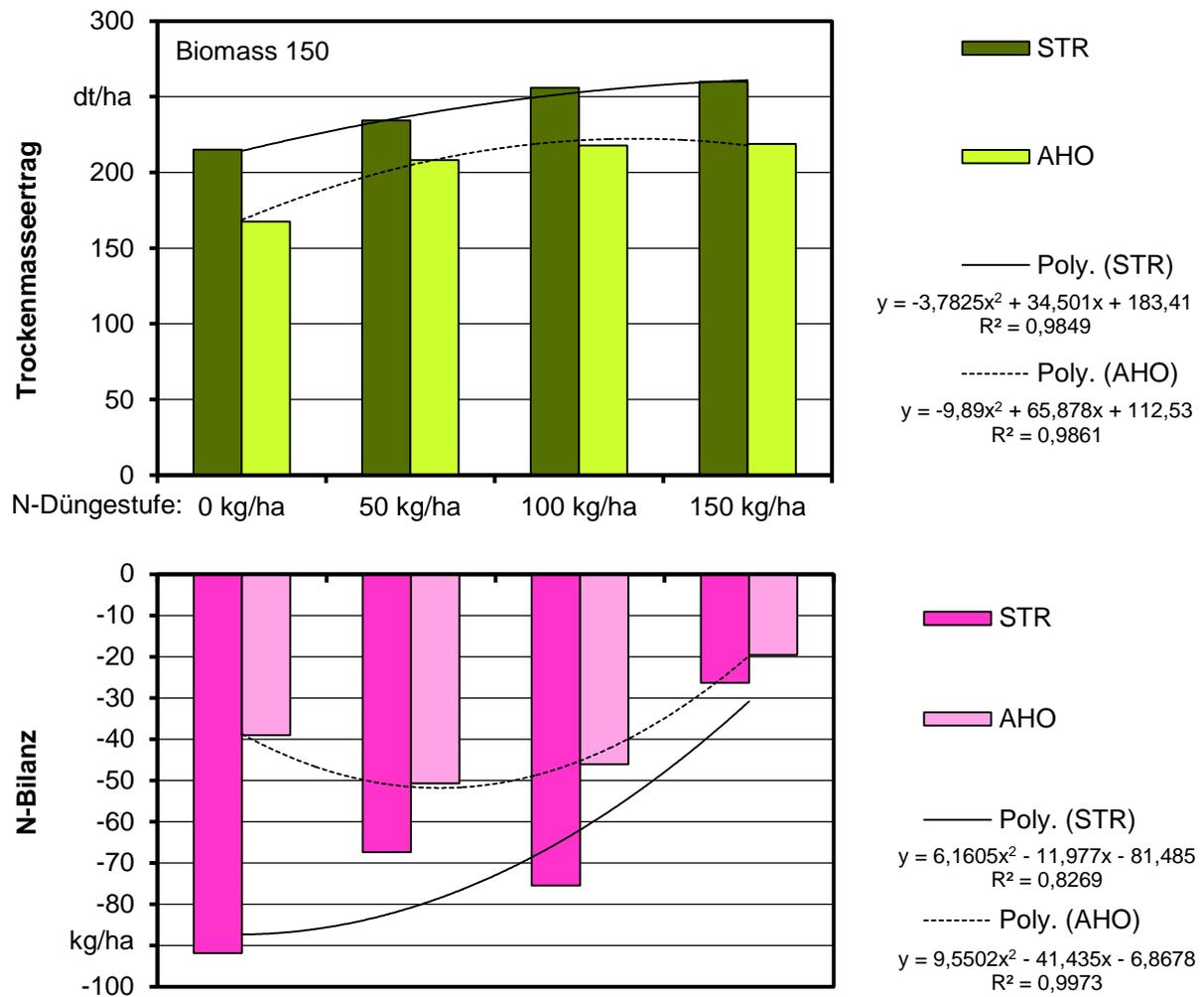


Abbildung 39: TM-Erträge und N-Bilanzen nach Düngestufen für die Sorte Biomass 150 in 2011 an den Standorten Straubing (STR) und Aholting (AHO)

In Tabelle 31 sind in gleicher Weise die Ergebnisse der Sorten von *S. bicolor* x *S. sudanense* dokumentiert. Auf Abstufungen in der Saatstärke reagierten beide Sorten nur in Aholting mit signifikanten Ertragsunterschieden (Lussi bis -6 und Inka bis -7 %). Auf dem reichen Lössboden machte die Ertragsbeeinflussung von der höchsten zur niedrigsten Stufe gerade 1 bis 2 % aus. Auch in diesen beiden Sorten war der ertragsbeeinflussende Effekt der N-Düngung auf dem schwächeren Standort Aholting höher als in Straubing, allerdings weit weniger drastisch als im Falle der *S. bicolor*-Sorten. Entsprechend ähnlicher sind sich die für beide Standorte in Abbildung 40 dargestellten Kurvenverläufe der Sorte Lussi. Die N-Zehrung im Boden hinterließ ebenfalls für beide Standorte ein konsistentes Bild, nach dem rechnerisch durch die höchste Düngungsstufe zuzüglich dem vor der Ernte gemessenen  $N_{\min}$ -Gehalt der N-Entzug (TM-Ertrag\*N-Gehalt der Pflanzen) nahezu ausgeglichen worden ist.

Tabelle 31: Einfluss von N-Düngung und Saatstärke auf *S. bicolor* x *S. sudanense* (2011): Ergebnisse der Kovarianzanalyse

Sorte		Lussi		Inka	
Versuchsstandort		Straubing	Ahofling	Straubing	Ahofling
TM-Ertrag in dt/ha	150 kg N/ha	188,91 a	168,40 a	184,89 ab	168,87 a
	100 kg N/ha	188,57 a	166,18 ab	192,42 a	167,29 a
	50 kg N/ha	182,24 a	160,32 b	179,89 ab	161,21 a
	0 kg N/ha	159,61 b	137,97 c	167,35 b	146,89 b
	45 Kö/m <sup>2</sup>	180,45 a	161,80 a	183,21 a	166,89 a
	35 Kö/m <sup>2</sup>	183,08 a	160,03 ab	178,71 a	160,54 ab
	25 Kö/m <sup>2</sup>	175,96 a	152,82 b	181,51 a	155,76 b
TS-Gehalt in %	150 kg N/ha	29,02 a	30,30 c	28,35 b	24,47 d
	100 kg N/ha	30,16 a	31,00 b	29,12 b	25,36 c
	50 kg N/ha	29,95 a	32,22 a	29,16 b	26,73 b
	0 kg N/ha	30,15 a	32,26 a	30,53 a	28,24 a
	45 Kö/m <sup>2</sup>	29,90 a	31,68 a	29,06 a	26,18 a
	35 Kö/m <sup>2</sup>	29,95 a	31,43 a	29,43 a	26,22 a
	25 Kö/m <sup>2</sup>	29,62 a	31,22 a	29,38 a	26,20 a
N-Gehalt in % TM	150 kg N/ha	1,31 a	1,43 a	1,42 a	1,50 a
	100 kg N/ha	1,24 a	1,28 b	1,30 ab	1,28 b
	50 kg N/ha	1,07 b	1,05 c	1,13 b	1,13 c
	0 kg N/ha	1,05 b	0,92 d	0,93 c	0,95 d
	45 Kö/m <sup>2</sup>	1,19 a	1,15 a	1,17 a	1,21 a
	35 Kö/m <sup>2</sup>	1,13 a	1,16 a	1,21 a	1,21 a
	25 Kö/m <sup>2</sup>	1,20 a	1,20 a	1,21 a	1,23 a

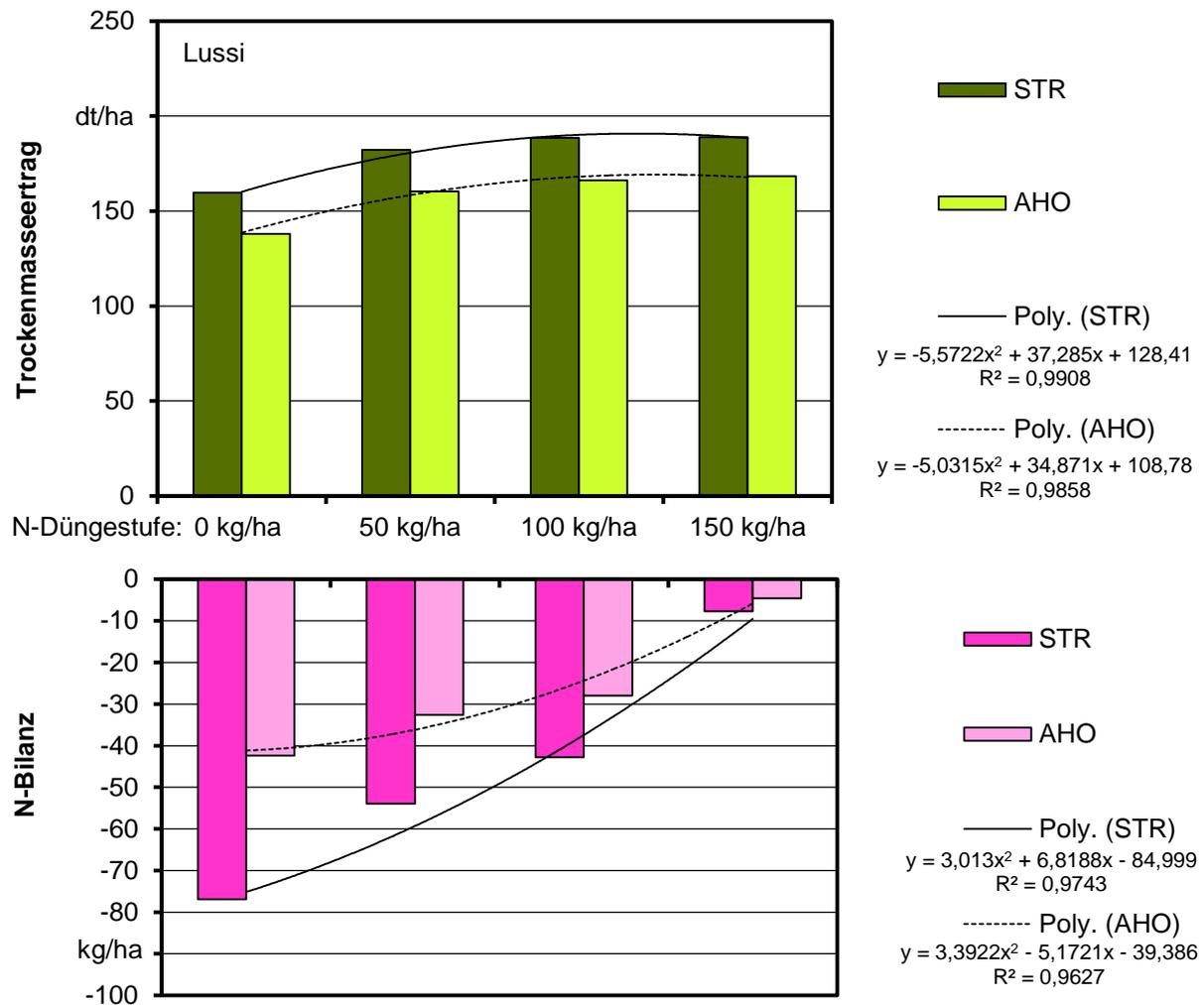


Abbildung 40: TM-Erträge und N-Bilanzen nach Düngestufen für die Sorte Lussi (2011)

