

Zuckergehalte in Wintergerste und Mais

1. Mitteilung: Veränderungen im Verlauf der Vegetationsphase

ELISABETH OLDENBURG und WOLFGANG LAWS

Institut für Grünland- und Futterpflanzenforschung

1 Einleitung

Die Silagebereitung aus Futterpflanzen beruht auf einer Milchsäurebildung unter Luftabschluß. Stoffliche Umsetzungen pflanzeneigener Zucker durch Milchsäurebakterien (Lactobakterien) führen dabei zur Anreicherung von organischen Säuren, hauptsächlich Milchsäure, und zu einem stabilisierenden Abfall des pH-Wertes. Die Schnelligkeit und Intensität der Gärung sind u.a. abhängig von Konzentration und Art der Zucker im Erntegut. Diese beeinflussen die im Futter stattfindenden chemischen Veränderungen sowie Umschichtungen der Silageflora, und damit die Haltbarkeit während der Lagerzeit und die aerobe Stabilität in der Zeit der Auslagerung (Woolford, 1984; Honig, 1991).

Die Produktion von Getreidesilagen aus Ganzpflanzen oder Ährenschröt könnte aufgrund der EG-Agrarreform größere Bedeutung erlangen als bisher.

Kenntnisse über Anreicherungen bzw. Umwandlungen von pflanzlichen Zuckereinhaltsstoffen während des Reifeprozesses auf dem Feld könnten Hinweise auf günstige Erntezeitpunkte bzw. den Silierenerfolg derartiger Ernteprodukte geben. Untersuchungen über die Zuckergehalte in Getreide vor Erreichen der Druschreife liegen jedoch kaum vor (LaBerge et al., 1973; Cerning-Beroard und Guilbot, 1975).

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, am Beispiel von Wintergerste Kenntnisse über die Veränderungen von Zuckereinhaltsstoffen im Verlauf der Vegetationsphase zu gewinnen, die eine bessere Schätzung der Siliereignung der Ganzpflanzen bzw. der Ähren ermöglichen. Zum Vergleich wurden die Zuckergehalte von Mais, dessen gute Silierfähigkeit bekannt ist, während verschiedener Reifestadien analysiert.

2 Material und Methoden

2.1 Probenmaterial

Im Laufe der Vegetationsphasen 1989 und 1990 wurden an drei Standorten in Niedersachsen und Schleswig-Holstein je ein Feldschlag mit Wintergerste und Mais untersucht (FAL-Standorte: Braunschweig-Völkenrode; Mariensee, Kreis Neustadt am Rübenberge; Trenthorst, Kreis Bad Oldesloe).

Die Parzellen hatten eine Größe von 0,5 ha und wurden in wöchentlichen bzw. 14-tägigen Abständen von der Blüte bis eine Woche vor Drusch- bzw. Siloreife beprobt. Die Wintergerste-Parzellen wurden an den Probenahmetermi- nen über die gesamte Fläche, ausgenommen Randstreifen, im Zickzackkurs abgegangen. Nach jeweils 10 Schritten erfolgte eine Probenahme von 10 Ganzpflanzen bzw. 20 Ähren. Der Mais wurde aus jeweils zwei willkürlich gewählten Reihen über eine Länge von 50 m an vier verschiedenen Stellen entnommen (fünf aufeinanderfolgende Kolben bzw. Ganzpflanzen mit einer Reststoppellänge von 10-15 cm).

2.2 Analysenmethoden

2.2.1 Bestimmung der Trockenmasse

Die Trockenmasse wurde gravimetrisch nach Erhitzung des frischen Probenmaterials auf 105°C (48 Stunden) ermittelt.

2.2.2 Bestimmung von Mono- und Disacchariden mittels Hochdruckflüssigkeitschromatographie (HPLC)

Probenvorbereitung:

Frisches Probenmaterial wurde auf eine theoretische Schnittlänge von 5 mm gehäckselt, 24 Stunden gefriergetrocknet und anschließend auf 1 mm Siebdurchgang (Rundlochsieb) vermahlen.

