

Die Zuckerhirse – eine neue Rohstoffbasis für die Zuckerindustrie

NASIR EL BASSAM, MANFRED DAMBROTH und GERHARD RÜHL

Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung

1. Einleitung

Im Industriepflanzenanbau werden ein- oder mehrjährige Kulturpflanzen zur gezielten Erzeugung von Rohstoffen für die Industrie angebaut. Die wichtigsten Produktionsziele sind: Stärke, Zuckerstoffe, Ethanol, Öle und Fette, Eiweiß, Pharmaca- und Farbstoffe (Dambroth 1986). Ein wichtiger Vertreter der Artengruppen zur Erzeugung von Zuckerstoffen ist die Zuckerhirse (*Sorghum bicolor* L.), die ihren Ursprung in den Tropen hat und einen potentiellen Lieferanten von Ethanol und Zuckerstoffen als Rohstoffbasis für die chemische Industrie oder für biotechnologische Prozesse darstellt.

Deshalb wird in diesem Institut seit einigen Jahren umfangreiches Material dieser Art aus verschiedenen Teilen der Welt zusammengetragen und Evaluierungsanbauten durchgeführt.

Das Evaluierungsprogramm des Instituts hat zum Ziel, die Leistungsfähigkeit der Zuckerhirse unter mitteleuropäischen Klimabedingungen abzuschätzen und die Grundlage für eine weitere züchterische Bearbeitung dieser Pflanze zu schaffen.

2. Herkunft und Beschreibung der Zuckerhirse

Das Herkunftsgebiet der Hirse liegt im tropischen Afrika. Von dort verbreitete sich die Art in den Fernen und Nahen Osten. Ein unabhängiges Mannigfaltigkeitszentrum wird in Indien vermutet. Die ersten registrierten Funde von Angaben über den Hirseanbau lassen sich auf die Zeit von vor mehr als 3 000 Jahren datieren.

Die der Mohrenhirse verwandte Zuckerhirse hatte ebenfalls ihren Ursprung in Afrika. Sie vermag Zuckerstoffe in beträchtlichen Mengen in den Halminternodien zu speichern. Die Pflanze wurde in China sowie in den Nordstaaten der USA kultiviert, dort in Konkurrenz zum Zuckerrohr der Südstaaten.

Ab 1850 wurde sie auch in Frankreich, Italien und Ungarn angebaut.

Die Hirse weist eine Reihe von Besonderheiten gegenüber anderen Getreidearten auf: Sie ist eine C₄-Pflanze und enthoch ist. Die Pflanze bildet wiederum ein starkes Wurzelsystem. In ihrem Erscheinungsbild erinnert die Pflanze aufgrund ihrer bis zu 5 m hohen markgefüllten Halme an den Mais.

Der Fruchtstand ist eine kompakte Rispe mit 1 000–5 000 Blüten. Selbstbefruchtung ist die Regel. Der Fruchtstand kann aufrecht oder hängend ausgebildet werden. Für Hochleistungsorten sind aufrechte Formen notwendig (Wall und Ross 1970, Icrisat 1985, Dambroth und El Bassam 1981).

3. Ökologische Ansprüche

Die Hirse ist eine Kurztagpflanze. Es existieren aber auch Formen mit modifizierten photoperiodischen Ansprüchen. Alle Hirsearten sind frostempfindlich. Die Minimumtemperaturen liegen zwischen 7 und 10 °C. Die optimale Wachstumstemperatur wird mit 27–30 °C vorgegeben. Die Hirse ist in solchen Gebieten gut anbaubar, in denen die Jahresniederschläge 350–450 mm nicht unterschreiten. Die Pflanzen reagieren sehr positiv auf eine zusätzliche Bewässerung.

Die hohe Dürreverträglichkeit der Hirse beruht auf der hohen Leistungsfähigkeit des Wurzelsystems. Die Aktivität ist doppelt so hoch wie diejenige des Mais. Bezüglich des Wasserbedarfes bestehen jedoch große Sortenunterschiede. Bei extremer Trockenheit vermag die Hirse sowohl das Wachstum als auch den Stoffwechsel weitestgehend einzustellen (Dorrmannz, Abiose).