### 5.3.5 Verwertung organischer Düngemittel

In Regionen mit großer Vieh- und/oder Biogasanlagendichte stellen nicht nur die verfügbaren Flächen zur Substratbeschaffung, sondern zunehmend auch Flächen für die Aufnahme der Gülle/Gärreste einen limitierenden Faktor dar. Nach § 4 der Düngeverordnung (DüV) darf mit Wirtschaftsdüngern tierischer Herkunft nur so viel Stickstoff ausgebracht werden, dass im Durchschnitt der landwirtschaftlich genutzten Flächen des Betriebes 170 kg N/ha und Jahr nicht überschritten werden [13]. Bei der Berechnung der N-Obergrenze nach DüV wird bei Gärresten nach dem derzeitigen Stand nur der Anteil Wirtschaftsdünger tierischer Herkunft berücksichtigt. Ansonsten gelten die Grundsätze der Düngebedarfsermittlung und die Begrenzung des betrieblichen Überschusses an N auf 60 kg/ha und Jahr und an P auf 20 kg/ha und Jahr, deren Einhaltung im Rahmen des betrieblichen Nährstoffvergleiches nachzuweisen ist. Der Gesetzgeber wird dem langsamen Stickstofffluss aus Wirtschaftsdüngern insofern gerecht, als nur der Anteil an pflanzenbaulich verfügbaren Stickstoff im Jahr der Ausbringung angerechnet werden muss [13]. So ist das Mineraldüngeräquivalent (MDÄ) für Rindergülle mit mindestens

50 % und für Schweinegülle mit 60 % festgelegt. Für Gärreste gibt es (noch) keine Angabe. Zahlreiche Studien gehen allerdings von einem deutlich höheren Anteil an leicht verfügbarem Ammoniumstickstoff im Vergleich zu unvergorener Gülle aus [11]. Allerdings steigt damit auch der potenzielle N-Verlust bei unsachgemäßer Ausbringung [41] [55]. Für den vorliegenden Düngungsversuch wurde die anrechenbare Stickstoffzufuhr über den Gärrest auf der Basis eines MDÄ für den Gesamtstickstoffgehalt von 70 % und ohne Berücksichtigung von Ausbringverlusten kalkuliert. Zielgrößen des Versuches waren die Parameter TM-Ertrag und TS-Gehalt.

Die Empfehlungen für die Stickstoffversorgung von Sorghum bewegen sich in der Größenordnung von 120 bis 150 kg N/ha und orientieren sich damit an den standortüblichen Gaben zu Mais abzüglich ca. 20 bis 30 %. Bei dieser Größenordnung ließe sich eine vollständige Abdeckung des N-Bedarfs über Gärrest/Gülle gewährleisten. Allerdings verweisen Literaturquellen auf Unsicherheiten einer pflanzenbedarfsgerechten Bemessung bei ausschließlicher Wirtschaftsdüngergabe, da es witterungsbedingt zu unterschiedlich schnellen Mineralisierungsprozessen des organisch gebundenen Stickstoffs kommen kann [49]. Deshalb sei es günstiger, nur etwa 50 % des N-Bedarfs über Gärrest/Gülle zu decken.

In keiner der Sorten sowohl im Prüffahr 2009 am Standort Straubing (Ergebnisse nicht dargestellt) als auch 2010 und 2011 am Standort Aholting trat ein signifikanter Unterschied zwischen den organischen Düngungsvarianten oder zur mineralischen KAS-Gabe zutage. Als tendenziell besser ist die Gärrestgabe nach Auflauf ebenso häufig markiert wie die mineralische Düngung (Ertragswerte sind fett gedruckt). Als schlechteste Variante (Ertragswerte kursiv gedruckt) erhielt die Gärrestgabe vor der Saat eine Nennung mehr als die frühe Gabe. Die Vorsaatgaben hatten möglicherweise die Saatbettqualität durch Verschlammung und/oder Fahrspuren beeinträchtigt und die starken Niederschläge zwischen den frühen Gärrestgaben und der Aussaat, insbesondere in 2010, zu nicht unerheblichen Verlusten an Stickstoff geführt. Signifikante Unterschiede im TS-Gehalt traten selten auf und wenn, dann wurde stets die mineralische Düngung als diejenige mit den niedrigsten Gehalten ausgewiesen. Insgesamt lässt sich festhalten, dass

1. in Sorghum ohne Bedenken die mineralische Düngung vollständig gegen Gärrest substituiert werden kann,
2. sich die maximale Gabe an den empfohlenen N-Sollwerten von 150 kg/ha unter Anrechnung des  $N_{\min}$ -Gehaltes zur Aussaat und des Gärrest-MDÄ (70 %) ausrichten sollte,
3. die Gärrestausbringung zeitlich sehr flexibel möglich ist,
4. im Sinne einer pflanzenbaulich sinnvollen und möglichst verlustfreien Anwendung die Ausbringung im Nachauflauf allerdings klar zu favorisieren ist.

Tabelle 32: Einfluss von Art und Zeitpunkt der N-Düngergabe auf den Ertrag von Sorghum

	Trockenmasseertrag in dt/ha				Trockensubstanzgehalt in %			
	org.fr.	org.v.S.	org.n.A.	mineral.	org.fr.	org.v.S.	org.n.A.	mineral.
Versuchsmittel	180,7	<i>180,3</i>	185,7	<b>188,6</b>	26,9 a	26,6	26,9 a	25,8 b
2010 Mittel	176,1	<i>175,0</i>	<b>180,5</b>	179,0	22,9 a	22,2 ab	22,7 a	21,7 b
Alföldi	132,4	<i>126,9</i>	<b>147,5</b>	140,7	26,2	26,0	27,7	24,8
Herkules	<i>205,2</i>	207,5	226,0	<b>239,9</b>	22,0	21,4	21,4	21,2
Inka	<b>192,3</b>	189,4	184,1	168,5	21,9	20,7	20,9	20,8
Green Grazer	186,6	<i>184,7</i>	<b>186,9</b>	185,9	22,5 a	21,9 ab	22,7 a	21,1 b
Tr. Headless	164,3	<b>166,6</b>	152,9	160,4	21,5	21,0	20,9	20,6
2011 Mittel	<i>186,4</i>	186,9	192,1	<b>200,6</b>	32,1	32,1	32,1	30,9
Biomass 150	178,9	193,2	<i>143,6</i>	<b>203,3</b>	30,2	29,2	30,2	29,6
Zerberus	<i>182,8</i>	203,1	186,6	<b>205,4</b>	30,3	30,1	30,1	28,6
Freya	<i>186,6</i>	189,5	<b>221,0</b>	205,0	32,9	24,2	33,4	32,9
Lussi	197,3	<i>161,6</i>	<b>217,2</b>	188,8	35,0 a	35,0 a	34,6 a	32,7 b

Der TM-Ertrag der besten Variante ist fett gedruckt, der TM-Ertrag der schlechtesten Variante kursiv



## Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Ziel des Forschungsprojektes (Laufzeit VI/2009 bis V/2012) waren die Festigung und die Erweiterung der in den Jahren 2006 bis 2008 gewonnenen Erkenntnisse zur Anbaueignung von Sorghum in Bayern und die Ableitung von regionalspezifischen Anbauempfehlungen für die landwirtschaftliche Praxis. Dazu wurde in enger Zusammenarbeit mit nationalen und internationalen Sorghumzüchtern ein umfangreiches Sortenscreening am Standort Straubing fortgeführt und aussichtsreiches marktgängiges Material darüber hinaus bayernweit geprüft. In den produktionstechnischen Versuchen standen die Ertrags-sicherung sowie die Verbesserung von Feldaufgang, Standfestigkeit, Abreifeverhalten und inhaltstofflicher Zusammensetzung von Sorghum im Vordergrund. Aus den zahlreichen Einzelversuchen an diversen Standorten lassen sich folgende Schlussfolgerungen ableiten:

**Sortenempfehlung:** In einem Reifegruppenmodell wurden die Reifegruppen früh, mittelfrüh, mittelspät und spät definiert und mit Referenzsorten aus dem aktuellen Marktsortiment hinterlegt. Die Zuordnung der Prüfsorten zu diesen Reifegruppen erfolgte über den statistischen Vergleich der zur Ernte erreichten Trockensubstanzgehalte gegen die der Referenzsorten.

Bezogen auf die Basistemperatur von 10 °C kann in Anlehnung an das Reifeprognosemodell nach AGPM folgender Wärmebedarf für das Erreichen der Siloreife von Sorghum (TS-Gehalt von 28 %) unterstellt werden:

- Reifegruppe früh: 750
- Reifegruppe mittelfrüh: 850 bis 900
- Reifegruppe mittelspät: 950 bis 1050
- Reifegruppe spät: 1150 bis 1240

Mit dem Reifegruppenmodell lassen sich für die marktgängigen Sorten sehr viel präzisere Aussagen treffen. So kann beispielsweise eine Empfehlung von mittelspäten und späten hoch ertragreichen Sorten, wie Herkules und Biomass 150 nur für ausgesprochen warme Lagen mitzeitigem Vegetationsbeginn im Frühjahr und kalkulierbarer Früh- und Spätfrostgefahr abgegeben werden. Bei späterer Aussaat in Zweitfruchtstellung erreichen sie keine silierfähigen TS-Gehalte. Mit frühen und mittelfrühen Sorten sind in den meisten bayerischen Anbauregionen die zur Ernte erforderlichen Trockensubstanzgehalte sowohl in Haupt- als auch in Zweitfruchtstellung möglich.

