

Ertragspotential und Verwendungsmöglichkeiten zuckerstoffliefernder Pflanzenarten

LOTHAR FRESE

Institut für Pflanzenbau

Der französische Bauernverband CGB fordert die Stärkung der EG-Zuckermarktordnung und sieht in der Entscheidung einiger Firmen, Produktionsanlagen für Süßungsmittel aus anderen landwirtschaftlichen Rohstoffen zu bauen, eine potentielle Gefährdung der Zuckermarktordnung. Der Markt für Süßungsmittel sei begrenzt, und es könne keine Hoffnung für landwirtschaftliche Produkte geben, die in direkte Konkurrenz zum Rübenzucker treten. Konzentration finanzieller Mittel auf die Förderung der Zuckerrübe wurde in gleichem Zusammenhang gefordert.

Würde man dieser Forderung entsprechen, so liefe dies den EG-weiten Bemühungen zur Diversifizierung der landwirtschaftlichen Produktion und Fruchtfolgen zuwider. Es besteht sehr wohl Hoffnung für andere zuckerstoffliefernde Kulturarten, denn unter den Klimabedingungen Mitteleuropas erzeugt nicht nur die Zuckerrübe, sondern auch die Zuckerhirse, die Topinambur und die Wurzelzichorie hohe Kohlenhydraterträge. Als Vertreter der Gattungen Sorghum, Helianthus und Cichorium würden sich die letztgenannten Arten in hervorragender Weise zur Erweiterung unserer oft eng gestellten Fruchtfolgen eignen.

Das Reservekohlenhydrat besteht bei Rüben und Zuckerhirse im wesentlichen aus dem Disaccharid Saccharose, während die Topinambur und Zichorie ein Gemisch aus mehr oder weniger langkettigen Polyfruktosanen enthält. Diese Kettenmoleküle bestehen aus einer Glukoseeinheit, die mit bis zu 45 Fruktosemolekülen verknüpft sein kann (Nelson und

Spollen, 1987). Die Zusammensetzung der Zuckerstoffe bestimmen ihre relative Vorzüglichkeit für bestimmte Produktlinien. Die aktuellen und potentiellen Absatzmärkte für Zucker liegen im Bereich

- der traditionellen Verwendung als Konservierungs- und Genußmittel,
- der Erzeugung von Ethanol als Kraftstoffadditiv und
- der chemisch/pharmazeutischen Industrie (Anonym, 1990).

Bei der traditionellen Zuckerverwertung dominieren drei Bereiche: Haushalte, Süßwaren und Erfrischungsgetränke. Die Entwicklung auf dem internationalen Süßungsmittelmarkt zeigt, daß bei der Herstellung von Erfrischungsgetränken Hochfruktosesirup Rüben- und Rohrzucker in zunehmendem Maße vom Markt verdrängt (Abbildung 1, nach Klaushofer, 1986).

Nachdem in den 60er Jahren die ersten Fabriken zur Erzeugung von Isoglukose aus Stärke gebaut wurden, nahm die Erzeugung von Hochfruktosesirup in den USA und Japan dramatisch zu. Durch die Anwendung des Quotensystems auf die Isoglukoseproduktion wurde innerhalb der EG dieser Umstellungsprozeß verhindert. Während die Erzeugung von Isoglukose weltweit im Zeitraum von 1980-1991 von 2,8 Millionen t auf 7,8 Millionen t anstieg, stagnierte die Erzeugung in der EG bei 280.000 t. Der Grund für den starken Verbrauch fruktosehaltiger Süßungsmittel im EG-Ausland ist verständlich, denn Fruktose ist um rund 30 % süßer als Saccharose. 1 kg Süße aus Maisstärke ist z.Zt. in den USA um 30 % billiger als Zucker. Zudem nimmt der Verbraucher bei Verwendung von Fruktose pro Einheit Süße weniger Kalorien auf.

