Hochschule Neubrandenburg
University of Applied Sciences

Fachbereich Agrar- und Lebensmittelwissenschaften
Fachgebiet Pflanzenbau und Pflanzenphysiologie
Prof. Dr. Udo Thome

Bachelorarbeit

zur
Erlangung des Titels Bachelor of Science (B.Sc.)

Sorghum bicolor (L.) Moench

Sorghum als Substitut für Mais in niederschlagsarmen Gebieten Deutschlands zur Milchviehfütterung

von

Daniel Georg Döhne

Vorgelegt in Neubrandenburg

März 2010

Gutachter:

Prof. Dr. Udo Thome
Dipl. Ing. Bernd Schulze

urn:nbn:de:gbv:519-thesis2009-0327-0

Immer höh`re Wissenstempel,

Immer richt`ger die Exempel,

Wie Natur es draußen treibt,

Immer klüger und gescheiter,

Und wir kommen doch nicht weiter…

(Th. Fontane)

I. **Inhaltsverzeichnis**

I . Inhaltsverzeichnis
II. Abbildungsverzeichnis
III. Diagrammverzeichnis
IV. Tabellenverzeichnis
V. Abkürzungen

1. Einleitung.....5
1.1. Allgemeine Einführung 5
1.2. Herkunft.....8
1.2.1. Geschichte.....8
1.2.2. Domestikation 9
1.2.3. Verbreitung 10
1.3. Botanik 12
1.3.1. Taxonomie 12
1.3.2. Besonderheiten.....15
1.3.3. Quieszenz.....16
1.3.4. BMR.....16
1.3.5. Inhaltsstoffe.....17
1.4. Züchtung.....21
1.4.1. Zuchtziele.....21
1.4.2. Hybridisierung 22
1.5. Nutzungstypen und Nutzungsformen 23
1.5.1. Körnersorghum 24
1.5.2. Zuckersorghum 25
1.5.3. Futtersorghum 25
1.5.4. Sorghum Produkte.....26
1.6. Bedeutung.....29
1.6.1. Weltweit 29
1.6.2. Deutschland.....30
2. Aufgabenstellung/Zielsetzung.....31
3. Material und Methoden.....32
3.1. Versuchsmaterial 32
3.1.1. Die Versuchssorten 32
3.1.2. Körnersorghum 33
3.1.3. Futtersorghum 34
3.2. Versuchsfeld 35
3.2.1. Boden 35
3.2.2. Niederschlag.....36
3.2.3. Düngung.....37
3.3. Sätechnik 38
3.4. Versuchsaufbau 38
3.5. Versuchsdurchführung.....38
3.5.1. Bodenbearbeitung 39
3.5.2. Aussaat 39
3.5.3. Herbizidapplikation.....41
3.5.4. Vegetationsentwicklung.....41
3.5.5. Probenentnahme.....44

4. Ergebnisse……46
4.1. Dt/ha FM ……48
4.2. Trockensubstanz ……49
4.3. Rohprotein……50
4.4. Zucker ……52
4.5. Stärke…… 54
4.6. Rohfaser……56
4.7. Rohfett……58
4.8. NEL ……59
5. Diskussion……60
6. Zusammenfassung……71
7. Literaturverzeichnis……72
8. Anhang……83

II. **Abbildungsverzeichnis:**

Abbildung 1: *Sorghum bicolor* var.*bicolor* im Versuchsfeld Sachsen-Anhalt……4
Abbildung 2: *Sorghum bicolor*„zweifarbige“ Karyopse ……5
Abbildung 3: *Sorghum bicolor* Adventivwurzeln ……7
Abbildung 4*:* Körnersorghum im Bestand ……10
Abbildung 5: Wildsorghum *(Sorghum halepense)*……13
Abbildung 6: Sorghum als Nutzpflanze und ihre Verwendungsmöglichkeiten ……24
Abbildung 7: Sorghum Produkte unterschiedlicher Herkunft……26
Abbildung 8: Das Sorghum Korn, traditionelle und industrielle Nahrungsmittel.……28
Abbildung 9: Gebeiztes Saatgut vor der Aussat.……34
Abbildung 10: Lage des Versuchsfeldes zwischen den roten Markierungen,……35
Abbildung 11: Sämaschine mit Unterfussdüngevorrichtung vor den Säscharen. ……40
Abbildung 12: Aussaat von Körnersorghum 23. Mai 2008.……40
Abbildung 13: Sorghum EC-11 nach dem Auflaufen am 30. Mai……42
Abbildung 14: Sorghum EC-13 bis EC-16 unter Unkrautdruck ……42
Abbildung 15: Sorghumsilo, Hächselgut ……46
Abbildung 16: Notreife Rispe durch Zünslerbefall.……66
Abbildung 17: Maiszünsler (*Ostrinia nubilalis*) ……66
Abbildung 18: Sorghum vs. Mais unter Wassermangel ……67
Abbildung 19: Unterfussdüngerbehälter Frontanbau ……69

III. **Diagrammverzeichnis**

Diagramm 1: Niederschlagsverteilung des Jahres 2008 ……36
Diagramm 2: Trockensubstanz % ……50
Diagramm 3: Rohprotein%……51
Diagramm 4: Zucker % ……53
Diagramm 5: Stärkegehalt % ……55
Diagramm 6: Rohfaser in % ……57
Diagramm 7: Stärke in % (Vogelschaden Arlys)……64

IV. **Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: Körnersorghum Frischmasse (FM dt/ha) 48
Tabelle 2: FM Durchschnitt.....48
Tabelle 3:Trockensubstanz (TS) in Prozent 49
Tabelle 4: TS Durchschnitt.....49
Tabelle 5: Rohprotein 51
Tabelle 6: Zucker.....52
Tabelle 7: Stärke.....54
Tabelle 8: Rohfaser.....56
Tabelle 9: Rohfett 58
Tabelle 10: NEL 59
Tabelle 11: Übersicht der gewonnen Durchschnittswerte aller Sorten 63

V. **Abkürzungen**

2n = diploider (zweifacher) Chromosomensatz
4n = tetraploider(vierfacher) Chromosomensatz
ADF = Acid Detergent Fiber (Lignocellulose)
BMR = Lignin reduzierte Mutation
dt = Dezitonne (100kg)
dt/ha = Dezitonne pro Hektar
FAO = Food and Agriculture Organization of the United Nations
FAO-Zahl = Reifezahl für Maissorten
FM = Frischmasse
ha = Hektar (10000 m^2)
HF = Holstein-Friesen (Rinderrasse)
ICRISAT = International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics
Jh. = Jahrhundert
kg = Kilogramm
kg/ha = Kilogramm pro Hektar
L. = Carl von Linné
Mb = Megabyte (1Mb = 1000000 Basenpaare)
mtDNA = mitochondriale DNA
NDF = Neutral Detergent Fiber
NEL = Netto Energie Lactation
QTL = Quantitative Trait Locus (Platzierung eines quantitaiven Phänotyp-Merkmals im Genom)
ppm = parts per million (10^{-6} oder 0,0001%)
pH = pondus Hydrogenii (lat. die Kraft des Wasserstoffes)
RP = Rohprotein
SD = standard deviation (Standardabweichung)
subsp. = Subspecies (Unterart)
TMR = totale Mischration
TS = Trockensubstanz
var. = Varietät

Abbildung 1: *Sorghum bicolor* var.*bicolor* (Körnersorghum Dk-18) im Versuchsfeld Schartau Sachsen-Anhalt

Quelle:Döhne D.2008

Abbildung 2: Sorghum *bicolor* „zweifarbige“ Karyopsen (Sorte Arlys)
*Quelle:*Döhne D.2008

1. Einleitung

Der folgende Abschnitt behandelt die wichtigsten Informationen der Art Sorghum. Dieser umfassende Literaturteil wird anschliessend vom Hauptteil in Kapitel zwei abgelöst, welcher sich mit dem Versuch selbst beschäftigt.

1.1. Allgemeine Einführung

Sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] ist die fünft häufigste Getreideart weltweit nach Mais (*Zea mays* L.), Weizen (*Triticum durum/aestivum*), Reis (*Oryza sativa* L.) und Gerste (*Hordeum vulgare* L.) (DOGGET 1988; MURTY, KUMAR 1995).
Die monokotyle Pflanze (*Liliopsida)* ist ursprünglich ein afrikanisches Wildgras, das zur Familie der Süssgräser (*Poaceae*) gehört. Es tritt in vielen unterschiedlichen Variationen auf, welche alle Mark gefüllte Triebe und eine Höhe von 0,5 bis 6 m aufweisen. Am häufigsten genutzte Formen besitzen eine senkrechte Sprossachse, die mit einer kompakten oder semikompakten Rispe abschliesst.

Sorghum ist grundsätzlich eine trockentolerante, ausdauernde und perennierende Pflanze, welche, dessen ungeachtet, häufig annuell kultiviert wird. Dennoch können die meissten Sorten nach der Ernte neu bestocken und mehrfach genutzt werden. Die Pflanzen besitzen im Vergleich zu Mais ein weitaus grösseres und verzweigteres Wurzelsystem, hauptsächlich zwischen 24-38 cm Tiefe. Einige Wurzeln erreichen über 1m Tiefe. In den oberen Bodenschichten gelegene Wurzeln können im Radius von einem Meter um den Trieb herum vordringen (KIMBER2000).

Der Habitus der Pflanze ähnelt insgesamt relativ stark dem Mais (*Zea mays* L.) und besteht aus 4-18 alternierend an der Sprossachse angeordneter Blätter, mit disticher Blattstellung (SCHMEIL, FITSCHEN 1996). Unter Trockenheit und Hitzestress rollen sich die Blätter nach innen, um die Transpiration durch Oberflächenreduktion zu verringern. Eine Pflanze entwickelt meist mehr als zwei Fruchtstände, so genannte Rispen, wobei die Rispen der Nebentriebe ein bis fünf Tage später reifen. Die Rispen unterscheiden sich sehr stark in ihrer Form (SMITH, FREDERIKSEN 2000). Je nach Varietät kommen auffällig offene Rispen mit grossen Abständen zwischen den Samen vor, kompakte mit sehr dicht anliegenden Samen und semikompakte Zwischenformen

Sorghum ist ein Getreide der warmen niederschlagsarmen Regionen der Welt, insbesondere in den ariden Gebieten der Tropen und Subtropen und eine Spezies mit extrem hoher genetischer Diversität. Sie ist vorwiegend selbst befruchtend und besitzt 10 Chromosomen, normalerweise einen diploiden Chromosomensatz in den Nuclei der Zellen mit 2n= 20 Chromosomen (HOUSE 1985).

Die Art ist thermophil und entwickelt sich am besten bei konstant hohen Temperaturen in der Wachstumsphase. Das Wachstum verzögert sich bei einer Temperatur unterhalb von 16°C. Bei extrem hohen Temperaturen kommt es zu keiner signifikanten Verletzung der Pollen mit ungenügender Befruchtung wie zum Beispiel bei Mais. Sorghum wird vor allem in Gebieten mit zu geringem Niederschlag für eine effiziente Maisproduktion angebaut. Der jährliche Niederschlag kann bei einem Minimum von 400mm z.B. in West Afrika toleriert werden (SMITH, FREDERIKSEN 2000).

Abbildung 3:*Sorghum bicolor* (links) besitzt im Vergleich zu *Zea mays* (rechts) immer grüne Adventivwurzeln. *Quelle:* D. Döhne 2008

Anhand vorliegender Fakten lässt sich deutlich erkennen, welch hohen Stellenwert die Pflanze weltweit besitzt und mit welchen Eigenschaften sie diese Bedeutsamkeit und Verbreitung erlangt hat. Insgesamt ist die Spezies heute bei weitem wichtiger in der Ernährung von Mensch und Tier und stärker verbreitet als der in Mitteleuropa ausgesprochen bekannte Roggen (*Secale cereale* L.) und Hafer (*Avena sativa* L.). Speziell in der Milchviehfütterung zeichnet sich die Art Sorghum durch ihre Vielseitigkeit in der Nutzung mit einem hohen Futterwert aus. Die Stärke besteht vor allem aus so genannter Durchflussstärke, sie ist bei Wiederkäuern (Polygastrier) pansenstabil. Diese Tatsache ermöglicht eine Fütterung mit hohen Energiekonzentrationen, ohne Pansenacidose, welche insbesondere bei Hochleistungsmilchkühen einen limitierenden Faktor darstellt, um hohe Milchleistungen zu ermöglichen.

In der vorliegenden Arbeit wird vor allem ausführlich auf die Biologie von Sorghum eingegangen, von Abstammung, Geschichte, Verbreitung, bis hin zu den charakteristischen Merkmalen, Besonderheiten und Verwendungsmöglichkeiten in der tierischen und menschlichen Ernährung (Kapitel 1).

Des Weiteren beschäftigt sich der Hauptteil der Arbeit (Kapitel 2-5) mit dem Anbauversuch einiger Körnersorghum und Futtersorghum Zuchtformen in einem trockenen Gebiet Deutschlands, in welchem die Maisproduktion ohne Bewässerung kritisch ist. Es wird der Frage nachgegangen, in wieweit Sorghum unter diesen exogenen Umständen als Substitut zu Mais in der Tierernährung, vor allem Milchviehfütterung, Verwendung finden könnte.

1.2. Herkunft

Als ursprüngliches Verbreitungsgebiet von Sorghum wird heute Afrika angenommen. Nur auf diesem Kontinent existieren die grössten Biodiversitäten an wildem Sorghum und kultivierten Arten (KIMBER2000). Das natürliche Verbreitungszentrum ist äquatorial-Afrika (HOFFMANN, MUDRA, PLARRE 1985). Es erstreckt sich hauptsächlich von den semiariden Regionen südlich der Sahara, entlang der Küste Westafrikas und östlich bis zum Sudan und nördlich nach Abessinien, das Hochland von Äthiopien (HOUSE 1995).

1.2.1. Geschichte

Die früheste bekannte schriftliche Beschreibung von Sorghum erfolgt bereits im Jahr 70 n.Chr. durch *Gaius Plinius* in seinem Werk „*Naturalis Historiae*“ (HOUSE 1995;
DAHLBERG 2000).
Die ersten schriftlichen Erwähnungen in China gehen auf das 3.Jahrhundert zurück. Es ist jedoch nicht sicher, ob es sich tatsächlich um die Art handelt. Möglich ist, dass es sich dabei auch um Besenkorn oder andere Arten handelt.
Konkrete Beschreibungen der Pflanze *Sorghum bicolor* erfolgen jedoch erst in der Yuan-Dynastie 1313 durch *Wangzhen*.

Aus dem Mittelalter sind eher wenige gesicherte Quellen bekannt. Weitere Erwähnungen erfolgen erst wieder im 17.Jh. unter anderem durch *Bauhin* 1623 (DAHLBERG 2000).
1753 wird Sorghum von Carl Linné unter dem Namen *Holcus* in dem bekannten Werk „*Species Plantarum*“ beschrieben, wobei später, ab 1794 *Moench* den bis heute allgemein gültigen Gattungsnamen Sorghum publiziert (HOUSE 1995).

1.2.2. Domestikation

Die Domestikation erfolgte vermutlich in verschiedenen Regionen des natürlichen Verbreitungsgebietes der Wildformen, zu unterschiedlichen Zeiten. Ausgrabungen der Calgary Universität unter MERCADER J. et al. in Ngalue (Mosambique) konnten Stärkereste von Sorghum in menschlichen Siedlungen feststellen, welche zwischen 42000 und 100000 Jahre alt sind (SCIENCE 2009). Solche neueren Funde lassen vermuten, dass zumindest die Wildform früher als angenommen von Menschen genutzt wurde.

Wild Sorghum wurde noch in den Nilmündungen gesät, während bereits in den Regionen um das Niger-Delta und Mali domestiziertes Sorghum angebaut wurde. Dies zeigt, dass die Domestikation auch nach der Kultivation erfolgen kann und nicht direkt damit einhergeht (KIMBER 2000). Oftmals vollzieht sich eine Domestikation erst viele Generationen, teilweise sogar tausende Jahre nach der Kultivierung, durch gezielte Selektion, Isolation und die dadurch entstehenden Rekombinationen und Mutationen. Die Möglichkeit zur Domestikation wird auch wegen der geringen Fremdbefruchtungsrate der Pflanzen begünstigt, diese schwankt zwischen 0-30%, wodurch ein lokaler Genpool leicht entstehen kann (DOGGET 1988; MILLER 1982 und KIMBER 2000).

Die Domestikation dieses afrikanischen Wildgrases führt in die frühe menschliche Vergangenheit zurück und dauert noch bis heute an. Sie ist ein Ergebnis aus dem Zusammenspiel von Evolution und anthropogenen Einflüssen. Häufig wird eine Domestikation durch klimatische Ereignisse, wie z.B. die Desertifikation des heutigen Saharagebietes und der Sahelzone, nach der letzten humiden Phase vor 9000-2000 Jahren v.Ch. und Völkerwanderung, in Episoden beschleunigt (KIMBER 2000).

Ein wichtiger Schritt in der Domestikation ist der Verlust der Bruchgewohnheit, eine Korn-festigkeit oder Bruchfestigkeit, wodurch sich die Körner nicht mehr selbst von der Rachis lösen und natürlich aussäen können (HOUSE 1995). Diese Eigenschaft beruht bei *Sorghum bicolor* nur auf der Veränderung von Allelen an zwei Loci. Da die Gene für die feste Rachis rezessiv sind, ist dies ein Beweis für die Domestikation, womit die Pflanze zwangsläufig abhängig vom Menschen wird (KIMBER 2000). Die ältesten afrikanischen Funde aus Shongeni/Nabta und Playa/Dash Delta, stammen von solchen domestizierten Sorghumformen, sie lassen sich auf etwa 2000-3000 Jahre v.Chr. datieren (KIMBER 2000). Verkohlte Überresten aus dem Neolithicum von Sorghumsamen sind auch aus Jingchung/Dahechun in China belegt, mit einem Alter von 5000Jahren (HOUSE 2000).

Resultat dieser vielfältigen Veränderung sind fünf Hauptrassen (siehe S.14 Kap. 1.3.1.Kultursorghum), mit tausenden unterschiedlichen Genotypen, welche sich morphologisch zum Teil sehr stark in Höhe, Korngrösse, Form und Farbe unterscheiden. Mit ihren spezifischen Eigenschaften, wie zum Beispiel Tageslängensensitivität, Temperaturbedarf und Vegetationszeit sind diese an ihre regionalen Verbreitungsgebiete adaptiert. In der Welt-Sorghum-Sammlung Indiens existieren alleine 22000 Genotypen, welche zur Verbesserung der Züchtung von unschätzbarem Wert sind (SHIRINGANI 2005).

Abbildung 4*:* Körnersorghum im Bestand *Quelle:* D. Döhne 2008

1.2.3. Verbreitung

Die Verbreitung aus den Ursprungsgebieten Afrikas erfolgte schon sehr früh, durch Völkerwanderungen und Handel. Besonders nach Indien und China zu Beginn der Kultivierung und Domestikation (siehe Kapitel 1.2.2. Seite 9).Es existieren verschiedene Theorien über die Verbreitung, sicher ist jedoch, dass sich Sorghum mehrmals in unterschiedlichen Epochen aus den ursprünglichen Verbreitungsgebieten innerhalb Afrikas ausbreitete und den Kontinent verliess (7500-3000 Jahre v.Chr.).

Anzunehmen ist, dass sich die Ausbreitung von Nord-Ost-Afrika entlang des Nildeltas in den nahen Osten vollzog. Über den so genannten „Nubischen Korridor“ im Pleistozän (KIMBER 2000). Von dort aus auch durch den „Levantiner Korridor“, welchen bereits frühe Hominiden wie *Homo erectus* nutzten den Afrikanischen Kontinent zu verlassen, um zu den östlichen Häfen des roten Meeres und entlang des Mittelmeeres über Indien ostwärts bis Asien zu gelangen. Sehr viel später gelangte die Pflanze in die neue Welt, erstmals zwischen 1830-1853 (SMITH, FREDERIKSEN 2000). Mittels afrikanischer Sklaven und chinesischer Einwanderer erreichte sie somit Amerika.

Die heutige Verbreitung erstreckt sich vorwiegend in allen tropischen, subtropischen und semiariden Gebieten der Erde. Insbesondere in Regionen, welche zu trocken für den Anbau von Mais und zu kühl für Perlhirse [*Pennisetum glaucum* (L.) R.Br.] sind (HOUSE 1995). Es existieren drei traditionelle Zentren des Verbreitungsgebietes: Afrika, Indien und Asien.
In diesen Zentren wird Sorghum schon seit vielen Jahrhunderten oder sogar Jahrtausenden angebaut und verarbeitet, sowohl für die menschliche als auch die tierische Ernährung. Vor allem in der Subsistenzlandwirtschaft der Entwicklungsländer ist Sorghum eines der wichtigsten Grundnahrungsmittel von Millionen Menschen in Afrika und Asien (ROONEY, SERNA-SALDIVAR 1995). In anderen Verbreitungsgebieten, vor allem in den Industriestaaten, ist die Pflanze erst in der Neuzeit bekannt, primär als Futterpflanze und Rohstoffpflanze etabliert, insbesondere in den USA, Mexico, Südamerika und Australien.
Die nördlichsten Anbaugebiete liegen heute in Südfrankreich, nördliche Great Plains (USA) und in China bis zum 45° nördlichen Breitengrad (HOUSE 1995).Weltweit werden etwa 45 Millionen Hektar angebaut (SHIRINGANI 2005). In Afrika ist Sorghum besonders verbreitet in den Ländern Sudan, Äthiopien, Somalia, Nigeria, Botswana, Lesotho und Südafrika (HOUSE 1995). Etwas weniger in Tansania, Malawi, Zambia, Namibia und Mozambique und Mali. In Amerika ist Sorghum vor allem in den USA (Kansas, Nebraska, Texas, Oklahoma, Iowa, Missouri u.a.), Mexico, den Trockengebieten Argentiniens, Sao Paulo, Nord-Ost-Brasilien, Venezuela und Columbien weit verbreitet. In Asien ganz besonders in Indien, Pakistan, Zentral- und Nordchina, teilweise auch im südasiatischen Thailand.

1.3. Botanik

Der folgende Abschnitt erläutert die allgemeine Botanik der Pflanze, ihre phylogenetische Einordnung in Verwandtschaftsbeziehungen des Pflanzenreiches, die Taxonomie. Ausserdem werden besondere botanische Eigenschaften, bis hin zu den wichtigsten Inhaltsstoffen von Sorghum erläutert.

1.3.1. Taxonomie

In der Taxonomie werden Pflanzen und Tiere in einem hierarchischen System anhand ihrer verwandtschaftlichen Beziehungen eingegliedert.
Sorghum bicolor ist wie folgt eingeordnet:

Familie :	*Poaceae* (Süssgräser… *Triticum*, *Poa*...)
Unterfamilie :	*Panicoideae*
Tribus :	*Andropogoneae* (wie auch *Saccarum officinarum* und *Zea mays*)
Gattung :	*Sorghum* (fünf Untergattungen: *Sorghum,Chaetosorghum,Heterosorghum, Parasorghum* und *Striptosorghum*,)
Art:	***Sorghum bicolor*** (diploid 2n =2x10 Chromosomen=20) 735Mb

a) Wildsorghum existieren drei unterschiedliche rezente Arten:

Sorghum halepense, ***Sorghum propinquum*** und ***Sorghum bicolor***, welche untereinander kreuzbar sind. *Sorghum halepense* (Johnsongrass, Aleppohirse, wilde Mohrenhirse) ist eine tetraploide Art (4n). Sie ist perannuell, rhizombildend und stammt aus dem südlichen Eurasien und Indien. Heute in warmen Gebieten weltweit verbreitet und durch Introgression mit Kultursorghum eines der bedeutendsten Unkräuter (DAHLBERG 2000). Es existieren Varianten, welche auf natürliche Weise gegen das Totalherbizid Glyphosat resistent sind.
Sorghum propinquum bildet starke Rhizome und ist vor allem in Süd und Südost Asien verbreitet. Die Art steht *S.bicolor* genetisch sehr nahe und ist uneingeschränkt kreuzbar.

