

Aus dem
Institut für Zuckerrübenforschung
Göttingen

Christine Kenter

**Ertragsbildung von Zuckerrüben
in Abhängigkeit von der Witterung**

17 / 2003



Cuvillier Verlag Göttingen

**Ertragsbildung von Zuckerrüben
in Abhängigkeit von der Witterung**

Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades
der Fakultät für Agrarwissenschaften
der Georg-August-Universität Göttingen

vorgelegt von

Christine Kenter

geboren in Warburg

Göttingen, im Juli 2003

Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

1. Aufl. - Göttingen : Cuvillier, 2003
Zugl.: Göttingen, Univ., Diss., 2003
ISBN 3-89873-903-1

D7

Referent:	Prof. Dr. B. Märländer
Korreferentin:	Prof. Dr. E. Pawelzik
Tag der mündlichen Prüfung:	17. Juli 2003

© CUVILLIER VERLAG, Göttingen 2003
Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen
Telefon: 0551-54724-0
Telefax: 0551-54724-21
www.cuvillier.de

Alle Rechte vorbehalten. Ohne ausdrückliche Genehmigung des Verlages ist es nicht gestattet, das Buch oder Teile daraus auf fotomechanischem Weg (Fotokopie, Mikrokopie) zu vervielfältigen.

1. Auflage, 2003
Gedruckt auf säurefreiem Papier

ISBN 3-89873-903-1

Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis der Abkürzungen	III
Verzeichnis der Abbildungen	IV
Verzeichnis der Tabellen	VI
1. Einleitung	1
2. Material und Methoden	4
2.1 Feldversuche und Probenaufbereitung	4
2.1.1 Versuchsstandorte	4
2.1.2 Versuchsanlagen	6
2.1.3 Pflanzenbauliche Maßnahmen	7
2.1.4 Ernte und Probenaufbereitung	8
2.2 Qualitätsanalyse und Qualitätsbewertung	9
2.3 Wachstumsanalyse	10
2.4 Statistische Auswertung	12
3. Ergebnisse	13
3.1 Entwicklung von Rüben- und Blattertrag und Blattflächenindex im Verlauf der Vegetationsperiode	13
3.2 Einfluss der Witterung auf die Ertragsbildung der Zuckerrübe	15
3.2.1 Temperatur	15
3.2.2 Einstrahlung	19
3.2.3 Niederschlag	21
3.3 Einfluss der Blattfläche auf die Trockenmassebildung der Zuckerrübe	25
3.4 Technische Qualität der Zuckerrübe im Verlauf der Vegetationsperiode	27
3.4.1 Saccharosegehalt	27
3.4.2 Melassebildner	28
3.5 Zuckerertrag und Bereinigter Zuckerertrag	30
3.5.1 Entwicklung im Verlauf der Vegetationsperiode	30
3.5.2 Einfluss von Witterung und Blattfläche auf den Bereinigten Zuckerertrag	31

4.	Diskussion	34
4.1	Zielsetzung und methodischer Ansatz	34
4.2	Ertragsentwicklung im Verlauf der Vegetationsperiode	37
4.3	Einfluss der Witterung auf die Ertragsbildung der Zuckerrübe	39
4.3.1	Temperatur	39
4.3.2	Einstrahlung	42
4.3.3	Niederschlag	43
4.4	Einfluss der Blattfläche auf die Trockenmassebildung der Zuckerrübe	47
4.5	Technische Qualität im Verlauf der Vegetationsperiode	49
4.5.1	Saccharosegehalt	49
4.5.2	Melassebildner	52
4.6	Bereinigter Zuckerertrag	55
4.7	Ausblick	58
5.	Zusammenfassung	60
6.	Literaturverzeichnis	63
7.	Anhang	74