Nach den Ergebnissen des bayernweiten Sortenvergleiches ließen sich die Eignungsgebiete für die leistungsstarken mittelspäten Sorten auf sommertrockene Standorte mit hoher Einstrahlung reduzieren. Standorte wie Almesbach in der Oberpfalz definierten dagegen die Grenzlagen für den Sorghumanbau. Krankheiten und Schädlinge haben in den bayerischen Sorghumbeständen bislang noch keine wirtschaftlichen Schäden verursacht. *Diabrotica virgifera virgifera* trat in Sorghum nicht auf.

Der Nachweis einer Korrelation zwischen Trockensubstanzgehalten und phänologischen Merkmalen (BBCH-Stadien) ist mit den in der Saison 2011 erhobenen Daten erbracht

worden. Um einen sicheren und verlustarmen Gärverlauf zu gewährleisten (TS-Gehalt  $\geq 28\%$ ) sollte das Stadium der Kornfüllung (BBCH 73/75) erreicht sein.

**Methanausbeute/Methanhektarertrag:** Die wertgebenden Inhaltsstoffe von Sorghum wurden ausführlich vor dem Hintergrund seiner Verwendung als Energiepflanze in Biogasanlagen diskutiert. Die naßchemische Analyse legte signifikante Unterschiede zwischen den Sorghumarten und Nutzungstypen offen. Körnersorten von *S. bicolor* hatten einen hohen Stärkegehalt zu Lasten des Zuckergehalts, während in den Futtersorten aller Arten nahezu keine Stärke enthalten war. Der Rohfasergehalt war im Körnertyp von *S. bicolor* am niedrigsten und in *S. sudanense* am höchsten. In der Verdaulichkeit lagen die Körnersorten ganz vorn, wobei die Korrelation zum Stärkegehalt nicht immer herzustellen war. Die bmr-Sorten erwiesen sich im Durchschnitt als etwas besser verdaulich als die nicht-bmr-Futtersorten; sie kamen jedoch nicht an das Niveau der Körnersorten oder gar des Maises heran.

Die theoretischen Methanausbeuten in NI/kg TM ergaben je nach Berechnungsmodell eine unterschiedlich markante Differenzierung im Sorghummaterial. Die größten Unterschiede wurden nach der Methode Weißbach unter Verwendung der enzymunlöslichen organischen Substanz (EULOS) zur Schätzung der fermentierbaren organischen Trockenmasse (FoTS) ermittelt. Über die höhere theoretische Methanausbeute konnten die Körner- und bmr-Sorten jedoch ihre Ertragsschwäche nicht kompensieren. Der kleine Vorteil körnerbetonter Sorten verschwand völlig in Jahren, in denen witterungsbedingt keine Einkörnung stattfand.

Während bei Mais die Kalkulation nach dem Weißbach-Modell EULOS eine sehr gute Annäherung an den Hohenheimer Biogasertragstest (HBT) ergab, wird Sorghum viel schlechter als nach HBT eingeschätzt. Der HBT ergab bei Sorghum insgesamt nur eine sehr schwache Differenzierung im Gasbildungspotenzial. Lediglich eine der bmr-Sorten fiel positiv auf, doch auch sie blieb um 12 % hinter dem Mais zurück.

**Saatstärke:** Versuche zur stufenweisen Erhöhung der Saatstärke (25, 40, 80 Körner/m<sup>2</sup>) ergaben im Jahr 2009 kein konsistentes Bild und in 2010 führten 80 Körner/m<sup>2</sup> zu verminderter Standfestigkeit und großen Ertragseinbußen. In Absprache mit den Züchtern ist zur Verbesserung der Standfestigkeit für die massewüchsigen Neuzüchtungen die Empfehlung von 25 auf 20 Körner/m<sup>2</sup> bei *S. bicolor* und von 40 auf 30 bis 35 Körner/m<sup>2</sup> bei *S. bicolor* x *S. sudanense* korrigiert worden. Zu beobachten bleibt, ob bei der Art *S. bicolor* x *S. sudanense* eine Anpassung der Saatstärke entsprechend dem Einfluss des *bicolor*-Elter sinnvoll sein könnte. Das hieße, Sorten mit großer Ähnlichkeit zu *S. bicolor*, wie Hugin und Freya, mit 20 Körnern/m<sup>2</sup> und *S. sudanense*-geprägten Sorten, wie Lussi und Inka, mit der höheren Saatstärke von 35 Körnern/m<sup>2</sup> auszusäen.

**Reihenweite und Saattechnik:** Die Ertragsbeeinflussung durch die Reihenweite war nur bei extremen Einstellungen von unter 20 und über 75 cm signifikant. Demzufolge kann die Reihenweite entsprechend der auf dem Betrieb verfügbaren Technik gewählt werden. Gute Ergebnisse wurden mit dem halben Maisabstand von 37,5 cm erzielt. Denkbar ist auch der Einsatz einer Drillmaschine mit einem Vielfachen des Getreideabstandes

von 12,5 cm oder eines Einzelkorngerätes für Rüben (40 bis 50 cm Reihenweite). Die Einzelkornablage unterschied sich in ihrer Ertragswirkung nicht von der Drillsaat, solange die gute Einbettung der Samen und ihr Anschluss an das aufsteigende Bodenwasser gewährleistet waren.

**Düngung:** Sorghum gilt im Vergleich zu Mais als nährstoffeffizienter. In zahlreichen Düngungsversuchen kristallisierte sich ein Stickstoffbedarf von insgesamt 120 bis 150 kg/ha heraus, oberhalb dessen Sorghum nicht mehr mit Ertragszuwächsen reagierte. Dabei zeichneten sich Unterschiede zwischen den Arten und Nutzungstypen ab. Einen geringen Einfluss hatte die Stickstoffdüngung beispielsweise auf die Sorte Lussi (*S. bicolor* x *S. sudanense*). Etwas deutlicher reagierten dagegen die massewüchsigen Sorten von *S. bicolor* auf Stickstoffsteigerungen. Klare Funktionen zwischen Düngung und Ertrag für die Sorghumarten und -nutzungstypen abzuleiten gelang allerdings bisher noch nicht.

Die Nährstoffzufuhr zu Sorghum kann vollständig über Gärreste abgedeckt werden. Auch deren Gaben sind unter Berücksichtigung ihrer Mineraldüngeräquivalente (MDÄ für Gärrest 70 %) auf die oben genannte Gesamtversorgung zu begrenzen.

**Resümee:** Mit den gewonnenen Erkenntnissen aus der mittlerweile sechsjährigen Forschungsarbeit an Sorghum kann der landwirtschaftlichen Praxis ein kleines, aber durchweg erfolgreiches Spektrum an Sorten mit adäquaten Vorschlägen zur Produktionstechnik für verschiedene bayerische Standortbedingungen empfohlen werden. Dabei wird frühes und mittelfrühes Material favorisiert, weil sich damit fast überall in Bayern die zur Ernte erforderlichen Trockensubstanzgehalte sowohl in Haupt- als auch in Zweitfruchtstellung erreichen lassen. Neben deutschen setzen auch ausländische Züchter verstärkt auf das Merkmal Frühreife, obgleich dieses im internationalen Maßstab für den Sorghumanbau keine Relevanz hat. Offenbar sind die kühler gemäßigten Gebiete als potenzielle Sorghummärkte erkannt worden. Die Aufnahme von Sorghum in die amtliche Sortenprüfung ab 2012 unterstreicht die wachsende Bedeutung dieser Kultur.



## Quellenverzeichnis

- [1] AFIFI, M.; SWANTON, C. J. (2011): Maize seed and stem roots differ in response to neighbouring weeds. *Weed Research*, Jg. 51, Nr. 5, S. 442–450
- [2] AMON, T.; HACKL, E.; JEREMIC, D.; AMON, B. (2002): Cofermentation von Wirtschaftsdüngern mit Energiegräsern in landwirtschaftlichen Biogasanlagen. Endbericht für die Wiener Wirtschaftskammer. Wien: Universität für Bodenkultur, Institut für Land-, Umwelt- und Energietechnik, s. p.
- [3] ALLISON, C. D.; BAKER, R. D. (2007): Prussic Acid Poisoning in livestock. Las Cruces, NM, USA: New Mexico State University, Cooperative Extension Service, Guide, Nr. B-808, s. p.
- [4] BASERGA, U. (1998): Landwirtschaftliche Co-Vergärungs-Biogasanlagen. Biogas aus organischen Reststoffen und Energiegras. FAT-Berichte, Nr. 512. Tänikon: Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik (FAT), 12 Seiten
- [5] BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (2005): Gruber Tabelle zur Fütterung in der Rindermast - Fresser, Bullen, Ochsen, Kalbinnen, Kühe. LFL-Information, 11. Aufl. Freising-Weißenstephan: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Tierernährung und Futterwirtschaft, s. p.
- [6] GRONAUER, A. (2004): Grundlagen der Technik. Kapitel 1.1-1.5. In: BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ (Hrsg.): Biogashandbuch Bayern. Materialienband. Augsburg: Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, s. p.
- [7] BUNDESSORTENAMT (2000): Richtlinien für die Durchführung von landwirtschaftlichen Wertprüfungen und Sortenversuchen. Hannover: Landbuch-Verlags.-Ges., 348 Seiten, ISSN 1431-1089
- [8] BOGHUN, J.; KLUTH, H.; STEINHÖFEL, O.; PETERHÄNSEL, M.; RODEHUTSCORD, M. (2004): Zur Bewertung des energetischen Futterwertes von Mischrationen (TMR) für Milchkühe. In: SÄCHSISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (Hrsg.): Berichte aus der Tierfütterung - Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Jg. 9, Nr. 3. Dresden: Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, S. 1-20
- [9] CAMPBELL, C. L.; MADDEN, L. V. (1990): Introduction to Plant Disease Epidemiology. A Wiley-Interscience publication. New York: Wiley, 532 Seiten, ISBN 0-471-83236-7
- [10] CASLER, M. D.; PEDERSEN, J. F.; UNDERSANDER, D. J. (2003): Forage Yield and Economic Losses associated with the Brown-Midrib Trait in Sudangrass. *Crop Science*, Jg. 43, Nr. 3, S. 782-798
- [11] DEDERER, M. (2006): Pflanzenbauliche Verwertung von Gärresten. In: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL) (Hrsg.): Verwertung von Wirtschaftsdüngern in der Landwirtschaft - Nutzen und Risiken. KTBL-Schrift, Nr. 444. Darmstadt: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL), S. 191-198, ISBN 978-3-939371-05-2