Abbildung 5: Wildsorghum *Sorghum halepense (*mittig) in Kultursorghum *(hinten)*
Quelle: D. Döhne 2008

Sorghum bicolor lässt sich wiederum in zwei wilde Unterarten unterteilen:
Sorghum bicolor subsp. ***drummondii*** und ***Sorghum bicolor*** subsp.***verticilliflorum***.
Beide sind heimisch in Afrika, bilden kaum Rhizome. Diese Unterarten stehen habituell den Kultursorten sehr nahe und sind als annuelle Ungräser heute noch in ihrem Ursprungsgebiet verbreitet.

S.bicolor subsp.***verticilliflorum*** besteht aus verschiedenen Rassen welche sich in ihrer Rispenform unterscheiden. Beispielsweise die Rasse *Aethiopicum* aus ariden Gebieten mit kompakter Rispe und Rasse *Arundinaceum* aus humiden Tropischen Gebieten mit weit geöffneter Rispe.

b) Kultur Sorghum:

Die kultivierten Sorghum-Formen werden nach Doggett (1988) alle in der Unterart ***Sorghum bicolor*** subsp. ***bicolor*** zusammengefasst und gehen aus den domestizierten Formen der zuvor genannten Wildformen (*Sorghum bicolor subsp. verticilliflorum und Sorghum bicolor subsp. drummondii*) hervor (DAHLBERG 2000)

Es existieren fünf Hauptrassen, welche sich phänotypisch vor allem anhand der Rispenform unterscheiden lassen:

- ***Bicolor*** (offene Rispe vermutlich ursprünglichste Rasse aus Subsp.*verticilliflorum*)

- ***Caudatum*** (semikompakte Rispe aus Sudan-Nil, sehr wichtig für moderne Züchtung)

- ***Durra*** (kompakte kurze Rispe, aus trockenen Gebieten Äthiopiens und Indiens)

- ***Guinea*** (offene Rispe, 3000 Jahre bekannt, in humiden Regionen aus *Arundinaceum*)

- ***Kafir*** (lange semikompakte Rispe, vor allem in Südafrika Verbreitung durch Bantu, wichtig für moderne Züchtung.)

Viele der heutigen modernen Zuchtformen basieren auf diesen Hauptrassen, deren Kreuzungen und Zwischenformen.

1.3.2. Besonderheiten

Sorghum besitzt eine Reihe botanischer Besonderheiten.

Eine dieser Besonderheiten ist die Allelopathie. Sorghumwurzeln scheiden allelopathische Stoffe aus, welche phytotoxisch wirken können. Somit werden Keimung und Entwicklung einiger Pflanzen im Umfeld gehemmt. Bei Sorghum führt dies dazu, dass die Folgekultur im nächsten Jahr davon profitiert, in dem Ackerunkräuter um 25-50% reduziert werden (RAVEN, EVERT, EICHHORN 2000)

Ausserdem gehört die Kurztagspflanze zu den C_4 Pflanzen, das heisst die Assimilation des Kohlenstoffes, während der Photosynthese, verläuft über den effektiven C_4- Dicarbonsäure-Zyklus (NULTSCH 2001). Die Aufnahme von CO_2 über die Stomata des Blattes (Mesphyllzellen) erfolgt räumlich getrennt zur Kohlenhydratbildung (Bündelscheidenzellen). Photosynthetisch aktive Blätter besitzen eine Kranzanatomie. Bündelscheidenzellen, welche CO_2 aufnehmen und speichern liegen dicht und kranzförmig mit Chloroplasten um die Leitbündel herum. Zur CO_2 Aufnahme besitzen C_4 Pflanzen das Enzym Phospho-Enol-Pyrovat Carboxylase, kurz PEP-Carboxylase, mit einer deutlich höheren CO_2 Affinität als RubisCO der C_3 Pflanzen. Bei nahezu geschlossenen Stomata und geringen CO_2 Konzentrationen kommt es immer noch zu einer ausreichenden CO_2 Anreicherung innerhalb des Blattes, zum einen durch die CO_2 Speicherung in Mesophyllzellen, zum anderen wegen der starken CO_2 Reaktionsfreudigkeit der PEP-Carboxylase. Die Wassernutzungseffizienz ist somit bei hohen Temperaturen und Lichtintensitäten ohne Photorespiration deutlich höher als bei C_3 Pflanzen. Bei einigen Sorghum-Linien wurden besonders hohe PEP-Carboxylase-Aktivitäten festgestellt (HOFFMANN, MUDRA, PLARRE 1985).

Sorghum besitzt zusätzliche eine ausgeprägte Cuticula, eine Wachsschicht auf Stängel und Blättern, welche die Transpiration deutlich reduziert, zudem ein tief reichendes effizientes Wurzelsystem. Die Pflanze weist wegen dieser Besonderheiten eine echte Trockenresistenz auf (HOFFMANN et al. 1985).

1.3.3. Quieszenz

Sorghum besitzt die Fähigkeit bei ungenügenden abiotischen Umweltbedingungen in eine Art Trockenstarre zu verfallen, welche man als Quieszenz bezeichnet. Die Quieszenz ist eine durch Wassermangel induzierte Entwicklungshemmung,welche den Stoffwechsel der Pflanzen stark reduziert und völlig reversibel ist. Bei günstigen Bedingungen stellt sich wieder eine normale Entwicklung ein, ohne nennenswerte Ertragsdepressionen, wie sie bei Weizen und Mais auftreten. In Sorghum sind verschiedene unabhängige Formen der Trockentoleranz identifiziert worden. Trockentoleranz vor der Blüte und nach der Blüte (ROSENOW und CLARK 1983). Zusätzlich ist noch die Dormanz der Samen zu erwähnen, welche eine Keimung bei Trockenheit verzögert. Viele frühreife Sorten besitzen eine ausgezeichnete Trockentoleranz vor der Blüte, während spätere Sorten insbesondere „stay green“ Sorten eine ausgeprägte Trockentoleranz in der Kornfüllungsphase nach der Blüte aufweisen. Genotypen, welche beide Formen der Trockentoleranz stark ausgeprägt aufweisen, sind nicht bekannt (ROSENOW,CLARK 1983).Mit Hilfe molekularer Marker sind drei Loci quantitativer Hauptmerkmale (QTLs) für die Trockentoleranz gefunden worden.Vermutlich sind bis zu sechs DNA-Abschnitte für die Trockentoleranz vor der Blüte verantwortlich(ROONEY 2000).

1.3.4. BMR

Brown **m**id**r**ib-Sorghum lässt sich phänotypisch an der braunen Mittelrippe des Blattes ab dem 4-6-Blatt Stadium erkennen. Die Eigenschaft wird rezessiv vererbt und ist eines der vielen Einzelgen Merkmale welche besonders große Auswirkungen auf die Qualität von Futtersorghum haben. BMR-Mutanten kommen analog auch bei Mais (*Zea mays* L.) und Perlhirse [*Pennisetum glaucum* (L.) R.Br.] vor (HOUSE 1995). Im Mais erstmals 1926 beschrieben, wurden Sorghum BMR-Mutationen ab 1978 durch PORTER et al. erwähnt (PEDERSEN, FRITZ 2000). Der Unterschied zu herkömmlichen Sorten besteht im Ligningehalt, welcher bei BMR-Typen geringer vorhanden ist, aber auch im Extremfall die Standfestigkeit der Sorten nachteilig beeinflussen kann. Lignin ist unverdaulich und limitiert den Aufschluss der Zellwandpolysaccaride (HOUSE 1995). Charakteristisch für Brown midrib-Sorghum ist eine signifikant niedrigere Ligninkonzentration der Zellwand welche zu einer höheren Verdaulichkeit führt. BMR-Sorten besitzen bis zu 33% niedrigere Ligningehalte im Stängel und bis zu 18% weniger Lignin in den Blättern (HANCOCK, ANDREWS 1995). Einkreuzung der BMR-Sorten in herkömmliche Sorten kann in Zukunft einen sehr wichtigen Beitrag zur Verbesserung der Futterqualität liefern.

1.3.5. Inhaltsstoffe

Im Folgenden werden die wichtigsten Inhaltsstoffe der Pflanze erläutert. Die Punkte Stärke, Tannine, Proteine und Fette beziehen sich auf das Korn, da diese Verbindungen fast ausschliesslich dort vorkommen. Zucker bezieht sich auf die gesamte Pflanze, insbesondere den Stängel.

1.3.5.1. Stärke

Das Sorghumkorn besteht zu 60-85% aus Stärke (Polysaccaride), die Verwendungsmöglichkeiten, chemische Zusammensetzung und Eigenschaften sind der Maisstärke fast identisch. Aufgrund ihrer grossen Stärkekörner besitzt sie eine langsame ruminale Abbaurate (Pansenstabilität) (ROONEY, WANISKA 2000).
Die Härte der Sorghumstärke schwankt zwischen 1,4-1,6 g/cm³. Das Sorghum-Endosperm enthält durchschnittlich 23-30% Amylose und etwa 70-80% Amylopectin.
Wie bei Mais sind erhebliche Sortenunterschiede in der Stärkestruktur wegen des Amylose-Amylopectin-Verhältnisses feststellbar. Sorten mit weichem mehligem Endosperm (floury) bestehen überwiegend aus Amylose, während Sorten mit einem harten transluszentem (waxy,flint) Endosperm hauptsächlich aus Amylopectin bestehen. Es existieren Zuchtformen welche Stärke aus fast 100% Amylopectin aufweisen (KLOPFENSTEIN, HOSENEY 1995).

Das natürliche Vorkommen der harten amylopectinreichen Sorten sind humide tropische Gebiete. Diese sind weniger anfällig gegen Insekten und Pilzbefall (MUNCK 1995). Mehl aus hartem Endosperm weist eine höhere ruminale Verdaulichkeit auf, aus so genannter pansenstabiler Stärke. Generell sind jedoch Sorghumkörner mit weichem Endosperm in ihrer Energiekonzentration geringer als harte Formen, d.h. gemahlen nicht so ergiebig, aber unzermahlen leichter verdaulich (ROONEY, WANISKA 2000). Weiche amylosehaltige Sorten haben ihren Ursprung in kühleren und trockenen Gebieten. Sie sind bei Feuchtigkeit anfällig gegen Pilzbefall, einige Kultivare kompensieren allerdings diese Anfälligkeit mit einem hohen Tanningehalt (MUNCK 1995), (siehe S.19;Kap.1.3.5.5).

1.3.5.2. Zucker

Der grösste Zuckergehalt befindet sich in den Stängeln, vor allem in deren Mark. Die Konzentration ist sehr stark von der Sorte, den Umweltbedingungen und der damit verbundenen Photosyntheseleistung abhängig. Die wesentlichen Zuckerarten sind Sucrose (Saccarose), Glucose und Fructose. Erstere ist mit Abstand die häufigste Zuckerart in Sorghum und meist doppelt so stark vertreten wie Fructose. Die Konzentrationen von Sucrose liegen bei modernen Zuckersorten bei 12% (ICRISAT 2009). Insgesamt bleibt die Sucrosekonzentration über die gesamte generative Vegetationszeit hinweg relativ stabil, baut jedoch nach der Milchreife langsam ab. Die Gesamtzuckerkonzentration liegt im Saft zwischen 12-15%, bei zuckerbetonten Sorten bis über 20% (FAO 1994). Die höchste Zuckerkonzentration wird etwa 30 Tage nach der Blüte erreicht (SCHAFFERT 1995).

1.3.5.3. Proteine

Das Sorghumkorn, insbesondere der Keimling ist reich an Proteinen und Lipiden. Auch im Endosperm lassen sich hohe Proteingehalte feststellen. Die Zusammensetzung aus Sorghum und Zahnmais gleicht einander, jedoch enthält Sorghum leicht höhere Proteinkonzentrationen und Mais etwas höhere Fettgehalte. Bei Trockenheit steigt die prozentuale Proteinkonzentration des Kornes, während die Kornerträge pro Hektar sinken(ROONEY, WANISKA 2000) (Kümmerkorn mit reduziertem Endosperm). Etwa 80% der Proteine befinden sich im Endosperm, 16% im Keimling und 3% im Pericarp. Die mengenmäßig wichtigsten Proteinfraktionen sind Prolamine und Gluteline (ROONEY, WANISKA 2000).
Die Proteine bestehen aus 28-33% Prolamine , 32-33% Gluteline, 9-15% Globuline und 5-10% Albumin. Das Sorghumprolamin Kafirin ist identisch mit dem Zein des Maises und wird durch N-Düngung signifikant beeinflusst (SERNA-SALDIVAR, ROONEY 1995). Im Keimling befinden sich vor allem Globuline und Albumine. Im Endosperm hauptsächlich Kafirine und Gluteline.
Das am meisten limitierte Protein in Sorghum ist die essentielle Aminosäure Lysin, gefolgt von Threonin und Tryptophan. Es existieren jedoch auch Sorten mit bis zu 50% höheren Lysingehalten (high-lysine cultivars) als herkömmliche Sorten. Trotz der verbesserten Aminosäurestruktur sind diese so genannten „opaque“ Sorghum Linien wenig verbreitet, da sie sehr krankheitsanfällig sind (ROONEY, WANISKA 2000) (SERNA-SALDIVAR, ROONEY 1995). Auf die gesamte Pflanze bezogen liegen die Proteingehalte zwischen 5-14%, schwanken allerdings sehr stark zwischen den Sorten und physiologischer Reife.

1.3.5.4. Lipide

Die in Sorghum vorhandenen Fettsäuren befinden sich vor allem in den Karyopsen. Das Korn ist mit durchschnittlich 3,5% Lipidgehalt relativ fettarm (SERNA-SALDIVAR, ROONEY 1995). Allein 76,2% der Lipide befinden sich im Scutellum nahe des Embryos. 13,2% im Endosperm und 10,6% im Pericarp. Etwa 93,2% sind unpolar oder Neutrallipide vorwiegend Trigylceride (85%) und Diglyceride. Unter den polaren Glycolipiden, welche etwa 6% ausmachen, befinden sich vor allem veresterte und nichtveresterte Sterolglycoside. Die Fettsäurezusammensetzung von Sorghumöl gleicht dem Maiskeimöl und wird von der ungesättigeten Linolsäure und Ölsäure bestimmt (ROONEY 1995). In modernen Sorten befinden sich bis zu 30mg Carotinoide im Endosperm, vor allem Zeaxanthin (36%), Lutein (28,6%) weitere Xantophylle (24,7%) und Beta-Carotin (10,4%). Früher herkömmliche Sorten mit rein weissem Mehlkörper liegen mit 1,5mg Carotinoiden deutlich darunter.

1.3.5.5. Tannine

Einige Sorghum-Varietäten produzieren Tannine. Es sind Polyphenole. Diese Bitterstoffe schützen die Samen vor Frassfeinden und Pilzbefall. Einzelne Oligomere der Tannine binden sich aktiv mit den Mucinen der Vogelmundschleimhaut und verursachen eine spürbar ätzende Reaktion (BULLARD, YORK 1996). Alle Sorghumsorten reichern Phenole und die meissten den Pflanzenfarbstoff Flavonoid an (ROONEY, WANISKA 2000). Jedoch beinhalten nur Sorten mit dunkel gefärbter Testa Tannine, unabhängig von der Farbe des Pericarpes welches weiss, gelb, braun oder rot pigmentiert sein kann und die Testa umhüllt (SCHAFFERT 1995). Aufgrund der Kornfarbe lässt sich daher nicht auf den Tanningehalt schliessen. Man untergliedert Sorten je nach Tanningehalt und Färbung in

- Typ 1 = ohne Tannine
- Typ 2 = pigmentierte und tanninhaltige Testa
- Typ 3 = pigmentierte, tanninhaltige Testa und pigmentiertes Pericarp

Tanninreiche Sorghumzuchtformen Typ 2 und Typ 3 spielen vor allem als vogelresistente Sorten weltweit eine grosse Rolle und sind überwiegend dunkel bis braun gefärbt. Die Verdaulichkeit kann allerdings durch die adstringierende Wirkung der Tannine reduziert werden, da diese die α-Amylase-Tätigkeit hemmt, welche zur Amylosespaltung nötig ist (KLOPFENSTEIN, HOSENEY1995). Sie setzen die Ausnutzung der absorbierten Nährstoffe um etwa 3-15% herab (SHIRINGANI 2005).

Vogelresistente Sorten können bis zu 6,6%ige Tannin Konzentrationen im Korn aufweisen (HOFFMANN, MUDRA, PLARRE 1985). Die toxische Grenze für die tierische Ernährung befindet sich bei 1%. Moderne Hybriden liegen häufig darunter. Blätter und Stängel enthalten sehr geringe Gehalte, daher ist die Pflanze, allein wegen des Verdünnungseffektes, durchaus als Ganzpflanzensilage geeignet.

1.3.5.6. Dhurrin

Sorghum produziert ein cyanogenes Glycosid, das Dhurrin, welches durch Hydrolyse, aus einer molekularen Spaltung hoch toxische Blausäure freisetzen kann. Dhurrin selbst ist nicht giftig und wird vor allem in den Blättern junger Sorghumpflanzen angereichert. Auch in der Karyopse unreifer Samen können Dhurrinkonzentrationen von 200 bis 700 ppm vorkommen (ROONEY, WANISKA 2000). Dhurrin bietet daher neben Tanninen (siehe Kap.1.3.5.5.) einen natürlichen Frassschutz, da es erst bei Verletzung der Pflanze zu einer toxischen Reaktion kommt. Die Konzentrationen nehmen allerdings bei zunehmender Reife stark ab.

Reife Körner und Stängel von Zuckersorghum weisen Dhurrinkonzentrationen von nur 1-29 ppm auf (ROONEY, WANISKA 2000). Kalium und Phosphormangel in Verbindung mit überhöhten Stickstoffgaben führt unter Umständen zu erhöhten Dhurringehalten, ebenso wie Kältestress in der Jugendentwicklung (PEDERSEN 2000).
Junge Pflanzen sollten daher als Grünfutter oder zur Beweidung nicht unter einer Pflanzenhöhe von 60 cm genutzt werden. Durch den Silierungsprozess wird Dhurrin um mehr als 50% reduziert (PEDERSEN, FRITZ 2000).

.

1.4. Züchtung

Die Züchtung hat ihre Ursprünge bereits zu Beginn der Domestikation. Durch einfache Selektion und Inzüchtung in einem isolierten Ökosystem entwickelten Landwirte angepasste Biotypen und Landrassen. Eine grosse Veränderung erfolgte in den frühen 1920er Jahren, als die Sorghumzüchtung professionelle Pflanzenzüchter übernahmen (ROONEY, SMITH 2000).

1.4.1. Zuchtziele

Während in den frühen 20er Jahren die wichtigsten Zuchtziele die Verzwergung der hochwüchsigen Sorten war, um mechanische Ernten von Körnersorghum zu ermöglichen, lagen bis zu den 40er Jahren die Zuchtziele vor allem in der Resistenzzüchtung gegen Schädlinge, Wurzel und Stängelfäule (*Periconia circinata*) (ROONEY, SMITH 2000). Ab den 40er Jahren erlangte das Zuchtziel Ertragssteigerung höchste Priorität. Die Sorghumzüchtung sollte mit Hilfe des Heterosiseffektes, wie am Vorbild Mais deutlich höhere Erträge erzielen. Bis in die 50er Jahre sind die photoperiodisch sensitiven Kurztagspflanzen zu tagneutralen Sorten selektiert worden (KIMBER 2000). Speziell in den nördlichen Verbreitungsgebieten der Kulturform war dies sehr wichtig.

Die heutige Züchtung konzentriert sich vor allem auf die Verbesserung der Inhaltsstoffe in Korn und Pflanze, Krankheitsresistenzen, Trockentoleranz, Salztoleranz und Kältetoleranz. Zahlreiche wichtige Eigenschaften einiger Kultivare konnten entdeckt werden, z.B. hohe Lysin, Carotin, und Succrose Gehalte. Staygreen und BMR Sorten. Ab 1957 begann die Rockefeller-Sorghum-Collection knapp 950 exotische Zuchtlinien zu sammeln, um genetische Diversität zu bewahren (ROSENOW, DAHLBERG 2000). Somit konnten Züchter auf einen grossen Genpool und neue Rekombinationen zurückgreifen. Die heute wichtigsten Samenbanken für Sorghumsorten sind die Welt-Sorghum-Sammlung in Hyderabad mit über 35000 Sorten und die ICRISAT World Collection mit 36719 Linien aus 90 Ländern, beide in Indien (ICRISAT 2010).

1.4.2. Hybridisierung

Der wichtigste Schritt für die Entwicklung von ertragreichen Hybriden war die cytoplasmatisch männliche Sterilität (CMS). Eine dominant vererbbare Veränderung der mtDNA der Mitochondrienmatrix im Cytoplasma (ROONEY 2000). Dadurch ist es möglich Sorten zu züchten mit sterilen Antheren, welche zu 100% fremd befruchtet werden müssen, da sie keine eigenen Pollen bilden. Es wird dann eine isocytoplasmatische Inzuchtlinie erschaffen, indem männlich fertile und männlich sterile Eltern einer Linie mehrmals gekreuzt werden. Folgendermaßen erscheint eine zu 99% genetisch identische Linie. Die Nachkommen aus diesen Kreuzungen werden mit einer fertilen, jedoch genetisch fremden R-Linie (Restorer) gekreuzt. So entsteht eine kommerzielle Hybridsorte, welche einen starken Heterosiseffekt aufweist, die Addition positiver Eigenschaften der Parentalgeneration.

Ab dem Jahr 1953 experimentierte man erfolgreich mit cytoplasmatisch männlich sterilen Sorghum Pflanzen in Texas. Seit 1956 verkaufte der Züchter DeKalb in den USA die ersten kommerziellen Sorghum Hybriden. Schon 1960 waren bereits 95% der Sorghum Anbaufläche mit Hybriden bestellt (MAUDER 2000).

Der Ertragszuwachs gegenüber herkömmlichen Sorten lag Ende der 50er Jahre zwischen 22-58% (ROONEY, SMITH 2000). In den USA stiegen die Erträge bei Sorghum von 1950 bis 1990 auf über 300% an (SMITH 2000).Die Hybridisierung, vor allem in Kombination mit dem züchterischen und technischen Fortschritt, ermöglichte solch hohe Ertragszuwächse.

1.5. Nutzungstypen und Nutzungsformen

Sorghum bicolor wird in multiplen Nutzungsformen kultiviert. Traditionell werden oft verschiedene Nutzungsmöglichkeiten aus einem Pflanzentyp realisiert. Infolgedessen lassen sich die Sorghumnutzungstypen nicht immer klar trennen. In klassischen Verbreitungsgebieten sind die Nutzungspflanzen Generalisten und nicht auf ein bestimmtes Endprodukt spezialisiert. Besonders in der Subsistenzlandwirtschaft der ariden und semiariden Regionen wird Sorghum als duale oder multifunktionale Kulturpflanze verwendet. Z.B. werden im Niger getrocknete Sorghumstängel als Baumaterial genutzt um Paneele herzustellen
(HOUSE, MURTY 2000).
Eine andere Nutzungsform ist die partiale Entblätterung der Pflanzen während der Wachstumsphase (ENGELBRECHT 1999). Sie dient zur Frischblattnutzung von Rindern und anderen Wiederkäuern, während die Restpflanze später zur Korn, Zucker und Heunutzung geerntet wird. Diese sehr intensive Nutzung wird vor allem bei begrenzten Flächen und hoher Viehdichte in einigen Gebieten Nord-Camerouns, und im Hochland Äthiopiens praktiziert.

Die partielle Entblätterung führt zu verstärkter Blattbildung, Verkürzung der Internodien und zu einer geringen Ertragsdepression, die sich in der Kornzahl pro Rispe widerspiegelt. Ebenfalls bei zuckerbetonten Sorten zu einem verminderten Gesamtzuckerertrag und niedrigerem Disaccaridanteil (Saccarose), welcher sich jedoch nicht signifikant auf den Gesamtertrag auswirkt (ENGELBRECHT 1999). Sorghum ist eine Nutzpflanze mit extrem unterschiedlichen Phänotypen. Daher werden heute vor allem in den Industriestaaten spezialisierte Zuchtformen verwendet. Die wichtigsten Nutzungstypen werden nun auf den folgenden Seiten kurz beschrieben.