Wegen ihres starken Aneignungsvermögens für Mineralstoffe sind die Bodenansprüche gering. Die Hirse ist salz- und alkaliverträglich und gedeiht in einem pH-Bereich von 5,0–8,5, jedoch saure Böden sind normalerweise nicht geeignet. Einige Hirsesorten zeigen eine höhere Säureverträglichkeit.

Die Gefahr der Bodenerosion ist in Hirsebeständen geringer als in solchen des Mais. Ursachen dafür sind die engeren Reihenabstände, die starke Bestockung und das große Wurzelsystem (Anderlei 1985, Icrisat 1985, Dambroth und El Bassam 1981).

4. Verwendungsmöglichkeiten der Hirse

Die Energiekrise der 70er Jahre hatte mit zur Folge, daß in den USA die züchterischen Arbeiten an der Zuckerhirse intensiviert wurden und dort heute Hybriden zur Verfügung stehen, deren Leistungsfähigkeit (Zucker- und Ethanoltrag) auf bestimmten Standorten mit der anderer Kulturarten vergleichbar ist bzw. sie übertrifft (Reed et al. 1986). Auch in Deutschland und Österreich werden seit 1982 Zuckerhirseanbauversuche durchgeführt mit dem Ziel, neben der Zuckerrübe andere zuckerliefernde Pflanzenarten anzubauen, um die Fruchtfolge aufzulockern und den zunehmenden phytopathologischen Schwierigkeiten bei der Zuckerrübenkultur (Nematoden und Rhizomania) entgegenzuwirken (Dambroth 1986).

Die Hirse bildet die Basis für die Herstellung von diversen bedeutsamen Industriegrundstoffen: Zucker, Stärke, Ethanol, Säuren, Vitamine, Faserstoffe, Cellulose, Ausgangsmaterial für biotechnologische Prozesse und Gewinnung von Eiweiß in großtechnischen Anlagen, Futtermittel sowie Energie durch direkte Verfeuerung. Das internodienbedeckende Wachs (etwa 100 kg/ha) kann aus dem Preßgut gewonnen werden und zur Herstellung von Kerzen, Papier

und Bohnerwachs verwendet werden (Kresavich et al. 1985, Dambroth 1985, Wall und Ross 1970).

5. Untersuchungen zur Anbaueignung der Hirse in Mitteleuropa

5.1 Material und Methoden

Um die Leistungsfähigkeit der Zuckerhirse unter den mitteleuropäischen Klimabedingungen abschätzen zu können, wurde am Institut im Jahre 1984 damit begonnen, die genetischen Ressourcen dieser Pflanze zusammenzutragen. Ein Teil des Materials besteht aus Hybriden und Linien mit sehr unterschiedlichem Leistungsniveau. Derzeit stehen mehr als 1 000 verschiedene Samenproben aus 19 Herkunftsgebieten zur Verfügung.

Das umfangreiche Material wurde auf folgende Parameter hin untersucht:

- Frischmasseertrag
- enthaltene Zuckerarten
- Zuckergehalt
- Zuckerertrag
- Rohfasergehalt.

Die Bonituren umfassen folgende Merkmale:

- Bestockung
- Wüchsigkeit
- Termin des Rispenstehens
- Lagerneigung
- Wuchshöhe
- Kälteempfindlichkeit
- Krankheitsbefall am Blatt
- Dürreempfindlichkeit
- Witterungseinflüsse durch Wind am Blatt.

Der Anbau erfolgte auf dem Standort Völkenrode, dessen Bodentyp eine Parabraunerde ist. Die Bodenart ist lehmiger Sand.

Die Aussaat erfolgte am 21. 05. 1985 bzw. 24. 05. 1986 mit einer Reihenweite von 42 cm, einer Saatablage von 7 cm und einer Ablagetiefe von 3 cm. Zur Unkrautbekämpfung wurden 1,5 l Atrazin/ha vor der Saat eingearbeitet.

Die Düngung betrug 160 kg/ha N, 180 kg/ha P₂O₅ und 240 kg/ha K₂O und wurde vor der Aussaat verabreicht. In den Evaluierungsanbauten 1985 und 1986 wurden 249 bzw. 365 Genotypen in 3-reihigen, 5 m langen Parzellen mit zwei Wiederholungen geprüft. Geerntet wurden jeweils die mittleren Reihen der Parzellen. Der Frischmasseertrag wurde direkt auf dem Feld erfaßt.