Im Nicht-Nahrungsreich besteht eine Vielfalt von Märkten und Marktnischen für Zuckerstoffe, die durch Forschung auf dem Gebiet der Zuckerchemie und Biotechnologie gegenwärtig erweitert werden. In den 80er Jahren stand die Ethanolherzeugung aus Beta-Rüben im Vordergrund der Diskussion über nachwachsende Rohstoffe (Dambroth, 1982). Solange jedoch der Weltmarktpreis

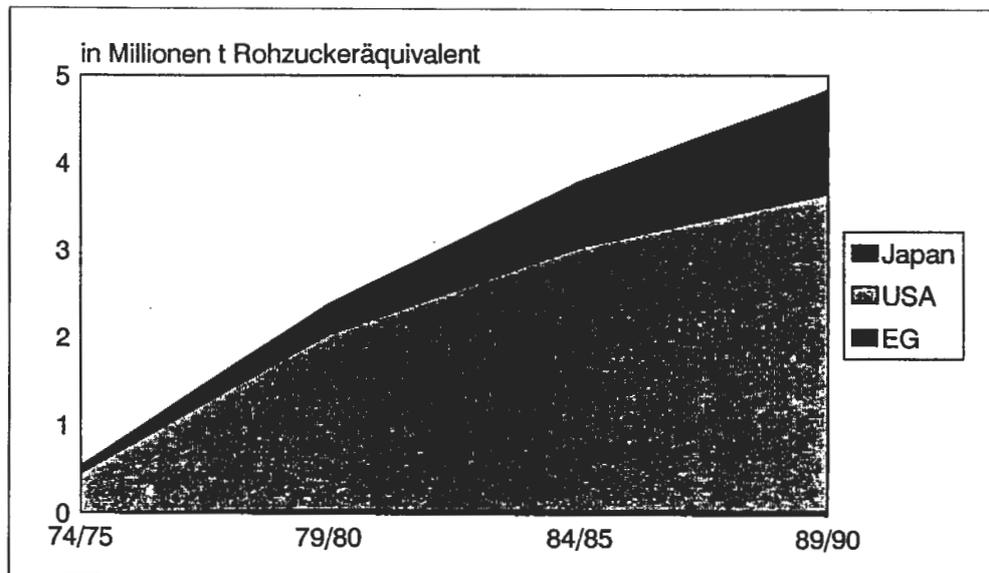


Abbildung 1: Produktion von Hochfruktosesirup

für Rohöl zu niedrig ist, hängt die Realisierung eines großflächigen Anbaus von Pflanzen zur Ethanolherstellung zum gegenwärtigen Zeitpunkt wesentlich von politischen Entscheidungen und Subventionen ab.

Dagegen wird Zucker als Chemiegrundstoff schon heute eingesetzt. Eine faszinierende Vielfalt von neuen Produkten mit maßgeschneiderten Eigenschaften kann aus den Zuckerbausteinen Glukose und Fruktose gewonnen werden. Hohe Wasseraffinität, Löslichkeit, Viskosität und Bindungskraft werden als nützliche Eigenschaften solcher Produkte genannt. Im chemisch/technischen Bereich wird Saccharose beispielsweise als Additiv zur Herstellung von Fertizement eingesetzt. Durch chemische oder biotechnologische Prozesse werden aus diesen Grundstoffen Mannitol, Sorbitol, Polyuretanschäume, Glycerin, organische Säuren, Aminosäuren, Antibiotika, Vitamine, Enzyme und Biopolymere gewonnen (Abbildung 2, nach Anonym, 1990).

Große Erwartungen setzt man insbesondere in die Fortentwicklung der Fruktanchemie. Aus Fruktose kann Hydroxymethylfurfural erzeugt werden, dessen hohes Synthesepotential die Entwicklung von Feinchemikalien bis hin zu Stoffen mit vermutlich herbizider Wirkung zulässt. Pflanzenarten mit hohem Fruktosegehalt sind auch für die Herstellung von Oligosacchariden interessant, deren chemisch/technisches Potential gegenwärtig erforscht wird (Fuchs, 1987).

Entscheidend für die Verwendung der vier zuckerstoffliefernden Kulturarten ist jedoch deren Produktivität, die Möglichkeit der Ertragssteigerung durch Züchtung und die Lösung pflanzenbaulicher Probleme.