Extraktion:

Vier Gramm des gefriergetrockneten und vermahlenden Materials wurden auf 1 mg genau in einen 100 ml Meißkolben eingewogen und mit 50 ml Ethanol (80 %, vergällt) eine Stunde bei 75°C im Schüttelwasserbad extrahiert. Nach Abkühlung auf 20°C wurde mit Ethanol (80 %, vergällt) bis zur Marke aufgefüllt, homogenisiert und durch ein Faltenfilter filtriert. Ein Teil des Filtrates (ca. 3 ml) wurde durch ein Einmal-Membranfilter (0,45 µm Porendurchmesser) in eine Autosamplerflasche filtriert und mittels HPLC analysiert.

HPLC-Bedingungen:

Gerät:	HPLC-System 450 mit Pulsationsdämpfer, Fa. Kontron Instruments
Trennsäule:	NH ₂ -modifiziertes Kieselgel (Hypersil APS), Partikeldurchmesser 5 µm, Länge 250 mm, Fa. Kontron Instruments
Säulenofen:	Temperatur 35°C
Eluent:	Acetonitril (p.a.)/Wasser (bidestilliert): 75/25 (V/V), eine Stunde mit Helium entgast
Durchflußrate:	1,5 ml/min
Druck:	60 - 100 bar
Injektionsvolumen:	20 µl
Analysenlaufzeit:	8 min
Detektion:	RI-Detektor, optische Bank auf 35° C thermostatisiert.
Standards:	2, 10, 20 % Glucose, Fructose und Saccharose
Auswertung:	Lineare Regression
Datensystem:	Kontron MT 450

3 Ergebnisse

Die im Versuchsjahr 1989 nachgewiesenen Gehalte an Glucose, Fructose und Saccharose in Ganzpflanzen- und Ährenproben von Wintergerste der Standorte Völknerode, Mariensee und Trenthorst sind in der Abbildung 1 dargestellt. Als Gesamtzucker werden die Summen Glucose, Fructose und Saccharose bezeichnet.

Im Vegetationsverlauf von acht bis einer Woche vor der Druschreife nahm der Gesamtzucker in den Ganzpflanzen an allen drei Standorten kontinuierlich von ca. 14-15 % auf ca. 2-3 % bezogen auf die Trockenmasse ab. Die Gehalte an Glucose und Fructose bzw. Saccharose veränderten sich während dieses Zeitraums unterschiedlich, jedoch meist gegenläufig. Vor Erreichen der Druschreife waren meist Glucose und Fructose vorherrschend. Die Ähren enthielten bei der letzten Beprobung nur noch 0,8-1,1 % Gesamtzucker in der TM, der ausschließlich als Saccharose vorlag.

In früheren Untersuchungen wurden in reifenden Gerstenkörnern ähnliche Zuckerkonzentrationen und Einzelzucker nachgewiesen (Cerning-Beroard und Guilbot, 1975; LaBerge et al., 1973).

Die Ergebnisse des Versuchsjahres 1990 zeigten, daß die Gesamt- und Einzelzuckergehalte in den Ganzpflanzen im letzten Monat vor der Druschreife fast ausschließlich vom Ährenanteil stammten (Abbildung 2). Eine Woche vor der Ernte waren die Gesamtzuckergehalte in den Ganzpflanzen und Ähren nahezu identisch und lagen bei 0,6-1,5 % der TM. Hauptkomponente war in allen Fällen die Saccharose, während Glucose nur noch in sehr geringen Mengen und Fructose nicht mehr vorhanden war.

Im Vergleich beider Versuchsjahre fällt auf, daß der Gesamtzucker der Ganzpflanzen 1989 an allen Standorten erst zwei bis drei Wochen vor der Druschreife auf Werte unterhalb von 5 % in der TM absank, während dies 1990 bereits vier bis fünf Wochen vor der Ernte zu beobachten war.

Die Zuckerkonzentrationen in Ganzpflanzen und Kolben von Silomais des Versuchsjahres 1989 sind in der Abbildung 3 dargestellt.

Nach Erreichen maximaler Werte von 23-28 % in der TM sanken die Gesamtzuckergehalte in den Ganzpflanzen bis eine Woche vor Siloreife auf 7-8 % der TM ab. Der Hauptanteil des zum Erntezeitpunkt vorliegenden Zuckers in den Ganzpflanzen stammte aus den Kolben, deren Endzuckergehalte zwischen 4-5,5 % in der TM variierten. Hauptbestandteil des Gesamt-Zuckers im Kolben war an zwei Standorten Saccharose, während am dritten Standort hauptsächlich Glucose und Fructose vorlagen.