Alle geernteten Pflanzen wurden direkt auf dem Feld gehäckselt und nach ausreichender Durchmischung jeweils eine repräsentative Stichprobe von 500 g für die Zucker- und Rohfaserbestimmung sowie die Trockensubstanzermittlung gezogen und sofort eingefroren.

5.2 Zuckergehaltbestimmungen

Nach dem Auftauen der Proben im Kühlraum bei 2 °C wurden die Proben mit einer Kräutermühle homogenisiert, 10 g davon in einen 250 ml Meßkolben eingewogen und mit ca. 200 ml bidest. Wasser versetzt (Doppelbestimmung). Durch zwanzigminütiges Aufkochen dieser Suspension wird

ein vollständiger Zellaufschluß erzielt. Nach Abkühlen der Lösung und Auffüllen der Kolben mit Aqua bidest. bis zur Eichmarke werden die Proben zunächst mit Hilfe eines Faltenfilters vom Zellbruch und Faseranteil befreit und letztlich unter Verwendung eines Einmalfilterhalters (Porengröße 0,45 µm) für die Analyse im High Performance Liquid Chromatograph (HPLC) vorbereitet.

Spezifikation der HPLC-Bedingungen:

Flußrate:	0,3 ml/min
Laufmittel:	Aqua bidest.
Säulen:	Polypore CA (Fa. Kontron), 22 cm Haupt- und 3 cm Vorsäule Säulendurchmesser: 4,6 mm
Temperatur:	80 °C ± 0,2 °C
Detektion:	RI
Auswertung:	Externer Standard, Zweipunktcalibrierung.

Rohfaseranteil:

Der Filterrückstand aus der Zuckeranalytik wird im Trockenschrank bei 105 °C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet und als Rohfasergehalt bezeichnet (Doppelbestimmung).

6. Ergebnisse und Diskussion

Das Auflaufen der verschiedenen Hirsegenotypen vollzog sich 10–16 Tage nach der Aussaat. In der Jugendphase entwickelten sich die Hirsepflanzen nur langsam, im Zeitraum von Anfang bis Mitte Juli entfalteten die meisten angebauten Typen jedoch ein enormes Wachstum.

Im ersten Anbaujahr (1985) erreichten die Pflanzen, in Abhängigkeit von ihrer genetisch determinierten Wuchsform, eine Wuchshöhe von 80–240 cm, im zweiten Anbaujahr (1986) von 80–290 cm.

Das Rispenstehen setzte in der Zeit vom 22. 08. 1985 bis 20. 10. 1985 bzw. vom 05. 08. 1986 bis 17. 10. 1986 ein. Demnach beträgt die Zeitspanne bis zum Beginn des Rispenstehens, je nach Genotyp und Witterung zwischen 73 und 152 Tagen.

Genotypisch bedingt ergaben sich erhebliche Unterschiede im Ertragsniveau der Frischmasse der 614 geprüften Hirsegenotypen. Die Frischmasseerträge lagen im ersten Anbaujahr (1985) zwischen 83,9 und 1 392,9 dt/ha, im zweiten Jahr (1986) zwischen 197,1 und 1 691,0 dt/ha. Die Abbildungen 1 und 2 geben die Häufigkeitsverteilung für die geerntete Frischmasse der verschiedenen Typen wieder. Daraus ist zu entnehmen, daß 18 Genotypen 900 dt/ha und mehr im Jahr 1985 erbrachten, im Jahr 1986 betrug diese Zahl 32.

Ein durchschnittliches Ertragsniveau von über 900 dt/ha in beiden Jahren wiesen 10 Typen auf. Einer dieser Genotypen erbrachte mehr als 1 100 dt/ha.

Der höchste Zuckergehalt der analysierten Hirseproben lag 1985 bei 9,2%, 1986 bei 11,1%. Im ersten Anbaujahr wiesen 30 Typen einen Zuckergehalt von mehr als 7% auf, im zweiten Jahr 162 (Abb. 3 und 4). In 11 Genotypen lag ein Zuckergehalt von mehr als 10% vor. Neunzehn Typen lieferten in beiden Jahren 7% und mehr Zuckergehalt.