- [12] DEUTSCHE LANDWIRTSCHAFTS-GESELLSCHAFT (DLG) (1997): DLG-Futterwerttabellen - Wiederkäuer. Universität Hohenheim Dokumentationsstelle (Hrsg.), unter Mitwirkung des Ausschusses für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie u. d. Bundesanstalt für Landwirtschaft Gumpenstein. 7., erw. u. überarb. Aufl. Frankfurt am Main, 212 Seiten, ISBN 3-7690-0547-3
- [13] BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN (2006): Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung – DüV). Bundesgesetzblatt, Teil I, Nr. 2, S. 34-43
- [14] EDER, J.; ZIEGLTRUM, A.; EIBLMEIER, P. (2011): Das Mais-Reifeprognosemodell nach AGPM. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung; URL: <http://www.lfl.bayern.de/ipz/mais/08509/> Stand: 01.04. 2011
- [15] FJELL, D.; BLASI, D.; TOWNE, G. (1991): Nitrate and Prussic Acid Toxicity in Forage – Causes, Prevention, and Feeding Management. MF - Cooperative Extension Service, Kansas State University, Manhattan, Nr. MF-1018, S. 1-4
- [16] FREDRIKSEN, R. A.; ODVODY, G. N. (2000): Compendium of sorghum diseases. 2<sup>nd</sup> edition. Disease compendium series. St. Paul, Minnesota: APS Press, 78 Seiten, ISBN 0-89054-240-6
- [17] FUKAI, S., FOALE, M. A. (1988): Effects of row spacing on growth and grain yield of early and late sorghum cultivars. Australian Journal of Experimental Agriculture, Jg. 28, Nr. 6, S. 771-777
- [18] BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN (BMELF) (1981): Futtermittelverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 24. Mai 2007 (BGBl. I S. 770), die zuletzt durch Artikel 2 der Verordnung vom 16. Juli 2012 (BGBl. I S. 1535) geändert worden ist. Bundesgesetzblatt, Teil I, Nr. 22, S. 770-892
- [19] GERIK, T.; BEAN, B.; VANDERLIP, R. (2003): Sorghum growth and development. Temple, TX; Amarillo, TX, USA: The Texas A & M University System; Texas Cooperative Extension, Nr. B-6137 7-03, 8 Seiten
- [20] GLOYNA, K.; THIEME, T. (2011): Eignung von Energiepflanzen als alternative Nahrungspflanzen für Larven von *Diabrotica vigifera vigifera*. Schlussbericht. Thulendorf/Sagerheide: BTL Bio-Test Labor GmbH, 28 Seiten
- [21] GRAF, R.; MICHEL, D.; ROßBERG, D.; NEUKAMPF, R. (2009): Definition pflanzenartsspezifischer Anbauggebiete für ein regionalisiertes Versuchswesen im Pflanzenbau. Journal für Kulturpflanzen, Jg. 61, Nr. 7, S. 247-253
- [22] GRONAUER, A.; KAISER, F. (2007): Evaluierung der Methanproduktivität nachwachsender Rohstoffe in Biogasanlagen als Grundlage für ein EDV-gestütztes Expertensystem für Beratung und Praxis. Endbericht zum Forschungsvorhaben. Freising: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Landtechnik und Tierhaltung, 118 Seiten
- [23] GROß, F.; RIEBE, K. (1974): Gärfutter – Betriebswirtschaft, Erzeugung, Verfütterung. Stuttgart: Ulmer, 283 Seiten, ISBN 3-8001-4321-6
- [24] HART, S. P. (1990): Effects of altering the grain content of sorghum silage on its nutritive value. Journal of Animal Science, Jg. 68, Nr. 11, S. 3832-3842

- [25] HENNEBERG, W.; STOHMANN, F. (1864): Über die Ausnutzung der Futterstoffe durch das volljährige Rind und über Fleischbildung im Körper desselben. Beiträge zur Begründung einer rationellen Fütterung der Wiederkäuer – Praktisch-landwirtschaftliche und chemische-physiologische Untersuchungen, Heft 2. Braunschweig: Schwetschke und Sohn (M. Bruhn), 456 Seiten
- [26] JENNINGS, J.; GADBERRY, S. (2006): Prussic Acid. University of Arkansas, Division of Agriculture, Department of Animal Science, Agriculture and Natural Resources. Little Rock: University of Arkansas Cooperative Extension Service Printing Services, Nr. FSA 3069-PD-1-12RV, 2 Seiten
- [27] KEYMER, U.; SCHILCHER, A. (1999): Überlegungen zur Errechnung theoretischer Gasausbeuten vergärbare Substrate in Biogasanlagen. In: INSTITUT FÜR LANDTECHNIK, WEIHENSTEPHAN; DEHL, W.; MITTERLEITNER, H. (Hrsg.): Biogas – Menge und Qualität. Berechnung, Messmethoden, Optimierung. Landtechnik-Bericht, Nr. 32. Freising: Landtechnik Weihenstephan, s. p.
- [28] KEYMER, U.; SCHILCHER, A. (2003): Biogasanlagen: Berechnung der Gasausbeute von Kosubstraten. München: Bayrische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Ländliche Strukturentwicklung, Betriebswirtschaft und Agrarinformatik, URL: <http://www.lfl.bayern.de/ilb/technik/03029/> Stand 29.03. 2011
- [29] KWS MAIS GMBH (2010): KWS Energiesorghum. Einbeck: KSW Mais GmbH, KSWM 105-105\_2010, s. p.
- [30] LANCASHIRE, P. D.; BLEIHOLDER, H.; LANGELÜDDECKE, P.; STAUSS, R.; BOOM, T. V. D.; WEBER, E.; WITZENBERGER, A (1991): An uniform decimal code for growth stages of crops and weeds. Annals of Applied Biology, Jg. 119, Nr. 3, S. 561-601
- [31] MAHLKOW-NERGE, K. (2010): Neue Energiebewertung von Maissilagen. Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein, Landpost vom 13. März, S. 41-42
- [32] MARSALIS, M. A.; BEAN, B. (2010): Western Forage Production Guide. Sorghum Checkoff. Lubbock, TX, USA: United Sorghum Checkoff Program (USCP) 125 S. URL: <http://amarillo.tamu.edu/amarillo-center-programs/agronomy/forage-sorghum/> Stand: 12.03.2012
- [33] MEIER, U.; BLEIHOLDER, H.; BUHR, L.; FELLER, C.; HACK, H.; HEß, M.; LANCASHIRE, P. D.; SCHNOCK, U.; STAUSS, R.; BOOM, T. V. D.; WEBER, E.; ZWERGER, P. (2009): The BBCH system to coding the phenological growth stages of plants – history and publications. Journal für Kulturpflanzen, Jg. 61, Nr. 2, S. 41–52
- [34] MCCOLLUM III, T.; MCCUISTION, K.; BEAN, B. (2005): Brown mid-rib and photoperiod-sensitive forage sorghums. In: THE TEXAS A & M UNIVERSITY (Ed.): Plains Nutrition Council 2005, Proceedings. Amarillo, TX, USA: The Texas A & M University System; Agricultural Research and Extension Centre, AREC 05-20, 11 Seiten
- [35] MILLER, F. R.; STROUP, J. A. (2003): Brown Midrip Forage Sorghum, Sudangrass, and Corn: What is the Potential? In: UNIVERSITY OF CALIFORNIA, DEPARTMENT OF AGRONOMY AND RANGE SCIENCE EXTENSION (Ed.): 33<sup>rd</sup> California Alfalfa and Forage Symposium, 17.-19. December 2003, Proceedings. Monterey, CA, USA: University of California, 9 Seiten, URL: <http://alfalfa.ucdavis.edu/+symposium/proceedings/2003/03-143.pdf> Stand: 12.03. 2012

