

Aus dem
Institut für Zuckerrübenforschung
Göttingen

Sinje Kluge-Severin

**Wachstumsanalyse von Zuckerrüben bei
Aussaat im Herbst und im Frühjahr**

29 / 2009



Cuvillier Verlag Göttingen
Internationaler wissenschaftlicher Fachverlag

Wachstumsanalyse von Zuckerrüben bei Aussaat im Herbst und im Frühjahr

Dissertation

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

vorgelegt von

Sinje Kluge-Severin
geboren in Stadtoldendorf

Göttingen, im Mai 2009

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

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

1. Aufl. - Göttingen : Cuvillier, 2009

Zugl.: Göttingen, Univ. Diss., 2009

978-3-86955-237-8

D 7

1. Referentin: PD Dr. Christa Hoffmann

2. Korreferentin: Prof. Dr. E. Pawelzik

Tag der mündlichen Prüfung:

28. Mai 2009

© CUVILLIER VERLAG, Göttingen 2009

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, 2009

Gedruckt auf säurefreiem Papier

978-3-86955-237-8

Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis der Abkürzungen	III
Verzeichnis der Abbildungen	IV
Verzeichnis der Tabellen	VII
1 Einleitung	1
2 Material und Methoden	6
2.1 Feldversuche	6
2.2 Standorte, Anbaumaßnahmen und Witterung	7
2.3 Ernte und Probenaufbereitung	10
2.4 Pflanzenuntersuchungen	11
2.4.1 Feldaufgang	11
2.4.2 Blattflächenindex und Berechnung des Absorptionsgrades	11
2.4.3 Anzahl Kambiumringe	12
2.5 Analytik	12
2.5.1 Qualitätsbestimmende Inhaltsstoffe und Qualitätsbewertung	12
2.5.2 Mark	13
2.6 Wachstumsanalyse	13
2.7 Statistik	14
3 Ergebnisse	15
3.1 Einfluss einer Aussaat im Herbst bzw. im Frühjahr auf die physiologischen Wachstumsprozesse von Zuckerrüben im Vegetationsverlauf	15
3.1.1 Feldaufgang	15
3.1.2 Durchmesser der Rübe	17
3.1.3 Anzahl Kambiumringe	18
3.1.4 Abstand der Kambiumringe	20
3.1.5 Blatt- und Rübentrockenmasse	20
3.1.6 Rübe-Blattverhältnis	23
3.1.7 Wachstumsraten	24
3.2 Einfluss einer Aussaat im Herbst bzw. im Frühjahr auf die technische Qualität der Zuckerrübe im Vegetationsverlauf	26
3.2.1 Trockensubstanz-, Zucker- und Markgehalt der Rübe	26
3.2.2 Melassebildner	29

3.2.3	Standardmelasseverlust und Bereinigter Zuckerertrag	32
3.3	Einfluss einer Aussaat im Herbst bzw. im Frühjahr auf Blattflächenindex, Lichtabsorption und Trockenmassebildung	33
3.3.1	Optimaler Blattflächenindex	33
3.3.2	Blattflächenindex und Lichtabsorption	34
3.3.3	Lichtabsorption und Trockenmassebildung sowie theoretischer Ertrag von nicht schossenden Winterrüben	37
4	Diskussion	41
4.1	Zielsetzung	41
4.2	Methodischer Ansatz	41
4.3	Einfluss einer Aussaat im Herbst bzw. im Frühjahr auf die physiologischen Wachstumsprozesse von Zuckerrüben im Vegetationsverlauf	44
4.3.1	Feldaufgang	44
4.3.2	Durchmesser, Kambiumringbildung und Abstand zwischen den Ringen	46
4.3.3	Rüben- und Blattertrag sowie Rübe-Blattverhältnis und Wachstumsraten	48
4.4	Einfluss einer Aussaat im Herbst bzw. im Frühjahr auf die technische Qualität der Zuckerrübe im Vegetationsverlauf	51
4.4.1	Trockensubstanzgehalt sowie Mark- und Zuckergehalt der Rübe	52
4.4.2	Melassebildner, Standardmelasseverlust und Bereinigter Zuckerertrag	55
4.5	Einfluss einer Aussaat im Herbst bzw. im Frühjahr auf Blattflächenindex, Lichtabsorption und Trockenmassebildung	57
4.5.1	Optimaler Blattflächenindex	58
4.5.2	Blattflächenindex und Lichtabsorption	58
4.5.3	Lichtausnutzung	62
4.5.4	Berechnung des theoretischen Ertrages von nicht schossenden Winterrüben	64
4.6	Abschließende Betrachtung und Ausblick	66
4.6.1	Anbauverfahren schossresistenter Winterrüben	67
4.6.2	Anbauverfahren schossender Winterrüben	69
5	Zusammenfassung	72
6	Literaturverzeichnis	74
7	Anhang	85