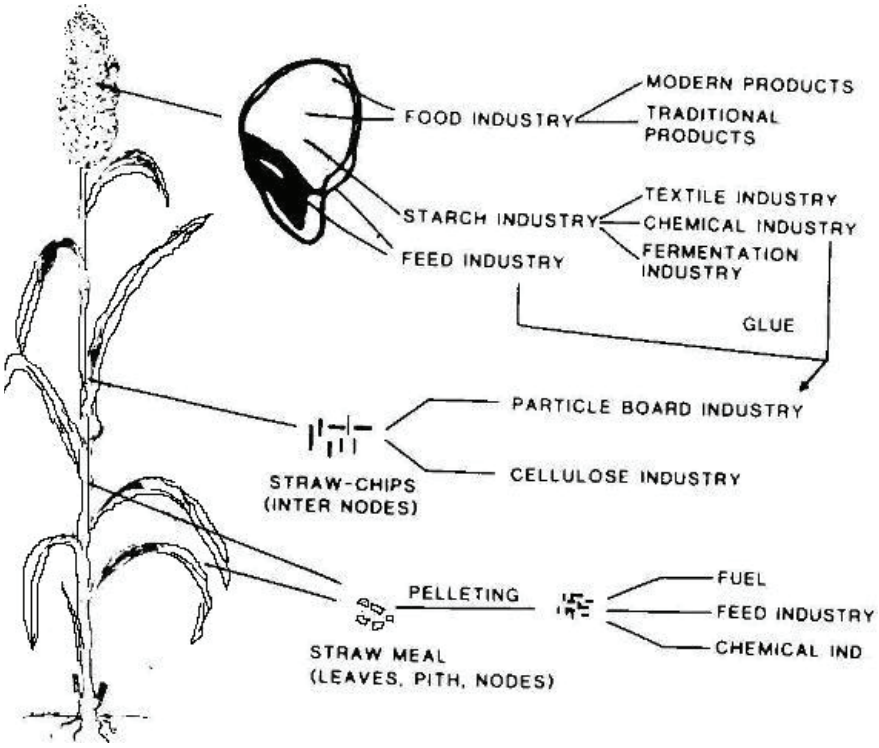

Abbildung 6: Sorghum als Nutzpflanze und Verwendungsmöglichkeiten *Quelle:* HALLGREN et al., 1992. MUNCK 1995 in Dandy (Hg).

1.5.1. Körnersorghum

Körnersorghum ist sehr gut an seiner geringen Grösse zu erkennen. Aufgrund rezessiver Verzwergungsgene und der dadurch verkürzten Internodien ist Körnersorghum zwischen 60-150cm hoch. Die klassischen Körnersorten sind allerdings erheblich grösser. Es besitzt eine ausgezeichnete Standfestigkeit und Trockentoleranz. Frühe Hybridsorten benötigen zwischen Aussaat und Ernte nur 60 Tage (COTHREN, MATOCHA et.al. 2000). Die Pflanzen werden grösstenteils nach der Kornreife gedroschen oder siliert. Körner werden, ähnlich wie Körnermais, vor allem als stärkereiches Futter, in den Industriestaaten in geringen Mengen auch als Nahrung, gehandelt. International werden dennoch etwa 55% als Nahrungsmittel genutzt, 33% als Futtermittel (ICRISAT 2009) .

1.5.2. Zuckersorghum

Zuckersorghum ist optisch anhand der Pflanzenhöhe von über 2m von modernem Körnersorghum zu unterscheiden. Nur wenige Gene, welche Pflanzenhöhe, Flüssigkeitsgehalt im Stängel und Zuckerkonzentration bestimmen, lassen Unterschiede zu Körnersorghum erkennen (SCHAFFERT 1995). In den USA wird Zuckersorghum seit über 100 Jahren bis heute zur Sirupherstellung verwendet. Ebenfalls in Indien unter dem Namen *Jaggery*. In vielen Teilen Afrikas und Indiens werden die Stängel, wie Zuckerrohr (*Saccarum officinarum* L.) zum kauen verkauft (HOUSE, MURTY 2000). Sucrose- (Saccarose) reiche Sorten können auch zur Kristallzuckerproduktion genutzt werden. Diese ist jedoch seit den späten 70er Jahren aufgrund des niedrigen Weltzuckerpreises unprofitabel geworden. Zuckersorghum wird zusätzlich zur Alkoholproduktion verwendet, wobei der Zuckergehalt minimal 12,35% aufweisen sollte (SCHAFFERT 1995). Gegenüber Zuckerrohr bringt Sorghum einige Vorteile mit sich, denn schon im ersten Jahr liefert es hohe Erträge und kann die Wirtschaftlichkeit steigern, da Zuckerrohr nur alle 180 Tage geerntet wird (ICRISAT Journal 2005). Zudem benötigt Zuckerrohr über 1000 mm Niederschlag. Die Produktionskosten für Ethanol aus Sorghum liegen z.B. in Indien weit unter Zuckerrohr bei erheblich niedrigerem Wasserbedarf.

1.5.3. Futtersorghum

Futtersorghum ist eine relativ heterogene Nutzungsform, welche überwiegend hochwüchsig ist und im Habitus dem Mais sehr ähnelt. Wie Zuckersorghum besitzen auch Futtertypen einen meist hohen Zuckergehalt im Stängel. Sie werden als Grünfutter, Heu und besonders als Silage in der Rinderfütterung eingesetzt. Diese zeichnen sich durch eine hohe Verdaulichkeit, z.B. BMR-Typen und lange Wachstumsphase aus. Der Kornertrag ist sehr gering im Verhältnis zur Gesamtbiomasse. Ursprünglich äquatoriale daher photosensitive Kultivare erzeugen in nördlichen Anbaugebieten teilweise keinen Blütenstand und werden als sogenannte *Headless*-Typen zur Heugewinnung angeboten. Viele Zuckersorghum Sorten werden ebenfalls als Futtersorghum genutzt oder mit diesen gekreuzt. Kurzwüchsigere duale Nutzungsformen mit höheren Kornerträgen sind auch gebräuchlich
(BRAMEL-COX, HANCOCK 1995).

.

Abbildung 7: Sorghum Produkte von links oben nach rechts unten: Sorghum instant Brei (Zimbabwe), Sorghum Malzbier (Nigeria), poliertes Sorghum (China), braune Vogelresistente Sorghum Körner Typ3 (Sudan), mittig braunes Sorghum mit weissem Pericarp Typ2 (Sudan) und Sorghum Mehl (Äthiopien) *Quelle:* Döhne D.2009

1.5.4. Sorghum Produkte

Weltweit existiert eine Vielzahl unterschiedlichster Sorghum-Produkte. Dies ist nicht verwunderlich, wenn man bedenkt, dass weltweit etwa 82% der Sorghum und Hirseproduktion in den Entwicklungsländern zur menschlichen Ernährung eingesetzt werden. Im Gegensatz dazu kommen in Industriestaaten fast 96% in der Tierfütterung zum Einsatz. (MURTY, KUMAR 1995). Einige Produkte sind regional beschränkt, andere hingegen werden kommerziell und industriell hergestellt. Neben den reinen Körnern und deren Schrote welche besonders als Tierfutter genutzt werden, sollten auch einige bedeutende Produkte der humanen Ernährung erwähnt werden. Traditionelle Produkte sind zum Beispiel *Injera*, ein weiches und sehr verbreitetes dünnes Sauerteigfladenbrot aus Äthiopien. Etwa 80% des äthiopischen

Sorghums wird für *Injera* verwendet. Andere etwas dünnere Sauerteigfladenbrote sind aus dem Sudan (*Kisra*) und Indien (*Dosai*) bekannt (ROONEY, WANISKA 2000). Erzeugnisse aus unfermentiertem Teig werden vor allem in Mexico als *Tortilla*, in Indien unter den Namen *Chapati*, *Roti* oder *Rotte* verkauft und bestehen aus bis zu 100% Sorghummehl, häufig aus weisskörnigen Sorten (siehe Abbildung 7, Seite 26).

Weitere sehr stark verbreitete Sorghum Produkte sind feste, flüssige, frisch oder fermentierte Breie. Bevorzugt wird Mehl aus hellen, gelblichen und Amylopectin reichen Sorten, die ein besseres Wasserspeicherungsvermögen aufweisen und nicht zerfallen. Prinzipiell wird das Mehl in Wasser zu Brei gekocht und als Grundnahrungsmittel verwendet. Unter dem Namen *Tô*, ein dickflüssiger nicht fermentierter Brei,ist in Westafrika (Mali, Burkina Faso) weit verbreitet. In Tansania als *Uji* oder verdickt als *Ugali* bekannt. In Südafrika werden vor allem fermentierte dünnflüssige Breie, *Mukapu* genannt, gegessen. Zur Fermentation wird das grobe Mehl in Wasser gemischt und als flüssiger Brei warm über Nacht gelagert, wodurch sich mesophile heterofermentative Milchsäurebakterien bilden (SHIRINGANI 2005).
Der säuerliche Brei wird schliesslich gekocht und verzehrt.

Solche Breie werden heute kommerziell auch süss mit Malz als instant Fertigpulver in vielen Variationen z.B. unter dem Namen *Maltabella* in Südafrika oder *Sorghum Cereal* ähnlich wie Cornflakes vermarktet (siehe Abb.7 S.26). Couscous ist ebenfalls ein in Westafrika weit verbreitetes Grundnahrungsmittel aus Sorghum, besonders in Mali und im Senegal. Es unterscheidet sich vom Couscous aus dem mittleren Osten und Nordafrika der aus Hartweizen (*Triticum durum* Desf.) hergestellt wird. Daneben ist auch die Foniohirse [*Digitaria exilis* (*Kippist*)Stapf] für Couscous sehr beliebt, jedoch deutlich teurer und seltener als
Sorghum (ROONEY, WANISKA 2000).

In Asien werden sogar Nudeln, Reissubstitute aus Sorghum, chinesisch als *Gao Liang/ Kao Liang* oder *Shu Shu* (siehe Abb.7 S.26) und Schnaps erzeugt (KIMBER2000). Des Weiteren sind zahlreiche industrielle Biere, z.B. *Guinness, Elephant, Country Brew* und Malzbiere wie *Maltina, Guinness Malta* (siehe Abb. 7.) vor allem in Nigeria, Ghana und Südafrika mit Hilfe von Sorghummalz hergestellt, zumal Gerste und Weizen als C_3-Pflanzen in den Tropen und Subtropen kaum vorkommen und teuer importiert werden müssten. Traditionell hergestellte Biere werden als Opaque-Biere zusammengefasst (MURTY, KUMAR 1995).

Schliesslich wird das Getreide auch als Snack, in Form von Pop-Sorghum, in Äthiopien und Indien ähnlich wie Pop-Corn verwendet.

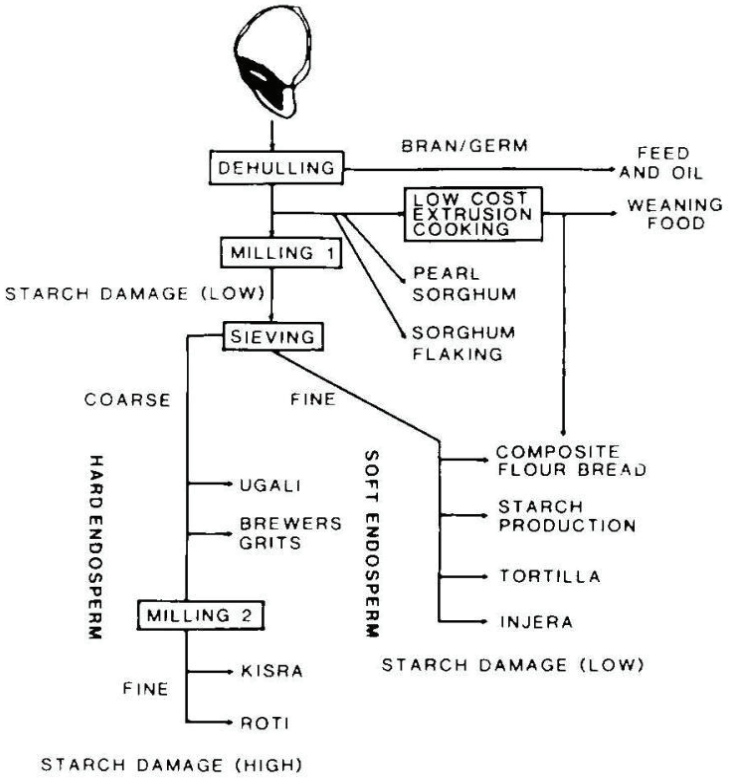

Abbildung 8: Das Sorghum Korn, traditionelle und industrielle Nahrungsmittel.
Quelle: HALLGREN et al., 1992. MUNCK 1995 in DANDY (Hg).

In der tierischen Ernährung werden Produkte wie Schrot und Silage aus Sorghum verwendet. Besonders die Silage ist in der Rinderfütterung verbreitet und bietet ein ideales konserviertes Futter aus der gesamten Pflanze. Die USA, einer der grössten Sorghumproduzenten, erzeugten allein in 2008 rund 5,6Mio Tonnen Sorghumsilage auf rund 400000 ha Fläche (USDA 2010).

1.6. Bedeutung

Als wichtige Nutzpflanze ist die Bedeutung von Sorghum nicht zu unterschätzen, wie schon zu Beginn in der Einleitung erwähnt, ist diese Pflanze als Nahrungsmittel und Tierfutter sehr wichtig und das fünft häufigste Getreide der Welt. Jedoch bestehen erhebliche Unterschiede in der Bedeutung zwischen Deutschland und anderen Ländern.

1.6.1. Weltweit

International betrachtet ist die Pflanze sehr verbreitet und daher auch von großer wirtschaftlicher Bedeutung, sowohl als Tierfutter (Kraftfutter, Silage), als auch zur humanen Ernährung und als industrielles Rohprodukt (vergl.Kap.1.5.4.).

Die weltweit produzierte Menge an Sorghum liegt bei etwa 60 Millionen Tonnen Korn pro Jahr mit leicht ansteigender Tendenz. Laut FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) im Jahr 2007 bei 63 375 602 Tonnen auf rund 47 Millionen Hektar Anbaufläche (FAO-Stat 2010).

Unter ökonomischen Gesichtspunkten ist Sorghum in zahlreichen Ländern wirtschaftlich interessanter als Mais, da der geringe Preis den leicht niedrigeren Futterwert mehr als kompensiert (SHIRINGANI 2005). In vielen Regionen der Erde ist die Pflanze unverzichtbar aufgrund des niedrigen Wasserverbrauches und der Ertragssicherheit bei ungünstigen klimatischen Bedingungen. Auch in den USA ist Sorghum mit hohen Erträgen von 80-100dt/ha auf trockenen Standorten konkurrierend zu Mais, weil höhere Erträge mit geringeren Aufwandmengen an Kraftstoff, Düngemitteln und Pestiziden als mit Mais erzielt werden (MUNCK1995).
In der Forschung erlangte die Pflanze in jüngster Zeit ein beachtliches Interesse. Denn innerhalb der Gattung *Sorghum* lassen sich viele Arten leicht kreuzen, z.B. die tetraploide Art *Sorghum halepense* (L.)Pers.. Selbst Kreuzungen innerhalb des Tribus *Andropogoneae* sind möglich. Versuche, Sorghum mit Mais und Zuckerrohr zur Resistenzzüchtung zu kreuzen, waren teilweise erfolgreich und belegen die nahe Verwandtschaft (HOFFMANN, MUDRA, PLARRE 1985).

Sorghum bicolor ist die erste C_4-Pflanze, deren Genom 2009 zu 98,46%, mit Hilfe der schnellen Whole-Genome-Shotgun-Sequencing-Methode, entschlüsselt wurde (PATERSON et al. 2009). Die Pflanze bietet sich an, da mit Zuckerrohr und Mais verwandt, jedoch besitzt sie im Vergleich zu diesen nur 10 haploide Chromosomen. Das Genom ist mit rund 735Mb deutlich kleiner als von Mais mit 2600Mb oder Weizen 16900Mb (BEDELL et al. 2005) Nach PATERSON et al.(2009) ist die Entschlüsselung des Genoms bedeutend, um Gensequenzen für Trockentoleranz zu lokalisieren und diese mit Mais und Zuckerrohr zu vergleichen. Sieben Prozent des Genoms sind sorghumspezifisch und beinhalten fünf Gene für Dürretoleranz u.a. (sbi-MIR169c, sbi-MIR169d, sbi-MIR169.p2, sbi-MIR169.p6 und sbi-MIR169.p7). Homologe Sequenzen konnten selbst im Reis-Genom lokalisiert werden (NATURE 2009). Es existieren züchterische Bestrebungen, die Sequenzen, welche für Trockentoleranz verantwortlich sind, in andere Pflanzen zu transferieren, wie zum Beispiel in den Mais.

Kaum eine andere Nutzpflanze erzielt in einer so kurzen Entwicklungszeit solch hohe Kornerträge wie Sorghum. Unter günstigen Bedingungen und guter Bestandesführung werden, abhängig von der Vegetationszeit, Erträge zwischen 80-120dt/ha erzielt (HOUSE 1995). Es kann in einem Jahr, in den winterwarmen Regionen,bis zu drei Ernten aus einer Aussaat erzielt werden. Beispielsweise erntet man in Jordanien sehr hohe Spitzenerträge von 140-215dt/ha pro Jahr (FAO-Stat 2010).Die genetische Vielfalt sowohl von Wild- als auch von Kultursorten ist sehr gross und lässt sich als Genpool züchterisch hervorragend nutzen. Jene Wild- und Zuchtformen sind auch heute noch in den unterschiedlichsten Habitaten weit verbreitet.

1.6.2. Deutschland

In Deutschland ist die Bedeutung vergleichsweise geringfügig, da die Pflanze relativ unbekannt ist. Jedoch ist ihre Verwendung in der Futtermittelindustrie immer wieder interessant, insbesondere für Mischfuttermittel. Wenn die Preise für Mais stark gestiegen sind, wird dieser teilweise durch importiertes Sorghum ersetzt. Seit einiger Zeit wird vor allem Futtersorghum als Energiepflanze zur Methanerzeugung in Deutschland zunehmend eingesetzt. Körnersorghum, welches international am häufigsten angebaut wird, ist hierzulande noch unbekannt.

.

2. Aufgabenstellung/Zielsetzung

Das Ziel dieser Arbeit ist in erster Linie eine nähere Beschreibung der Art *Sorghum bicolor* (siehe Einleitung), welche in Deutschland relativ unbekannt ist und in der deutschen Literatur mit häufig widersprüchlichen Informationen über diese Pflanze vertreten ist. Abgesehen davon dient die Arbeit vor allem dazu, die Pflanze in Deutschland als Nutzpflanze, insbesondere als Futterpflanze für die Milchviehfütterung hinsichtlich ihrer Nutzbarkeit zu prüfen.

Besonders in den niederschlagsarmen Regionen Deutschlands ist es überaus sinnvoll, anstelle von Mais, als wichtigste und dominierende Futterpflanze, eine Pflanze mit ähnlichen Eigenschaften einzusetzen. Sorghum bietet sich demzufolge als Substitut zu Mais hervorragend an. Zum einen wegen der grossen Analogie, zum anderen aufgrund der besseren Wassernutzungseffizienz und Trockentoleranz gegenüber Mais. Gerade diese Eigenschaften sind besonders wichtig, um in trockenen Regionen das Risiko von Ertragsverlusten zu verringern und stabile Erträge zu erhalten.
Die schwierige Aufgabe in dieser Arbeit besteht darin, unter der riesigen genetischen Vielfalt der Art, anbauwürdige Sorghumsorten zu finden, welche unter den in Deutschland gegebenen klimatischen Verhältnissen ausreichende Erträge erzielen und gleichzeitig ihre botanischen Vorteile ausspielen können. Unter diesen Gesichtspunkten sind in einem Feldversuch 2008 exemplarisch einige Kultivare in einem niederschlagsarmen Gebiet Sachsen-Anhalts angebaut worden, um deren Eigenschaften in der Praxis zu testen (siehe Kapitel.3).

3. Material und Methoden

Das folgende Kapitel beschäftigt sich vor allem mit dem Feldversuch, in dem die verschiedenen Sorghumsorten experimentell angebaut wurden. Die Versuchsfläche deren Beschaffenheit, der Versuchsaufbau und angewendete Technik werden in diesem Abschnitt näher behandelt. Die Versuchsdauer erstreckte sich von Mai 2008 bis Oktober 2008.

3.1. Versuchsmaterial

Versuchsmaterial für den Anbauversuch wurde 2008 bewusst sehr heterogen ausgewählt, um möglichst unterschiedliche Eigenschaften im späteren Ergebnis beobachten zu können. Somit sind die Versuchssorten zum Teil aus sehr unterschiedlichen Regionen der Welt. Der Schwerpunkt liegt vor allem bei den Körnersorten, wobei Futtersorten als Referenzmaterial mit in den Versuch einbezogen werden.

3.1.1. Die Versuchssorten

Bei den gewählten Sorten handelt es sich um Hybridsorten, die F1 Generation aus zwei unterschiedlichen parentalen Inzuchtlinien, so genannte Einfachhybriden. Diese zeichnen sich durch ihre Uniformität (1.Mendelsche Regel) aus und reifen gleichmässiger ab als Liniensorten. Die Kultivare bestehen aus drei Körnersorghumsorten und zwei Futtersorten. Es wurden ausschliesslich photoperiodisch insensitive Kurztagspflanzen, d.h. tagneutrale Sorten gewählt. Die Pflanzen sind, laut Züchter, sehr früh bis mittelspät, um sich in der kurzen Vegetationsperiode Deutschlands ausreichend entwickeln zu können. Einige erreichen bereits nach einer Temperatursumme von 1750°C die Druschreife. Bei der Auswahl der einzelnen Versuchssorten sind Hybriden gewählt worden, welche besonders ertragreich in einem mehrjährigen Kleinparzellen-Anbauversuch und Sortenscreening mit über 200 Sorten des TFZ-Straubing (Technologie und Förderzentrum für nachwachsende Rohstoffe) unter Dr. A. Roller abschnitten. Sie zeichnen sich alle durch eine für europäisches Klima angepasste Kältetoleranz aus. Die Sorten stammen sowohl von US-Amerikanischen, als auch von Französischen Züchtern. Frankreich zählt zu den nördlichsten großen Anbaugebieten Mitteleuropas für Körnersorghum und stellt somit neben den USA eine reiche Sortenvielfalt für europäische Anbaugebiete bereit. Das Versuchssaatgut ist freundlicherweise von den Firmen DeKalb USA, Sud Cereals und RAGT Frankreich kostenlos zur Verfügung gestellt worden.