- [36] MOROHOSHI, T.; WANG, W. Z.; SOMEYA, N.; IKEDA, T. (2011): Genome sequence of *Microbacterium testaceum* StLB037, an N-acylhomoserine lactone-degrading bacterium isolated from potato leaves. *Journal of Bacteriology*, Jg. 193, Nr. 8., S 2072–2073
- [37] MOYER, J. L.; FRITZ, J. O.; HIGGINS, J. J. (2003): Relationships among forage yield and quality factors of Hay-Type Sorghums. *Crop Management – Peer Reviewed Journal of Applied Crop Science*, Nr. 12, DOI:10.1094/CM-2003-1209-01-RS
- [38] OLIVER, A. L.; PEDERSEN, J. F.; GRANT, R. J.; KLOPFENSTEIN, T. J.; JOSE, H. D. (2005): Comparative effects of the Sorghum *bmr-6* and *bmr-12* genes. I. Forage Sorghum Yield and Quality. *Crop Science*, Jg. 45, Nr. 6, S. 2234-2239
- [39] OSUNA-ORTEGA J.; MENDOZA-CASTILLO, M. D. C.; MENDOZA-ONOFRE L. E. (2003): Sorghum cold tolerance, pollen production, and seed yield in the central High Valleys of Mexico. *Maydica*, Jg. 48, Nr. 2, S. 125-132
- [40] PAGE, E. R.; LEE, E. A.; TOLLENAAR, M.T.; LUKENS, L.; SWANTON, C. J. (2008): Why is early season weed control important in maize (*Zea mays* L.)? In: Canadian Weed Science Society (Ed.): 62<sup>nd</sup> Annual meeting, 25-27 November 2008, Banff, Alberta, Canada, Proceedings. Pinawa, Manitoba, Canada: Canadian Weed Science Society, S.17
- [41] PERETZKI, F.; MÜLLER, C.; DITTMANN, T. (2005): Düngerfabrik Biogasanlage. *Bayerisches Landwirtschaftliches Wochenblatt*, Jg. 195, Nr. 7, S. 42-44
- [42] PROVIN, T. L.; PITT, J. L. (2003): Nitrates and Prussic Acid in Forages - Sampling, Testing and Management Strategies. Amarillo, TX, USA: The Texas A & M University System, Texas Agricultural Extension Service, Nr. L-5433 1-03, 6 Seiten
- [43] REICH, J. M. (2005): Utilizing the *bmr* trait in sudangrass and sorghums. In: UNIVERSITY OF CALIFORNIA, DEPARTMENT OF AGRONOMY AND RANGE SCIENCE EXTENSION (Ed.): 35<sup>th</sup> California Alfalfa and Forage Symposium, 12-14 December 2005, Visalia, California, Proceedings. Monterey, CA, USA: University of California. URL: <http://alfalfa.ucdavis.edu/+symposium/proceedings/2003/05-159.pdf> Stand 15.03.2012
- [44] ROBSON, S. (2007): Prussic Acid Poisoning in livestock. New South Wales (NSW) Department of Primary Industries. Primefacts – profitable & sustainable primary industries, Job Number 7296, February, Nr. 417, 3 Seiten, ISSN 1832-6668
- [45] ROLLER, A. (2009): Energiepflanze Hirse besteht Eignungstest. *Erneuerbare Energien*, Jg. 19, Nr. 2, S. 61-63
- [46] ROLLER, A.; BLOCH, D.; STICKSEL, E.; FRITZ, M. (2012): Sorghumhirse als nachwachsender Rohstoff - Sortenscreening und Anbauszenarien. *Berichte aus dem TFZ*, Nr. 28. Straubing: Technologie- und Förderzentrum (TFZ) im Kompetenzzentrum für nachwachsende Rohstoffe, 158 Seiten, ISSN 1614-1008
- [47] ROßBERG, D.; MICHEL, V.; GRAF, R.; NEUKAMPF, R. (2007): Definition von Bodenklima-Räumen für die Bundesrepublik Deutschland. *Nachrichtenblatt für den deutschen Pflanzenschutzdienst*, Jg. 59, Nr. 7, S. 155-161

- [48] RHYKERD, C. L.; JOHNSON, K. D. (2007): Minimizing the Prussic Acid Poisoning Hazard in Forages. West Lafayette, IN, USA: Purdue University, Department of Agronomy, Agronomy Cooperative Extension Service, Nr. AY-196, URL: <http://www.agry.purdue.edu/ext/forages/publications/ay196.htm> Stand: 26.09.2012
- [49] SCHILLING, G.; KERSCHBERGER, M. (2000): Pflanzenernährung und Düngung. UTB für Wissenschaft - Agrarwissenschaften, Nr. 8189. Stuttgart: Ulmer Verlag, 464 Seiten, ISBN 3-8252-8189-2
- [50] SCHUSTER, W. H.; LOCHOW, J. v. (1979): Anlage und Auswertung von Feldversuchen – Anleitungen und Beispiele für die Praxis der Versuchsarbeit. 2., erw. Aufl. Frankfurt am Main: DLG-Verlags-GmbH, 239 Seiten, ISBN 3-7690-0300-4
- [51] VANSOEST, P. J.; ROBERTSON, J. B.; LEWIS, B. A. (1991): Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. Journal of Dairy Science. Jg. 74, Nr. 10, S. 3583-3597
- [52] STICHLER, C.; REAGOR, J. C. (2001): Nitrate and Prussic Acid Poisoning. Amarillo, TX, USA: The Texas A & M University System, Texas Agricultural Extension Service, Nr. L-5231 06-01, 4 Seiten
- [53] STICKSEL, E.; ROLLER, S. (2007): Hirse für Biogas anbauen? Dlz Agrarmagazin, Jg. 58, Nr. 10, S. 24-27
- [54] STRICKLAND, G.; SELK, G.; ZHANG, H.; STEP, D. L. (2009): Prussic Acid Poisoning. Stillwater, OK, USA: Oklahoma State University, Division of Agricultural Sciences and Natural Resources, Oklahoma Cooperative Extension Service, Fact Sheet, Nr. PSS-2904, 2 Seiten
- [55] SÜß, H. (2009): Gülle bodennah ausbringen. Bayerisches Landwirtschaftliches Wochenblatt, Jg. 199, Nr. 18, S. 49-51
- [56] UNDERSANDER, D. J.; SMITH, L. H.; KAMINSKI, A. R.; KELLING, K. A.; DOLL, J. D. (1990): Sorghum-Forage. Alternative Field Crops Manual, Chapter, Printed October 1990. Madison, WI, USA: University of Wisconsin, Cooperative Extension Service & St. Paul, MN, USA: University of Minnesota, Center for Alternative Plant & Animal Products, Minnesota Extension Service, URL: <http://www.hort.purdue.edu/newcrop/afcm/forage.html> Stand: 15.03.12
- [57] VOUGH, L. R.; CASSEL, E. K. (2006): Prussic Acid Poisoning of Livestock: Causes and Prevention. Aberdeen, SD, USA: South Dakota State University Cooperative Extension Service (SDSU), Extension Extra (ExEx), Nr. 4016 Dairy Science, 4 Seiten
- [58] WEISSBACH, F. (2009): Die Bewertung des Gasbildungspotenzials von nachwachsenden Rohstoffen. In: BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (LfL) (Hrsg.): Internationale Wissenschaftstagung Biogas Science, Band 3 – Poster. LfL-Schriftenreihe, Nr. 17, S. 517-526, ISSN 1611-4159
- [59] WITZENBERGER, A.; HACK, H.; BOOM, T. v. D. (1989): Erläuterungen zum BBCH Dezimal-Code für die Entwicklungsstadien des Getreides – mit Abbildungen. Gesunde Pflanzen – Pflanzenschutz, Verbraucherschutz, Umweltschutz, Jg. 41, Nr. 11, S. 384-388
- [60] YARA GMBH & CO. KG (2012): N-Tester. <http://www.n-tester.de/> Stand: 09.05.2012



## Anhang



Abbildung 41: Durch einen pilzlichen Schaderreger verursachte Oval Leaf Spots



Abbildung 42: Bakterielle Streifenkrankheit



Abbildung 43: *Exserohilum*-Blattflecken. Von links nach rechts: punktförmige Läsionen an jüngsten Blättern; ausgedehnte Läsion auf älteren Blättern; Konidienträger mit Konidien nach Inkubation in der feuchten Kammer



Abbildung 44: Bakterielle Spitzenfäule verursacht durch *Erwinia* sp.



Abbildung 45: Durch nasskalte Witterung während der Blüte induzierte männliche Sterilität (links) und eingeschränkte Einkörnung (rechts)

Tabelle 33: Verwendete Sorghumgenotypen und Maisreferenzsorten im Anbaujahr 2011

Sorte	Züchter/ Sorteninhaber	Sorghumart	Nutzungs- typ	Prüfjahre	Analysen					
					Ertrag	Qualität	ELOS	Silage	Blausäure	Schnittzeit
Alföldi	Agrisem	S.bicolor	Körner	<3	x	x	x			
Arlys	Euralis	S.bicolor	Körner	<3	x	x	x			
GK Emese	Agrisem	S.bicolor	Körner	1	x	x	x			
Stamm 1	Nuseed	S.bicolor	Körner	1	x	x	x			
Stamm 2	Nuseed	S.bicolor	Körner	1	x	x	x			
Stamm 3	Agrisem	S.bicolor	Körner	1	x	x	x			
Arbatax	Euralis	S.bicolor	Dual	<3	x	x	x			
Stamm 4	Euralis	S.bicolor	Futter	1	x	x	x			
Stamm 5	Euralis	S.bicolor	Futter	1	x	x	x			
Amiggo	RAGT	S.bicolor	Futter	1	x	x	x			
Stamm 6	Agrisem	S.bicolor	Futter	1	x	x	x			
Biomass 150	Euralis	S.bicolor	Futter	3	x	x	x		x	x
BMR Gold	Euralis	S.bicolor	Futter	1	x	x	x			
Bulldozer	KWS	S.bicolor	Futter	<3	x	x	x			
Goliath	Saatenunion	S.bicolor	Futter	<3	x	x	x			
Herkules	Saatenunion	S.bicolor	Futter	<3	x	x	x	x	x	x
Stamm 7	Nuseed	S.bicolor	Futter	1	x	x	x			
Stamm 8	Nuseed	S.bicolor	Futter	1	x	x	x			
Stamm 9	Nuseed	S.bicolor	Futter	1	x	x	x	x		
Odin	KWS	S.bicolor	Futter	1	x	x	x			x
Pluto	KWS	S.bicolor	Futter	3	x	x	x			
Sisco BMR	Euralis	S.bicolor	Futter	1	x	x	x			
Stamm 10	Agrisem	S.bicolor	Futter	1	x	x	x			
Tarzan	KWS	S.bicolor	Futter	1	x	x	x			
Thor	KWS	S.bicolor	Futter	1	x	x	x			
Wotan	KWS	S.bicolor	Futter	3	x	x	x	x	x	x
Zerberus	KWS	S.bicolor	Futter	<3	x	x	x		x	x
Stamm 11	Caussade	S. bic. x S. sud.	Futter	2	x	x	x			
Freya	KWS	S. bic. x S. sud.	Futter	<3	x	x	x	x	x	x