Im Versuchsjahr 1990 war Saccharose ab der sechsten Woche vor der Siloreife ausnahmslos Hauptbestandteil des Gesamtzuckers in Ganzpflanzen und Kolben (Abbildung 4). Eine Dominanz der Saccharose im Spektrum der wasserlöslichen Kohlenhydrate des Mais (Silomais, Maiskörner) wurden auch von Cerning-Beroard und Guilbot, 1975, McAllan und Phipps, 1977, sowie Phipps et al., 1984, beschrieben.

Die Zuckergehalte bei Siloreife lagen an den Standorten Mariensee und Trenthorst bei 8-9 % in der TM (Ganzpflanze) bzw. 5-8 % in der TM (Kolben). Am Standort Völknerode wurden im Kolben mit maximal 8,5 % ähnliche Werte gefunden, jedoch in der Ganzpflanze weit höhere Werte bis 15 % in

der TM. Erhebliche Zuckermengen waren daher noch im Stengel bzw. den Blättern des Mais vorhanden.

4 Diskussion

Wichtige Voraussetzung für einen günstigen Silierverlauf resp. eine hohe Säurebildungs-Aktivität der Laktobakterien ist das Vorhandensein vergärbare Kohlenhydrate (Hexosen, Pentosen) zu einem Anteil von mindestens 2-3 % in der Futter-Frischmasse (Zimmer, 1987). Die Zuckergehalte sollten jedoch Werte über 10 % bezogen auf die Frischmasse nicht überschreiten, da dabei die Gefahr einer Verschiebung der Gärungsprodukte in Richtung des unerwünschten Ethanol besteht. Neben der Konzentration der Zucker ist auch deren Zusammensetzung für einen erfolgreichen Gärverlauf von Bedeutung. Die meisten Laktobakterien können Hexosen vergären, mit Präferenz Glucose und Fructose. Die Nutzung von Pentosen und Disacchariden hängt dagegen von artspezifischen Fähigkeiten ab. Die wichtigsten in Silage vorkommenden und auch erwünschten Milchsäurebakterien wie z.B. *Lactobacillus plantarum* und *Lactobacillus casei* sind jedoch in der Lage, auch Saccharose zu vergären (Pahlow und Honig, 1986; Kandler und Weiss, 1986).

Die in Wintergerste und Mais nachgewiesenen Zucker Glucose, Fructose und Saccharose können daher von silagespezifischen Laktobakterien problemlos verwertet werden. In den untersuchten Proben waren z.T. Spuren von nicht identifizierten Pentosen (hauptsächlich bei Wintergerste) bzw. Disacchariden (hauptsächlich beim Mais) vorhanden, die in keinem Fall im Hinblick auf einen Siliererfolg von Bedeutung waren. In Übereinstimmung mit anderen Autoren liegen weitere Zucker wie z.B. Maltose, Galactose, Arabinose oder Xylose im Pflanzenmaterial überwiegend in Polysacchariden (Stärke, Hemicellulose) gebunden vor und werden erst nach hydrolytischer Behandlung der Proben in größeren Mengen freigesetzt (McAllan und Phipps, 1977; Livingston et al., 1989).

Die Gesamtzuckergehalte lagen zum Erntezeitpunkt sowohl bei der Wintergerste als auch überwiegend beim Mais an allen Standorten und in beiden Versuchsjahren bei ähnlichen Werten. Unterschiede im Zuckergehalt und der Zuckerzusammensetzung während der Vegetationsphase können sowohl auf standortklimatischen als auch sortenspezifischen Einflüssen beruhen.

Bezüglich der nachgewiesenen Zuckergehalte könnten bei einer Silierung von Wintergerste die Konzentrationen für einen optimalen Gärverlauf unterschritten werden. Für eine Nutzung als Ganzpflanzensilage bzw. Ährenschat wird in der Regel ca. 3-4 Wochen vor der Druschreife geerntet. Im Versuchsjahr 1990 waren an allen untersuchten Standorten schon ab ca. 5 Wochen vor der Ernte nur noch Zuckerkonzentrationen <1,5 % umgerechnet auf die Frischmasse in Ganzpflanzen bzw. Ähren vorhanden. Wintergerste benötigt zwar aufgrund ihrer geringeren Pufferkapazität weniger vergärbare Kohlenhydrate, eine pH-Wert-Absenkung in den Bereich von 4,0 zur Gewährleistung der Lagerstabilität erscheint bei diesen Zuckergehalten jedoch unsicher.