3.1.2. Körnersorghum

a) Arlys: Die Sorte Arlys stammt von dem Französischen Züchter *Sud Cereals*. Der Habitus der Pflanze ist mit etwa 150 cm hochwüchsig für Körnersorghum und filigran, mit langen spitz auslaufenden kompakten Rispen ähnlich des *Kafir* Typs (siehe Kapitel 1.3.1. Kultursorghum S.12). Die Rispen liegen frei und hoch über den Blättern. Eine moderne Sorte mit hellbraun gelblich cremefarbigem Korn und hochverdaulicher Stärke mit 3800-3990 Kilokalorien/kg Trockensubstanz. Pericarp und Testa sind nur leicht gefärbt und weisen einen niedrigen Tanningehalt auf. Die Pflanze wird vor allem in Südfrankreich angebaut und für kühlere nördliche Standorte sehr empfohlen, sie ist sehr früh entwickelnd, tolerant gegen Fusariosen und weist eine gute Trockentoleranz auf.

b) Burggo: Eine Sorte des Französischen Züchters *RAGT*, welche in Zusammenarbeit mit dem amerikanischen Züchter *DeKalb Genetics Corporation* und *R2n* entstand (Catalogue plantesagricoles 2010). Burggo ist mit ca. 120cm kurzwüchsig und kompakt. Rispe ist semikompakt bis offen jedoch spitz zulaufend. Das Korn ist schwach tanninhaltig mit orange-bräunlicher Färbung. Die Sorte ist frühreif und kommt gut mit Trockenheit zurecht. Sie besitzt ausgeprägte stay-green Eigenschaften.

c) Dk-18: Diese Körnersorte wird vom Züchter *RAGT* in Frankreich vertrieben, stammt jedoch ursprünglich von *DeKalb* und ist in den USA eine altbekannte, weit verbreitete Sorte gewesen (DAHLBERG 2009, persönliche Mitteilung). Im Gegensatz zu Arlys ist Dk-18 mit 110-120cm Höhe deutlich kurzwüchsiger. Insgesamt wirkt der Habitus sehr kräftig und kompakt, aufgrund seiner kurzen Internodien zwischen den Blättern und kräftigen Stängel. Die Pflanze besitzt eine frei liegende offene bis semikompakte Rispe des *Caudatum*-Typs (vergl. Kap. 1.3.1.) dicht über dem Fahnenblatt. Das Korn weist eine leicht tanninhaltige Testa mit bräunlich bronzener Färbung auf. Besonders auf trockenen Standorten wird diese frühreife Sorte gerne verwendet und empfohlen, da sie eine ausgezeichnete Trockentoleranz besitzt.

Abbildung 9: Gebeiztes Saatgut vor der Aussat. *Quelle*: D. Döhne 2009

3.1.3. Futtersorghum

a) SS405:

Die Sorte Sucro Sorgho 405 (sweet sorghum) ist eine Hybridsorte des Züchters *Sorghum Partners* USA und wird von *Sud Cereales* Frankreich vertrieben. Es ist ein typischer Futter-Zuckerssorghum-Hybride mit offenen bis leicht kompakten Rispen. Die Pflanzen sind im Vergleich zu den Körnertypen sehr hochwüchsig, etwa 3m. der Habitus ist bis zum Rispenschieben dem des Maises verblüffend ähnlich. Die Internodien sind über 20cm lang, der Stängel 2,5-3,5 cm im Durchmesser.

b) SS506:

Auch Sucro Sorgho 506 wird über die Firma *Sud Cereales* vertrieben und stammt von *Sorghum Partners* USA. Optisch ist 506 kaum von 405 zu unterscheiden, wird allerdings grösser und etwas kräftiger. Die Pflanzen sind spätreif, erreichen 3-4 m Höhe. Beide Futtersorten sind trockentolerant und reichern hohe Zuckergehalte im Stängel an. Sie werden in den nördlichen Anbaugebieten vom Züchter empfohlen. Die Körner weisen eine rotbraune Färbung auf.

3.2. Versuchsfeld

In den nun folgenden Abschnitten wird das Versuchsfeld mit dessen wichtigsten Parametern beschrieben, dazu gehören vor allem die exogenen Umweltbedingungen des Standortes. Die Versuchsfläche befindet sich im nord-östlichen Deutschland, in Sachsen-Anhalt bei Magdeburg nahe der Ortschaft Schartau. Geographisch gesehen in der südlichen Norddeutschen Tiefebene, im natürlichen Überflutungsgebiet der Elbe. Das Feld liegt etwa 1,5 km östlich des Flusses, auf 38m über NHN(Normalhöhennull).

Abbildung 10: Lage des Versuchsfeldes zwischen den roten Markierungen,
(Breite 52°17'54.36"N, Länge 11°47'27.97"E) Länge 890m, Breite 36m.
Aufnahme 30 Juli 2006 aus 1,19 km Höhe. *Quelle*: ®2009 PPWK

3.2.1. Boden

Der Boden der Versuchsfläche ist ein charakteristischer Boden des Elburstromtales. Ein Alluvialer Boden der Zustandstufe 3, mit ca.25cm A-Horizont. Dieser anlehmige Sand (SL) weist durchschnittlich ca. 38 Bodenpunkte auf. Es befinden sich zum Teil erheblich höhere Sandanteile (S) auf zwei Sandbänken des Feldes (siehe Kap.: 3.2. Abb.Versuchsfeld) mit ca. 25 Bodenpunkten.

3.2.2. Niederschlag

Der Niederschlag der Region ist für deutsche Verhältnisse als sehr gering einzustufen. Im langjährigen Mittel beträgt der jährliche Niederschlag am Standort nur 430mm. Östlich der Elbe sind nicht selten stark ausgeprägte Sommer- und Frühsommertrockenheiten zu beobachten. Die Elbe wirkt als eine Wetterbarriere. Besonders im Sommer sind Wärmegewitter hauptsächlich westlich des Flusses zu beobachten welche nicht den Standort östlich der Elbe erreichen. Die etwa zwei km entfernt gelegene Wetterstation Burg in Blumenthal des Deutschen Wetterdienstes registriert am Standort Niederschläge von etwa 400mm im langjährigen Durchschnitt.

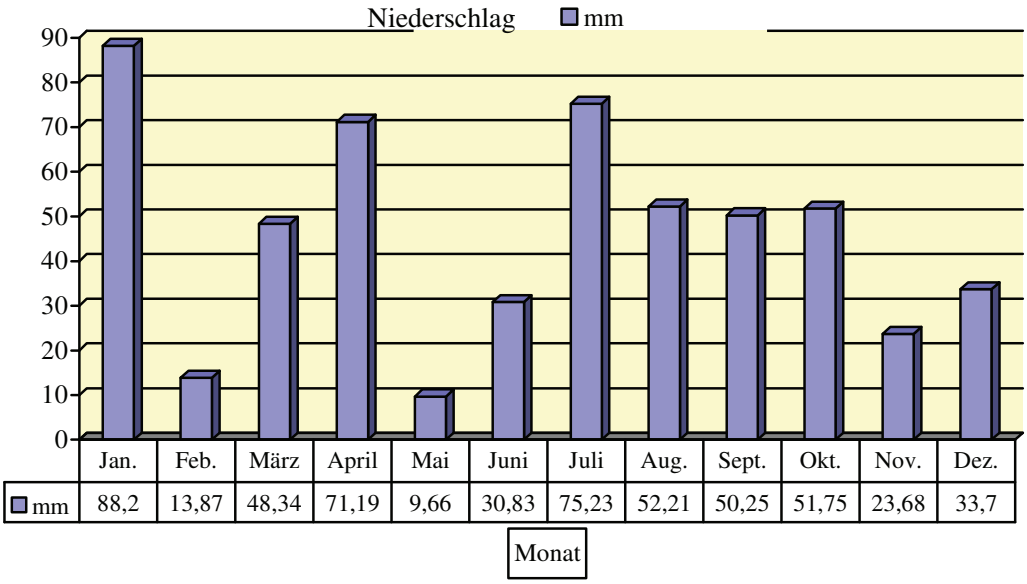

Diagramm 1: Niederschlagsverteilung im Jahr 2008 in mm/Monat.
Quelle:D.Döhne 2010 nach DW Burg 08

Trotz der durchschnittlich niedrigen Niederschläge am Standort zeigt das Diagramm 1 im Jahr 2008 eine überdurchschnittlich hohe Niederschlagsmenge mit insgesamt 593mm, besonders in den Sommermonaten ab Juli bis in den Oktober hinein(DW Burg 08). Auch die Niederschläge im Januar und April lagen ungewöhnlich hoch und führten zu einer verspäteten Maisaussaat. Im Gegensatz dazu war eine stark ausgeprägte Frühsommertrockenheit zwischen dem 30 April bis 4. Juli zu beobachten. Der gesamte Mai blieb, abgesehen vom 17.5-18.5.2008 mit knapp 10mm Niederschlag absolut trocken. Erst ab 13.Juni begann eine Periode, mit ergiebigen Niederschlägen (vergl. Diagramm1 S.36)

3.2.3. Düngung

Die Düngung von Sorghum ist grundsätzlich ähnlich der Maisdüngung, jedoch sind etwas niedrigere Aufwandmengen erforderlich. Grundsätzlich kann etwa pro Tonne Trockenmasse (TM) mit einem Nährstoffbedarf von 12 kg N, 6 kg P_2O_2und 19 kg KO gerechnet werden. Der Stickstoffbedarf wird bei den Futtersorghumsorten SS405 und SS506 mit 80-90% von Silomais angegeben (SORGHUM PARTNERS® 2008,technical information SS405/506). Ein Sollwert von ~150kg N/ha ist für hohe Erträge ausreichend. Körnersorghum benötigt z. B.
für 60dt Kornertrag etwa 112kg N/ha ,67kg P/ha und bis zu 45kg K/ha
(COTHREN, MATOCHA und CLARK 2000).

a) Wirtschaftsdünger:

Als Wirtschaftsdünger werden die organischen Düngemittel aus der Tierhaltung zusammengefasst, diese sind vor allem Mist und Gülle. Im Sortenversuch ist ausschliesslich Rindermist aus der Milchviehhaltung eingesetzt worden.
Es sind insgesamt 20t /ha mit ~4,7kg N/t gedüngt worden. Der Mist ist im April 2008 ausgebracht und zur Saatbettbereitung eingearbeitet worden.

b) Mineraldünger

Auf der Versuchsfläche ist als Mineraldüngemittel ausschliesslich ein Unterfussdünger (NP20/20) eingesetzt worden. Hierbei handelt es sich um einen granulierten anorganischen Stickstoffphosphatdünger mit 20% Stickstoff (11,5% Ammoniumstickstoff+8,5% Nitratstickstoff) und 20% Phosphor (18% P_2O_5 wasserlösliches Phosphat). Der Dünger ist etwa 5cm unter dem Saatgut leicht seitlich neben der Reihe abgelegt worden um eine schnelle Wurzelverfügbarkeit der Keimlinge mit P und N zu gewährleisten. Insgesamt sind 100kg/ha NP 20/20 eingearbeitet worden.

3.3. Sätechnik

Zur Aussaat ist im Versuch eine pneumatische Einzelkornsämaschine der Firma Kleine eingesetzt worden. Diese Sätechnik verfügt über die Besonderheit der Gleichstandssaat. Es können demnach die Saatkörner in gleichen Abständen innerhalb der Reihe und zur Nebenreihe abgelegt werden. Im Versuch selbst ist der Reihenabstand 37,5 cm gewählt worden. Die Abstände in der Reihe lagen zwischen 8 bis 10 cm, je nach Saatstärke von 250 000 – 300 000 Samen pro Hektar (25-30/m²). Diese gleichmässigere Verteilung des Saatgutes erlaubt etwas niedrigere Saatstärken als bei konventioneller Reihensaat für Sorghum, mit Abständen von 75 bis 102 cm (COTHREN et al.2000). Die geringen Reihenabstände ermöglichen einen früheren Reihenschluss und resultieren in einem niedrigeren Unkrautdruck (STAHLMAN und WICKS 2000) wodurch zusätzlich die Evapotranspiration und Erosion reduziert werden sollte.

3.4. Versuchsaufbau

Der Versuch ist als exemplarischer Feldversuch konzipiert, es sind Grossparzellen angelegt worden, insgesamt 5 Sortenparzellen mit einer Länge von 800m. Zwei Parzellen für Futtersorghum sind je 4,5m breit (3600m² pro Parzelle). Die drei Körnersorghumparzellen sind jeweils auf je 9m Breite (7200m² pro Parzelle) angelegt worden.

3.5. Versuchsdurchführung

Für die Durchführung des Feldversuches ist im April 2008 ein Teilstück der für Mais vorgesehene Ackerfläche mit 36m Breite und 800m Länge ausgemessen und mit Markierungen abgesteckt worden (siehe Kap. 3.2. Abb.10 S.35).

3.5.1. Bodenbearbeitung

Die Bodenbearbeitung erfolgte mittels pflugloser Bodenbearbeitung nach der Ausbringung des Wirtschaftsdüngers im April. Zum Einsatz kam ein Horsch Schälgrubber mit einer Bearbeitungstiefe von 15cm. Um vor der Aussaat ein möglichst feinkrümeliges Saatbett zu erzielen, erfolgte am 10.Mai 2008 eine weitere abschliessende Bearbeitung.

3.5.2. Aussaat

Das im April und Mai eingetroffene Saatgut wurde am 23.Mai 2008 ausgesät.

Die Sämaschine ist zu diesem Zweck auf Rübenlochscheiben umgerüstet worden. Es wurden zuerst die Sorten Burggo, Arlys und Dk-18 gesät. Die Saatstärke betrug 300 000 Körner/ha. Diese drei ersten Sorten sind jeweils mit zwei Bahnen ohne Vorgewende auf 9m Breite gesät worden.
Trotz der zum Teil groben Saatbettstruktur und Trockenheit funktionierte Ablage und Vereinzelung der Körner sehr gut. Anschliessend wurden die Sorten SS405 und SS506 mit einer Saatstärke von 250 000 Körner/ha auf jeweils 4,5m in einer Bahn ausgesät

Mittig der Versuchsfläche sind während der Aussaat zwei 75cm breite Versorgungsstreifen ausgespart worden, um während der Vegetationsphase eine pflanzenschonende Herbizidbehandlung zu gewährleisten und den Bestand später im Versuchsfeld zwecks Dokumentation und Datenerfassung leicht zugänglich zu erhalten.

Abb. 11:Sämaschine mit Unterfussdüngevorrichtung vor den Säscharen. *Quelle*: D. Döhne 2008

Abbildung 12: Aussaat von Körnersorghum 23. Mai 2008. *Quelle*: D. Döhne 2008

3.5.3. Herbizidapplikation

Da Sorghum bei niedrigen Temperaturen gegenüber klimatisch gut angepassten Ungräsern und Unkräutern bis zum Reihenschluss Entwicklungsnachteile aufweisen kann, ist eine einmalige Herbizidbehandlung dringend erforderlich, um hohe Erträge zu erzielen. Aus diesem Grund war in dem Versuch wegen des erheblichen Konkurrenzdruckes, vor allem durch Hühnerhirse (*Echinochloa crus-galli* L.) und Weisser Gänsefuss (*Chenopodium album* L.) eine Behandlung dringend erforderlich.
Die Applikation erfolgte am 22.6.2008 nach dem Dreiblattstadium (EC-13), durch die selektiv wirkenden Herbizide S-Metolachlor und Terbuthylazin (Gardo Gold), in einer Aufwandmenge von 4l/ha.

3.5.4. Vegetationsentwicklung

Das Wachstum und die Entwicklung der Pflanzen unterliegt sehr stark den exogenen Einflüssen wie Boden, Temperatur und Wasserverfügbarkeit. Pflanzen lassen sich anhand ihrer physiologischen Entwicklung in einige nennenswerte Abschnitte unterteilen. Im Folgenden dient die international anerkannte EC-Skala als Gliederungssystem der einzelnen Vegetationsstufen von Sorghum, welche die Entwicklungsschritte in einem Code mit zwei Ziffern von EC-00 (Keimung) bis EC-99 (Totreife) einteilt
(OEMICHEN, LÜTKE ENTRUP 2006).

a) **EC-01** Keimung: Schon zu Beginn der Aussaat lag eine stark ausgeprägte Frühsommertrockenheit vor, so dass die Keimung der Pflanzen stark verzögert wurde oder nicht eintraf. Die hypogäische Keimung erfolgte bei Samen mit Wasseranschluss bereits nach 2-3 Tagen am 26.5.2008, trotz des Wassermangels im A-Horizont des Bodens.
b) **EC-10** Auflauf: Etwa 6-10 Tage nach der Aussaat liefen bis zum 1.Juni ca. 50% der Pflanzen auf. Weitere 10-20% erst nach 2-3 Wochen. Dieses uneinheitliche Auflaufen der Pflanzen war sehr deutlich auf dem lehmigen und grob strukturierten Bodengefüge zu erkennen, deutlich weniger auf dem Sandboden des Versuchsfeldes.

Abbildung 13: Sorghum EC-11 nach dem Auflaufen am 30. Mai
Quelle: D.Döhne 2008

c) **EC-13** war eine kritische Phase, bis zu diesem Stadium ist ein starkes Wurzelwachstum zu verzeichnen gewesen, während die oberirdischen Organe im Wachstum zu stagnieren schienen und nur langsam lange lanzettartige Blätter ausdifferenziert wurden.
Erst am 22.Juni überschritten ca. 80% der Pflanzen das EC-13 Stadium, obwohl schon am 7.Juni etwa 30% dieses Stadium erreichten. Aufgrund der nun erheblichen Unkrautkonkurrenz erfolgte daher erst am 22.6. die Herbizidapplikation. Eine frühere Herbizidanwendung wurde vor EC-13 aufgrund möglicher Kulturschäden vermieden.

Abbildung 14: Sorghum EC-13 bis EC-16 am 22.6.2008, sehr hohe Unkrautkonkurrenz
Quelle: D.Döhne 2008

d) **EC-20** wurde ab dem 15.7.erreicht. Ab EC-14 entwickelten die Sorghumpflanzen deutlich breitere und glänzende Blätter. Ab EC-20 bis EC-25 wurden massiv Nebentriebe gebildet (durchschnittlich 2-3 pro Pflanze), welche extrem schnell Saatlücken schlossen und den Reihenschluss förderten.

e) **EC-30** bis EC-40: Dieses Stadium des Schossens begann schon in EC-25 und erreichte Ende Juli den Höhepunkt. Zwischen dem 15.7 bis 30.7 entwickelten sich die Pflanzen enorm schnell und wuchsen 8-9 cm täglich in die Höhe, trotz starker Temperaturen über 30°C und Trockenheit im Hochsommer. Die Sortenunterschiede zwischen Körner und Zucker- bzw.

Futtersorghum wurden signifikant feststellbar. SS506 und SS405 bildeten deutlich längere Internodien aus und erreichten später EC-30 als die frühen Körnersorten Arlys, Burggo und DK-18.

f) **EC-50** wurde ab dem 30.7. von Körnersorghum erreicht. Schon zwei bis drei Tage später am 1.8. waren die Rispen der Sorten Arlys und teilweise DK-18 vollständig sichtbar (EC-55)
Die Diskrepanz in den Entwicklungsstadien zu den Zucker/Futtersorten vergrösserte sich zu diesem Zeitpunkt ernorm. Diese befanden sich immer noch im Längenwachstum EC-30 bis EC-35.

g) **EC-60** wird als Beginn der Blüte bezeichnet. Die Blüte begann vereinzelt Anfang August.
Die Vollblüte EC-65 erstreckte sich bei den Körnersorten vom 5 bis 8.8.Zu diesem Zeitpunkt waren nur noch geringe sortenbedingte Entwicklungsunterschiede innerhalb der Körnersorten feststellbar. Arlys erreichte nun einen um ca.30cm höheren Wuchs als DK-18 und Burggo, mit sehr lang gestielten kompakten Blütenständen charakteristisch für den *Kafir* Typus (vergl. Kap. 1.3.1. S.14). Ab der Vollblüte erfolgte eine gewisse synchrone Entwicklung, ausgenommen die Futtersorghumsorten.

h) **EC-70** begann unmittelbar nach der Blüte. Ab 10.8. erfolgte die Kornfüllungsphase, in welcher die befruchteten Karyopsen voll ausdifferenziert wurden und die nun physiologisch vollständigen Körner begannen, Reservekohlenhydrate in Endospermzellen einzulagern.
Die Milchreife EC-75 durchliefen erste Pflanzen ab dem 15. August. Die Fruchtstände der Nebentriebe ca.5 Tage später. Am 27.8. erreichten jedoch die Körner aller Rispen EC-75 und zeigten die endgültige Grösse mit einem Durchmesser von ca.3-4 mm. Unter dem Gewicht der Körner öffneten sich die Rispen der Sorten DK-18 und Burggo (Kafir-Typ), somit zeigten sich sortenbedingte Unterschiede zu den eher kompakten Rispen der Sorte Arlys (Caudatum-Typ). (siehe auch Kapitel 1.3.1. S.14 ; Kap. 3.1.2. S.33 Körnersorghum.)
Ab EC-75 begannen die Schäden durch einige Schwarmvögel zuzunehmen. Die Schäden an den Körner, verursacht durch Vogelfrass, beschränkten sich jedoch fast ausschliesslich auf die Sorte Arlys.

i) **EC-80** bis EC-85 Das Stadium der Teigreife erfolgte im Versuchsfeld bei Körnersorghum ab 13. September. Die Endospermzellen lagerten nun massiv Amylose und Amylopectin ein, wodurch die Karyopsen begannen, sich zu verfestigen und abzureifen. Die Pigmentierung des Pericarpes veränderte sich von grünlich zu orange bis rot bräunlicher Farbe. Körner der Sorte Arlys färbten sich beige bis dunkel orange und blieben somit am hellsten.

j) **EC-87** und somit die Druschfähigkeit des Kornes erreichte das Sorghum im Versuch zu etwa 40% ab den 15.10. Ausschließlich die Körnersorten durchliefen dieses Reifestadium. Als Indikator der physiologischen Reife des Kornes diente ein kleiner dunkler Punkt unterhalb des Scutellums, welcher sich nur nach der vollständigen Reife zeigt. Annähernd 60% der Körnersorten überschritten aufgrund niedriger Temperaturen im Herbst nicht mehr EC-85. Die niedrigen nächtlichen Temperaturen weit unter 10°C im Oktober führten zur Stagnation der Entwicklung und zur Apoptose bis hin zu nekrotischen Verläufen einzelner äusserer Blätter oder weniger ganzer Pflanzen.
Die hochwüchsigen Futter bzw. Zuckersorghumkultivare erreichten bis zum 15.10 mit 3-4 m Höhe EC-60, maximal EC-70. Auch hier stagnierte die Entwicklung ab Oktober, so dass die Pflanzen aufgrund eines temperaturbedingten niedrigen Stoffwechsels ihre Assimilationstätigkeit reduzierten und zum Teil chlorotische Fahnenblätter ausbildeten.

3.5.5. Probenentnahme

Am 17.10.2008 wurden sämtliche Proben gezogen. Von jeder Sorghumsorte sind jeweils vier randomisierte Proben gezogen worden, welche anschliessend im Labor auf folgende Inhaltsstoffe analysiert werden sollten:

1. Stärke
2. Zucker
3. Rohprotein
4. Rohfaser
5. Rohfett
6. NEL
7. ME-R

Zuvor sind am Versuchsstandort die Anbaustreifen der jeweiligen Sortenparzellen separat mit Hilfe eines Maishäckslers (Typ Krone BigX 650) gehächselt wurden. Der Corncracker wurde auf etwa 2 mm eingestellt, um die kleinen Sorghumkörner ausnahmslos anzuschneiden. Dies ist wichtig, damit zur späteren Rinderfütterung die Stärke des Endospermes optimal aufgeschlossen werden kann und die Darmpassage nicht unverdaut durchläuft. Die Häcksellänge des Erntegutes wurde entsprechend der zu erwartenden geringen Trockensubstanz sicherheitshalber auf 4 cm eingestellt.

Vor dem eigentlichen Häckselvorgang wurden die Leergewichte der Häckselgutgespanne einzeln auf einer LKW-Waage genau gemessen.
Die Sorghumproben sind dann in gewissen Abständen randomisiert in dem jeweiligen Wagen und nach dem Abladen im Silo gezogen worden. Von jeder Sorte wurden immer genau 4 Proben separat in 1 kg luftdicht verschliessbare Plastikbeutel abgepackt. Diese wurden umgehend gekühlt, durchnummeriert und zur Laboruntersuchung verschickt.

Demnach verwendete man zur Analyse stets 4 kg jeder Sorte, welche einen zuverlässigen Durchschnitt der Einzelsorten ermöglichen.
Das verbleibende Erntegut wurde nach einer erneuten Gewichtsmessung in einem Fahrsilo konventionell wie Mais einsiliert und anaerob, unter Folie, mit Hilfe von Milchsäurebacterien vergoren und natürlicherweise konserviert. Die Silage ist im Jahr 2009 zur Milchviehfütterung verwendet worden.