Verzeichnis der Abkürzungen

% a.R.	prozentualer Anteil an der Rübenfrischmasse
Amino-N	α -Amino-Stickstoff
BFI	Blattflächenindex
$\bar{\emptyset}$ BFI	mittlerer Blattflächenindex
BZE	Bereinigter Zuckerertrag
$^{\circ}\text{Cd}$	Gradtage
CGR	Wachstumsrate (crop growth rate)
FM	Frischmasse
mB	mit Berechnung
n.b.	nicht bestimmt
nFKWe	nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes
ns	nicht signifikant
r	Korrelationskoeffizient
r^2	Bestimmtheitsmaß
RE	Rübenertrag
SMV	Standardmelasseverlust
t	Zeit
TM	Trockenmasse
w'	Stoffmenge eines Bestandteils bezogen auf die Gesamtmasse
Wpfl	pflanzenverfügbares Bodenwasser
ZE	Zuckerertrag
ZG	Zuckergehalt

Verzeichnis der Abbildungen

Abb. 1:	Geographische Lage der Versuchsstandorte	4
Abb. 2:	Entwicklung des Rübenenertrages (Frischmasse, FM) von Zuckerrüben an verschiedenen Standorten im Verlauf der Vegetationsperiode 2000 und 2001	13
Abb. 3:	Entwicklung der Frisch- und Trockenmasse von Rübe und Blatt von Zuckerrüben im Verlauf der Vegetationsperiode; 13 Umwelten 2000 und 14 Umwelten 2001	14
Abb. 4:	Entwicklung des Rübe-Blattverhältnisses sowie des Blattflächenindex von Zuckerrüben im Verlauf der Vegetationsperiode; 13 Umwelten 2000 und 14 Umwelten 2001	15
Abb. 5:	Entwicklung der Trockenmasse von Blatt und Rübe von Zuckerrüben in Abhängigkeit von der Temperatursumme 0 – 90 und 91 – 200 Tage nach Aussaat; 13 Umwelten 2000 und 14 Umwelten 2001	16
Abb. 6:	Wachstumsrate der Blatttrockenmasse von Zuckerrüben in Abhängigkeit von der mittleren Tagestemperatur 0 – 90 und 91 – 200 Tage nach der Aussaat; 13 Umwelten 2000 und 14 Umwelten 2001	18
Abb. 7:	Wachstumsrate der Rübentrockenmasse von Zuckerrüben in Abhängigkeit von der mittleren Tagestemperatur 0 – 90 und 91 – 200 Tage nach der Aussaat; 13 Umwelten 2000 und 14 Umwelten 2001	18
Abb. 8:	Wachstumsrate der Rübentrockenmasse von Zuckerrüben in Abhängigkeit von der Globalstrahlung 146 – 175 und 176 – 200 Tage nach der Aussaat; 13 Umwelten 2000 und 14 Umwelten 2001 (146 – 175 Tage) bzw. 12 Umwelten 2000 und 11 Umwelten 2001 (176 – 200 Tage)	20
Abb. 9:	Wachstumsrate der Trockenmasse von Blatt und Rübe von Zuckerrüben mit und ohne Beregnung im Verlauf der Vegetationsperiode sowie Summen von Niederschlag und Beregnung zwischen zwei Ernteterminen; Heuchelheim 2001	22
Abb. 10:	Beziehung zwischen Wasserangebot aus Niederschlag und Beregnung innerhalb von 14 Tagen und Wachstumsrate von Blatt- bzw. Rübentrockenmasse von Zuckerrüben im gleichen Zeitraum (88 – 158 Tage nach Aussaat); Heuchelheim 2001	24
Abb. 11:	Beziehung zwischen Wasserangebot aus Niederschlag und Beregnung innerhalb von 14 Tagen und Wachstumsrate von Blatt- bzw. Rübentrockenmasse von Zuckerrüben im Zeitabschnitt 14 Tage später (88 – 172 Tage nach Aussaat); Heuchelheim 2001	24
Abb. 12:	Wachstumsrate der Rübentrockenmasse von Zuckerrüben in Abhängigkeit vom mittleren Blattflächenindex 0 – 145 und 146 – 200 Tage nach der Aussaat; 13 Umwelten 2000 und 14 Umwelten 2001	26