Der Zuckerertrag wird durch die Höhe der Biomasse und den Zuckergehalt der angebauten Genotypen bestimmt. Der höchste Zuckerertrag belief sich 1985 auf 78,1 dt/ha, 1986 auf 112,2 dt/ha. Neun Typen lieferten 1986 mehr als

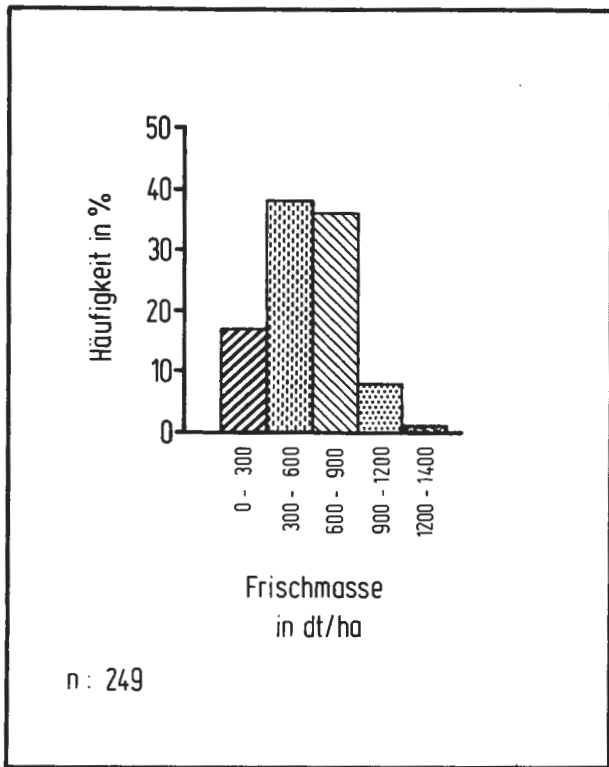


Abbildung 1: Häufigkeitsverteilung für Frischmasse bei Zuckerhirse, Anbaujahr 1985

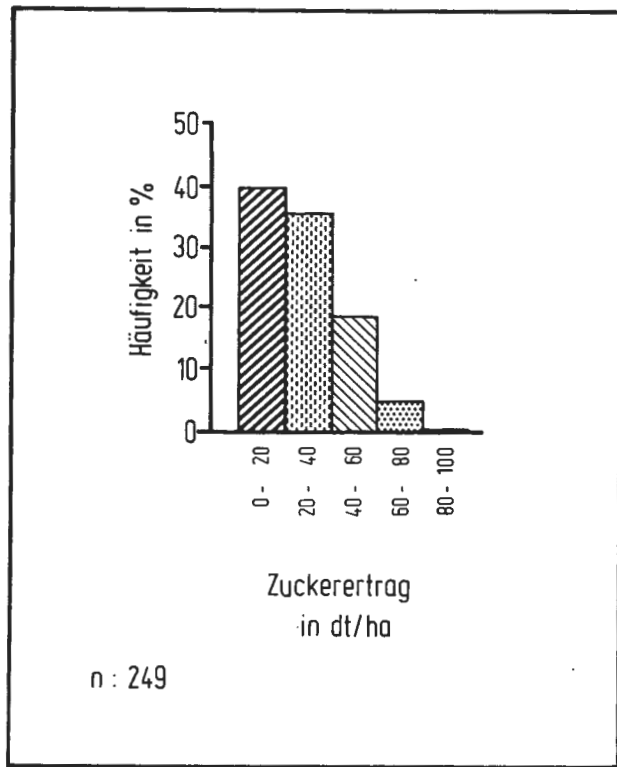


Abbildung 3: Häufigkeitsverteilung für Zuckerertrag bei Zuckerhirse, Anbaujahr 1985