Abbildung 15: Sorghumsilo, Häckselgut wird währen der Ernte komprimiert. *Quelle*: D. Döhne 2008

4. Ergebnisse

Im nun folgenden Abschnitt sind die wichtigsten Parameter des Feldversuches aufgelistet. Diese sind:

1. Frischmasse FM in dt/ha
2. Trockensubstanz TS in %
3. Rohprotein in %
4. Zucker in %
5. Stärke in %
6. Rohfaser in %
7. Netto Energie Lactation (engl. net energy for lactation) NEL

Abgesehen von der Berechnung der Frischmasse, welche direkt nach der Ernte gemessen wurde (siehe Abschnitt 3.5.5. S.44, Probenentnahme), sind alle weiteren Inhaltstoffe in Zusammenarbeit mit dem Futtermittellabor Waldsieversdorf des Landeskontrollverbandes Brandenburg durchgeführt worden. Für jede Sorte sind immer vier (n=4) einzelne Prüfatteste erstellt worden, insgesamt 20 Analysen sowie zusätzlich vier Sammelproben. Zwei Proben bereits am 25.9.2008 zur Abschätzung des optimalen Erntezeitpunktes und zwei weitere Sammelproben am 9.2.2009 zur Analyse der fertigen Silage (Die ersten Sammelproben vom 25.9.2008 sind nicht in die Berechnung mit eingegangen, da zu diesem Zeitpunkt noch keine ausreichende physiologische Reife der Pflanzen festgestellt werden konnte).

Die jeweiligen Inhaltsstoffe sind nass chemisch auf der Basis der erweiterten Weender Futtermittelanalyse ermittelt worden. Der Übersicht halber, hat man sich in der vorliegenden Arbeit auf die zuvor genannten Inhaltsstoffen beschränkt, wenngleich auch andere wichtige Parameter wie z.B. ME-R(MJ), RNB und nutzbares Rohprotein erfasst wurden. In den nun folgenden Tabellen sind die Ergebnisse der Einzelproben aufgelistet und im Durchschnitt zur jeweiligen Sorghumsorte aufgeführt. Alle durchschnittlichen Ergebnisse sind mit der Standardabweichung (SD) gekennzeichnet. Um mögliche Messungenauigkeiten zu erkennen, welche durch multifaktorielle Umweltbedingungen, Streubreiten im Phänotyp und sonstige Störfaktoren im Feldversuch natürlicherweise auftreten, sind die Varianzen innerhalb einer Sorte ($SQ_x = (n-1)\sigma^2$) und zwischen den Sorten ($SQ_x=\Sigma(x-m_x)^2$ mittels einfaktorieller Varianz-analyse (syn: Anova oder Streuungszerlegung) errechnet worden(siehe Varianztabelle im Anhang). Irrtumswahrscheinlichkeit betrug 5% (Signifikanzniveau $\alpha = 0{,}05$).

Die letzte Tabelle (siehe Kap.5, Tabelle Nr.11 S.63) fasst alle im Folgenden errechneten Durchschnittswerte in einer überschaubaren Übersicht zusammen.

4.1.dt/ha FM
4.2.TS
4.3.Rohprotein
4.4.Zucker
4.5.Stärke
4.6.Rohfaser
4.7.NEL

4.1. dt/ha FM

Tabelle 1 zeigt die geernteten Frischmassen der einzelnen Sorten umgerechnet auf Dezitonne je Hektar. Gut zu erkennen sind Variationsbreiten zwischen den einzelnen Sorten. Die hochwüchsigen Zucker- bzw. Futtersorten SS506 und SS405 zeigen mit 397,7- 457,5 dt/ha signifikant höhere Frischmasseerträge als die Körnersorten. Die Schwankungsbreite innerhalb der Körnersorten Arlys, Burggo und DK-18 fällt grösser aus. Es sind Erträge zwischen 216 dt/ha bis 354,4 dt/ha erzielt worden. Somit ergibt sich eine beachtliche Differenz von 138,4 dt/ha innerhalb der Körnersorten. Dem gegenüber ist die Differenz unter den Futtersorten mit 60,1dt/ha vergleichsweise gering ausgefallen.

Die durchschnittlichen Erträge der getesteten Körnersorten liegen bei 269,4 dt/ha, die der Futtersorten bei 427,6 dt/ha, d.h. ein durchschnittlicher Ertragsunterschied von 158,2 dt/ha Frischmasse. Trotz dieser signifikanten Unterschiede ist zu beachten, dass sich die Ergebnisse auf die reine Frischmasse beziehen, dennoch kommt die Sorte Dk-18 mit 354,4dt/ha den FM-Erträgen der Zuckersorten recht nahe. Die Trockenmassen, welche zu Gunsten der Körnersorten ebenfalls schwanken, werden im Abschnitt 4.2. (siehe S.49-50) ausführlich dargestellt.

Tabelle 1: Körnersorghum Frischmasse (FM dt/ha)

Körnersorghum **dt/ha FM**			Futtersorghum dt/ha FM	
5.Burggo	4.DK-18	3.Arlys	2.SS405	1. SS506
237,8	**354,4**	**216,0**	**397,7**	**457,5**

Tabelle 2: FM Durchschnitt

Körnersorghum **dt/ha FM**	Futtersorghum dt/ha FM
Ø 269,4	Ø 427,6

4.2. Trockensubstanz

Trockensubstanzgehalt (TS) ist ein wichtiger Parameter, um ein Futtermittel mit hoher Energiedichte zu erhalten. Je höher die TS, desto weniger Flüssigkeit ist in der Pflanze vorhanden und wird durch andere Substanzen, wie Kohlenhydrate ersetzt, d.h. mehr organische Masse pro kg Futter. Bei zu geringer TS ist die Energiedichte geringer, es entstehen häufig höhere Transportkosten und in der Silage Energieverluste aufgrund von Sickersaftbildung. Abgesehen davon kann anhand der TS die physiologische Reife einer Pflanze bestimmt werden. In der **Tabelle 3** wird ersichtlich, dass innerhalb einer Nutzungsform keine erheblichen Unterschiede der TS vorliegen. Die Schwankung reichen von 28,3% TS (Arlys) bis zu 31,5% TS (Burggo). Durchschnittlich liegt das getestete Körnersorghum bei 30% TS.

Es bestehen jedoch signifikante Unterschiede zwischen Futtersorghum und Körnersorghum. Das Futtersorghum weist im Durchschnitt nur 22% TS auf, dies sind 8% weniger TS als Körnersorghum.

Tabelle 3:Trockensubstanz (TS) in Prozent

	Körnersorghum **TS** in %			Futtersorghum TS in %	
Probe Nr.	5.Burggo	4.DK-18	3.Arlys	2.SS405	1. SS506
1	31	31,40	25	22,5	21,3
2	30,4	32,9	28,4	22,7	22,9
3	30,7	27,4	30	20,5	22,6
4	34	29,1	30,1	23	20,7
Ø	**31,5** SD 1,67	**30,1** SD 2,43	**28,3** SD 2,38	**22,2** SD 1,14	**21,8** SD 1,05
Var(x)	2,8	5,9	5,7	1,3	1,1

Tabelle 4: TS Durchschnitt

Körnersorghum **TS %**	Futtersorghum TS %
Ø 30	Ø 22

Im Säulen**diagramm 2** kann ergänzend der Unterschied zwischen den Einzelsorten betrachtet werden. Die schwarzen Markierungen oberhalb der Säulen zeigen die Standardabweichung, die Streubreite der Messergebnisse, Minimum und Maximum Werte. Diese sind zwar bei Körnersorghum grösser, dennoch signifikant höher als bei den Zuckersorten.

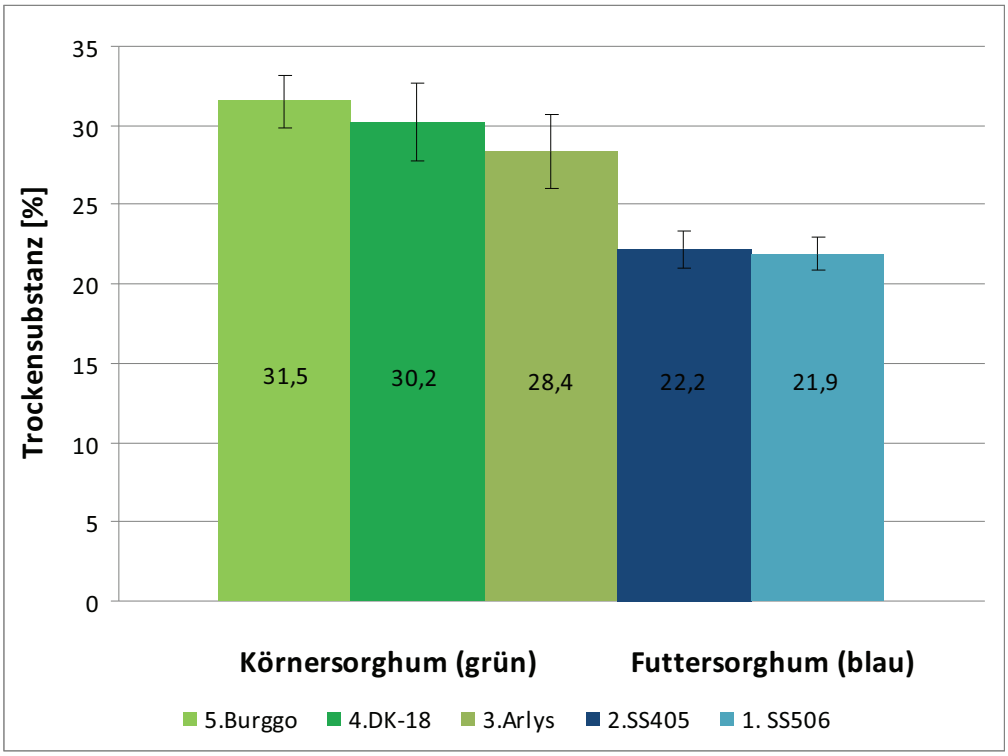

Diagramm 2: TS %

4.3. Rohprotein

Das Rohprotein, hauptsächlich Kafirin und Gluteline, im geringeren Umfang Globuline (vergl. Kap. 1.3.5.3, S.18), welche bei den unterschiedlichen Sorghumsorten gemessen wurden, lag zwischen 10,3 bis 7,1%. Ein hoher Proteingehalt aus dem Grundfutter ist grundsätzlich anzustreben, zu hohe Werte (über 15%) könnten jedoch den Silierungsprozess negativ beeinflussen, wie es zum Beispiel bei sehr proteinreicher Silage aus Luzerne (*Medicago sativa* L.) oder Klee der Fall ist. Die beiden Futtersorten zeigten mit rund 7% Rohprotein die geringsten Werte. Die Körnersorten lagen allerdings mit 9,3-10,3% Rohprotein signifikant höher. Höchstwerte der Einzelproben übertrafen 11%(11,7, 11,1%). Sowohl die Sorten Arlys als auch Dk-18 erreichten durchschnittlich hohe Werte von 10 % RP.

Tabelle 5: Rohprotein

	Körnersorghum **Rohprotein** in %			Futtersorghum Rohprotein %	
Probe Nr.	5.Burggo	4.DK-18	3.Arlys	2.SS405	1. SS506
1	9,1	9,5	11,7	6,4	7,30
2	8,8	9,2	10,2	7,1	6,9
3	10,1	11,1	9,8	9	6,9
4	9,3	10,5	9,4	5,8	7,5
Ø	**9,3** SD 0,56	**10.1** SD 0,88	**10,3** SD 1	**7,1** SD 1,39	**7,2** SD 0,3
Var(x)	2,8	5,9	5,7	1,3	1,1

Das **Diagramm 3** Rohprotein fasst die durchschnittlichen Proteingehalte zusammen und verdeutlicht, dass die Sorte Arlys die höchsten Rohproteingehalte erzielt, knapp gefolgt von Dk-18. Beim Futtersorghum sind die Durchschnittswerte fast identisch bei einem niedrigen Niveau von 7%, allerdings lassen sich bei SS405 mit SD=1,39 große Schwankungsbreiten erkennen (siehe Markierungen oberhalb der Säulen).

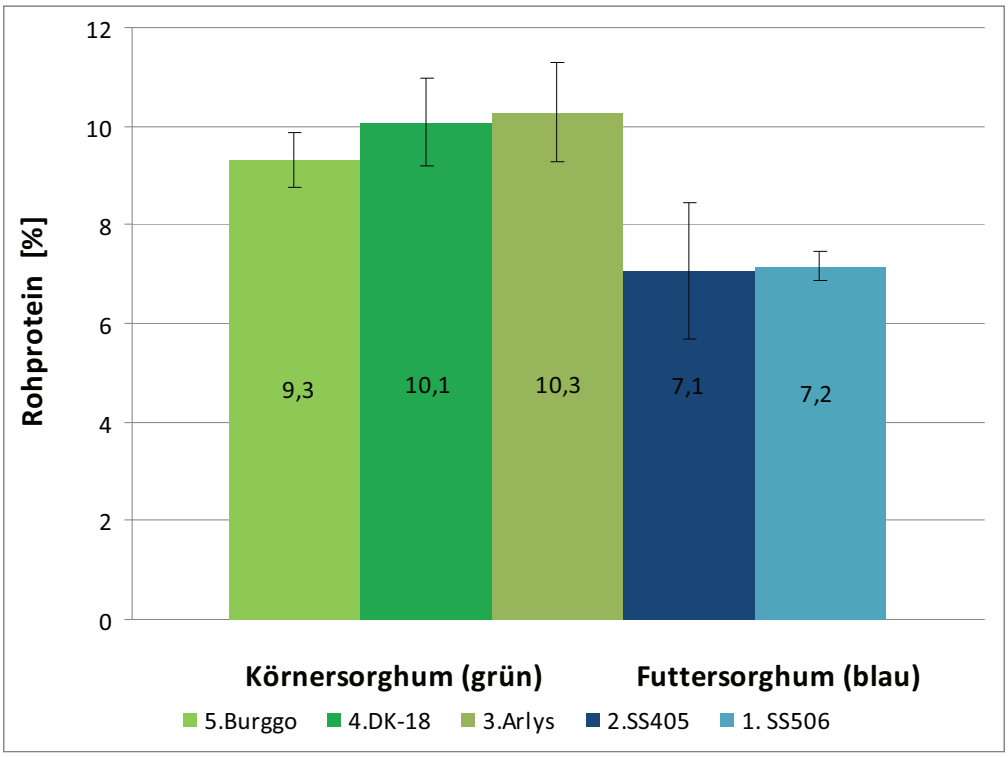

Diagramm 3: Rohprotein

4.4. Zucker

Unter der Fraktion Zucker werden die unterschiedlichsten leicht abbaubaren Kohlenhydratverbindungen zusammengefasst von Monosaccariden, Disaccariden und Oligosaccariden bis hin zu den Fructanen (Sucrose-Fructoseverbindungen). Die mengenmässig häufigsten Zucker von Sorghum sind hauptsächlich Sucrose, Glukose und Fructose (vergl. Kap. 1.3.5.2, S.18). Ein hoher Zuckergehalt ist grundsätzlich vorteilhaft, da dieser als leicht verdauliches Kohlenhydrat energiereich ist und zu einer guten Silierfähigkeit beiträgt. Aus der **Tabelle 6** zu entnehmen, sind, wie zu erwarten, sehr grosse Unterschiede bezüglich der Zuckerkonzentration festzustellen. Durchschnittlich erzielten die Körnersorghumsorten 6,4% Zucker. Unter diesen erlangte Sorte Arlys mit 9% die höchsten Werte.

Weit höhere Zuckergehalte erreichten die Futter/Zuckersorghumsorten mit bis zu 19,8%. Der Durchschnitt aller Proben unter den Futterhybriden SS405 und SS506 lag immer noch hochsignifikant bei 16,8% ($p_{Zu.} = 1{,}07895957443679^{-08}$) und ist damit fast dreimal höher als bei dem untersuchten Körnersorghum.

Tabelle 6: Zucker

	Körnersorghum **Zucker** in %			Futtersorghum Zucker %	
Probe Nr.	5.Burggo	4.DK-18	3.Arlys	2.SS405	1. SS506
1	4	4,4	11,9	18,1	14,8
2	4,4	4,1	8,1	16,9	16,5
3	5,5	(1,9)	9	16,3	16,3
4	4,7	7,9	6,9	19,8	15,4
Ø	**4,7** SD 1,14	**5,5** (4,5) SD 2,11	**9** SD 2,13	**17,8** SD 1,54	**15,8** SD 0,79
Var(x)	0,4	4,5	4,5	2,4	0,6

Das **Diagramm 4** Zucker verdeutlicht die Diskrepanz zwischen den Sorten bezüglich des Zuckergehaltes. Gerade der Unterschied zwischen den Futtersorghumhybriden zu den Körnerhybriden ist eindeutig im Säulendiagramm sichtbar. Doch auch Arlys zeigt mit 9% Zuckergehalt, welche Unterschiede zwischen den einzelnen Körnerhybriden liegen können.

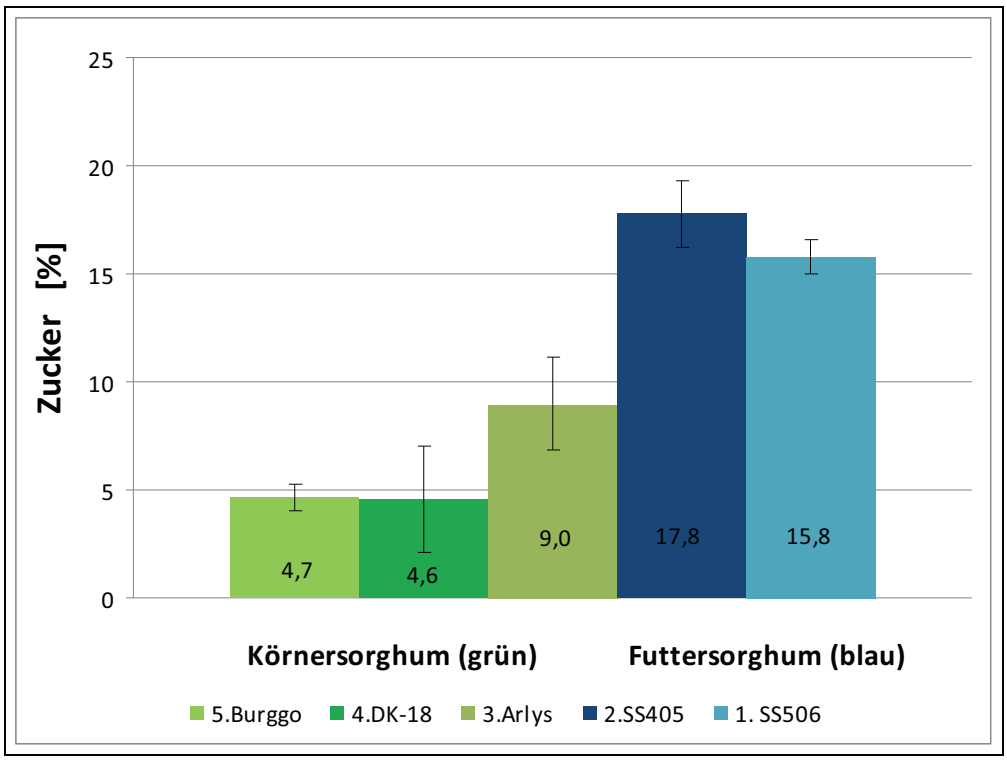

Diagramm 4: Zucker %

4.5. Stärke

Stärke zählt zu den energiereichsten und wichtigsten Kohlenhydratverbindungen. Besonders die Sorghumstärke ist in der Rinderfütterung wegen ihrer Beständigkeit im Pansen wertvoll. **Tabelle 7** verdeutlicht unverkennbar, dass die Futtersorten SS405 und SS506 mit 1% noch keine nennenswerten Stärkegehalte erreichten.

Im Gegensatz dazu kamen die Körnersorten mit den am höchsten gemessenen Stärkegehalten auf 28,8% (Burggo) und 31,8% (DK-18). Der statistische Durchschnitt aller Körnersorghos erzielte 23,9 % ($p_{Stärke.} = 2{,}93787765032643^{-09}$). Die niedrigsten Einzelproben lagen immerhin bei 18%. Die höchsten durchschnittlichen Stärkekonzentrationen wurden bei der Sorte DK-18 mit 25,2% gemessen, dicht gefolgt von Burggo mit 23,6%. Arlys erreichte 22,8% Stärke. Die Schwankungsbreite innerhalb der Einzelproben lag relativ hoch. Die niedrigsten erzielten 18,1% (Burggo) und 18,4% Dk-18).

Tabelle 7: Stärke

	Körnersorghum **Stärke** in %			Futtersorghum Stärke %	
Probe Nr.	5.Burggo	4.DK-18	3.Arlys	2.SS405	1. SS506
1	18,1	26,2	(9,5)	1	1
2	22,7	31,8	22,6	1	1
3	24,7	24,2	22,1	1	1
4	28,8	18,4	23,8	1	1
Ø	**23,6** SD 4,45	**25,2** SD 5,53	**22,8** SD 0,87	**1** SD 0	**1** SD 0
Var(x)	2,8	3	44	0	0

Das Säulen-**Diagramm 5** visualisiert den prozentualen Stärkegehalt. Der hochsignifikante Unterschied zwischen den stärkereichen Sorten Arlys, Burggo und Dk-18 zu den stärkearmen Sorten SS405 und SS506 ist hervorragend erkennbar. Die schwarzen Markierungen innerhalb der Säulen signalisieren jedoch eine grosse Abweichung unter den Körnersorten. Es sind bei Dk-18 und Burggo Variationsbreiten von knapp 20% bis 30% zu verzeichnen.

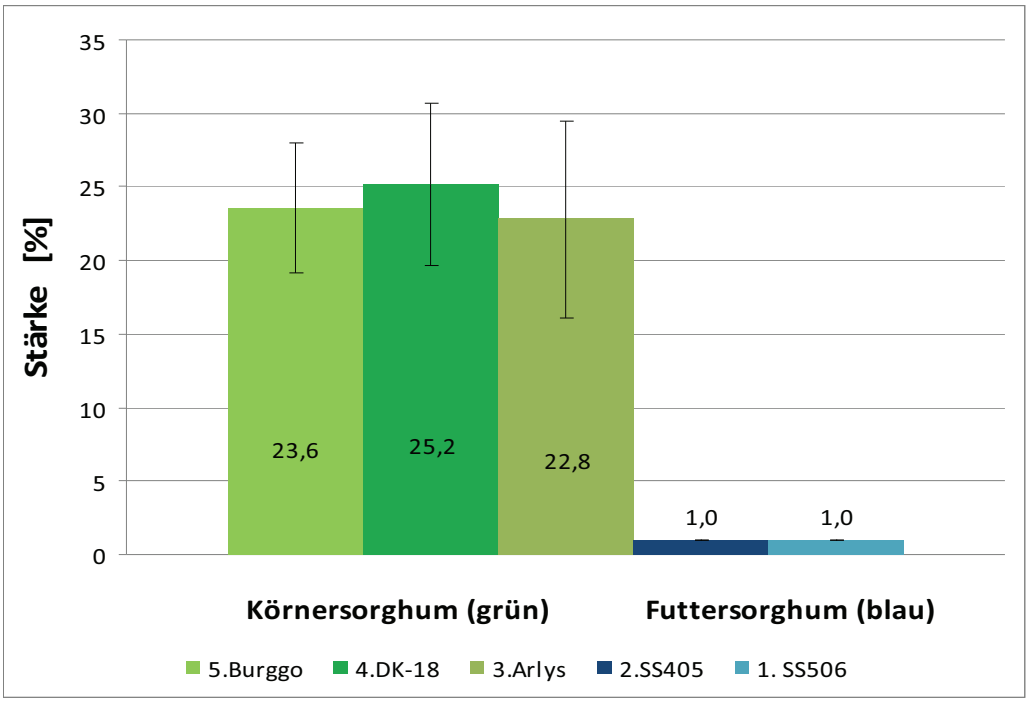

Diagramm 5: Stärkegehalt % TS

4.6. Rohfaser

Unter Rohfaser werden hochmolekulare Kohlenhydrate zusammengefasst, vor allem die Polysaccaride Cellulose, Hemicellulose und Lignin. Diese Gerüst- und Stützsubstanzen der pflanzlichen Zellwände sind im Pansen strukturwirksam, jedoch meist nur schwer verdaulich und liefern somit wenig Energie. Die **Tabelle 8** beinhaltet sämtliche gemessene Rohfasergehalte der einzelnen Proben. Es lassen sich signifikante Unterschiede zwischen den Nutzungsformen von Sorghum feststellen. Bei den Futtersorten wurden durchschnittliche Werte zwischen 27 bis 31% Rohfaser ermittelt. Die Sorte SS506 erreichte sogar Höchstwerte von 32,1%.