Im Silomais (Ganzpflanze und Kolben) waren dagegen während beider Versuchsjahre an den drei untersuchten Standorten bis eine Woche vor Siloreife Zuckerwerte stets >2 % bezogen auf die Frischmasse nachweisbar. Im Hinblick auf eine Silierung könnten fallweise durch zu hohe Zuckergehalte unerwünschte Gärungsprodukte (z.B. Ethanol) auftreten. Die gute Silierfähigkeit des Mais wird jedoch aufgrund der meist optimalen Zuckergehalte bestätigt.

Abbildung 1: Zuckergehalt in Wintergerste 1989

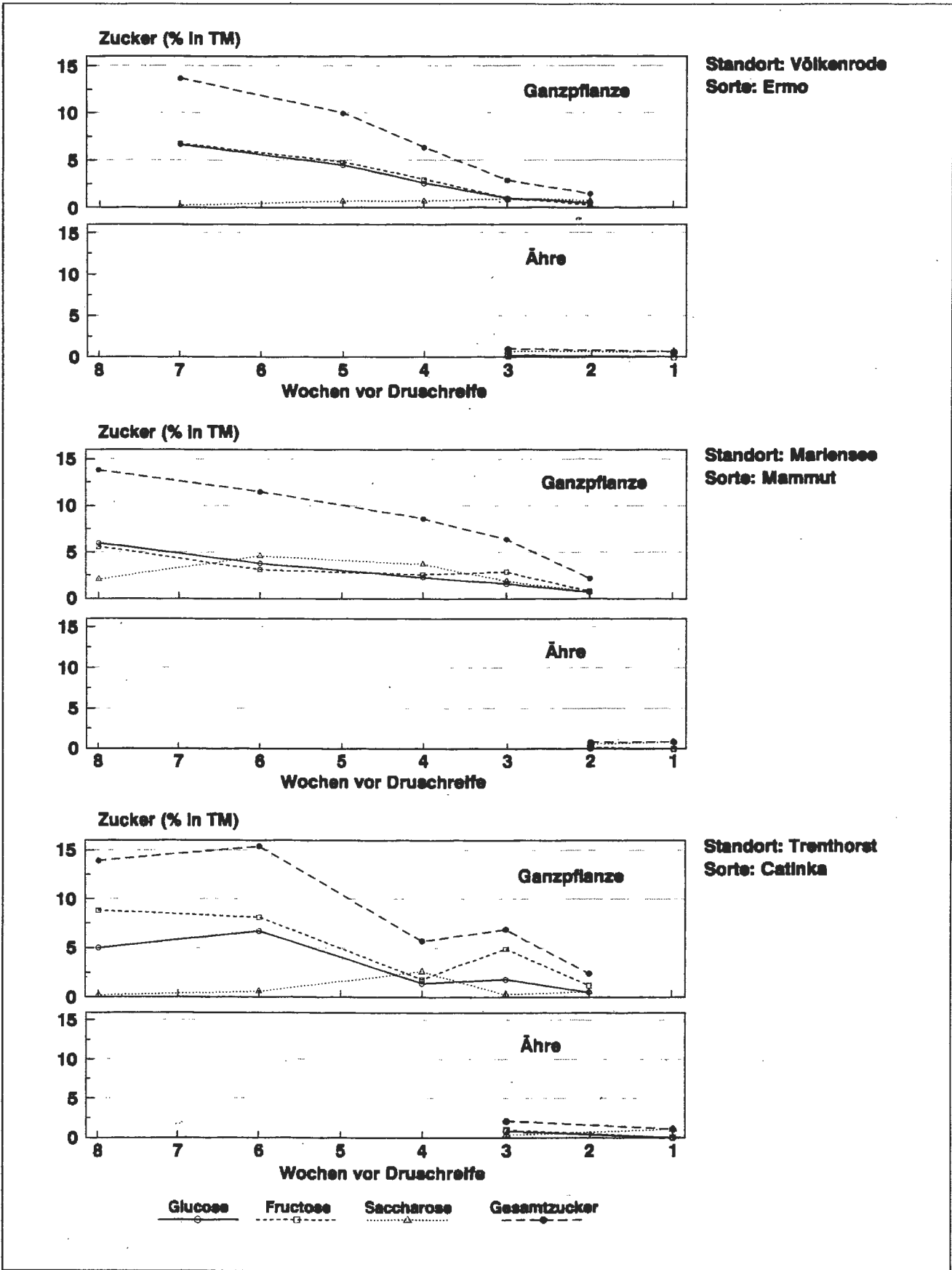


Abbildung 2: Zuckergehalt in Mais 1989