Sorte	Züchter/ Sorteninhaber	Sorghumart	Nutzungstyp	Prüfjahre	Analysen					
					Ertrag	Qualität	ELOS	Silage	Blausäure	Schnittzeit
Green Grazer	BSV Saaten	S. bic. x S. sud.	Futter	<3	x	x	x			
Honey Graze	Andreae	S. bic. x S. sud.	Futter	1	x	x	x			
Hugin	KWS	S. bic. x S. sud.	Futter	1	x	x	x			x
Inka	KWS	S. bic. x S. sud.	Futter	<3	x	x	x			x
Jumbo	Caussade	S. bic. x S. sud.	Futter	<3	x	x	x			
Latte	FarmSaat	S. bic. x S. sud.	Futter	<3	x	x	x			
Lussi	Caussade	S. bic. x S. sud.	Futter	<3	x	x	x	x	x	x
Mithril	Andreae	S. bic. x S. sud.	Futter	<3	x	x	x			x
Stamm 12	Nuseed	S. bic. x S. sud.	Futter	1	x	x	x			
Sole	KWS	S. bic. x S. sud.	Futter	1	x	x	x			
Agro Gas		Mais	frühe Saat							
Fernandez		Mais	frühe Saat							
Franki		Mais	frühe Saat							
LG 3216		Mais	frühe Saat							
PR38H20		Mais	frühe Saat							
Puyol		Mais	frühe Saat							
Aapósito		Mais	späte Saat							
Ayrro		Mais	späte Saat							
Fabregas		Mais	späte Saat							
LG 30222		Mais	späte Saat							
Salgado		Mais	späte Saat					x	x	
Sphinxx		Mais	späte Saat							

Tabelle 34: Ertragsparameter und Reifeverhalten vom Material des Sortenscreenings 2011

Parameter	TM-Ertrag	TS-Gehalt	Pflanzenlänge	Lager	AUGPC
Einheit	dt/ha	%	cm	BN (1-9)	<sup>1)</sup>
Mittelwert (MW)	171,1	26,2	315,0	5,08	3.257,4
95% Konf.interv.	13,5	1,0	13,6	0,95	43,3
Sorte	relativ	relativ	relativ	relativ	relativ
Alföldi	85	98	48	20	132
Arllys	65	93	40	20	124
GK Emese	79	98	46	20	132
Stamm 1	86	81	55	20	87
Stamm 2	85	84	61	20	89
Stamm 3	82	99	52	20	113
Arbatax	83	107	73	20	102
Stamm 4	140	107	131	94	83
Stamm 5	128	108	128	123	90
Amiggo	113	110	125	98	99
Stamm 6	75	103	88	177	117
Biomass 150	138	107	130	108	79
BMR Gold	32	76	80	177	75
Bulldozer	119	96	131	64	73
Goliath	131	108	128	84	94
Herkules	134	105	129	84	86
Stamm 7	128	99	133	79	72
Stamm 8	101	85	99	167	99
Stamm 9	102	101	110	89	90
Odin	115	109	129	69	99
Pluto	93	110	121	113	101
Stamm 10	74	82	87	177	102
Sisco BMR	66	82	84	177	91
Tarzan	111	110	128	59	97
Thor	121	106	129	74	89
Wotan	115	111	122	69	109
Zerberus	114	108	120	69	102
Stamm 11	73	79	75	177	109

Parameter	TM-Ertrag	TS-Gehalt	Pflanzen- länge	Lager	AUGPC
Einheit	dt/ha	%	cm	BN (1-9)	<sup>1)</sup>
Mittelwert (MW)	171,1	26,2	315,0	5,08	3.257,4
95% Konf.interv.	13,5	1,0	13,6	0,95	43,3
Sorte	relativ	relativ	relativ	relativ	relativ
Freya	103	112	108	148	114
Green Grazer	108	97	100	128	102
Honey Graze	72	99	82	167	109
Hugin	106	116	113	138	104
Inka	96	91	102	123	102
Jumbo	119	85	113	94	76
Latte	95	92	101	98	103
Lussi	105	131	98	148	121
Mithril	98	101	98	128	114
Stamm 12	101	92	98	118	105
Sole	107	123	106	143	114

<sup>1)</sup> Beschreibung der Methode zur Berechnung der AUGPC (area under growth progress curve) in Abschnitt 5.1.4

Tabelle 35: Zugehörigkeit von Sorten aus dem Screening 2011 zu den Reifegruppen

signifikant verschieden von:	im TS-Gehalt				im Reifequotienten				Reifegruppe	
	Lussi	Freya	Herkules	Jumbo	Lussi	Freya	Herkules	Jumbo		
Lussi		*	*	*			*	*	1	früh
Sole			*	*			*	*	1	
Freya	*		*	*			*	*	3	mittelfrüh
Arbatax	*		*	*	*		*	*	3	
Hugin	*		*	*	*		*	*	3	
Arlys	*		*	*	*		*	*	3	
Alföldi	*		*	*	*		*	*	3	
Pluto	*			*	*			*	4	
Tarzan	*			*	*			*	4	mittelfrüh-mittelspät
Amiggo	*			*	*			*	4	
Odin	*			*	*			*	4	
Thor	*			*	*			*	4	
Wotan	*			*	*			*	4	
Zerberus	*			*	*			*	4	
Honey Graze	*			*	*	*			4	
GK Emese	*	*		*	*	*			5	
Goliath	*	*		*	*			*	5	
Biomass 150	*	*		*	*	*		*	5	
Green Grazer	*	*		*	*	*		*	5	
Herkules	*	*		*	*	*		*	5	
Inka	*	*		*	*	*		*	5	
Mithril	*	*		*	*	*		*	5	
Latte	*	*		*	*	*		*	5	
Bulldozer	*	*			*	*			6	msp- spät
Stamm 2	*	*			*	*	*		6	
Sisco BMR	*	*	*		*	*	*		7	spät
Jumbo	*	*	*		*	*	*		7	
BMR201	*	*	*		*	*	*	*	8	sehr spät
BMR Gold	*	*	*		*	*	*	*	8	

Tabelle 36: Auftreten und Befallsschwere von Krankheitserregern am Material des Sortenscreenings 2011

Parameter	mittlere Etage	obere Etage	Bakterielle Streifenkrankheit	Oval Leaf Spots
Einheit	BN (1-9) <sup>1)</sup>	BN (1-9)	BN (1-9)	BN (1-9)
Mittelwert (MW)	5,01	3,04	4,18	6,15
95% Konf.interv.	0,62	0,57	1,44	1,11
Sorte	relativ zu MW	relativ zu MW	relativ zu MW	relativ zu MW
Alföldi	85	131	144	65
Arllys	75	82	132	65
GK Emese	90	123	156	89
Stamm 1	70	82	96	65
Stamm 2	60	66	72	57
Stamm 3	75	99	156	73
Arbatax	95	82	132	106
Stamm 4	95	90	72	98
Stamm 5	110	99	120	106
Amiggo	115	115	84	122
Stamm 6	120	131	179	89
Biomass 150	110	90	96	114
BMR Gold	85	66	120	73
Bulldozer	105	74	84	102
Goliath	105	107	96	106
Herkules	105	99	72	114
Stamm 7	80	57	36	89
Stamm 8	110	90	120	94
Stamm 9	120	107	120	110
Odin	115	107	108	122
Pluto	120	107	120	122
Stamm 10	105	99	96	94
Sisco BMR	105	99	132	94
Tarzan	110	99	96	106
Thor	100	74	48	94
Wotan	130	123	108	138
Zerberus	95	74	72	85
Stamm 11	105	99	132	114

Parameter	mittlere Etage	obere Etage	Bakterielle Streifenkrankheit	Oval Leaf Spots
Einheit	BN (1-9) <sup>1)</sup>	BN (1-9)	BN (1-9)	BN (1-9)
Mittelwert (MW)	5,01	3,04	4,18	6,15
95% Konf.interv.	0,62	0,57	1,44	1,11
Sorte	relativ zu MW	relativ zu MW	relativ zu MW	relativ zu MW
Freya	110	123	72	114
Green Grazer	95	99	84	98
Honey Graze	105	131	96	114
Hugin	115	99	84	122
Inka	95	107	48	106
Jumbo	100	107	72	106
Latte	100	99	60	106
Lussi	115	140	108	114
Mithril	85	107	108	89
Stamm 12	95	107	84	114
Sole	100	115	96	114

<sup>1)</sup> Beschreibung der Symptome und der verwendeten Bewertungsschemata (Boniturnote/BN) in Abschnitt 5.1.3

Tabelle 37: Kühletoleranz vom Material des Sortenscreenings 2011

Parameter	TM-Ertrag	Pflanzenlänge	Keimfähigkeit <sup>2)</sup>	Bewertung <sup>3)</sup>	
Einheit	mg/20 Pfl.	mm	%		
Mittelwert	141,7	74,3	85,4		
Sorte	BN <sup>1)</sup> (1-5)	BN <sup>1)</sup> (1-5)	BN <sup>1)</sup> (1-5)	BN (1-9)	
BMR Gold	1	1	2	---	gering
Stamm 2	2	1	1	-	
Tarzan	2	2	3	-	
Bulldozer	2	3	3	(-)	mittel
Stamm 10	2	2	3	(-)	
Stamm 8	2	2	2	(-)	
Stamm 9	3	2	2	(-)	
Sole	3	3	2	(-)	
Stamm 1	3	2	1	(-)	
Stamm 5	2	4	4	0	
Arlys	3	3	3	0	
Biomass 150	3	4	3	0	
Stamm 6	3	3	4	0	
Stamm 7	3	3	3	0	
Amiggo	3	3	4	0	
Mithril	3	3	4	0	
Green Grazer	3	4	3	0	
Stamm 4	3	4	4	(+)	
Zerberus	4	3	3	(+)	
Herkules	4	3	3	(+)	
Honey Graze BMR	3	5	4	(+)	
Pluto	3	5	4	(+)	
Sisco BMR	4	4	3	(+)	
Stamm 11	4	3	4	(+)	
Goliath	4	4	3	(+)	
GK Emese	4	4	3	(+)	
Odin	4	3	4	(+)	
Lussi	4	4	4	+	gut
Stamm 3	4	5	3	+	

Parameter	TM-Ertrag	Pflanzenlänge	Keimfähigkeit <sup>2)</sup>	Bewertung <sup>3)</sup>	
Einheit	mg/20 Pfl.	mm	%		
Mittelwert	141,7	74,3	85,4		
Sorte	BN <sup>1)</sup> (1-5)	BN <sup>1)</sup> (1-5)	BN <sup>1)</sup> (1-5)	BN (1-9)	
Hugin	4	5	3	+	
Stamm 12	4	5	3	+	
Freya	4	5	3	+	
Thor	5	3	3	+	
Wotan	5	3	3	+	
Alföldi	5	4	4	++	
Inka	5	5	3	++	
Arbatax	5	4	4	++	
Latte	5	5	4	++	
Jumbo	5	5	4	++	