Abb. 13:	Entwicklung des Saccharosegehaltes in der Frisch- und Trockenmasse von Zuckerrüben im Verlauf der Vegetationsperiode; 13 Umwelten 2000 und 14 Umwelten 2001	28
Abb. 14:	Entwicklung der Gehalte an Kalium und Natrium in der Frischmasse von Zuckerrüben im Verlauf der Vegetationsperiode; 13 Umwelten 2000 und 14 Umwelten 2001	29
Abb. 15:	Entwicklung des α -Amino-Stickstoff-Gehaltes in der Frischmasse von Zuckerrüben sowie des Standardmelasseverlustes (SMV) im Verlauf der Vegetationsperiode; 13 Umwelten 2000 und 14 Umwelten 2001	30
Abb. 16:	Entwicklung des Zuckerertrages und des Bereinigten Zuckerertrages von Zuckerrüben im Verlauf der Vegetationsperiode; 13 Umwelten 2000 und 14 Umwelten 2001	31
Abb. 17:	Einfluss der Beregnung auf die Entwicklung des Saccharosegehaltes in der Trockenmasse von Zuckerrüben im Verlauf der Vegetationsperiode; Wörbzig 2000 und Heuchelheim 2001	51
Abb. 18:	Einfluss der mittleren Tagestemperatur 90 – 120 (a) und 121 – 145 (b) Tage nach der Aussaat auf den Bereinigten Zuckerertrag (BZE) von Zuckerrüben 200 Tage nach der Aussaat; 12 Umwelten 2000 und 11 Umwelten 2001	56

Verzeichnis der Tabellen

Tab. 1:	Beschreibende Kenngrößen der Versuchsstandorte	5
Tab. 2:	In der Wachstumsanalyse verwendete Parameter (WATSON 1958, HUNT 1990)	11
Tab. 3:	Beziehung zwischen Temperatursumme und Frisch- (FM) und Trockenmasse (TM) von Blatt und Rübe sowie Blattflächenindex von Zuckerrüben 0 – 90 und 91 – 200 Tage nach Aussaat; 13 Umwelten 2000 und 14 Umwelten 2001	16
Tab. 4:	Beziehung zwischen mittlerer Tagestemperatur und Wachstumsrate von Blatt- bzw. Rübentrockenmasse von Zuckerrüben im Verlauf der Vegetationsperiode; 13 Umwelten 2000 und 14 Umwelten 2001	17
Tab. 5:	Beziehung zwischen mittlerer täglicher Globalstrahlung und Wachstumsrate von Blatt- bzw. Rübentrockenmasse von Zuckerrüben im Verlauf der Vegetationsperiode; 13 Umwelten 2000 und 14 Umwelten 2001	19
Tab. 6:	Beziehung zwischen mittlerer täglicher Niederschlagshöhe und Wachstumsrate von Blatt- bzw. Rübentrockenmasse von Zuckerrüben im Verlauf der Vegetationsperiode; 13 Umwelten 2000 und 14 Umwelten 2001	21
Tab. 7:	Beziehung zwischen mittlerer täglicher Niederschlagshöhe inklusive Beregnung im Zeitabschnitt 88 – 158 Tage nach Aussaat und Wachstumsrate von Blatt- bzw. Rübentrockenmasse von Zuckerrüben im selben Zeitraum sowie bei Verschiebung um 14, 28 und 42 Tage; Heuchelheim 2001	25
Tab. 8:	Beziehung zwischen mittlerem Blattflächenindex und Wachstumsrate von Blatt- bzw. Rübentrockenmasse von Zuckerrüben im Verlauf der Vegetationsperiode; 13 Umwelten 2000 und 14 Umwelten 2001	26
Tab. 9:	Beziehung zwischen dem Bereinigten Zuckerertrag von Zuckerrüben etwa 175 Tage nach der Aussaat und mittlerer Tagestemperatur, täglicher Globalstrahlung, Niederschlagshöhe sowie mittlerem Blattflächenindex in verschiedenen Abschnitten der Vegetationsperiode; 13 Umwelten 2000 und 14 Umwelten 2001	32