Bei Zuckerrüben erschwert die negative Korrelation zwischen dem Zuckerertrag und dem Asche- bzw. Alpha-Amino-N Gehalt die Steigerung des Zuckerertrages durch Züchtung. Als Rohstofflieferant für die Ethanolproduktion können jedoch ohne weiteres Beta-Rüben mit schlechter Weißzuckerqualität dienen. Hierauf gründet sich die Annahme, daß für die Steigerung des Gesamtzuckerertrages noch ausreichende genetisch/züchterische Reserven zur Verfügung stehen. Ertragssteigerungen von rund 20 % über das heutige Niveau von Zuckerrüben hinaus sind möglich (Frese et al., 1987). Aus pflanzenbaulicher Sicht ist die Zuckerrübe eine gut etablierte Feldfrucht, die allerdings in zunehmendem Maße an Fruchtfolgeproblemen wie Rizomania und Rübenzystenälchen leidet.

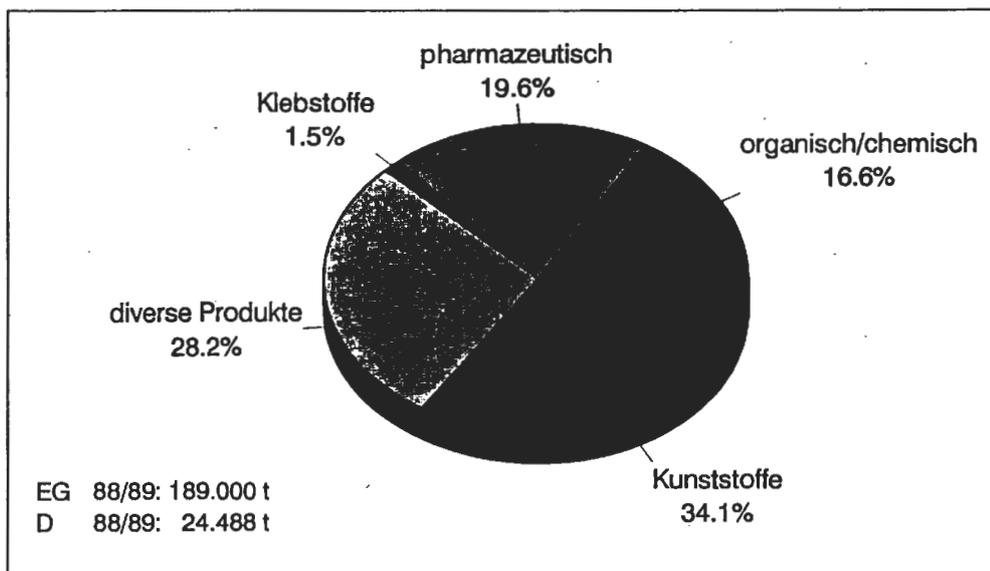


Abbildung 2: Verwendung von Zucker im chemisch/technischen Bereich

Seit Beginn der 80er Jahre wird u.a. deshalb eine andere zuckerhaltige Pflanze - die Zuckerhirse - züchterisch bearbeitet. Botanisch gesehen gehört *Sorghum bicolor* zur Gruppe der C4-Pflanzen, die sich durch eine hohe Assimilationsleistung auszeichnen. Da *Sorghum bicolor* aus dem tropischen Afrika stammt, gedeiht diese Kulturart am besten an warmen Standorten wie z.B. im süddeutschen Raum. Die Zuckerhirse enthält wie die Beta-Rübe hauptsächlich Saccharose, die sich jedoch aufgrund des ungünstigen Zuckermusters nicht zu Kristallzucker verarbeiten läßt (Abbildung 3).

Sorghum bicolor wird deshalb in erster Linie als Rohstoff für die Ethanolproduktion diskutiert. Die dabei notwendige Prozeßenergie kann durch Verheizung der Bagasse erzeugt werden. Die im Vergleich zur Beta-Rübe günstigere Energiebilanz der Ethanolproduktion ist ein Vorteil dieser Pflanzenart. Dagegen steht als Nachteil die geringe Haltbarkeit der zuckerhaltigen Stengel nach der Ernte und der damit verbundene Zwang zur schnellen Verarbeitung. Für den Anbau von Zuckerhirse können die Produktionstechniken des Maisanbaus eingesetzt werden. Die einjährige Zuckerhirse bringt be-