<sup>1)</sup> Bewertungsschemata (Boniturnote = BN) für TM-Ertrag, Pflanzenlänge, Keimfähigkeit

Ausprägung relativ zum Mittelwert	Note
≤ 50 %	1
51 - 80 %	2
81 - 100 %	3
101 - 120 %	4
≥ 121 %	5

<sup>2)</sup> Korrektur der BN für Keimfähigkeit

Korrektur für % abgestorbene Pflanzen

≥ 51 %	auf Note 1
50 - 21 %	um zwei Noten niedriger
20 - 5 %	um eine Note niedriger

<sup>3)</sup> Bewertung der Kühletoleranz

gering		mittel		gut	
--- 9		(-) 6		+ 3	
-- 8		0 5		++ 2	
- 7		(+) 4		+++ 1	

Tabelle 38: Wertgebende Inhaltsstoffe im Material des Sortenscreenings 2011

Parameter	Art	Typ	XF	XP	NDF	ADF	ADL	Zucker	Stärke	ELOS
Einheit			% TM							
MW (Sorghum)			31,8	7,0	62,4	37,8	5,5	14,8	2,6	43,2
Sorte			relativ zum Mittelwert Sorghum MW (Sorghum)							
Alföldi	bic. K		78	138	80	78	77	89	418	118
Arls	bic. K		87	136	88	77	72	125	4	123
GK Emese	bic. K		74	127	80	73	75	97	406	120
Stamm 1	bic. K		88	123	94	89	81	102	4	106
Stamm 2	bic. K	bmr	82	138	88	81	71	119	4	121
Stamm 3	bic. K		72	150	79	75	74	54	661	132
Arbatax	bic. D		97	122	95	94	77	91	185	106
Stamm 4	bic. F		119	68	113	120	150	89	4	77
Stamm 5	bic. F		105	84	115	110	134	97	4	92
Amiggo	bic. F		110	73	107	109	134	113	4	94
Stamm 6	bic. F		105	105	102	111	106	35	284	89
Biomass 150	bic. F		116	65	109	114	128	130	4	90
BMR Gold	bic. F	bmr	86	151	92	88	51	111	4	118
Bulldozer	bic. F		126	64	117	127	134	78	4	71
Goliath	bic. F		108	88	109	103	108	102	4	96
Herkules	bic. F		112	71	105	111	120	121	4	102
Stamm 7	bic. F		113	75	115	111	117	95	4	80
Stamm 8	bic. F	bmr	98	84	103	98	69	115	4	102
Stamm 9	bic. F	bmr	100	70	100	99	60	136	4	105
Odin	bic. F		109	95	107	107	113	106	4	95
Pluto	bic. F		107	75	105	108	115	111	4	90
Sisco BMR	bic. F	bmr	98	99	94	97	56	133	4	108
Stamm 10	bic. F		97	104	97	95	51	107	4	107
Tarzan	bic. F		104	89	98	105	95	118	4	99
Thor	bic. F		119	64	115	127	161	89	4	75
Wotan	bic. F		93	95	106	97	112	93	4	91
Zerberus	bic. F		103	89	111	106	108	108	4	94
Stamm 11	x	bmr	97	103	102	96	74	75	4	104

Parameter	Art	Typ	XF	XP	NDF	ADF	ADL	Zucker	Stärke	ELOS
Einheit			% TM							
MW (Sorghum)			31,8	7,0	62,4	37,8	5,5	14,8	2,6	43,2
Sorte			relativ zum Mittelwert Sorghum MW (Sorghum)							
Freya	x		96	115	98	100	119	65	321	95
Green Grazer	x		105	93	108	107	128	110	4	78
Honey Graze	x		85	124	90	83	62	77	242	118
Hugin	x		111	78	111	112	114	83	4	91
Inka	x		93	123	88	86	94	161	4	113
Jumbo	x		99	91	105	101	105	139	4	105
Latte	x		102	93	98	102	127	124	4	94
Lussi	x		99	126	89	99	124	37	503	108
Mithril	x		104	105	100	96	112	83	247	86
Stamm 12	x		103	96	93	107	96	152	4	105
Sole	x		99	114	92	104	98	27	521	102
Agro Gas	M sp.		53	107	58	54	44	52	1215	161
Franki	M sp.		60	110	64	56	48	40	1271	157
Fabregas	M fr.		59	97	53	58	49	30	1584	168
Salgado	M fr.		46	97	50	49	45	38	1612	169

bic. K *S. bicolor* Körnersortex *S. bicolor* x *S. sudanense*bic. D *S. bicolor* Dualsorte

M sp. Maisreferenzsorte spät

bic. F *S. bicolor* Futtersorte

M fr. Maisreferenzsorte früh

Tabelle 39: Methanausbeute und Methanertrag vom Material des Sortenscreenings 2011

			Methanausbeute				Methanertrag <sup>5)</sup>			
Parameter	Art	Typ	Baserga <sup>1)</sup>	Weißbach XF <sup>2)</sup>	Weißbach EULOS <sup>3)</sup>	HBT <sup>4)</sup>	Baserga	Weißbach XF	Weißbach EULOS	HBT
Einheit			NI/kg TM				Nm <sup>3</sup> /ha			
MW <sub>(Sorghum)</sub>			263	240	214	287	4.503	4.073	3.621	4.905
Sorte			relativ zum Mittelwert Sorghum MW <sub>(Sorghum)</sub>							
Alföldi	bic. K		100	112	112	102	85	96	96	87
Arllys	bic. K		99	106	114	103	64	69	74	66
GK Emese	bic. K		102	115	114	101	80	91	91	80
Stamm 1	bic. K		99	106	102	102	85	92	89	88
Stamm 2	bic. K	bmr	99	108	112	102	83	92	96	87
Stamm 3	bic. K		102	117	123	100	75	87	92	74
Arbatax	bic. D		100	102	105	104	83	85	88	86
Stamm 4	bic. F		100	89	84	91	140	126	120	127
Stamm 5	bic. F		101	99	97	103	129	128	125	132
Amiggo	bic. F		102	96	98	102	115	109	111	115
Stamm 6	bic. F		97	95	90	97	73	72	68	73
Biomass 150	bic. F		102	92	96	102	140	129	134	141
BMR Gold	bic. F	bmr	95	103	107	107	30	33	35	34
Bulldozer	bic. F		101	85	81	99	120	103	98	118
Goliath	bic. F		100	97	99	101	131	128	131	133
Herkules	bic. F		102	95	105	102	136	129	143	137
Stamm 7	bic. F		101	93	86	99	129	120	112	127
Stamm 8	bic. F	bmr	101	102	103	101	102	105	105	102
Stamm 9	bic. F	bmr	102	103	107	103	104	106	111	105
Odin	bic. F		100	94	96	99	115	110	113	115
Pluto	bic. F		102	98	95	102	95	92	89	96
Sisco BMR	bic. F	bmr	98	99	104	94	80	82	86	77
Stamm 10	bic. F		99	100	104	98	65	67	69	65
Tarzan	bic. F		101	99	100	99	111	110	112	110
Thor	bic. F		102	90	84	99	122	110	103	119
Wotan	bic. F		100	105	94	101	115	123	110	117

			Methanausbeute				Methanertrag <sup>5)</sup>			
Parameter	Art	Typ	Baserga <sup>1)</sup>	Weißbach XF <sup>2)</sup>	Weißbach EULOS <sup>3)</sup>	HBT <sup>4)</sup>	Baserga	Weißbach XF	Weißbach EULOS	HBT
Einheit			NI/kg TM				Nm <sup>3</sup> /ha			
MW <sub>(Sorghum)</sub>			263	240	214	287	4.503	4.073	3.621	4.905
Sorte			relativ zum Mittelwert Sorghum MW <sub>(Sorghum)</sub>							
Zerberus	bic. F		100	99	97	103	113	113	111	117
Stamm 11	x	bmr	98	100	100	96	71	73	74	70
Freya	x		101	102	96	99	104	106	100	102
Green Grazer	x		99	97	84	99	108	106	92	108
Honey Graze	x		99	107	110	99	72	78	81	72
Hugin	x		102	95	96	102	108	102	103	108
Inka	x		98	102	107	99	94	99	104	96
Jumbo	x		100	100	103	97	118	120	124	115
Latte	x		99	98	95	97	94	94	91	92
Lussi	x		101	101	107	103	105	107	113	108
Mithril	x		100	98	89	101	97	97	89	99
Stamm 12	x		99	99	104	100	100	101	106	101
Sole	x		100	101	102	95	107	109	110	102
Agro Gas	M sp.		111	130	147	117	171	204	231	181
Franki	M sp.		109	127	145	115	172	202	232	183
Fabregas	M fr.		112	130	154	122	173	203	242	190
Salgado	M fr.		113	135	154	120	165	198	227	176

bic. K *S. bicolor* Körnersorte x *S. bicolor* x *S. sudanense*  
 bic. D *S. bicolor* Dualsorte M sp. Maisreferenzsorte spät  
 bic. F *S. bicolor* Futtersorte M fr. Maisreferenzsorte früh

Kalkulation der Methanausbeute nach

<sup>1)</sup> Methode „Baserga“ (vgl. Abschnitt 4.1.7)

<sup>2)</sup> Methode „Weißbach (XF)“ (vgl. Abschnitt 4.1.7)

<sup>3)</sup> Methode „Weißbach (EULOS)“ (vgl. Abschnitt 4.1.7)

<sup>4)</sup> Messung der Methanausbeute nach Hohenheimer Biogaswerttest

<sup>5)</sup> Der Methanertrag in NI/ha errechnet sich aus dem Trockenmasseertrag und der Methanausbeute der Genotypen.