Völlig anders vielen die Ergebnisse der Körnerhybriden aus. Diese lagen durchschnittlich bei 20% Rohfaser. DK-18 lag mit 19,5% am niedrigsten, Arlys mit 20,7% am höchsten.

Tabelle 8: Rohfaser

	Körnersorghum **Rohfaser** in %			Futtersorghum Rohfaser %	
Probe Nr.	5.Burggo	4.DK-18	3.Arlys	2.SS405	1. SS506
1	19,7	19,2	22,6	27	30,7
2	21,6	17,1	19,6	27,3	29,8
3	18,7	21,8	20,4	26,9	31,8
4	18,9	19,9	20,3	27,5	32,1
Ø	**19,7** SD 1,32	**19,5** SD 1,94	**20,7** SD1,3	**27,2** SD0,28	**31,1** SD1,06
Var(x)	1,7	3,8	1,7	0,1	1,1

Das **Diagramm 6** spiegelt als Säulendiagramm die Durchschnittswerte der einzelnen Sorten bezüglich ihrer Rohfasergehalte wieder. Die Streubreiten innerhalb der Sorten DK-18, Burggo und Arlys sind am grössten, jedoch wird mit keiner Messung 23% Rohfaser überschritten. Futtersorten übertreffen mit rund 30% mit Abstand die Körnersorten bei 20% (p_{Rf} = 1,9E-9), Erstere weisen allerdings geringere Abweichungen innerhalb der eigenen Sorte auf, insbesondere SS405 mit SD 0,28.

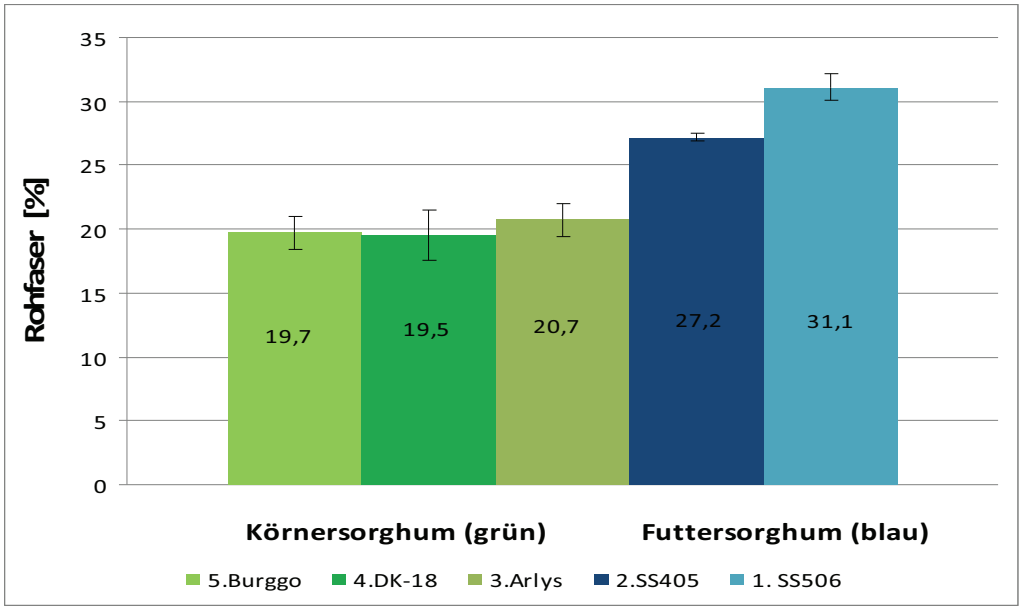

Diagramm 6: Rohfaser in %

4.7. Rohfett 10

Die hier in **Tabelle 9** dargestellten Rohfettgehalte beinhalten hauptsächlich im Sorghumkorn vorhandenen Lipide. Diese sind grösstenteils ungesättigte Fettsäuren, Linol- und Ölsäuren und essentielle Xantophylle. Die Bedeutung dieses Rohfettes ist verhältnismässig gering, da die Werte insgesamt unter 3% liegen. Dennoch sind gerade jene essentiellen Fettsäuren erwünscht. Zu beobachten ist in der Tabelle eine geringe Varianz innerhalb der Futtersorten, diese liegen mit 1,2 bis 1,5% auf niedrigem Niveau. Körnersorten erreichen mit 2,5-2,7 % wesentlich höhere Werte, allerdings auch grössere Varianzen, vor allem Burggo. Die Sorte Arlys erzielte den höchsten Messwert mit 3%.

Tabelle 9: Rohfett

	Körnersorghum **Rohfett** %			Futtersorghum Rohfett %	
Probe Nr.	5.Burggo	4.DK-18	3.Arlys	2.SS405	1. SS506
1	2,7	2,7	3	1,1	1,2
2	2,4	2,8	2,7	1,5	1,3
3	2,9	2,8	2,5	1,8	1
4	1,8	2,4	2,7	1,4	1,2
Ø	**2,5**	**2,7**	**2,7**	**1,5**	**1,2**
Var(x)	0,2	0,0	0,0	0,1	0,0

4.8. NEL

Der Wert NEL ist ein besonders wichtiges Indiz zur Bewertung eines Futtermittels für die Milchproduktion. In der **Tabelle 10** sind die errechneten NEL-Werte aufgelistet. Diese basieren auf den Inhaltsstoffen der Einzelproben. Ein hoher NEL-Wert ist vorteilhaft für die Fütterung von lactierenden Milchkühen. Wie aus Tabelle 10 zu entnehmen, wurden bei den Körnerhybriden die höchsten Zahlen ermittelt mit bis zu 6,46 NEL. Durchschnittlich erreichten diese Sorten 6,3 NEL, die Sorte DK-18 sogar 6,4 NEL.
Beide Futtersorten SS405 und SS506 erzielten mit rund 5,25 eine geringere NEL. Dennoch erreichte SS405 durchschnittlich 5,5NEL.

Tabelle 10: NEL

	Körnersorghum **NEL**			Futtersorghum NEL	
Probe Nr.	5.Burggo	4.DK-18	3.Arlys	2.SS405	1. SS506
1	6,30	6,41	6,23	5,4	4,9
2	6,26	6,46	6,31	5,4	5
3	6,33	6,32	6,28	5,5	5
4	6,39	6,30	6,3	5,5	4,9
Ø	**6,3** SD 0,05	**6,4** SD 0,08	**6,3** SD 0,04	**5,5** SD 0,06	**5** SD 0,06
Var(x)	2,8	5,9	5,7	1,3	1,1

Als Übersicht werden in Kapitel 5 auf **Tabelle 11** (siehe Seite 63) nochmals die einzelnen Parameter im Durchschnitt jeder Sorghumsorte zusammengefasst.

5. Diskussion

Die nun folgende Diskussion dient als Erörterung und Interpretation der gewonnen Ergebnisse des Feldversuches aus Kapitel 3. und wird nun kritisch anderen wissenschaftlichen Untersuchungen und Erkenntnissen gegenübergestellt. Dazu sollte jedoch erwähnt werden, dass generell in Deutschland nur wenige und teilweise sehr kontroverse Untersuchungen über Sorghum existieren. Insbesondere zur Rinderfütterung mit Körnersorghum sind bisher kaum bekannte Veröffentlichungen aus Deutschland oder in deutscher Sprache neueren Datums vorhanden. Aus diesem Grunde wird nun versucht anhand von internationaler Publikationen, welche über möglichst ähnliche Grundvorrausetzungen verfügen, zurückzugreifen und diese als Referenz heranzuziehen. Vor allem die nördlichen Sorghumanbaugebiete in Amerika und Frankreich, aber auch in gemässigten Hochlagen wie z.B. in Äthiopien, Indien und zum Teil Südafrika bieten die grössten gemeinsamen Grundvorrausetzungen. Daher sind überwiegend Quellen aus diesen Regionen in die anschliessende Diskussion eingeflossen, wenngleich die Informationen zu dieser Thematik begrenzt sind.

Wie anhand der gewonnen Daten zu sehen, welche in den Ergebnissen (siehe Kapitel 3) ausführlich dargestellt wurden, sind doch überraschende Ergebnisse des Feldversuches aufgetreten. Die zusammenfassende Tabelle **11** (S.63) zeigt stark vereinfacht und übersichtlich die wichtigsten Messergebnisse. Generell lässt sich daran eindeutig erkennen, dass die Sorten Arlys, Burggo und Dk-18 insgesamt in allen gemessenen Parametern ausser in Frischmasse und Zuckergehalt den Sorten SS405 und SS506 überlegen waren. Man kann somit davon ausgehen, dass die Körnersorten unter den gegebenen Umständen gegenüber den Futtersorten oder Zuckersorten besser angepasst, somit energiereicher sind.

Dieser Annahme liegen folgende Werte zu Grunde:

1. Körnersorten (Arlys, Burggo, Dk-18)

   - hohe TS-Gehalte von ~ 30%
   - hohe Rohproteingehalte ~10 %
   - geringer Zuckergehalt ~ 6 %
   - hohe Stärkekonzentration ~ 24%
   - geringer Rohfasergehalt ~20%
   - hohe NEL ~ 6,3

2. Futtersorten (SS405,SS506)

- geringer TS-Gehalt von ~ 22%
- niedriger Rohproteingehalt ~7 %
- hoher Zuckergehalt von ~17%
- sehr wenig Stärke ~1 %
- hoher Rohfasergehalt ~30%
- niedrige NEL ~5,3

In der vorausgehenden Aufzählung sind die wesentlichen Parameter der Zuchtformen Körnersorghum und Futtersorghum gegenübergestellt, die Angaben sind Durchschnittswerte und beziehen sich auf die absoluten prozentualen Werte der Tabellen. Sie berücksichtigen nicht die Variationsbreiten der jeweiligen Sorten, welche zum Teil abweichen. Dennoch verdeutlichen diese Durchschnittswerte den grossen Unterschied zwischen den langwüchsigen Futtersorten und den kurzwüchsigen Körnersorten. Die Gründe für diesen gravierenden Unterschied sind vor allem genetischer Natur. Die physiologische Reife der Futtersorten SS405 und SS506 erfolgte wesentlich später als die der Körnersorten. In der Vegetationsentwicklung (siehe Kap. 3.5.3.) konnten schon Diskrepanzen im Stadium EC-25 Mitte Juli erkannt werden. Die Futtersorten blieben, bis weit in den Herbst hinein, eindeutig länger im Streckenwachstum ,während die kurzwüchsigen Internodien der Sorten Arlys, Burggo und Dk-18 schon Ende Juli bis Anfang August voll ausgewachsen waren und in die Blüte gingen. Der grosse Vorteil spät reifer Futtersorten liegt fast ausschliesslich in ihrem enormen Wachstumspotential, damit lassen sich auch auf trockenen Standorten erstaunliche Frischmasseerträge erzielen. Im Versuch lagen diese FM-Erträge mit der Futtersorte SS506 bei 457,5dt/ha. Zum Vergleich erreicht Mais am Standort unter ähnlichen Bedingungen im langjährigen Mittel 300 bis 400dt/ha. Im Jahr 2008 erzielte direkt neben der Versuchsfläche gesäter Mais (FAO-Reifezahl 250) unter vergleichbaren Bedingungen (Boden, Düngung) einen Frischmasseertrag von 350dt/ha. Grosse Energiekonzentrationen werden bei Futtersorghum trotz des hohen Zuckergehaltes nicht erreicht. 16-18% Zucker sind insgesamt recht hoch für Sorghum in solch nördlichen Anbaugebieten und führten in der Silage zu einem niedrigen pH-Wert von 3,9. Diese hohe Zuckerkonzentration genügte aber nicht, die hohen Energiekonzentrationen von

stärkereichen Mais oder Körnersorghum zu kompensieren. Folglich liegen die NEL-Werte mit 5,3 deutlich unter denen des Maises, welcher etwa 7 NEL erreicht. Selbst in wärmeren Regionen wie z.B. Texas (USA) konnte in einem breit angelegten Sortenversuch der Texas A&M Universität, Standort Amarillo, die Sorte SS506 nur 5,5 NEL im Jahr 2008 und 5,1 NEL in 2009 bei 32,2%TS erreichen (BREND et.al. 2008, BREND et al 2009). Jene Werte korrelieren mit denen in dieser Arbeit gemessenen NEL-Ergebnissen, welche mit 5,3 NEL genau im Mittelfeld liegen.

Ein weiterer Nachteil der Futtersorten im Versuch ist die geringe Trockensubstanz von nur 22%. Sie ist als kritisch einzustufen, da erst ab 26% TS eine stabile Silage ohne hohe Sickersaftbildung möglich ist. Der Sickersaft würde zu einem Energieverlust der Silage führen und könnte zusätzlich eine Grundwassergefahr, insbesondere bei Erdsilos ohne Auffanggrube, darstellen. Weiterhin sind die Transportkosten pro kg TS wegen des erheblichen Wassergehaltes von 78% höher, gerade bei den niedrigen Energiekonzentrationen. Es ist allerdings zu berücksichtigen, dass auch Futtersorghum deutlich höhere Trockensubstanzgehalte von über 30% erzielen kann, als die in diesem Versuch gemessenen. Dafür müssten jedoch günstigere klimatische Bedingungen und eine längere Vegetationszeit vorhanden sein. Ein früherer Saatzeitpunkt und ein wärmeres niederschlagsärmeres Jahr, als es 2008 mit 593mm der Fall war, hätte sicherlich etwas höhere TS ermöglicht. Dennoch ist die Fütterungseignung von Futtersorghum grundsätzlich nicht als schlecht einzustufen, die Energiekonzentrationen sind niedriger als bei Mais, sie liegen allerdings mit 5,3 NEL im Bereich von Grassilage.

Vergleichende Fütterungsversuche von Futtersorghumsilage anstelle von Maissilage in TMR zeigten unter sonst identischen Parametern eine geringere Milchproduktion hochlactierender Kühe. So lagen z.B. die Michleistungen in Israel mit Futtersorghum bei 40,7 l/p.d. und Maissilage bei 42,1 l/p.d. (MIRON et al. 2007). Dennoch waren Milchfettgehalte höher, sie platzieren sich leicht über denen der mit Mais gefütterten Tiere.
Die zuvor erwähnten nachteiligen Eigenschaften entsprachen den Erwartungen , weshalb man sich in dem Feldversuch vor allem auf Körnersorghum konzentrierte und die Futtersorten als Referenzmaterial wählte. Gänzlich anders entwickelten sich die Körnersorten.

Tabelle 11. Abgesehen von den Einzelprobenergebnissen zeigt eine zusammenfassende Übersicht der einzelnen Parameter den Durchschnitt aller untersuchten Sorghumsorten. Anhand folgender Tabelle lassen sie die sortenspezifischen Charakteristika erkennen.

Tabelle 11: Übersicht der gewonnen Durchschnittswerte aller Sorten aus Tab.1- 10 *Quelle*: Döhne D. 2009

	Körnersorghum Ø			Futtersorghum Ø	
	5.Burggo	4.DK-18	3.Arlys	2.SS405	1. SS506
FM dt/ha	237,8	354,4	216,0	397,7	457,5
TS /%	31,5	30,1	28,3	22,2	21,8
Rohprotein% TS	9,3	10,1	10,3	7,1	7,2
Zucker %TS	4,7	5,5	9	17,8	15,8
Stärke%TS	23,6	25,2	22,8	1	1
Rohfaser %TS	19,7	19,5	20,7	27,2	31,1
NEL	6,3	6,4	6,3	5,5	5

Hohe Erwartungen wurden vor allem in die Sorte Arlys gesetzt, da diese Hybridsorte sich, nach Empfehlungen des Züchters, besonders gut für den Anbau in nördlichen Lagen eignen sollte. Ausserdem müsste diese Sorte mit hellen gelblichen Körnern sehr Tanninarm und hochverdaulich sein, also prädestiniert, um in der Milchviehfütterung hohe Energiegehalte in Form von NEL zu erzielen.

Die insgesamt gute Jugendentwicklung der Sorte bestätigte diese Erwartungen, allerdings traten ab Ende der Milchreife unerwartete Probleme auf. Zu diesem Zeitpunkt fielen massiv Vogelschwärme in den Bestand ein und verursachten erhebliche Frassschäden. Auffällig war die Tatsache, dass sich diese Schäden fast ausschliesslich auf die Sorte Arlys beschränkten. Es scheint so, als ob der niedrige Tanningehalt im Pericarp dazu führte, dass die Körner für wilde

Vögel besonders attraktiv waren und die Schäden somit erheblich verstärkten. Auch die kompakte lang gezogene Rispenform von Arlys (Kafir-Typ) begünstigte zusätzlich die Problematik, da die Vögel zur Nahrungsaufnahme an den Rispen stabilen Halt finden konnten. Eine negative Korrelation zwischen Vogelschaden und kompakter Rispenform findet sich darüber hinaus in der Literatur und wurde ebenso u.a. von TIPTON et al. (1970) und SHIRINGANI A.L. (2005) beschrieben. Aus diesen Gründen konzentrierten sich die Schäden bei dieser Sorte so massiv, dass hohe Verluste zu erwarten waren, welche sich ferner in den Ergebnissen in Form eines niedrigen Stärkegehaltes bestätigten (Diagramm 7).

Der Stärkegehalt ist mit durchschnittlich 22,8% bei Arlys am niedrigsten. Die Probe Nr.1 lag nur bei 9,5% Stärke (siehe Tabelle 7,Kap.4.5, S.54) und wurde als Fehler im Durchschnitt nicht berücksichtigt. Aufgrund der Vogelproblematik ist es durchaus möglich, solch niedrige Werte auf punktuelle Frassschäden der Vögel zurückzuführen. Rechnet man den Wert mit 9,5% ein, ergäbe sich ein Durchschnitt von nur 19,5% Stärke. Demnach hätten theoretisch die Vogelschäden mehr als 33% Stärkeverlust verursacht, was durchaus realistisch ist.

Das folgende Säulen**diagramm 7** zeigt dieses Szenario, deutlich zu erkennen ist ein signifikant niedrigerer Stärkegehalt bei Arlys (19,5%) im Vergleich zu den anderen Körnersorten Burggo und Dk-18. Im Kontrast dazu das ursprüngliche Diagramm 5 (siehe Kap. 4.5.Stärke S.55). Insgesamt würde sich der Nachteil der Sorte ebenso in der NEL fortsetzten, da die 19,5% Stärke zudem erheblich die NEL verringern würde.

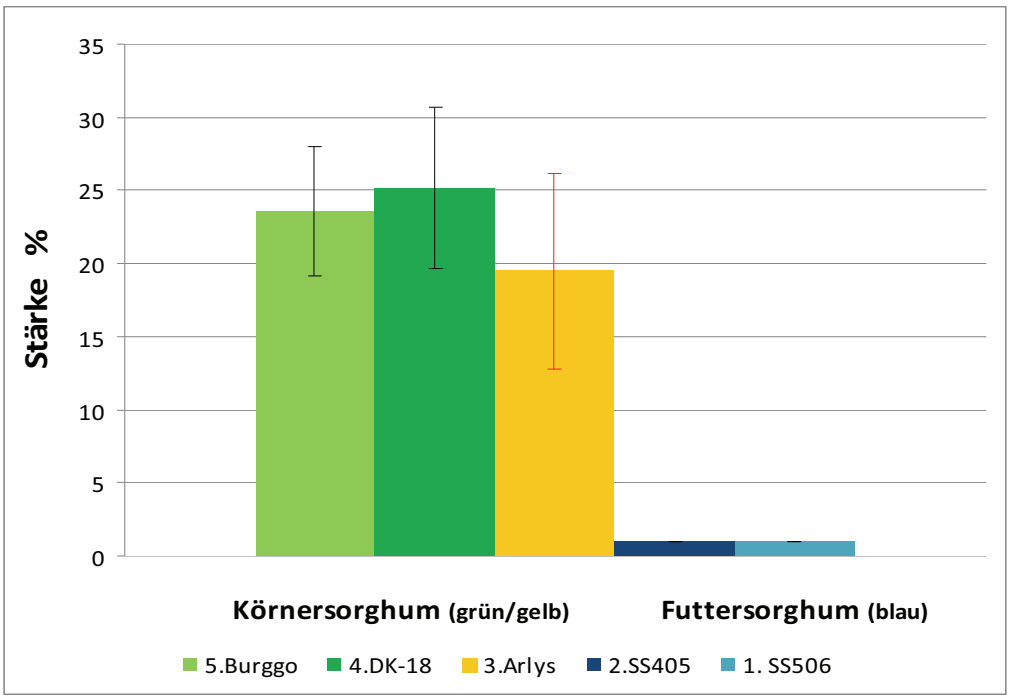

Diagramm 7: Stärke in % (Vogelschaden Arlys)

Wesentlich höhere Ergebnisse, vor allem in der Stärke erreichten indessen die Sorten Burggo mit 23,6% und Dk-18 mit 25,2%. Allgemein waren diese zwei Sorten auch in anderen Parametern wie Trockensubstanz, Rohfaser und Zucker relativ ähnlich. Diese Analogie war bereits schon in der generativen Vegetationsphase zu erkennen und führte im Bestand dazu, dass sich optisch die Sorten kaum unterscheiden liessen. Der Habitus war sehr ähnlich, die Färbung der Karyopsen und auch die Bestandeshöhe. Geringfügige Unterschiede liessen sich lediglich in der Rispenform erkennen. Vermutlich ist diese Übereinstimmung darauf zurück zu führen, dass die beiden Hybriden ursprünglich vom Züchter DeKalb stammen und genetisch nahe verwandt sind. Wegen der offenen Rispen und des im Vergleich zu Arlys höheren Tanningehaltes, waren keine nennenswerten Frassschäden durch Vögel festzustellen. Vereinzelt konnten an einigen Rispen nur wenige beschädigte Körner ab den 15. August in der Milchreife EC-75 festgestellt werden. Dabei handelte es sich anscheinend nur um kurzfristige Frassversuche jener Vogelschwärme welche Arlys massiv befielen.

Auffällig war sowohl bei Burggo als auch bei Dk-18 ein sehr leichter Befall des Schädlings Maiszünsler (*Ostrinia nubilalis*) (siehe Abb.17 S.66).
Der Befall liess sich im Bestand gut an den geschädigten Pflanzen erkennen, deren Rispen eine frühe Notreife ereilte und sich dunkelbraun bis rötlich färbten (Abb.16 S. 66). Die anderen Sorten waren ebenso betroffen, zeigten allerdings keine sichtbaren Verfärbungen. Insgesamt war der Schaden so gering, dass er zu vernachlässigen ist. Es ist vermutlich nicht mit einem Anstieg der Maiszünslerschäden bei Sorghum zu rechnen, falls die bevorzugte Wirtspflanze Mais in der näheren Umgebung angebaut wird, allerdings wäre eine präventive Stoppelbearbeitung (Pflügen, Schlegeln) überaus ratsam.