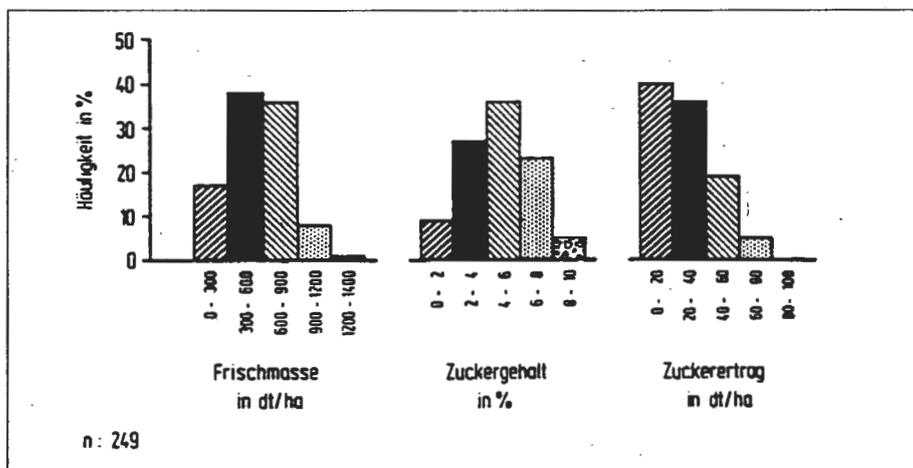


Abbildung 3: Braunschweiger Evaluierungsergebnisse von 249 Zuckerhirseherkünften

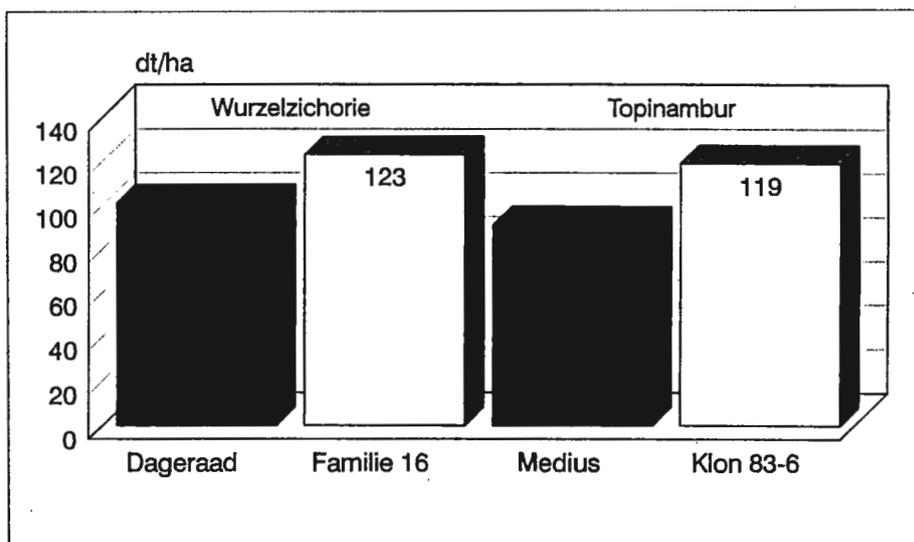


Abbildung 4: Erhöhung des Zuckerertrages durch Züchtung

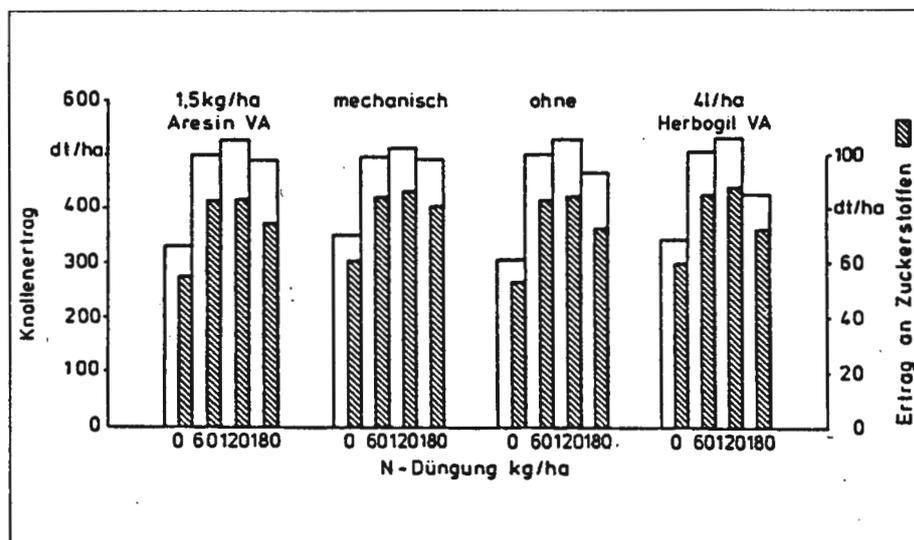


Abbildung 5: Topinambur-Knollenertrag (dt/ha) in Abhängigkeit von der Stickstoffversorgung und Art der Unkrautbekämpfung (Herkunft: Medius)

reits im ersten Anbaujahr den vollen Erlös und erlaubt zudem eine flexible Gestaltung der innerbetrieblichen Fruchtfolge (El Bassam et al., 1987).