Verzeichnis der Abkürzungen

Abb.	Abbildung
Amino-N	α -Amino-Stickstoff
BFI	Blattflächenindex
\emptyset BFI	mittlerer Blattflächenindex
BZE	Bereinigter Zuckerertrag
$^{\circ}\text{C}$	Grad Celsius
$^{\circ}\text{Cd}$	Gradtage
CGR	absolute Wachstumsrate (Crop Growth Rate)
d	Tag
DNZ	Dachverband Norddeutscher Zuckerrübenanbauer
et al.	und andere
FM	Frischmasse
GD	Grenzdifferenz
IIRB	Internationales Institut für Rübenforschung
IfZ	Institut für Zuckerrübenforschung
LAI	Leaf area index
MJ	Mega Joule
n.A.	nach Aussaat
Na^+	Natrium-Kation
NO_3^-	Nitrat-Anion
n.s.	nicht signifikant
p	Irrtumswahrscheinlichkeit
PAR	Photosynthetisch aktive Strahlung
r^2	Bestimmtheitsmaß
RE	Rübenertrag
REGW	Ryan-Einot-Gabriel-Welsch
RGR	relative Wachstumsrate (Relative Growth Rate)
RUE	Lichtnutzungseffizienz (Radiation Use Efficiency)
SMV	Standardmelasseverlust
$t_{1,2}$	Erntetermin
Tab.	Tabelle
TM	Trockenmasse
w'	Stoffmenge eines Bestandteils bezogen auf die Gesamtmasse
ZE	Zuckerertrag
ZG	Zuckergehalt

Verzeichnis der Abbildungen

- Abb. 1:** Monatsmittel der Lufttemperatur (a) und Monatssummen des Niederschlags (b) jeweils mit langjährigem Mittel von 1952 bis 2007, Daten der Messstation im IfZ-Schaugarten Göttingen, 2005 bis 2007. 9
- Abb. 2:** Monatssummen der photosynthetisch aktiven Strahlung mit langjährigem Mittel von 1952 bis 2007, Daten der Messstation im IfZ-Schaugarten Göttingen, 2005 bis 2007. 10
- Abb. 3:** Feldaufgang (= FA) von Zuckerrüben bei Aussaat im Herbst und im Frühjahr im Jahresverlauf (a, b) und in Abhängigkeit von der Temperatursumme (c, d); Standorte Par = Parensen, Sie = Sieboldshausen und Har = Harste; drei Versuche Aussaat Herbst und vier Versuche Aussaat Frühjahr im Raum Göttingen, 2005/06 und 2006/07. 16
- Abb. 4:** Entwicklung des maximalen Durchmessers von Zuckerrüben bei Aussaat im Herbst und im Frühjahr im Jahresverlauf (a, b) und in Abhängigkeit von der Temperatursumme (c, d); Standorte Par = Parensen, Sie = Sieboldshausen und Har = Harste; drei Versuche Aussaat Herbst und vier Versuche Aussaat Frühjahr im Raum Göttingen, 2005/06 und 2006/07. 17
- Abb. 5:** Anzahl Kambiumringe von Zuckerrüben bei Aussaat im Herbst und im Frühjahr im Jahresverlauf (a, b) und in Abhängigkeit von der Temperatursumme (c, d); Standorte Par = Parensen, Sie = Sieboldshausen und Har = Harste; drei Versuche Aussaat Herbst und vier Versuche Aussaat Frühjahr im Raum Göttingen, 2005/06 und 2006/07. 19
- Abb. 6:** Abstand zwischen den Kambiumringen von Zuckerrüben in Abhängigkeit von der Entfernung zum Zentralzylinder bei Aussaat im Herbst und im Frühjahr im Jahresverlauf; Aussaat Herbst: Ernten Dezember und Juni, Aussaat Frühjahr: Ernten Mai, Juli und Oktober; Sieboldshausen 2006/07. 20
- Abb. 7:** Entwicklung der Blatttrockenmasse von Zuckerrüben bei Aussaat im Herbst und im Frühjahr im Jahresverlauf (a, b) und in Abhängigkeit von der Temperatursumme (c, d); Standorte Par = Parensen, Sie = Sieboldshausen und Har = Harste; drei Versuche Aussaat Herbst und vier Versuche Aussaat Frühjahr im Raum Göttingen, 2005/06 und 2006/07. 21
- Abb. 8:** Entwicklung der Rübetrockenmasse von Zuckerrüben bei Aussaat im Herbst und im Frühjahr im Jahresverlauf (a, b) und in Abhängigkeit von der Temperatursumme (c, d); Standorte Par = Parensen, Sie = Sieboldshausen und Har = Harste; drei Versuche Aussaat Herbst und vier Versuche Aussaat Frühjahr im Raum Göttingen, 2005/06 und 2006/07. 22