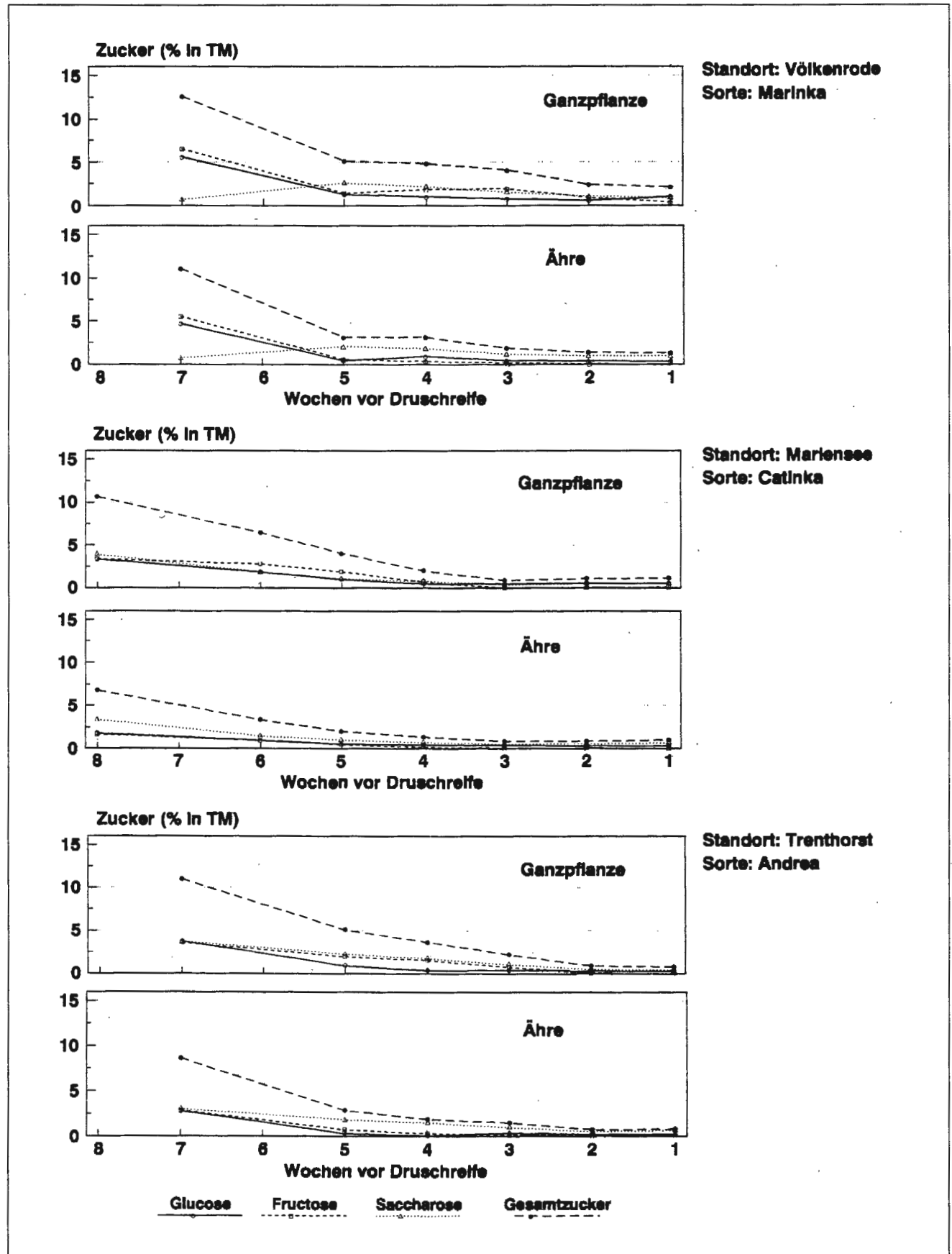


Abbildung 3: Zuckergehalt in Mais 1989

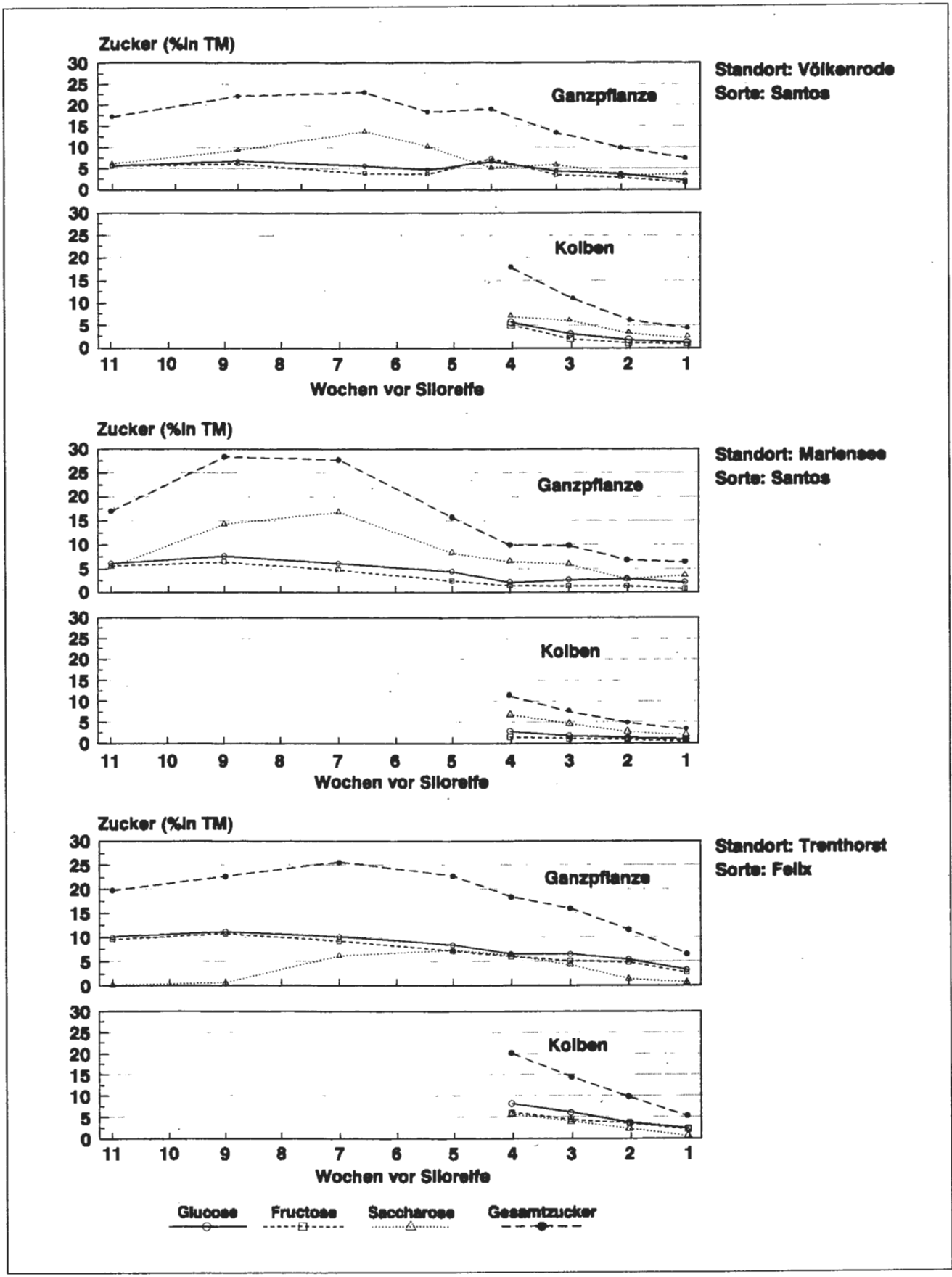
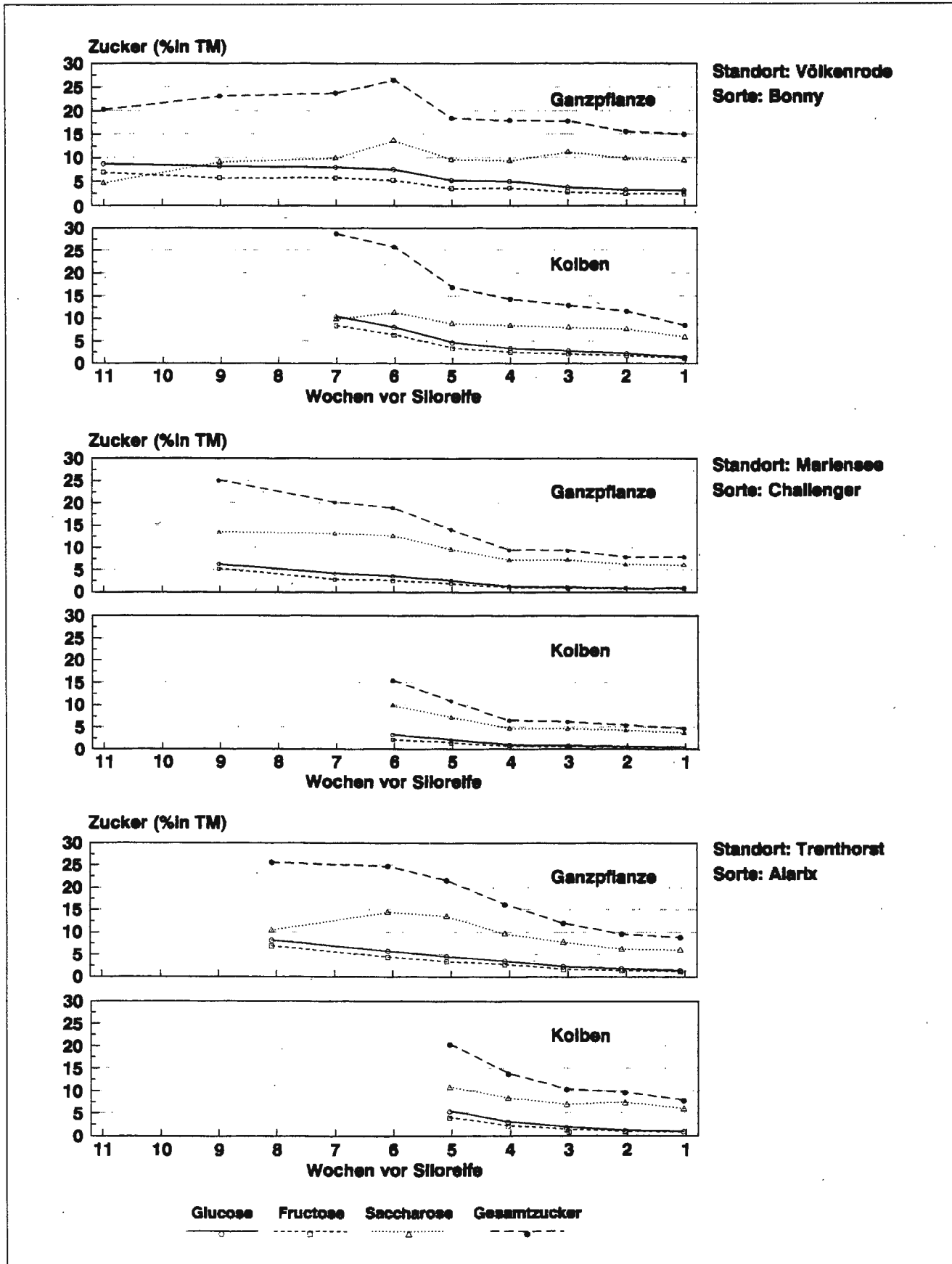