Abbildung 16: Notreife Rispe durch Zünslerbefall.
Quelle: D. Döhne 2008

Abbildung 17:Maiszünsler (*O. nubilalis*) in Sorghumsprossachse.
Quelle: D. Döhne2008

Abbildung 18: Sorghum (links) Mais (rechts) unter Wassermangel am 30.07.08
Quelle: D.Döhne 2008

Die Körnersorten zeigten, genau wie die Futtersorten, im Hochsommer unter Wassermangel eine sehr gute Trockentoleranz. Während der Mais im Wachstum stagnierte und die Blätter nach innen rollte, entwickelten sich die Sorghumhybriden unverändert weiter und zeigten keine Trockenstresssymptome. Die Gründe sind physiologisch und genetisch bedingt, u.a. durch ein sehr weit verzweigtes Wurzelsystem zu erklären. Sie beruhen auf artspezifischen Anpassungen der Pflanze an Trockenheit wie Quieszenz, C_4-Mechanismus und den Staygreen-Effekt, usw. (siehe Kap.1.3.2.S.15 ff.). Da der Sommer 2008 mit über 500mm am Standort ungewöhnlich niederschlagsreich war, konnten die Pflanzen ihr genetisches Potential nicht voll ausschöpfen. Dennoch erreichte die Sorte Dk-18 erstaunlich hohe FM-Erträge von 354,4 dt/ha. In trockenen Jahren wäre dieser Ertrag sogar leicht über den üblichen Maiserträgen der Region. Sicher ist noch ein gewisses Potential in den Erträgen möglich, wenn man bedenkt, dass 2008 der Saatzeitpunkt Ende Mai sehr spät lag und nur etwa 60% der gesäten Pflanzen aufliefen. Ein erheblicher Teil der Lücken konnte zwar durch die Bestockungsneigung von Sorghum kompensiert werden, dennoch wäre zusätzlich eine theoretische Ertragssteigerung von 10-15% unter günstigeren jahreszeitlichen Vorraussetzungen realistisch. Somit würde Körnersorghum ähnlich hohe oder höhere Erträge als Mais erreichen, allerdings in Verbindung mit einigen geringfügigen Nachteilen. Die Sorghumstärke ist trotz ihrer Pansenstabilität in ihrer Verdaulichkeit 3-7% Prozent geringer einzustufen als Maisstärke (BRAMEL-COX, HANCOCK, KUMAR, ANDREWS 1995). Kosten für Saatgut und Dünger liegen allerdings niedriger, so dass Produktionskosten unter Maisniveau liegen.

Dennoch ist die Sorte Dk-18 mit 6,4 NEL leicht unter Maissilage, die mindestens 6,5 NEL erreichen sollte und auch bis zu 7 NEL erreichen kann. Untersuchungen in den USA belegen, dass Sorghum durchaus höhere Werte erreichen kann. In einer Studie der Texas A&M Universität erreichten Körnersorghumhybriden 6,6-7 NEL (BREND et al. 2009). Diese Werte werden vor allem durch einen hohen Stärkegehalt von 30-35% erreicht, sie sind somit dem Mais fast ebenbürtig, allerdings nicht ganz in ihrer Verdaulichkeit. Bedingt durch die kleinen Körner, deren ballaststoffreiches Pericarp, ergibt sich eine grössere Samenoberfläche und ein etwas schlechteres Cellulose-Stärke-Verhältnis (SERNA-SALDIVAR, ROONEY 1995). Bei Körnersorghum können grosse Unterschiede im Cellulosegehalt von 21 bis 32% vorliegen auch die ADF (acid detergent fiber) reicht je nach Sorte von 31 bis 38% (BRAMEL-COX et al. 1995). Diese nimmt zwar nach der Milchreife stetig zu und führt zu einer etwas schlechten Rohproteinverdaulichkeit, welche hingegen kaum Einfluss auf die NEL hat. Körnerhybriden sind effizienter in der Fütterung, da sie eine höhere TS pro ha erreichen (siehe Tabelle TS) als Körnerlose Hybriden. Die stärkearmen Formen führen zu geringeren Milchfettgehalten und unter Umständen geringeren Erlösen. Der Futterwert von stärkearmen Futtersorghumsilagen liegt bei etwa 35-40% unter Körnersorghumsilage (PEDERSEN, FRITZ 2000). Stärkehaltige Futtersorten kommen im Futterwert den Körnersorten näher, liegen allerdings immer noch 10-15% darunter. Für Milchkühe kann demnach Körnersorghum am effektivsten als Ganzpflanzensilage nach der Milchreife verfüttert werden. Die Sorten sollten genau gewählt werden und können nur eine gute Alternative zu Mais darstellen, wenn Trockenheit die Maiserträge unter 350 dt/ha begrenzt. Dann ist Sorghum als Substitut zu Mais geeignet und kann klimatisch bedingte Ertragsschwankungen mit sicheren Erträgen auf hohem Niveau ausgleichen. Falls Sorghum in Zukunft noch stärker auf Kältetoleranz selektiert würde, wie es bei Mais schon seit vielen Jahrzehnten geschieht, wären auch in anderen Regionen der gemäßigten Breiten hohe Erträge möglich. Das genetische Potential ist schon heute vorhanden. Es mangelt vor allem an Fachwissen und geeigneter Technik. Eine bessere Klassifizierung der Reifezahlen wie z.B. die FAO-Zahl bei Mais, wäre bei Körnersorghum zukünftig auch in Deutschland dringend zu empfehlen, um die Sortenwahl zu erleichtern. Die geringe Kältetoleranz unter 16°C muss bei früher Saat durch die Unterfussdüngung, welche im Versuch angewendet wurde ausgeglichen werden. Zahlreiche Versuche in USA zeigen deutlich bessere Jugendentwicklungen mit N-P-K Unterfussdünger bei Frühsaat (SMITH 2000). Insbesondere unter kühlen Bedingungen (nachts) der nördlichen Anbaugebiete entwickeln sich die Bestände schneller, homogener und erreichen signifikant höhere Erträge.

Abbildung 19: Unterfussdüngerbehälter Frontanbau.
Quelle: D.Döhne 2008.

Die Silage:

Aus den Versuchssorten gewonnenes Erntegut ist, wie erwähnt in einem Fahrsilo einsiliert worden. Diese Silage wurde nach Körner und Futtersorghum aufgeteilt und im Sommer 2009 verfüttert. Die daraus gewonnenen Erfahrungen und Schlussfolgerungen beruhen auf Schätzungen. Sie wurden nicht gesondert ausgewertet. Es wurde täglich in einer TMR Ration für lactierende HF-Kühe eine energiearme Grassilage (NEL 4,8) zu 1/3 bis 1/2 durch Sorghumsilage ersetzt. Die Fütterung erstreckte sich über zwei Monate. Auffällig war, dass die Silage trotz der warmen Witterung und des sehr geringen Vorschubes(ca. 1m pro Woche) erstaunlich stabil blieb und nicht wie Maissilage unter gleichen Bedingungen schimmelte und verdarb. Der Geruch war stets angenehm säuerlich und liess auf eine optimale Milchsäurevergärung schliessen. Die im Labor gemessenen pH-Werte bestätigten dies und lagen sowohl im Futter- als auch bei Körnersorghum bei pH 3,9. Auch die Akzeptanz in der TMR war gut und entsprach den positiven Erwartungen. Die Milchleistung blieb innerhalb des Zeitraumes ebenfalls konstant. Um jedoch aussagekräftige Informationen zu erhalten müssten weitere vergleichende Fütterungsversuche durchgeführt werden, welche den Umfang dieser Arbeit übersteigen würden.

Ausblick

Insgesamt kann der Anbauversuch positiv eingestuft werden und als eine sehr interessante Herausforderung gesehen werden, mit multiplen unerwarteten Problemen, welche vor allem witterungsbedingt und technisch- organisatorischer Natur waren. So entwickelte sich der anfangs sehr lückige inhomogene Bestand, trotz verspäteter Saatzeit und Trockenheit während der Keimung, erstaunlich gut und konnte später die massive Unkrautproblematik teilweise gut kompensieren. Die Erträge blieben daher sicherlich deutlich niedriger, als das genetische Potential es erlauben würde, aber dennoch auf akzeptablem Niveau. Weiterführende Untersuchungen diesbezüglich wären sicher zukünftig sehr wünschenswert.

Unter den in Zukunft zu erwartenden stärkeren Wetterschwankungen mit ausgeprägten Trockenperioden, bei gleichzeitig unregelmässigeren und extremeren Niederschlägen, kann Sorghum eine grössere Bedeutung gewinnen und als Alternative zu Mais oder anderen Kulturen genutzt werden, denn diese Pflanze unterliegt schon seit ihrer Domestikation erheblichen Klimaschwankungen und deckt im natürlichen Verbreitungsgebiet die unterschiedlichsten Klimazonen ab, von den Tropen über die Sahelzone bis zum kühlen äthiopischen Hochland. Die genetischen Voraussetzungen sind vorhanden und enorm vielfältig. Sie können sehr gut landwirtschaftlich, züchterisch und biologisch genutzt werden. Indem die Pflanze schon seit Jahrzehnten erfolgreich in Amerika, vor allem den USA, aber auch Frankreich angebaut wird zeigt, dass Sorghum unter ähnlichen Bedingungen, wie in Deutschland sich durchaus behaupten kann. Die hier gemessenen Ergebnisse sind absolut signifikant und Erfolg versprechend. In jedem Fall ist diese Art eine interessante Bereicherung der heimischen Nutzpflanzenflora. Sorghum kann zudem als Substitut zu Mais in Deutschland an Bedeutung gewinnen, vor allem, wenn Maisschädlinge wie der westliche Maiswurzelbohrer (*Diabrotica virgifera LeConte*) und Maiszünsler (*Ostrinia nubilalis* L.) zunehmen werden und die Rentabilität von Mais herabsetzen. Die Pflanze wird gewiss zukünftig auch im Zuge des Bevölkerungsanstieges und der anthropogenen Klimaveränderung international als wertvolle Spezies weiter an Bedeutung gewinnen.

6. Zusammenfassung

Auch in Deutschland existieren Regionen, welche unter Trockenheit und niedrigen Niederschlägen zwischen 400mm bis 450mm im langjährigen Mittel leiden. In diesen Regionen ist die wichtigste Futterpflanze der Mais (*Zea mays* L.), insbesondere zur Milchviehfütterung. Trotz sehr guter Wassernutzungseffizienz des Maises, als tropisches C_4-Gras, sind die Erträge in diesen Gebieten bedingt durch Trockenstress gering. Als mögliche Futterpflanze, die ähnliche Eigenschaften aufweist und zudem noch eine Trockentoleranz besitzt ist Sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). In der vorliegenden Arbeit wird auf Biologie und Verwendungsmöglichkeiten dieser sehr variablen und genetisch formenreichen Pflanze eingegangen. Die C_4 Pflanze steht *Zea mays* L. botanisch erstaunlich nahe und bringt unterschiedlichste Phänotypen hervor. Mögliche Nutzungstypen sind Zuckersorghum, Futtersorghum und Körnersorghum. Letztere ist in dieser Arbeit von besonderem Interesse und könnte in Deutschland, wie schon in vielen anderen Ländern eine Alternative zum Mais darstellen. Um eine mögliche Eignung dieses afrikanischen Süssgrases hierzulande zu prüfen, ist aus dieser Fragestellung heraus im nordöstlichen Sachsen-Anhalt 2008 ein Feldversuch mit fünf ausgewählten Sorghumsorten angelegt worden. Darunter zwei Futtersorghumhybriden und drei Körnersorghumhybriden (*Sorghum bicolor* subsp. *bicolor*). Die Sorten wurden unter gleichen Bedingungen (Boden, Dünger etc.) in Grossparzellen (a 3600m²) ende Mai ausgesät und im Oktober geerntet. Die Sorten sind einzeln auf Ertrag/ha und mit randomisierten Proben auf ihre wichtigsten Inhaltsstoffe geprüft und einsiliert worden. Die Ergebnisse überraschten mit vielen signifikanten Unterschieden zwischen Futter- und Körnersorghumsorten. Futtersorghum erreichte hohe Frischmassen (FM) mit über 450dt/ha mit Zuckerkonzentrationen bis 18 %. Die Trockensubstanz (TS) lag nur bei 22%, während die Rohfasergehalte 30% und mehr erreichten. Netto Energie Lactation (NEL) lag bei maximal 5,5. Eine hohe Diskrepanz dazu zeigten die Werte der Körnersorghumhybriden. Sie erreichten bis zu 350dt/ha, allerdings bei TS von 30% und 20% Rohfaser. Die Zuckerkonzentration war im einstelligen Bereich, dafür konnten jedoch über 22% Stärke gemessen werden. Auch die NEL lag mit 6,3 dementsprechend hoch, trotz geringer Vegetationsdichte und extremer Unkrautkonkurrenz in der vegetativen Jugendphase, insbesondere durch die Pflanzen *Echinochloa crus-galli* L. und *Chenopodium album* L.. Innerhalb der Körnerhybriden waren grosse Variationen im Ertrag und Habitus zu erkennen. Eine Korrelation zwischen Rispenform, Kornfarbe und Parasitismus durch Vögel wurde festgestellt. Die Silage beider Zuchtformen überzeugte in ihrer hohen Beständigkeit und Akzeptanz gegenüber Maissilage.

7. Literaturverzeichnis

BEDELL J., BUDIMAN M., NUNBERG et al. 2005 Sorghum Genome Sequencing by Methylation Filtration. PLoS Biol 3(1): e13. doi:10.1371/journal.pbio.0030013)

BRAMEL-COX P.J., HANCOCK J.D., KUMAR K.A., ANDREWS D.J.1995, Sorghum and Millets for Forage and Feed in: DENDY (Hg.), Sorghum and Millets chemistry an technology St.Paul Minnesota
S.325-331 Kap11

BRAMEL-COX P.J., HANCOCK J.D., KUMAR K.A., ANDREWS D.J.1995, Sorghum and Millets for Forage and Feed in: DENDY (Hg.), Sorghum and Millets chemistry an technology St.Paul Minnesota
S.325-339 Kap11

BRAMEL-COX P.J., HANCOCK J.D., KUMAR K.A., ANDREWS D.J.1995, Sorghum and Millets for Forage and Feed in: DENDY (Hg.), Sorghum and Millets chemistry an technology St.Paul Minnesota
S.325-339 Kap11 .

BRAND 2008 technical information SS405/506 http://www.sorghum-partners.com (Stand 8.7.2008)

BREND B. et al 2009 Texas Panhandle Forage Sorghum Silage . Texas A&M University , AgriLife Research andExtensionCenter,Amarillo USA
http://amarillo.tamu.edu/library/files/brent_bean_publications/forage_sorghum/Forage%20Sorghum%202009%20Variety%20Report%20Final.pdf (Stand: 8.3.2010)

BREND B. et al 2009 Texas Panhandle Forage Sorghum Silage . Texas A&M University , AgriLife Research andExtensionCenter,Amarillo USA
http://amarillo.tamu.edu/library/files/brent_bean_publications/forage_sorghum/Forage%20Sorghum%202009%20Variety%20Report%20Final.pdf (Stand: 8.3.2010)

BREND B. et.al. 2008 Texas Panhandle Forage Sorghum Silage . Texas A&M University , AgriLife Research andExtensionCenter,Amarillo USA
http://amarillo.tamu.edu/library/files/brent_bean_publications/forage_sorghum/ForageSorghumVarietyReport2008.pdf (Stand: 8.3.2010)

BULLARD,R.,YORK,J.1996, Screening grain sorghums for bird tolerance and nutritional quality. Crop. Protection. Hauser Chemical Research Inc., Boulder, USA
15 S.159-165

Catalogue plantesagricoles 2010
http://www.geves.fr/thalie_info.php?id=94938&site_graph=inscrire).(Stand:14.2.2010)

COTHREN J.T., MATOCHA J.E., CLARK I.E. 2000 , Integrated Crop Management for Sorghum in: Smith, C.W. & R.A. Fredericksen(Hg.), Sorghum: origin, history, technology, and production.John Wiley & Sons Inc. Verlag New York
S.418 Kap.3.2.

COTHREN J.T., MATOCHA J.E., CLARK I.E. 2000 , Integrated Crop Management for Sorghum in: Smith, C.W. & R.A. Fredericksen(Hg.), Sorghum: origin, history, technology, and production.John Wiley & Sons Inc. Verlag New York S.422-423 Kap.3.2

COTHREN J.T., MATOCHA J.E., CLARK I.E. 2000 , Integrated Crop Management for Sorghum in: Smith, C.W. & R.A. Fredericksen(Hg.), Sorghum: origin, history, technology, and production.John Wiley & Sons Inc. Verlag New York
S.420-422 Kap.3.2

DAHLBERG J. A 2000 Classification and Characterization of Sorghum in: Smith, C.W. & R.A. Fredericksen (Hg.), Sorghum: origin, history, technology, and production. John Wiley & Sons Inc. Verlag New York,
S.99 Kap.1.2.

DAHLBERG J. A 2000 Classification and Characterization of Sorghum in: Smith, C.W. & R.A. Fredericksen (Hg.), Sorghum: origin, history, technology, and production. John Wiley & Sons Inc. Verlag New York,
S.99-100 Kap.1.2

DAHLBERG J. A 2000 Classification and Characterization of Sorghum in: Smith, C.W. & R.A. Fredericksen (Hg.), Sorghum: origin, history, technology, and production. John Wiley & Sons Inc. Verlag New York,
S.100-106 Kap.1.2

DAHLBERG J. A 2000 Classification and Characterization of Sorghum in: Smith, C.W. & R.A. Fredericksen (Hg.), Sorghum: origin, history, technology, and production. John Wiley & Sons Inc. Verlag New York,
S.100-126 Kap.1.2

DAHLBERG J.A. 2009. persönliche Mitteilung
DOGGET H. 1988. Sorghum. zweite Auflage. Longman Scientific and Technical, London, S.450-453

DOGGET H. 1988/ MILLER F. R 1982 genetic in enviromental response characteristics of Sorghum in: HOUSE L. R, et al. (Hg) ICRISAT Patacheru India S. 393 ff. und
KIMBER C. T 2000 Origins of domesticated Sorghum and ist Early Diffusion to India and China in: Smith, C.W. & R.A. Fredericksen (Hg.), Sorghum: origin, history, technology, and production. John Wiley & Sons Inc. Verlag New York
S.4-10Kap.1.1.

ENGELBRECHT V. 1999 the simultaneous use of Sorghum for grain and fodder production: Crops physiological aspects. University Kassel, Institute of Crop Science, Department of Field Crops in the Tropics and Subtropics
S 1-2

ENGELBRECHT V. 1999 the simultaneous use of Sorghum for grain and fodder production: Crops physiological aspects. University Kassel, Institute of Crop Science, Department of Field Crops in the Tropics and Subtropics
S 149-150

FAO 1994 Food and Agriculture Organization, Integrated Energy systems in China-the cold northeastern region experience)
http://www.fao.org/docrep/T4470E/t4470e07.htm#4.1.%20components%20of%20sweet%20sorghum%20stem%20juice (Stand 05.2009)

FAO-Stat 2009 Food and Agriculture Organization of the United Nations FAO-Statistic Database http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor (Stand 12.2009)

FAO-Stat 2010 Food and Agriculture Organization of the United Nations FAO-Statistic Database http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor (Stand 03. 2010)

HANCOCK J. D, ANDREWS D. J 1995, Sorghum and Millets for forage and Feed in: DENDY (Hg.), Sorghum and Millets chemistry and technology St.Paul Minnesota S.329-330 Kap11.

HOFFMANN. W, MUDRA. A, PLARRE. W 1985 in: Lehrbuch der Züchtung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen Band2 spezieller Teil S.129

HOFFMANN. W, MUDRA. A, PLARRE. W 1985 in: Lehrbuch der Züchtung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen Band2 spezieller Teil S.132

HOFFMANN. W, MUDRA. A, PLARRE. W 1985 in: Lehrbuch der Züchtung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen Band2 spezieller Teil S.129

HOFFMANN. W, MUDRA. A, PLARRE. W 1985 in: Lehrbuch der Züchtung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen Band2 spezieller Teil S.133-134

HOFFMANN. W, MUDRA. A, PLARRE. W 1985 in: Lehrbuch der Züchtung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen Band2 spezieller Teil S.135

HOUSE L. R 1985. A guide to sorghum breeding (zweite Auflage). ICRISAT. Indien

HOUSE L. R, MURTY D. S, 2000 Development of some Agricultural Industries in Several African and Asian Countries in: Smith, C.W. & R.A. Fredericksen (Hg.), Sorghum: origin, history, technology, and production. John Wiley & Sons Inc. Verlag New York, Kap.1.3 S. 175.

HOUSE L. R, MURTY D. S, 2000 Development of some Agricultural Industries in Several African and Asian Countries in: Smith, C.W. & R.A. Fredericksen (Hg.), Sorghum: origin, history, technology, and production. John Wiley & Sons Inc. Verlag New York, Kap.1.3 S. 175

HOUSE L. R 1995 Sorghum and Millets: History, Taxonomy, and Distribution *ICRISAT* in: DENDY (Hg.), Sorghum and Millets chemistry and technology St. Paul Minnesota Kap1.S.1

HOUSE L. R 1995 Sorghum and Millets: History, Taxonomy, and Distribution *ICRISAT* in: DENDY (Hg.), Sorghum and Millets chemistry and technology St. Paul Minnesota
S.2 Kap1. und
DAHLBERG J. A 2000 Classification and Charaterization of Sorghum in: Smith, C.W. & R.A. Fredericksen (Hg.), Sorghum: origin, history, technology, and production. John Wiley & Sons Inc. Verlag New York,
S.99 Kap.1.2.