Eine positive Auswirkung auf die Fruchtfolgesundheit ist auch durch den Anbau von Topinambur und Zichorie zu erwarten. Beide Feldfrüchte sind, abgesehen von der Sonnenblume, mit keiner der landwirtschaftlich genutzten mitteleuropäischen Kulturarten verwandt. Als Knollenfrucht würde sich Topinambur gut für Regionen mit Kartoffelanbau eignen. Neuzüchtungen, die dank einer verbesserten Knollenform, -größe, und -sortierung sowie einer konzentrierten Ablage wesentlich besser an die Produktionstechnik der Kartoffel angepasst sind, wurden am Institut für Pflanzenbau entwickelt. Dies ist übrigens ein besonders prägnantes Beispiel für eine erfolgreiche Nutzbarmachung der Sammlung genetischer Ressourcen am Institut für Pflanzenbau. Die neuen Klone zeichnen sich neben der verbesserten Rodeeignung durch 25-35 % höhere Zuckererträge gegenüber der Sorte Medius aus (Abbildung 4) (Frese et al., 1987; Bramm, 1986).

Als positive Eigenschaft ist die hohe Stickstoffeffizienz von Topinambur hervorzuheben. Zur Produktion des Höchstwertes an Zucker benötigt diese Kulturart nur eine Stickstoffgabe von 100-120 dt/ha (Abbildung 5). Demgegenüber steht insbesondere bei spät-reifenden Sorten, die große Mengen an oberirdischer Grünmasse produzieren, ein relativ hoher Wasserverbrauch (Bramm, 1992; Sah et al., 1987). Ertragsphysiologisch gesehen verschwendet Topinambur einen großen Teil der durch Photosynthese gewonnenen Assimilate zur Produktion von oberirdischer Trockenmasse. Bei der Sorte Columbia beträgt der Anteil von Polyfruktosanen an der Gesamttrockenmasse unter günstigen Bedingungen 40 % (Meijer und Mathijssen, 1991).

Für *Helianthus tuberosus* bestehen zwei Verwertungsmöglichkeiten: die Erzeugung von Ethanol oder Hochfruktosesirup. Seit der Energiekrise wird Topinambur im Rahmen von nationalen sowie durch die EG-Kommission geförderten Forschungsprogrammen (Barloy, 1989) züchterisch, ertragsphysiologisch und pflanzenbaulich intensiv bearbeitet. Für die Ethanolherzeugung sind allein hohe Erträge an fermentierbaren Reservkohlenhydraten von Bedeutung; die Zusammensetzung der Polyfruktosane spielt dabei eine untergeordnete Rolle. Für die Erzeugung von Hochfruktosesirup ist dagegen sehr wohl entscheidend, ob das Spektrum der Polyfruktosane mehr langkettige Formen oder mehr kurzkettige Oligosaccharide enthält. Im Gegensatz zur stabilen Saccharose unterliegt der Polyfruktosanhaushalt einem sehr dynamischen Stoffwechsel (Höppner, 1991; Rutherford und Weston, 1968), der neben der genotypischen Komponente stark vom Wuchsstadium und von der Temperatur beeinflusst wird. Mit Beginn der Einlagerung in die Knolle im August beträgt das Verhältnis Glukose/Fruktose 1:9 und fällt durch Abbau der langkettigen Formen zum Januar hin auf 1:3 ab (Koch, 1990). Für die Verwendung von Topinambur als Rohstoff ist nun entscheidend, ob Hochfruktosesirup oder Oligosaccharide oder Ethanol gewonnen werden soll. Insbesondere bei der Ethanolherzeugung könnte Topinambur zu jeder Zeit, d.h. solange die Witterungsverhältnisse das Befahren des Bodens zulassen, geerntet werden, während die Fruktosegewinnung termingerechte Ernten voraussetzen würde.