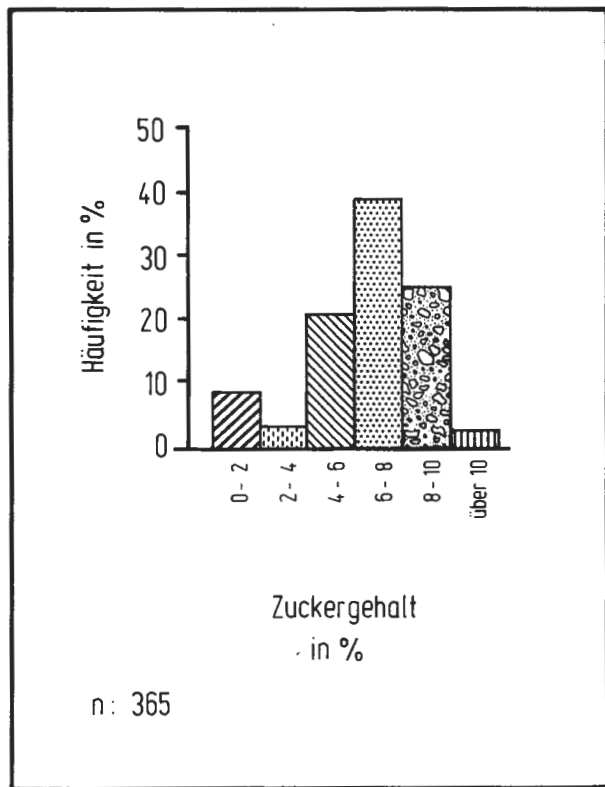


Abbildung 2: Häufigkeitsverteilung für Zuckergehalt bei Zuckerhirse, Anbaujahr 1985

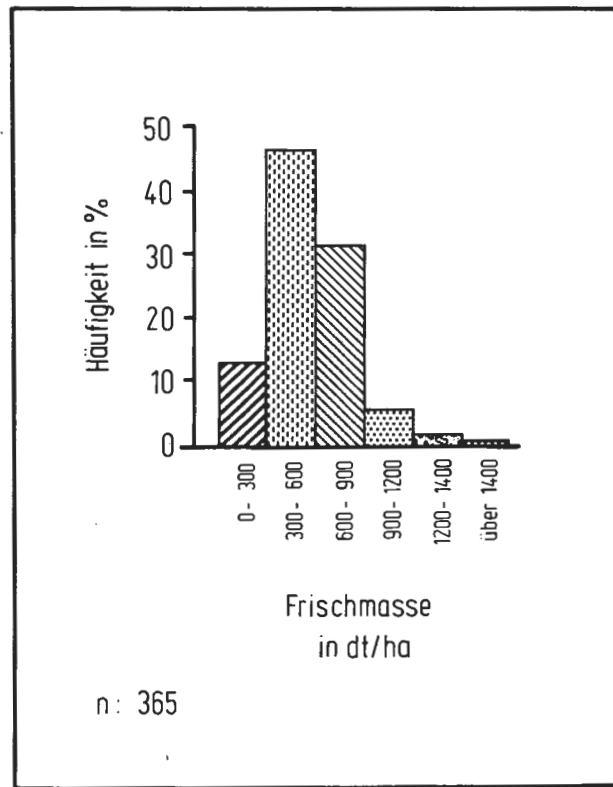


Abbildung 4: Häufigkeitsverteilung für Frischmasse bei Zuckerhirse, Anbaujahr 1986

90 dt/ha Zucker und fünf Genotypen mehr als 100 dt/ha. Fünf Genotypen produzierten sowohl 1985 als auch 1986 Zuckererträge von über 70 dt/ha Zucker (Abb. 5 und 6).

Der Zuckergehalt setzt sich nahezu ausschließlich aus den Zuckern Saccharose, Fructose und Glucose zusammen. Glucose und Fructose erschweren bekanntlich das Auskristallisieren der Saccharose bei der Zuckererzeugung, sind aber von großer Bedeutung als Ausgangsstoffe für biotechnologische Prozesse und für die Sirupherstellung. Der durchschnittliche Saccharosegehalt der Hirsetypen mit 10 % und mehr Zuckergehalt in der Frischmasse beträgt ca. 53 %, der Glucosegehalt 28 % und der Fructosegehalt 19 %.

Der höchste Saccharosegehalt (7,1 %) war bei einem Hirsetyp festzustellen, der daneben 1,83 % Glucose und 1,04 % Fructose enthielt. Der Genotyp mit dem höchsten Glucosegehalt von 4,52 % lieferte außerdem 0,75 % Saccharose sowie 3,43 % Fructose. Dieser Hirsetyp wies auch den höchsten Fructosegehalt auf. In diesem Zusammenhang ist bemerkenswert, daß der Fructoseanteil stets geringer war als der Glucoseanteil.