Abbildung 4: Zuckergehalt in Mais 1990



5 Zusammenfassung

In Wintergerste und Silomais (Ganzpflanzen, Ähren bzw. Kolben) wurden Gehalte von Glucose, Fructose und Saccharose in Abhängigkeit von der Vegetationsphase an drei Standorten in Norddeutschland über zwei Versuchsjahre (1989 und 1990) bestimmt. Während des Zeitraums Blüte bis zur Ernte nahmen die Zuckergehalte insgesamt stark ab, die Einzelkomponenten Glucose, Fructose und Saccharose veränderten sich dabei unterschiedlich. Die in der Wintergerste nachgewiesenen Zuckergehalte lagen ca. einen Monat vor der Druschreife versuchsjahrbedingt zum Teil unter 1,5 % bezogen auf die Frischmasse, sodaß eine Silierung der Ganzpflanzen möglicherweise ungünstig verläuft. Zum Zeitpunkt der Siloreife wurden dagegen beim Silomais in beiden Versuchsjahren stets Zuckerkonzentrationen von über 2 % bezogen auf die Frischmasse nachgewiesen, die eine optimale Einsilierung gewährleisten.

Sugar contents in winter barley and maize

First communication: Variation in the course of culture period

In the years of 1989 and 1990 growing winter barley and maize (whole crops and ears or cobs, respectively) deriving from different locations of northern Germany were analysed for contents of glucose, fructose and sucrose. Total sugar concentration decreased largely during the period of flowering until harvest, whereas the mono- and disaccharides varied in different manner.

About four weeks before threshing the total sugar content of whole crops and ears of winter barley decreased partly below 1,5 % of fresh matter, thus probably leading to reduced quality of produced silages. At the moment of harvest the whole maize plants and cobs always contained more than 2 % total sugar in the fresh matter which is optimal for silage making.

Danksagung

Wir danken Frau Regina Gartung und Herrn Dirk Hillegeist für die ausgezeichnete technische Assistenz bei der Durchführung dieser Untersuchungen.

Literatur

Cerning-Beroard, J., Guilbot, A. (1975): Evolution de la composition glucidique des grains de céréales au cours de leur maturation: mais, blé, orge. - *Ann. Technol. agric.* 24 (2), S. 143-170.

Honig, H. (1991): Reducing losses during storage and unloading of silage. - *Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft* 123, S. 119-128.

Kandler, O., Weiss, N. (1986): Regular, nonsporulating gram-positive rods. - In: *Bergey's manual of Systematic Bacteriology Volume 2*, Sneath, P.H.A., Mair, N.S., Sharpe, M.E., Holt, J.G. (eds.), S. 1208-1234.

LaBerge, D.E., MacGregor, A.W., Meredith, W.O.S. (1973): Changes in the free sugar content of barley kernels during maturation. - *Journal of the Institute of Brewing* 79 (6), S. 471-477.

Livingston, D.P., Olien, C.R., Freed, R.D. (1989): Sugar composition and freezing tolerance in barley crowns at varying carbohydrate levels. - *Crop Science* 29, S. 1266-1270.

McAllan, A.B., Phipps, R.H. (1977): The effect of sample date and plant density on the carbohydrate content of forage maize and the changes that occur on ensiling. - *J. agric. Sci., Camb.* 89, S. 589-597.

Pahlow, G., Honig, H. (1986): Wirkungsweise und Einsatzgrenzen von Silage-Impfkulturen aus Milchsäure-Bakterien, 1. Mitteilung. - *Das Wirtschaftseigene Futter* 32 (1), S. 20-35.

Phipps, R.H., McAllan, A.B., Weeler, R.F. (1984): The development of plant components in isogenic sterile and fertile forage maize and their effects on carbohydrate composition, nutritive value, in vivo digestibility values and animal performance with fresh and ensiled crops. - *Journal of Agricultural Science* 102 (2), S. 443-453.

Woolford, M.K. (1984): Factors affecting silage in and out of the silo. - In: *The Silage Fermentation*, Woolford, M.K. (ed.), Marcel Dekker, Inc., S. 133-163.

Zimmer, E. (1987): Futterwerbung und Futterkonservierung. - In: *Voigtländer, G., Jakob, H. (Hrsg.), Verlag Eugen Ulmer*, S. 387-430.

Verfasser: Oldenburg, Elisabeth, Dr.-Ing.; Laws, Wolfgang, Dipl.-Ing., Institut für Grünland- und Futterpflanzenforschung der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode (FAL), Leiter: Professor Dr. habil. Friedrich Weißbach.