Das Fruktose/Glukoseverhältnis kann durch Pflanzenzüchtung und pflanzenbauliche Maßnahmen gesteuert werden. Trotz des hohen Ertragspotentials und guter Voraussetzungen für die züchterische Verbesserung zeigt die Züchtungsindustrie jedoch nur verhaltenes Interesse an dieser vegetativ ver-

mehrten Fruchtart, da Klonsorten keinen wirksamen Nachbauschutz besitzen.

Die Wurzelzichorie (*Cichorium intybus var. sativum*) wird dagegen generativ als Populationsorten vermehrt. Durch Nutzung des Selbstinkompatibilitätsmechanismus und durch Herstellung von triploiden Hybridsorten kann das berechnete Interesse der kommerziellen Züchter an einem wirksamen Nachbauschutz durchgesetzt werden. Dies mag eine Ursache für das zunehmende Interesse von Zuckerrübenzüchtern an dieser Kulturart sein.

Mitausschlaggebend ist sicherlich auch die weitgehende Übereinstimmung der Produktionstechnik von Zuckerrüben und Wurzelzichorien. Zwar unterscheiden sich die pflanzenbaulichen Maßnahmen des Zichorienanbaus von der Zuckerrübenproduktion durch andere Saattermine und Bestandesdichten sowie durch den Herbizideinsatz, dennoch erfordert der Zichorienanbau keine grundsätzliche Umstellung der Produktionstechnik eines rübenbauenden Betriebes. Der Mangel an Nachauflaufherbiziden, eine Keimungsminimumtemperatur von 10°C und eine im Vergleich zur Zuckerrübe langsame Jugendentwicklung sind die wichtigsten pflanzenbaulichen Probleme der Zichorie (Wurl, 1989).

Aus ertragsphysiologischer Sicht betrachtet ist die zweijährige Zichorie der Topinambur überlegen. Statt 40 % der gesamten Assimilatproduktion bei Topinambur speichert die Zichorie rund 60 % der Assimilate als Polyfruktosane (Meijer und Mathijssen, 1991). Diese zeichnen sich zudem durch ihre großen Kettenlängen aus, wodurch sich Zichorien für die Herstellung von Hochfruktosesirup besonders gut eignen. In der traditionellen mitteleuropäischen Anbauregion - Belgien und Nordfrankreich - hat man bereits frühzeitig die Eignung von Zichorien zur Hochfruktoseherstellung erkannt. Die züchterisch/pflanzenbauliche Forschung an dieser Kulturart ist in Belgien und Frankreich, aber auch in Österreich fest etabliert und findet in Deutschland keine Parallele, da hier das Potential dieser Fruchtart lange Zeit verkannt wurde.

Vergleichende Untersuchungen an Topinambur und Zichorie haben gezeigt, daß bei Zichorien auch unter deutschen Anbaubedingungen Wurzelerträge bis zu 600 dt/ha möglich und die Polyfruktosanerträge mit 11 t/ha denen des Topinamburs und der Zuckerrübe ebenbürtig sind (Abbildung 6) (Thomson und Kühbauch, 1987; Meijer und Mathijssen, 1991).

Durch Züchtung lassen sich die aktuellen Erträge noch um 20-25 % steigern. Die Wurzelfrucht bietet alle züchterisch/genetischen Voraussetzungen für die Entwicklung einer konkurrenzfähigen Feldfrucht wie:

- genetische Variabilität (Frese et al., 1991),
- genetische Mechanismen zur Herstellung von Hybridsorten,
- einfache Erzeugung von Klonmaterial und damit verbunden hoher Selektionsfortschritt,
- Möglichkeit zur Anwendung von in vitro Techniken zur Klonerhaltung (Mix, 1985) und zum in vitro screening (z.B. Herbizidresistenz),
- gelungene somatische Embryogenese als Vorstufe zum 'artificial seed' (Heirwegh et al., 1985).