Einige Hirsennummern brachten zwar hohe Biomasserträge (über 1 000 dt/ha), lieferten aber relativ niedrige Zuckergehalte. Dementsprechend wurden unterschiedliche Rohfasergehalte der angebauten Hirsetypen festgestellt (zwischen 10 und 36 %).

Abgesehen von der genetischen Konstitution muß auch damit gerechnet werden, daß das Zucker-Stärke-Verhältnis in einer gegebenen Pflanze auch mit den Witterungsverhältnissen variiert. Dies hat Auswirkungen auf die weitere Verarbeitung der aus der Biomasse gewonnenen Rohstoffe sowie auf die Alkoholausbeute.

Die Alkoholausbeute wird durch die folgenden Berechnungsbeispiele zweier Zuckerhirsetypen verdeutlicht. Genotyp 384 erbrachte 1986 einen Ertrag von 1 154 dt Frischmasse/ha bei einem Zuckergehalt von 10,6 % (7,0 % Saccharose, 3,6 % Glucose + Fructose). Die theoretische Ethanolausbeute ergibt sich zu

$$7,0 \cdot 0,6776 = 4,74 \text{ l Ethanol/100 kg FM (Saccharose)}$$

$$+ 3,6 \cdot 0,6439 = 2,31 \text{ l Ethanol/100 kg FM (Glucose + Fructose)}$$

also resultiert eine Gesamtausbeute von 7,05 l Ethanol/100 kg FM.

Der Wirkungsgrad der Gärung beträgt jedoch nur etwa 90 %, derjenige der Destillation 95 %. Dies führt zu einer korrigierten Gesamtausbeute von $7,05 \cdot 0,855 = 6,03$ l Ethanol/1 000 kg Frischmasse. Das bedeutet bei einem Gesamtertrag von 1 154 dt Frischmasse/ha einen Ethanolertrag von 6 960 l/ha. Dasselbe Rechenschema auf einen Genotyp mit relativ geringer Ertragsleistung (Nr. 277: 780 dt Frischmasse/ha; 2,6 % Saccharose und 4,4 % Glucose + Fructose) angewandt, liefert immer noch eine Gesamtausbeute von 3 060 l/ha.

7. Schlußfolgerungen

Obwohl die Hirse ihren Ursprung in den Tropen hat, ist die Art durch züchterische Maßnahmen bis in das gemäßigte Klima angepaßt. Die bisherigen Erfolge der Züchtung und Anbauversuche der Zuckerhirse sind beeindruckend und lassen erwarten, daß die Zuckerhirse als technisch gut zu handhabende Zuckerpflanze der Zuckerrübe an die Sei-

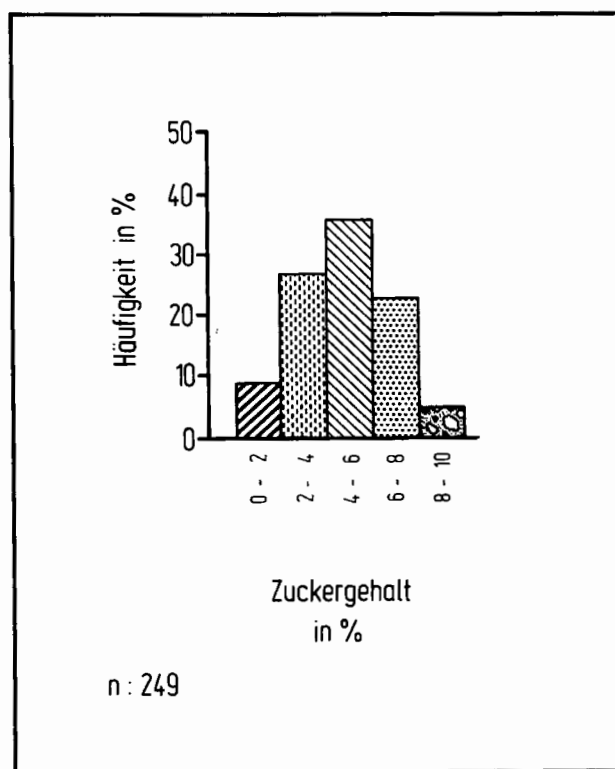


Abbildung 5: Häufigkeitsverteilung für Zuckergehalt bei Zuckerhirse, Anbaujahr 1986