1. Einleitung

Der Ertragsbildung von Pflanzenbeständen sind durch das genetisch festgelegte Leistungspotential der angebauten Kultur sowie durch Boden und Witterung natürliche Grenzen gesetzt, die das Maß der Produktivität eines Standortes definieren (VON BOGUSLAWSKI 1973). Pflanzenbauliche Maßnahmen können die Voraussetzungen für das Pflanzenwachstum innerhalb dieser Grenzen verbessern, indem beispielsweise Bodenstruktur und Nährstoffangebot durch eine standortangepasste Bodenbearbeitung und Düngung optimiert werden. Nicht beeinflusst werden kann dagegen die Witterung. Temperatur und Licht können weder vermehrt noch gespeichert werden, und die Möglichkeit der Feldberegnung ist nicht an allen Standorten gegeben. Um hohe Erträge zu erzielen, muss daher die Ausnutzung dieser Wachstumsfaktoren durch pflanzenbauliche Maßnahmen maximiert werden (BAEUMER 1992). Zwischen Standort- und Witterungsfaktoren bestehen zahlreiche Wechselwirkungen, so wird beispielsweise der Aussaattermin durch Temperatur, Niederschläge und Bodeneigenschaften bestimmt.

Kenntnisse über die Beziehungen zwischen Witterung und Ertragsbildung der Kulturpflanzen sind somit eine Voraussetzung für die Optimierung ertragssichernder bzw. -steigernder Maßnahmen. Darüber hinaus können sie zur Erstellung von Ertragsprognosen genutzt werden. Untersuchungen zu dieser Thematik liegen für die meisten Feldfrüchte vor (z. B. SCHERPNER 1948, PFAU 1964, HANUS & AIMILLER 1978, KOLBE 1994, CHMIELEWSKI & KÖHN 1999b, 2000) und haben auch bei Zuckerrüben in Deutschland bereits eine lange Tradition (z. B. RIMPAU 1902, KAMPE 1951, WEBER et al. 1966, STOCKFISCH et al. 2002).

Nicht zuletzt vor dem Hintergrund globaler Klimaveränderungen haben Studien zum Einfluss der Witterung auf die Ertragsbildung von Kulturpflanzen seit den 1990er Jahren zunehmendes Interesse gefunden. Ein Überblick findet sich bei REDDY und HODGES (2000), für Zuckerrüben bei THOMAS et al. (1994). Vor allem in Großbritannien wurden zahlreiche Untersuchungen zum Einfluss von Trockenheit auf die Ertragsbildung von Zuckerrüben durchgeführt (z. B. JAGGARD et al. 1998, CLOVER et al. 1999, SCOTT & JAGGARD 2000, OBER & LUTERBACHER 2002). PIDGEON et al. (2001) stellten Modellrechnungen durch Wassermangel bedingter Ertragsverluste bei Zuckerrüben im europäischen Maßstab vor.

Um den Einfluss von Temperatur, Einstrahlung und Wasserversorgung auf Wachstum und Entwicklung der Zuckerrübe zu quantifizieren, wurden in vorausgehenden Arbeiten unterschiedliche methodische Ansätze gewählt. Grundsätzlich kann zwischen Gewächshaus- oder Klimakammerversuchen (z. B. TERRY 1968, 1970, MILFORD et al. 1985a, ABDOLLAHIAN-NOGHABI & FROUD-WILLIAMS 1998) und Feldversuchen unterschieden werden. Im Freiland wurde entweder die Einstrahlung durch Beschattung (WATSON et al. 1972, GHANDORAH et al. 1988) oder die Wasserversorgung durch Beregnung gezielt variiert (z. B. DRAYCOTT & WEBB 1971, WINTER 1988, LANSFORD et al. 1989, GROVES & BAILEY 1997, SCHITTENHELM 1999) oder es wurden Dauerversuche angelegt, in denen Witterungsverlauf und Ertragsentwicklung teilweise über mehrere Jahrzehnte dokumentiert wurden (z. B. CHMIELEWSKI & KÖHN 1999a, FRECKLETON et al. 1999). Auch am Institut für Zuckerrübenforschung in Göttingen wurde von 1953 bis 1996 eine langjährige Versuchsreihe durchgeführt, anhand derer VON MÜLLER (1963, 1967), LÜDECKE und NITZSCHE (1966), BEIß und WINNER (1985) und STOCKFISCH et al. (2002) den Einfluss der Witterung auf die Ertragsbildung der Zuckerrübe beschrieben haben.