Tabelle 40: Korrelation der wertgebenden Inhaltsstoffe von Sorghum

	ELOS	XF	Zucker	Stärke	NDF	ADF	ADL	Hemiz.	Zellul.
ELOS	1,00	-0,84	0,51	0,14	-0,90	-0,79	-0,69	-0,65	-0,71
bei p =		<0,0001	<0,0001	0,22	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
n		84	84	84	84	84	84	84	84
XF	-0,84	1,00	-0,05	-0,42	0,76	0,83	0,48	0,17	0,83
bei p =	<0,0001		0,32	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,00	<0,0001
n	84		360	590	459	478	449	434	414
Zucker	0,51	-0,05	1,00	-0,60	-0,52	-0,15	-0,33	-0,50	-0,03
bei p =	<0,0001	0,32		<0,0001	<0,0001	0,01	<0,0001	<0,0001	0,57
n	84	360		372	371	370	369	371	370
Stärke	0,14	-0,42	-0,60	1,00	0,00	-0,37	-0,05	0,25	-0,40
bei p =	0,22	<0,0001	<0,0001		0,95	<0,0001	0,31	<0,0001	<0,0001
n	84	590	372		471	489	461	446	425
NDF	-0,90	0,76	-0,52	0,00	1,00	0,74	0,54	0,55	0,69
bei p =	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,95		<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
n	84	459	371	471		457	429	446	424
ADF	-0,79	0,83	-0,15	-0,37	0,74	1,00	0,70	-0,07	0,94
bei p =	<0,0001	<0,0001	0,01	<0,0001	<0,0001		<0,0001	0,16	<0,0001
n	84	478	370	489	457		454	444	425
ADL	-0,69	0,48	-0,33	-0,05	0,54	0,70	1,00	0,03	0,45
bei p =	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,31	<0,0001	<0,0001		0,50	<0,0001
n	84	449	369	461	429	454		423	423
Hemiz.	-0,65	0,17	-0,50	0,25	0,55	-0,07	0,03	1,00	-0,08
bei p =	<0,0001	0,00	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,16	0,50		0,08
n	84	434	371	446	446	444	423		424
Zellul.	-0,71	0,83	-0,03	-0,40	0,69	0,94	0,45	-0,08	1,00
bei p =	<0,0001	<0,0001	0,57	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,08	
n	84	414	370	425	424	425	423	424	

Tabelle 41: BBCH-Code Sorghum, angepasst nach [59]

<b>Code Definition</b>	
<b>0</b>	<b>Keimung</b>
0	Trockener Samen
1	Beginn der Samenquellung
3	Ende der Samenquellung
5	Keimwurzel aus dem Samen ausgetreten
7	Keimscheide (Koleoptile) aus dem Samen ausgetreten
9	Auflaufen: Keimscheide durchbricht Bodenoberfläche, Blatt an der Spitze der Koleoptile gerade sichtbar
<b>1</b>	<b>Blattentwicklung</b>
10	Keimblatt aus der Koleoptile ausgetreten
11	1-Blatt-Stadium: 1. Laubblatt entfaltet (Blatthäutchen ist sichtbar, nachfolgende Blätter spitzen)
12	2-Blatt-Stadium: 2. Laubblatt entfaltet (Blatthäutchen ist sichtbar, nachfolgende Blätter spitzen)
13	3-Blatt-Stadium: 3. Laubblatt entfaltet (Blatthäutchen ist sichtbar, nachfolgende Blätter spitzen), Stadien fortlaufend...
19	9 und mehr Laubblätter entfaltet, Bestockung kann ab BBCH 13 erfolgen, dann nach 21 wechseln
<b>2</b>	<b>Bestockung</b>
21	1. Bestockungstrieb sichtbar
22	2. Bestockungstrieb sichtbar
23	3. Bestockungstrieb sichtbar Stadien fortlaufend bis....
29	9 und mehr Bestockungstriebe sichtbar; Schossen kann früher einsetzen; dann nach 30 wechseln
<b>3</b>	<b>Schossen (Haupttrieb)</b>
30	Beginn des Schossens: Haupttrieb und Bestockungstriebe beginnen sich zu strecken, Vegetationskegel des Haupttriebes mindestens 1 cm vom Basisknoten entfernt
31	1-Knoten-Stadium: 1. Knoten wahrnehmbar; mindestens 1 cm vom Basisknoten entfernt
32	2-Knoten-Stadium: 2. Knoten wahrnehmbar, mindestens 2 cm vom ersten Knoten entfernt
33	3-Knoten-Stadium: 3. Knoten mindestens 2 cm vom 2. Knoten entfernt
34	4-Knoten-Stadium: 4. Knoten mindestens 2 cm vom 3. Knoten entfernt, Stadien fortlaufend
37	Erscheinen des Fahnenblattes; Fahnenblatt noch eingerollt
39	Fahnenblatt voll entwickelt, Blatthäutchen des Fahnenblattes sichtbar
<b>4</b>	<b>Rispenwellen</b>

---

**Code Definition**

---

41	Blattscheide des Fahnenblattes beginnt sich zu verlängern
43	Blattscheide des Fahnenblattes verlängert sich und beginnt anzuschwellen (ca. 5 cm sichtbar)
45	Blattscheide des Fahnenblattes ist mindestens eine Handbreit lang und geschwollen
49	Blattscheide des Fahnenblattes öffnet sich
<b>5</b>	<b>Rispenschieben</b>
51	Beginn des Rispenschiebens: Die Spitze der Rispe tritt heraus oder drängt seitlich aus der Blattscheide
55	Mitte des Rispenschiebens: Basis der Rispe noch in der Blattscheide
59	Ende des Rispenschiebens: Rispe vollständig sichtbar
<b>6</b>	<b>Blüte</b>
61	Beginn der Blüte: Erste gelbe Staubbeutel werden sichtbar
65	Mitte der Blüte: 30% gelbe Staubbeutel
69	Ende der Blüte; gelbe Staubbeutel über die gesamte Länge der Rispe entwickelt
<b>7</b>	<b>Fruchtbildung</b>
71	Über die gesamte Länge der Rispe sind allenfalls noch abgestorbene (braune) Staubbeutel sichtbar; Korninhalt kaum merklich entwickelt
73	Körner haben erst wenig wässrigen Inhalt, der sich nur schwer herausquetschen lässt
75	Körner sind deutlich sichtbar gefüllt; der Inhalt ist milchig
77	Die Körner sind ausgewachsen, ihr Inhalt hoch viskos; Samenschale mit braunen Bäckchen (außer bei hellsamigen Sorten)
<b>8</b>	<b>Samenreife</b>
83	Frühe Teigreife
85	Teigreife: Korninhalt noch weich, aber trocken; Fingernageleindruck reversibel
87	Gelbreife: Fingernageleindruck irreversibel
89	Physiologische oder Vollreife: schwarzer Fleck ( <b>black layer</b> ) unmittelbar oberhalb des Nabels (Hilum) sichtbar
<b>9</b>	<b>Absterben</b>
92	Totreife: druschfähig
99	Erntegut

---

## Berichte aus dem TFZ

Bisher erschienene Ausgaben der Schriftenreihe des Technologie- und Förderzentrums:

1	Qualitätssicherung bei der dezentralen Pflanzenölerzeugung für den Nicht-Nahrungsbereich Projektphase 1: Erhebung der Ölqualität und Umfrage in der Praxis
2	Erprobung der Brennwerttechnik bei häuslichen Holzhackschnitzelheizungen mit Sekundärwärmetauscher
3	Daten und Fakten zur dezentralen Ölgewinnung in Deutschland
4	Untersuchungen zum Feinstaubausstoß von Holzzentralheizungsanlagen kleiner Leistung
5	Qualität von kaltgepresstem Rapsöl als Speiseöl und Festlegung eines Qualitätsstandards
6	Entwicklung einer Prüfmethode zur Bestimmung der Cetanzahl von Rapsölkraftstoff
7	Untersuchung der Wechselwirkungen zwischen Rapsöl als Kraftstoff und dem Motorenöl in pflanzenöлтаuglichen Motoren
8	Wärmegewinnung aus Biomasse – Begleitmaterialien zur Informationsveranstaltung
9	Maize as Energy Crop for Combustion - Agricultural Optimisation of Fuel Supply
10	Staubemissionen aus Holzfeuerungen – Einflussfaktoren und Bestimmungsmethoden
11	Rationelle Scheitholzbereitstellungsverfahren
12	Qualitätssicherung bei der dezentralen Pflanzenölerzeugung für den Nicht-Nahrungsbereich Technologische Untersuchungen und Erarbeitung von Qualitätssicherungsmaßnahmen
13	Getreidekörner als Brennstoff für Kleinf Feuerungen - Technische Möglichkeiten und Umwelteffekte –
14	Mutagenität der Partikelemissionen eines mit Rapsöl- und Dieselmotors betriebenen Traktors
15	Befragung von Betreibern dezentraler Ölsaatenverarbeitungsanlagen
16	Schnellbestimmung des Wassergehaltes im Holzsplit
17	Untersuchungen zum Einsatz rapsölbetriebener Traktoren beim Lehr-, Versuchs- und Fachzentrum für Ökologischen Landbau und Tierhaltung Kringell
18	Miscanthus als nachwachsender Rohstoff – Ergebnisse als bayerischen Forschungsarbeiten
19	Miscanthus: Anbau und Nutzung – Informationen für die Praxis
20	Prüfung der Eignung von Verfahren zur Reduktion ablagerungs- und aschebildender Elemente in Rapsölkraftstoff bei der dezentralen Erzeugung

21	Kleine Biomassefeuerungen – Markt Betrachtungen, Betriebsdaten, Kosten und Wirtschaftlichkeit
22	Partikelemissionen aus Kleinfeuerungen für Holz und Ansätze für Minderungsmaßnahmen
23	Bewertung kostengünstiger Staubabscheider für Einzelfeuerstätten und Zentralheizungskessel
24	Charakterisierung von Holzbriketts
25	Additivierung von Rapsölkraftstoff – Auswahl der Additive und Überprüfung der Wirksamkeit
26	Status quo der dezentralen Ölgewinnung – bundesweite Befragung
27	Entwicklung einer Siloabdeckung aus nachwachsenden Rohstoffen
28	Sorghumhirse als nachwachsender Rohstoff – Sortenscreening und Anbauverfahren
29	Sorghum als Energiepflanze – Optimierung der Produktionstechnik