HOUSE L. R, 2000 Development of some Agricultural Industries in Several African and Asian Countries in: Smith, C.W. & R.A. Fredericksen (Hg.), Sorghum: origin, history, technology, and production. John Wiley & Sons Inc. Verlag New York,
S.133 Kap.1.3

HOUSE L. R 1995 Sorghum and Millets: History, Taxonomy, and Distribution *ICRISAT* in: DENDY (Hg.), Sorghum and Millets chemistry and technology St. Paul Minnesota
Kap.1 S.2.
HOUSE L. R 1995 Sorghum and Millets: History, Taxonomy, and Distribution *ICRISAT* in: DENDY (Hg.), Sorghum and Millets chemistry and technology St. Paul Minnesota
Kap.1 S.1
HOUSE L. R 1995 Sorghum and Millets: History, Taxonomy, and Distribution *ICRISAT* in: DENDY (Hg.), Sorghum and Millets chemistry and technology St. Paul Minnesota
Kap.1 S.3
HOUSE L. R 1995 Sorghum and Millets: History, Taxonomy, and Distribution *ICRISAT* in: DENDY (Hg.), Sorghum and Millets chemistry and technology St. Paul Minnesota
Kap.1 S.3
HOUSE L. R 1995 Sorghum and Millets: History, Taxonomy, and Distribution *ICRISAT* in: DENDY (Hg.), Sorghum and Millets chemistry and technology St. Paul Minnesota
Kap1. S.3
HOUSE L. R 1995 Agronomics Principles *ICRISAT* in: DENDY (Hg.), Sorghum and Millets chemistry and technology St. Paul Minnesota
S.34-35 Kap3.
HOUSE L. R 1995 Agronomics Principles *ICRISAT* in: DENDY (Hg.), Sorghum and Millets chemistry and technology St. Paul Minnesota
S.34-35 Kap3.
HOUSE L. R 1995 Agronomics Principles *ICRISAT* in: DENDY (Hg.), Sorghum and Millets chemistry and technology St. Paul Minnesota
S.42 Kap3.
International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics 2008, Andhra Padresh, Indiahttp://www.icrisat.org/sorghum/Project1/pfirst.asp (Stand 2.2010)

ICRISAT 2009 International Crops Research Institute fort he Semi-Arid Tropics, Andhra Padresh, India eJournal2005 http://ejournal.icrisat.org/mpii/v1i1/v1i1sweet.pdf (Stand 8.2008)

ICRISAT 2009 International Crops Research Institute fort he Semi-Arid Tropics, Andhra Padresh, IndiaeJournal2005 Table 5 http://ejournal.icrisat.org/mpii/v1i1/v1i1sweet.pdf. (Stand 8.2008)

ICRISAT2009 International Crops Research Institute fort he Semi-Arid Tropics), Andhra Padresh, India http://www.icrisat.org/sorghum/sorghum.htm (Stand 5.2009)

ICRISAT 2009 International Crops Research Institute fort he Semi-Arid Tropics, Andhra Padresh, India aus eJournal 2005 Table 5 http://ejournal.icrisat.org/mpii/v1i1/v1i1sweet.pdf. http://www.icrisat.org/sorghum/Project1/pfirst.asp (Stand 10.2009)

ICRISAT 2009 International Crops Research Institute fort he Semi-Arid Tropics, Andhra Padresh, India http://www.icrisat.org/sorghum/sorghum.htm (Stand 10.2009)

ICRISAT 2009 International Crops Research Institute fort he Semi-Arid Tropics), Andhra Padresh, Indiaaus eJournal 2005 http://ejournal.icrisat.org/mpii/v1i1/v1i1sweet.pdf (Stand 8.2008)

KIMBER C. T. 2000 Origins of domesticated Sorghum and its early diffusion to India and China in: Smith, C.W. & R.A. Fredericksen(Hg.), Sorghum: origin, history, technology, and production.John Wiley & Sons Inc. Verlag New York,
Kap.1.1 S.11

KIMBER C. T. 2000 Origins of domesticated Sorghum and its early diffusion to India and China in: Smith, C.W. & R.A. Fredericksen(Hg.), Sorghum: origin, history, technology, and production.John Wiley & Sons Inc. Verlag New York,
Kap.1.1 S.11

KIMBER C. T. 2000 Origins of domesticated Sorghum and its early diffusion to India and China in: Smith, C.W. & R.A. Fredericksen(Hg.), Sorghum: origin, history, technology, and production.John Wiley & Sons Inc. Verlag New York,
Kap.1.1 S.11

KIMBER C. T. 2000 Origins of domesticated Sorghum and its early diffusion to India and China in: Smith, C.W. & R.A. Fredericksen(Hg.), Sorghum: origin, history, technology, and production.John Wiley & Sons Inc. Verlag New York,
Kap.1.1 S.10

KIMBER C. T. 2000 Origins of domesticated Sorghum and its early diffusion to India and China in: Smith, C.W. & R.A. Fredericksen(Hg.), Sorghum: origin, history, technology, and production.John Wiley & Sons Inc. Verlag New York,
Kap.1.1 S.7-26

KIMBER C. T. 2000 Origins of domesticated Sorghum and its early diffusion to India and China in: Smith, C.W. & R.A. Fredericksen(Hg.), Sorghum: origin, history, technology, and production.John Wiley & Sons Inc. Verlag New York,
Kap.1.1 S.27

KIMBER C. T. 2000 Origins of domesticated Sorghum and its early diffusion to India and China in: Smith, C.W. & R.A. Fredericksen(Hg.), Sorghum: origin, history, technology, and production.John Wiley & Sons Inc. Verlag New York,
Kap.1.1 S. 34-38

KIMBER C. T. 2000 Origins of domesticated Sorghum and its early diffusion to India and China in: Smith, C.W. & R.A. Fredericksen(Hg.), Sorghum: origin, history, technology, and production.John Wiley & Sons Inc. Verlag New York,
Kap.1.1 S. 45-46

KIMBER C. T. 2000 Origins of domesticated Sorghum and its early diffusion to India and China in: Smith, C.W. & R.A. Fredericksen(Hg.), Sorghum: origin, history, technology, and production.John Wiley & Sons Inc. Verlag New York,
Kap.1.1 S.19

KIMBER C. T. 2000 Origins of domesticated Sorghum and its early diffusion to India and China in: Smith, C.W. & R.A. Fredericksen(Hg.), Sorghum: origin, history, technology, and production.John Wiley & Sons Inc. Verlag New York, Kap.1.1 S.62-63

KLOPFENSTEIN C.F, HOSENEY R.C. 1995 nutrial properties of Sorghum and Millets-Sorghum Carbohydrates .aus DENDY (Hg.), Sorghum and Millets chemistry and technology St.Paul Minnesota Kap5 S.127

KLOPFENSTEIN C.F, HOSENEY R.C. 1995 nutrial properties of Sorghum and Millets-.aus DENDY (Hg.), Sorghum and Millets chemistry and technology St.Paul Minnesota Kap5 S.126-127

KUMAR K.A.1995, Traditional Uses of Sorghum and Millets in: DENDY (Hg.), Sorghum and Millets chemistry and technology St.Paul Minnesota
Kap.7, S.186
KUMAR K.A, 1995 Traditional uses of Sorghum and Millets in DENDY (Hg.), Sorghum and Millets chemistry and technology St.Paul Minnesota
Kap.7, S.186

MAUDER A. B. 2000 History of Cultivar Development in the United States in: Smith, C.W. & R.A. Fredericksen(Hg.), Sorghum: origin, history, technology, and production.John Wiley & Sons Inc. Verlag New York, Kap.1.4.S.206-209

MIRON J., ZUCKERMANN E.,ADIN G. ,SOLOMON R. et al. 2007 Comparison of two forage sorghum varieties with corn and the effect of feeding their silages on eating behavior and lactation performance of dairy cows. In Animal feed science and technology Amsterdam 2008 Band 139 Heft 1-2 S.27-34

MUNCK L.1995, New milling Technologies and Products: Whole Plant Utilization by Milling and Separation of the botanical and chemical Components in: DENDY (Hg.), Sorghum and Millets chemistry and technology St.Paul Minnesota
Kap.8 S.223

MUNCK L.1995, New milling Technologies and Products: Whole Plant Utilization by Milling and Separation of the botanical and chemical Components in: DENDY (Hg.), Sorghum and Millets chemistry and technology St.Paul Minnesota
Kap.8 S.228

MUNCK L.1995, New milling Technologies and Products: Whole Plant Utilization by Milling and Separation of the botanical and chemical Components in: DENDY (Hg.), Sorghum and Millets chemistry and technology St.Paul Minnesota
Kap.8 S.228

MURTY D.S., KUMAR K.A.1995, Traditional Uses of Sorghum and Millets in: DENDY (Hg.), Sorghum and Millets chemistry and technology St.Paul Minnesota
Kap.7 S.185

MURTY D.S., KUMAR K.A.1995, Traditional Uses of Sorghum and Millets in: DENDY (Hg.), Sorghum and Millets chemistry and technology St.Paul Minnesota
Kap.7 S.215

NATURE 2009 Ausgabe Nr. 7229 ,29 Januar 2009 ISSN: 0028-0836
Band 457 S.554

NULTSCH W. 2001 Allgemeine Botanik 11.Aufl.Thieme Verlag Stuttgart , S.330-332

Crop Protection Band 15 nutritional quality S.159-165

OEMICHEN J. ,LÜTKE ENTRUP N. 2006 Lehrbuch des Pflanzenbaues Band1 3.Aufl. AgroConcept Verlag Bonn 2006 Kap.7.2.2.1 S.356

PATERSON A. et al. 2009 The Sorghum bicolor genome and the diversification of grasses , NATURE Ausgabe Nr.7229,29 Januar 2009 Band 457S.551

PEDERSEN J.E. FRITZ J.O. 2000. Forages and Fodder in: Smith, C.W. & R.A. Fredericksen(Hg.), Sorghum: origin, history, technology, and production.
John Wiley & Sons Inc.VerlagNewYork
Kap.4.5 S.803-804

PEDERSEN J.E. ,FRITZ J.O. 2000. Forages and Fodder in: Smith, C.W. & R.A. Fredericksen(Hg.), Sorghum: origin, history, technology, and production.
John Wiley& Sons Inc.Verlag NewYork
Kap.4.5 S.805

PEDERSEN J.E. FRITZ J.O. 2000. Forages and Fodder in: Smith, C.W. & R.A. Fredericksen(Hg.), Sorghum: origin, history, technology, and production.
John Wiley & Sons Inc.Verl. New York
Kap.4.5 S.804-806

PEDERSEN J.E. FRITZ J.O. 2000. Forages and Fodder in: Smith, C.W. & R.A. Fredericksen(Hg.), Sorghum: origin, history, technology, and production.
John Wiley & Sons Inc. Verl.New York
Kap.4.5 S.799 ff

RAVEN, EVERT, EICHHORN 2000 Kap 32 S.828. aus Biologie der Pflanzen 3.Aufl. De Gruyter Verlag Berlin- New York Kap 32 S.828

ROONEY L.W., SERNA-SALDIVAR S. 1995.Structure and chemistry of Sorghum and Millets in:DENDY (Hg.), Sorghum and Millets chemistry and technology St.Paul Minnesota Kap.4 S.69

ROONEY L.W. 2000 ,Genetics and Cytogenetics in: Smith, C.W. & R.A. Fredericksen(Hg.), Sorghum: origin, history, technology, and production.
John Wiley & Sons Inc.Verl. New York
Kap.2.2.S.281-282

ROONEY L.W., WANISKA R.D. 2000 , Structure and Chemistry of the Sorghum Caryopsis in: Smith, C.W. & R.A. Fredericksen(Hg.), Sorghum: origin, history, technology, and production.John Wiley & Sons Inc.Verl. New York
S.658-660 Kap.4.1.

ROONEY L.W., WANISKA R.D. 2000 Structure and Chemistry of the Sorghum Caryopsis in: Smith, C.W. & R.A. Fredericksen(Hg.), Sorghum: origin, history, technology, and production.John Wiley & Sons Inc.Verl. New York
S.659 Kap.4.1.

ROONEY L.W., WANISKA R.D. 2000 Structure and Chemistry of the Sorghum Caryopsis in: Smith, C.W. & R.A. Fredericksen(Hg.), Sorghum: origin, history, technology, and production.John Wiley & Sons Inc.Verl. New York
S.657 Kap.4.1.

ROONEY L.W., WANISKA R.D. 2000 Structure and Chemistry of the Sorghum Caryopsis in: Smith, C.W. & R.A. Fredericksen(Hg.), Sorghum: origin, history, technology, and production.John Wiley & Sons Inc.Verl. New York
S.662 Kap.4.1.

ROONEY L.W., WANISKA R.D. 2000 Structure and Chemistry of the Sorghum Caryopsis in: Smith, C.W. & R.A. Fredericksen(Hg.), Sorghum: origin, history, technology, and production.John Wiley & Sons Inc.Verl. New York S.662-666 Kap.4.1.

ROONEY L.W., SERNA-SALDIVAR S. 1995.Structure and chemistry of Sorghum and Millets in:DENDY (Hg.), Sorghum and Millets chemistry and technology St.Paul Minnesota S.97-98Kap 4.

ROONEY L.W., WANISKA R.D. 2000 Structure and Chemistry of the Sorghum Caryopsis in: Smith, C.W. & R.A. Fredericksen(Hg.), Sorghum: origin, history, technology, and production.John Wiley & Sons Inc.Verl. New York
S.670-671 Kap.4.1.

ROONEY L.W., WANISKA R.D. 2000 Structure and Chemistry of the Sorghum Caryopsis in: Smith, C.W. & R.A. Fredericksen(Hg.), Sorghum: origin, history, technology, and production.John Wiley & Sons Inc.Verl. New York
S.675 Kap.4.1.

ROONEY L.W., SMITH W.C. 2000, Techniques of Developing new Cultivars in: Smith, C.W. & R.A. Fredericksen(Hg.), Sorghum: origin, history, technology, and production.
John Wiley & Sons Inc.Verl. New York
S.332-340Kap.2.4.

ROONEY L.W., SMITH W.C. 2000, Techniques of Developing new Cultivars in: Smith, C.W. & R.A. Fredericksen(Hg.), Sorghum: origin, history, technology, and production.
John Wiley & Sons Inc.Verl. New York
S.332-333Kap.2.4.

ROONEY L.W., SMITH W.C. 2000, Techniques of Developing new Cultivars in: Smith, C.W. & R.A. Fredericksen(Hg.), Sorghum: origin, history, technology, and production.
John Wiley & Sons Inc.Verl. New York
S.334-340 Kap.2.4.

ROONEY L.W., SMITH W.C. 2000, Techniques of Developing new Cultivars in: Smith, C.W. & R.A. Fredericksen(Hg.), Sorghum: origin, history, technology, and production.
John Wiley & Sons Inc.Verl. New York
S.344 Kap.2.4

ROONEY L.W., WANISKA R.D. 2000 in: Smith, C.W. & R.A. Fredericksen (Hg.), Sorghum: origin, history, technology, and production.
John Wiley & Sons Inc.Verl. New York
S.708-723 Kap.4.2

ROONEY L.W., WANISKA R.D. 2000 in: Smith, C.W. & R.A. Fredericksen (Hg.), Sorghum: origin, history, technology, and production.
John Wiley & Sons Inc.Verl. New York
S.718-723 Kap.4.2

ROSENOW D.T ,CLARK L.E., 1983 in WANOUS Annual Corn & Sorghum Research Conference Chicago S20-21 36 (a)

ROSENOW D.T. ,CLARK L.E., 1983 in WANOUS Annual Corn & Sorghum Research Conference Chicago S20-21 36 (b)

ROSENOW D.T., DAHLBERG J.A., 2000 Collection,Conversion and Utilization of Sorghum in: Smith, C.W. & R.A. Fredericksen(Hg.), Sorghum: origin, history, technology, and production.John Wiley & Sons Inc.Verl. New York
S.310-333Kap.2.4.

SCHAFFERT R. E.,1995 Sweet Sorghum Substrate for Industrial Alcohol in: DENDY (Hg.), Sorghum and Millets chemistry and technology St. Paul Minnesota
S.366 Kap12.

SCHAFFERT R. E.,1995 Sweet Sorghum Substrate for Industrial Alcohol in: DENDY (Hg.), Sorghum and Millets chemistry and technology St. Paul Minnesota
S.367 Kap12.

SCHAFFERT R. E.,1995 Sweet Sorghum Substrate for Industrial Alcohol in: DENDY (Hg.), Sorghum and Millets chemistry and technology St. Paul Minnesota
S.387 Kap.12.

SCHAFFERT R. E.,1995 Sweet Sorghum Substrate for Industrial Alcohol in: DENDY (Hg.), Sorghum and Millets chemistry and technology St. Paul Minnesota
S.366-374 Kap12.

SCIENCE now, 2009 (Hg.) veröffentlicht von Calgary Universität unter MERCADER J. et al http://news.sciencemag.org/sciencenow/2009/12/17-02.html (Stand 17.2.2010)

SCHMEIL/FITSCHEN Flora von Deutschland 1996 S.9-13

SERNA-SALDIVAR S.,ROONEY L.W., 1995, Structure and chemistry of Sorghum and Millets in: DENDY (Hg.), Sorghum and Millets chemistry and technology St. Paul Minnesota Tabelle 16 S.91-92 Kap4.

SERNA-SALDIVAR S.,ROONEY L.W., 1995, Structure and chemistry of Sorghum and Millets in: DENDY (Hg.), Sorghum and Millets chemistry and technology St. Paul Minnesota Tabelle 2 S.75 Kap4.

SERNA-SALDIVAR S.,ROONEY L.W., 1995, Structure and chemistry of Sorghum and Millets in: DENDY (Hg.), Sorghum and Millets chemistry and technology St. Paul Minnesota S.81ff. Kap.4

SERNA-SALDIVAR S.,ROONEY L.W., 1995, Structure and chemistry of Sorghum and Millets in: DENDY (Hg.), Sorghum and Millets chemistry and technology St. Paul Minnesota, Tabelle 21 S.94 Kap.4

SHIRINGANI A.L., 2005 Evaluation for hard endosperm, bird-proof sorghum [(*Sorghum bicolor* L. (Moench)] and its effect on food quality
University of Freestate Bloemfontein South Africa
Kap.2.2. S.6

SHIRINGANI A.L., 2005 Evaluation for hard endosperm, bird-proof sorghum [(*Sorghum bicolor* L. (Moench)] and its effect on food quality
University of Freestate Bloemfontein S.A.
Kap.1.2 S.2

SHIRINGANI A.L., 2005 Evaluation for hard endosperm, bird-proof sorghum [(*Sorghum bicolor* L. (Moench)] and its effect on food quality
University of Freestate Bloemfontein S.A.
Kap. 2.7.4 S.18

SHIRINGANI A.L., 2005 Evaluation for hard endosperm, bird-proof sorghum [(*Sorghum bicolor* L. (Moench)] and its effect on food quality
University of Freestate Bloemfontein S.A.
Kap. 2.9.S.19-20

SHIRINGANI A.L., 2005 Evaluation for hard endosperm, bird-proof sorghum [(*Sorghum bicolor* L. (Moench)] and its effect on food quality
University of Freestate Bloemfontein S.A.
Kap.1.S.2

SHIRINGANI A.L., 2005 Evaluation for hard endosperm, bird-proof sorghum [(*Sorghum bicolor* L. (Moench)] and its effect on food quality
University of Freestate Bloemfontein S.A.
Kap.4.2 S.50f

SMITH C.W und KIMBER C.T., 2000 Origins of Domesticated Sorghum and ist Early Diffusion to India and China in: Smith, C.W. & R.A. Fredericksen (Hg.), Sorghum: origin, history, technology, and production. John Wiley & Sons Inc. Verlag New York,
S.18-19

SMITH C. W und FREDERIKSEN R. A., 2000, Vorwort in: Smith, C.W. & R.A. Fredericksen (Hg.), Sorghum: origin, history, technology, and production. John Wiley & Sons Inc. Verlag New York,

SMITH C.W und ROONEY W. L., 2000 Techniques for Developing New Cultivars in: Smith, C.W. & R.A. Fredericksen (Hg.), Sorghum: origin, history, technology, and production. John Wiley & Sons Inc. Verlag New York,
S.333 Kap.2.4.

SMITH C. W., 2000 Sorghum Production Statistics in: Smith, C.W. & R.A. Fredericksen (Hg.), Sorghum: origin, history, technology, and production. John Wiley & Sons Inc. Verlag New York,
S.424 ff. Kap.3.1

SORGHUM PARTNERS ® ,2008 technical information SS 405, SS 506
Sorghum Partners inc. New deal Texas USA. (Stand 2.12.2008)

STAHLMAN P. W, WICKS G. A 2000 Weeds and their Control in Grain Sorghum in: Smith, C.W. & R.A. Fredericksen (Hg.), Sorghum: origin, history, technology, and production. John Wiley & Sons Inc. Verlag New York,
S.562f. Kap.3.5

TIPTON K.W, FLOYD E.H, MARSHALL J.G. & McDEVITT J.B, 1970. Resistance of certain grain sorghum hybrids to bird damage in Louisiana. Agronomy Journal Nr. 62 S.211-213

USDA 2010 United State Department of Agriculture in: National Agriculture Statistics Sevice www.nass.usda.gov/QuickStats/PullData_US.jsp (Stand 9.2.2010)

8. Anhang

Varianztabelle:

Anova: Einfaktorielle Varianzanalyse
(Streuungszerlgung) (TS %)

ZUSAMMENFASSUNG

Gruppen	*Anzahl*	*Summe*	*Mittelwert*	*Varianz*
5.Burggo	4	126,1	**31,5**	**2,8**
4.DK-18	4	120,8	**30,2**	**5,9**
3.Arlys	4	113,5	**28,4**	**5,7**
2.SS405	4	88,7	**22,2**	**1,3**
1. SS506	4	87,5	**21,9**	**1,1**

ANOVA

Streuungsursache	*(SQ)*	*Freiheitsgrade (df)*	*(MQ)*	*(F)*	*P-Wert*
Unterschiede zwischen den Sorten	328,032	4	82,008	24,5	0,000002
Innerhalb der Sorten	50,29	15	3,352666667		
Gesamt	378,322	19			

Legende:

Quadratsumme:SQ(SS)
Mittlere SQ = MQ
(MS)

Prüfgröße : F

P-Wert
Kritischer F-Wert: Fk

Anova: Einfaktorielle Varianzanalyse Rohrotein %

ZUSAMMENFASSUNG

Gruppen	*Anzahl*	*Summe*	*Mittelwert*	*Varianz*
5.Burggo	4	37,3	9,325	0,30916667
4.DK-18	4	40,3	10,075	0,77583333
3.Arlys	4	41,1	10,275	1,00916667
2.SS405	4	28,3	7,075	1,92916667
1. SS506	4	28,6	7,15	0,09

ANOVA

Streuungsursache	*(SS)*	*Freiheitsgrade (df)*	*(MS)*	*Prüfgröße (F)*	*P-Wert*	*kritischer F-Wert*
Unterschiede zwischen den Gruppen	39,092	4	9,773	11,8796596	0,00015022	3,05556828
Innerhalb der Gruppen	12,34	15	0,82266667			
Gesamt	51,432	19				

Anova: Einfaktorielle Varianzanalyse Zucker%

ZUSAMMENFASSUNG

Gruppen	*Anzahl*	*Summe*	*Mittelwert*	*Varianz*
5.Burggo	4	18,6	4,7	0,4
4.DK-18	3	16,4	5,5	4,5
3.Arlys	4	35,9	9,0	4,5
2.SS405	4	71,1	17,8	2,4
1. SS506	4	63	15,8	0,6

ANOVA

Streuungsursache	*Quadratsummen (SS)*	*Freiheitsgrade (df)*	*Mittlere Quadrat-summe (MS)*	*Prüfgröße (F)*	*P-Wert*	*kritischer F-Wert*
Unterschiede zwischen den Gruppen	542,556228	4	135,639057	57,8917778	0,000000015	3,112
Innerhalb der Gruppen	32,8016667	14	2,34297619			
Gesamt	575,357895	18				

Anova: Einfaktorielle Varianzanalyse Rohfaser %

ZUSAMMENFASSUNG

Gruppen	*Anzahl*	*Summe*	*Mittelwert*	*Varianz*
5.Burggo	4	78,9	19,7	1,7
4.DK-18	4	78	19,5	3,8
3.Arlys	4	82,9	20,7	1,7
2.SS405	4	108,7	27,2	0,1
1. SS506	4	124,4	31,1	1,1

ANOVA

Streuungsursache	*Quadratsummen (SS)*	*Freiheitsgrade (df)*	*Mittlere Quadratsumme (MS)*	*Prüfgröße (F)*	*P-Wert*	*kritischer F-Wert*
Unterschiede zwischen den Gruppen	436,447	4	109,1	65,0	0,000000003	3,1
Innerhalb der Gruppen	25,1825	15	1,7			
Gesamt	461,6295	19				

9. Danksagung

Hiermit bedanke ich mich bei allen Personen, welche mir behilflich waren, diese Arbeit zu verwirklichen. Mein Dank gilt vor allem Prof. Dr. Udo Thome, der mit grossem Interesse bereitwillig meinem Thema zustimmte, mir Vertrauen schenkte und immer stets freie Wahl in der Umsetzung dieser Arbeit ermöglichte. Besonders möchte ich meinen Eltern für ihre Geduld und Unterstützung, sowohl finanziell als auch materiell im Feldversuch, bedanken. Ohne diese Unterstützung wäre die Thesis niemals möglich gewesen. Meinen Freunden, Geschwistern und Bekannten danke ich für ihre grosse Hilfe und Unterstützung. Rosine Madeleine Bidzang für ihre Beihilfe, Formatierung und Übersetzungshilfe, genauso wie Christian Fahrner, Claudia Friedrichs, Ulrike Steffen, Philipp Kirmis, Ursula Nkumbe und meiner Schwester Dorothee.
Dr. Jeff Dahlberg, Frau Reichert, Dr. Hammel, Dr. Roller, Olivier Jean, Bernard Laval,
Klaus Kohler, Amukelani Shiringani, Mariam Kipanga und Fatoumata Keita bin ich sehr dankbar, für die Beschaffung von Sorghum, wichtiger Information und Hinweise zum Thema. Vielen Dank für Eure Unterstützung.

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich, die vorliegende wissenschaftliche Arbeit selbständig, lediglich unter Benutzung der angegebenen Quellen und Referenzen verfasst zu haben.
Ich erkläre weiterhin, dass diese Thesis noch nicht im Rahmen eines
anderen Prüfungsverfahrens eingereicht wurde.

Neubrandenburg den 9.3.2010 _____

(Unterschrift)