Da Ergebnisse aus Gewächshausversuchen nur bedingt auf das Freiland übertragen werden können und auch die Ergebnisse aus Feldversuchen streng genommen nur für den Standort gültig sind, an dem sie durchgeführt wurden (CHMIELEWSKI & POTTS 1995), ist es notwendig, Feldversuche an möglichst vielen unterschiedlichen Standorten anzulegen, um die Aussagekraft der Ergebnisse zu maximieren. Bislang wurde jedoch noch keine Versuchsreihe zum Einfluss der Witterung auf die Ertragsbildung von Zuckerrüben an einer hinreichend großen Standortauswahl durchgeführt, um als repräsentativ für die klimatischen Verhältnisse in der Bundesrepublik Deutschland zu gelten. Daher wurden in der vorliegenden Arbeit in zwei Versuchsjahren an elf Standorten in den verschiedenen Zuckerrübenanbauregionen Deutschlands insgesamt 27 Feldversuche durchgeführt, um den Einfluss von Temperatur, Einstrahlung und Niederschlag auf die Ertragsbildung der Zuckerrübe zu analysieren.

MÄRLÄNDER (1991) und WOLF (1995) zeigten in mehrjährigen Feldversuchen in verschiedenen Regionen Deutschlands, dass Unterschiede im Bereinigten Zuckrertrag, der Ertrag und Qualität der Zuckerrübe zusammenfasst, im Wesentlichen durch Standort und Jahr erklärt werden können. Weil anderen Faktoren wie Sorte,

Bestandesdichte oder Stickstoffdüngung demgegenüber eine vergleichsweise geringe Bedeutung zukommt (MÄRLÄNDER 1991, GLATTKOWSKI & MÄRLÄNDER 1994), wurden diese in der vorliegenden Arbeit nicht als eigenständige Faktoren gewertet, sondern als Standortkomponenten betrachtet (WINNER 1990). Der Jahreseffekt entspricht dem Einfluss der Witterung und kann mit dem Standort zu dem Faktor Umwelt zusammengefasst werden (WOLF & MÄRLÄNDER 1994).

Die Versuche wurden auf landwirtschaftlichen Praxisbetrieben durchgeführt, Bestellung, Aussaat und Bestandesführung erfolgten ortsüblich durch die Betriebsleiter. So wurden heterogene Umweltbedingungen erzielt, die repräsentativ für den Zuckerrübenanbau in der Bundesrepublik sein sollten. Im Vegetationsverlauf wurden an mindestens sechs Terminen Zwischenernten vorgenommen und der Frisch- und Trockenmasseertrag von Rübe und Blatt, der Blattflächenindex sowie die für die Rohstoffverarbeitung maßgeblichen Qualitätskriterien Saccharose-, Kalium-, Natrium- und α -Amino-Stickstoff-Gehalt der Rübe bestimmt.

Auf der Basis dieser Untersuchungen sollten folgende Versuchsfragen beantwortet werden:

- Welchen Einfluss haben Temperatur, Globalstrahlung und Niederschlag sowie der Blattflächenindex in verschiedenen Abschnitten der Vegetationsperiode auf das Wachstum und die Höhe des Bereinigten Zuckerertrages von Zuckerrüben?
- Wie entwickeln sich Ertrag und Qualität der Zuckerrübe im Vegetationsverlauf?

Darüber hinaus wurden an Standorten mit erwartungsgemäß hohem Defizit der klimatischen Wasserbilanz Versuche mit und ohne Beregnung durchgeführt, um den Einfluss einer limitierten Wasserversorgung auf Ertragsbildung und Qualitätsentwicklung der Zuckerrübe zu beschreiben.