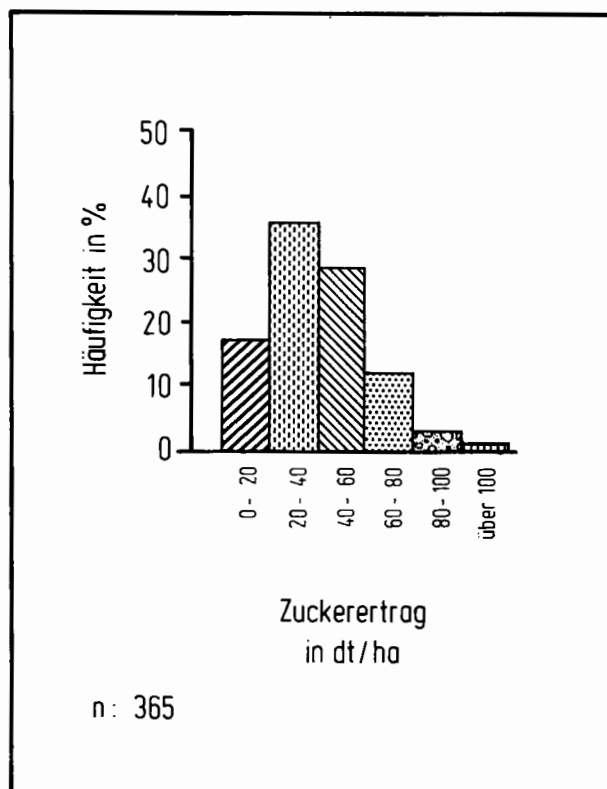


Abbildung 6: Häufigkeitsverteilung für Zuckerertrag bei Zuckerhirse, Anbaujahr 1986

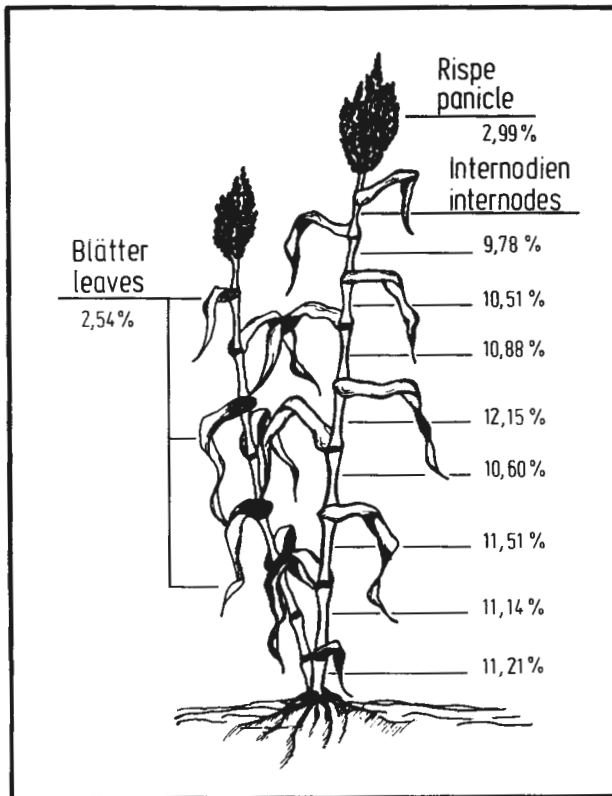


Abbildung 7: Zuckergehalt verschiedener Teile einer Pflanze der Zuckerhirse

te gestellt werden kann und zukünftig eine Ergänzung der Artenpalette für die Erzeugung von Zuckerstoffen als Rohstoffbasis für die chemische Industrie oder für biotechnologische Prozesse darstellen kann.

Die Ergebnisse zeigen deutlich, daß ein durchschnittlicher Biomassertrag der Zuckerhirse von 1 000 dt/ha und ein Zuckerertrag von 100 dt/ha durchaus ein realistisches Ertragsniveau darstellen, das durch weitere züchterische Maßnahmen zu stabilisieren und zu verbessern ist. Dieses Ziel ist vor allem mit solchen Hirsetypen zu erreichen, die zwar noch zur Ausbildung der Rispe, aber nicht zur Produktion von Samen gelangen.