In Belgien und Nordfrankreich ist seit 1983 die Verarbeitungskapazität von Zichorien zur Erzeugung von Fruktosesirup von wenigen hundert Hektar im Jahr 1983 auf demnächst 7500 ha gesteigert worden. Ist die Zuckerrübe also ein Auslaufmodell, wie es vor kurzem in der Zeitschrift Agrarübersicht mit Blick auf Zuckerhirse und Zuckerweizen formu-

Fruchtart	Frischsubstanz (dt/ha)	Zuckergehalt (%)	Zuckerertrag (dt/ha)
Zuckerrübe	723	17.2	123.7
Zichorie	610	19.7	120.2
Topinambur	657	18.2	119.5
Zuckerhirse	1154	10.6	122.3

Abbildung 6: Erträge zuckerstoffliefernder Pflanzenarten

liert wurde? Keinesfalls, denn im Bereich der molekularen Genetik besitzt die Zuckerrübe als fest etablierte Pflanzenart einen großen Forschungsvorsprung im Vergleich zu ihren potentiellen Konkurrenten. Genkartierungen und die damit verbundene Effizienzsteigerung bei der Selektionsarbeit wird die Leistungsfähigkeit der Zuckerrübe weiter steigern. Zudem ist - wie das amerikanische Marktgeschehen zeigt - Saccharose nicht beliebig durch Hochfruktosesirup oder synthetische Zuckerstoffe zu ersetzen. Zuckerhirse, Topinambur und Zichorie sind deshalb nicht als Störenfriede zu betrachten, die die gewohnte Zuckermarktordnung gefährden, sondern als willkommener Beitrag zur Diversifizierung der agrarischen Ökosysteme und als Erzeuger interessanter Rohstoffe für eine breite Palette von innovativen Produkten.

Zusammenfassung

Zuckerhirse (*Sorghum bicolor*), Topinambur (*Helianthus tuberosus*) und Wurzelzichorie (*Cichorium intybus*) sind neben der Rübe (*Beta vulgaris*) zur Erzeugung von Zuckerstoffen geeignet. In der Bundesrepublik Deutschland wird Rübenzucker (Saccharose) in der Größenordnung von 30.000 t jährlich als Chemiegrundstoff zur Erzeugung von einer Vielfalt von Produkten wie organische Säuren, Glycerin, Vitamine u.a. abgesetzt. Forschung im Bereich der Zuckerchemie erschließt gegenwärtig neue Anwendungsbereiche für Zuckerderivate und damit neue Absatzmärkte. Die potentiell nutzbaren Fruchtarten unterscheiden sich von der Zuckerrübe hinsichtlich der Zusammensetzung der Reservekohlenhydrate. Da das Zuckermuster der Zuckerhirse die Erzeugung von Kristallzucker erschwert, wird *Sorghum bicolor* in erster Linie als Rohstoff für die Ethanolproduktion diskutiert. Topinambur und Wurzelzichorien enthalten Polyfruktosane, die sich insbesondere für die Erzeugung von Hochfruktosesirup für den Nahrungsmittelbereich oder für Fruktose als Ausgangsstoff für die Fruktanchemie eignen. Zuckerhirse, Topinambur und Zichorie erreichen das Ertragsniveau der Zuckerrübe. Durch pflanzenbauliche Forschung und Züchtung wurde die Konkurrenzfähigkeit dieser Arten gegenüber der Zuckerrübe verbessert.

Yield potential and possible utilization of sugar-containing plant species

Sweet sorghum (*Sorghum bicolor*), Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) and root chicory (*Cichorium intybus*) are aside from sugar beets (*Beta vulgaris*) suited for the production of sugars. In the Federal Republic of Germany about 30.000 t of beet sugar (saccharose) are sold as a chemical feedstock to produce a diversity of products like organic acids, glycerol, vitamins and others, yearly. Research in the field of sugar chemistry currently extends the scope of sugar derivatives and new markets. The potentially useful crop discern from sugar beets with respect to the composition of sugars. Since the sugar pattern of Sweet sorghum impedes the production of refined sugar, *Sorghum bicolor* is primarily suggested as a source for ethanol production. Jerusalem artichoke and root chicory contain polyfructans which are particularly suited to produce high fructose syrup for food industry or fructose as a feedstock for fructan chemistry. Sweet sorghum, Jerusalem artichoke and root chicory can attain the yield level of sugar beets. Research on crop production and breeding will improve the competitiveness of these species towards sugar beet.

Literatur

- Anonym, 1990: Bericht des Bundes und der Länder über Nachwachsende Rohstoffe. - 2. Auflage, Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster-Hiltrup.
- Barloy, J., 1989: Amelioration genetique et experimentation multilocale sur la productivite du topinambour. - Rapport final. DGXII F4 - Division biomasse Commission de Communautes Europeennes. INRA ENSA, Rennes, France.
- Bramm, A., 1986: Chancen für Topinambur als Industriepflanze. - Lohnunternehmen 8/86, S. 460-462.
- Bramm, A., 1992: Nachwachsende Rohstoffe - eine Chance für die Landwirtschaft? - BL-Journal 2 (1992) 3, S. 67-72.
- Dambroth, M., 1982: Beta-Rüben - ein nachwachsender Rohstoff für die Ethanol- und Chemiegrundstoff-Gewinnung. - Zuckerindustrie 107 (1982), S. 125-130.
- El-Bassam, N.; Dambroth, M. und Rühl, G., 1987: Die Zuckerhirse - eine neue Rohstoffbasis für die Zuckerindustrie. - Landbauforschung Völkenrode 37 (4), S. 201-206.
- Frese, L.; Schittenhelm, S. und Dambroth, M., 1987: Entwicklung von Basispopulationen bei Wurzel- und Knollenfrüchten zur Erzeugung von Zucker und Stärke als Industriegrundstoffe. - Landbauforschung Völkenrode, 37. Jahrg. (1987), Heft 4, S. 213-218.
- Frese, L., Dambroth, M. und Bramm, A., 1991: Breeding Potential of Root Chicory (*Cichorium intybus* L. var. *sativum*). - Plant Breeding 106 (1991), S. 107-113.
- Fuchs, A., 1987: Potentials for non-food utilization of fructose and inulin. - Stärke 39 (10), S. 335-343.
- Heirwegh, K.M.G.; Banerjee, N.; Nerum, K. van und de Langhe, E., 1985: Somatic embryogenesis and plant regeneration in *Cichorium intybus* L. (witloof Compositae). - Plant Cell Rep. 4, S. 108-111.
- Höppner, F., 1991: Fruktanspeicherung in Sproß- und Knolle von Topinambur (*Helianthus tuberosus* L.) sowie Einfluß der Wasserversorgung auf Wachstum und Ertrag. - Dissertation JustusLiebig-Universität Gießen.
- Klaushofer, H., 1986: Biotechnology of fructan containing plants, possibilities and problems with high fructose sirup from topinambur. - Ernährung 10 (1), S. 15-20.
- Koch, K., 1990: Einfluß der Düngung auf Entwicklung, Ertrag und Inhaltsstoffe von Topinambur (*Helianthus tuberosus* L.). - Zuckerind. 115, S. 781-784.
- Meijer, W.J.M. und Mathijssen, E.W.J.M., 1991: Inulinproduktion via aardpeer of cichorei? - In: Agrobiologische Thema's CABO-DLO. Deel 4: Gewasdiversificatie en Agrificatie. Edts. Meijer, W.J.M. and Vertregt, N., Wageningen, The Netherlands.
- Mix, Gunda, 1985: Regeneration von in vitro Pflanzen aus Blattrippensegmenten der Zichorie (*Cichorium intybus* L.). Landbauforschung Völkenrode, 35. Jahrg. (1985), Heft 2, S. 59-62.
- Nelson, C.J. und W.G. Spollen (1987): Fructans. - Physiologia Plantarum 71, S. 512-516.
- Rutherford, P.P. und Weston, E.E., 1986: Carbohydrate changes during cold storage of some inulin containing roots and tubers. - Phytochemistry 7, S. 175-180.
- Sah, R.N.; Geng, S.; Puri Y.P. und Rubatzky, V.E., 1987: Evaluation of four crops for nitrogen utilization and carbohydrate yield. - Fertilizer Research 13, S. 55-70.
- Thome, U. und Kühbauch, W., 1987: Alternativen für die Fruchtfolge? DLG-Mitteilungen 18, S. 978-981.
- Wurl, H., 1989: Pflanzenbauliche Versuche an Zichorie und Topinambur zur Erzeugung von Zuckerstoffen als Industriegrundstoffe. - Dissertation Justus-Liebig-Universität Gießen.

Verfasser: Frese, Lothar, Dr. hort., Institut für Pflanzenbau der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode (FAL), Leiter: Prof. Dr. agr. Manfred Dambroth.