Mit den in den Jahren 1985 und 1986 geprüften 614 Hirsetypen wurden folgende Ertragswerte erzielt:

Die Frischmasseerträge lagen im ersten Anbaujahr (1985) zwischen 83,9 und 1 392,9 dt/ha und im zweiten Jahr (1986) zwischen 197,1 und 1 691,0 dt/ha. Der höchste Zuckergehalt der angebauten Hirsetypen lag 1985 bei 9,2 % und 1986 bei 11,1 % und der höchste Zuckerertrag belief sich 1985 auf 78,1 und 1986 auf 122,2 dt/ha. Der durchschnittliche Saccharosegehalt der Genotypen mit 10 % und mehr Zuckergehalt in der Frischmasse beträgt 53 %, der Glucosegehalt 28 % und der Fructosegehalt 19 %. Mit dieser Leistung sind Ethanolausbeuten von über 7 000 l/ha zu erreichen.

Sweet sorghum: A new Raw Material Source for the Sugar Industry

The primary uses of sweet sorghum have been as a syrup for human consumption and as a livestock feed. More re-

cently, interest in sweet sorghum has risen because of its potential use as a source of sugar and/or as a raw material for the production of energy and for different biotechnological processes. However, before sweet sorghums may be utilized as a source for both sugar and energy, adequate and adapted genotypes must be identified.

The objective of this study is to measure the agronomic performance of different lines and cultivars of sweet sorghum for cold tolerance, yield of biomass, yield of sugar and sugar quality.

Of the more than 1 000 entries from 20 different worldwide origins, 614 accessions have been cultivated for evaluation purposes in the last 2 years. Among the tested material 18 genotypes exhibited more than 90 tons biomass (FM) per hectare in 1985 and 32 types in 1986. The number of accessions which produced more than 90 t FM/ha in both years was 10, one type produced more than 11 tons FM/ha. The biomass production of one accession achieved 169 t FM/ha in 1986.

The highest sugar content in FM mounted to 9,2 % in 1985 and 11,1 % in 1986. Five genotypes produced more than 10 tons sugar per hectare, the highest sugar yield was 12 t/ha. In average of the high sugar yielding accessions, more than 50 % of the sugar consists of saccharose, 28 % of glucose and 19 % of fructose. The corresponding quantity of alcohol which can be produced amounts to 7 000 l/ha.

Literatur

Anderlei, J.: Eine vorläufige Anbautechnik der Zuckerhirse. (Manuskript) – KWS-Seligenstadt, (1985), S. 1–4.

Dambroth, M.: Die Natur als Chemieproduzent: Nachwachsende Rohstoffe. – CLB Chemie für Labor und Betrieb, 37, (1986), S. 100–103.

Dambroth, M.: Für die Landwirtschaft eröffnen sich viele pflanzenbauliche Produktionsalternativen. – Agrar-Übersicht, 37. Jahrg., Heft 6, (1986), S. 16 ff.

Dambroth, M.: Lösung der Agrarmarktp Probleme durch den Industripflanzenanbau. – Agronomische Rundschau 4/5, (1985), S. 14–20.

Dambroth, M.; El Bassam, N.: Agrarprodukte. – Diercke Weltwirtschaft 1, dtV/Westermann München und Braunschweig (1981).

Iscrisat: A guide to sorghum breeding species classifications (1985), S. 5–9.

Jvanjukovic, L. K.: Specific and infraspecific classifications of sorghum species. – Kulturpflanze XXIX, (1981), S. 273–280.

Kresovich, S.; Moreno, E.; Braun, H. E.; Molina, J. J.: Sweet sorghum breeding line evaluations. – The Texas Agricultural Experiment station, Texas, (1982), S. 1–16.

Mechelke, W.: Schriftliche Mitteilung (1986).

Moritz, H.: Bald Biosprit aus Zuckerhirse. – Österreich, Top Agrar 29, (1986), S. 124–127.

Reed, W.; Geng, S.; Hills, F. J.: Energy input and output analysis of four field crops in California. — J. Agronomy and Crop Science 157, (1986), S. 99–104.

Wall, T. S.; Ross, W. M.: Sorghum production and utilization. — The Avi Publishing company Westport Connecticut (1970).

Verfasser: El Bassam, Nasir, Dr. agr.; Dambroth, Manfred, Prof. Dr. agr.; Rühl, Gerhard, Dr. rer. nat., Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode (FAL), Institutsleiter: Prof. Dr. agr. Manfred Dambroth.