- Abb. 9:** *Entwicklung des Rübe-Blattverhältnisses von Zuckerrüben bei Aussaat im Herbst und im Frühjahr im Jahresverlauf (a, b) und in Abhängigkeit von der Temperatursumme (c, d); Standorte Par = Parendsen, Sie = Sieboldshausen und Har = Harste; drei Versuche Aussaat Herbst und vier Versuche Aussaat Frühjahr im Raum Göttingen, 2005/06 und 2006/07.* 24
- Abb. 10:** *Absolute (a, b) und relative (c, d) Wachstumsraten von Zuckerrüben bei Aussaat im Herbst und im Frühjahr in Abhängigkeit von der Temperatursumme; Standorte Par = Parendsen, Sie = Sieboldshausen und Har = Harste; drei Versuche Aussaat Herbst und vier Versuche Aussaat Frühjahr im Raum Göttingen, 2005/06 und 2006/07.* 25
- Abb. 11:** *Entwicklung des Trockensubstanz- (gesamte Säule), Zucker-, Mark- und Nichtzuckerstoffgehaltes von Zuckerrüben bei Aussaat im Herbst und im Frühjahr im Verlauf der Vegetationsperiode; zum jeweiligen Erntetermin mit gleichen Buchstaben gekennzeichnete Werte unterscheiden sich nicht signifikant voneinander (REGW-Test bei $p < 0,05$); Sieboldshausen 2006/07.* 27
- Abb. 12:** *Entwicklung der Anteile von Zucker, Mark und Nichtzuckerstoffen an der Rübentrockensubstanz von Zuckerrüben bei Aussaat im Herbst und im Frühjahr im Verlauf der Vegetationsperiode; zum jeweiligen Erntetermin mit gleichen Buchstaben gekennzeichnete Werte unterscheiden sich nicht signifikant voneinander (REGW-Test bei $p < 0,05$); Sieboldshausen 2006/07.* 28
- Abb. 13:** *Entwicklung des Kalium- (a) und Natriumgehaltes (b) von Zuckerrüben bei Aussaat im Herbst und im Frühjahr im Verlauf der Vegetationsperiode; zum jeweiligen Erntetermin mit gleichen Buchstaben gekennzeichnete Werte unterscheiden sich nicht signifikant voneinander (REGW-Test bei $p < 0,05$); Sieboldshausen 2006/07.* 30
- Abb. 14:** *Entwicklung des α -Amino-Stickstoffgehaltes von Zuckerrüben bei Aussaat im Herbst und im Frühjahr im Verlauf der Vegetationsperiode; zum jeweiligen Erntetermin mit gleichen Buchstaben gekennzeichnete Werte unterscheiden sich nicht signifikant voneinander (REGW-Test bei $p < 0,05$); Sieboldshausen 2006/07.* 31
- Abb. 15:** *Entwicklung des Standardmelasseverlustes von Zuckerrüben bei Aussaat im Herbst und im Frühjahr im Verlauf der Vegetationsperiode; zum jeweiligen Erntetermin mit gleichen Buchstaben gekennzeichnete Werte unterscheiden sich nicht signifikant voneinander (REGW-Test bei $p < 0,05$); Sieboldshausen 2006/07.* 32
- Abb. 16:** *Entwicklung des Bereinigten Zuckerertrages von Zuckerrüben bei Aussaat im Herbst und im Frühjahr im Verlauf der Vegetationsperiode; zum jeweiligen Erntetermin mit gleichen Buchstaben gekennzeichnete Werte unterscheiden sich nicht signifikant voneinander (REGW-Test bei $p < 0,05$); Sieboldshausen 2006/07.* 33

Abb. 17:	<i>Absolute Wachstumsrate der Gesamttrockenmasse von Zuckerrüben bei Aussaat im Herbst und im Frühjahr in Abhängigkeit vom mittleren Blattflächenindex; Standorte Par = Parensen, Sie = Sieboldshausen und Har = Harste; drei Versuche Aussaat Herbst und vier Versuche Aussaat Frühjahr im Raum Göttingen, 2005/06 und 2006/07.</i>	34
Abb. 18:	<i>Entwicklung des Blattflächenindex (BFI) von Zuckerrüben bei Aussaat im Herbst und im Frühjahr im Jahresverlauf (a, b) und in Abhängigkeit von der Temperatursumme (c, d); Standorte Par = Parensen, Sie = Sieboldshausen und Har = Harste; drei Versuche Aussaat Herbst und vier Versuche Aussaat Frühjahr im Raum Göttingen, 2005/06 und 2006/07.</i>	35
Abb. 19:	<i>Entwicklung der von Zuckerrübenbeständen absorbierten photosynthetisch aktiven Strahlung (PAR) bei Aussaat im Herbst und im Frühjahr; Prozentzahlen in den Balken kennzeichnen den maximalen Absorptionsgrad; Sieboldshausen 2006/07.</i>	36
Abb. 20:	<i>Gesamtertrag von Zuckerrüben bei Aussaat im Herbst und im Frühjahr in Abhängigkeit von der absorbierten photosynthetisch aktiven Strahlung (PAR); Standorte Par = Parensen, Sie = Sieboldshausen und Har = Harste; drei Versuche Aussaat Herbst und vier Versuche Aussaat Frühjahr im Raum Göttingen, 2005/06 und 2006/07.</i>	37
Abb. 21:	<i>Photosynthetisch aktive Strahlung (PAR) im Vegetationsverlauf und Summe absorbierter PAR von im April (Apr) und im August (Aug) gesäten Rüben sowie ab Juni (Jun) bis Oktober (Okt) theoretisch absorbierte photosynthetisch aktive Strahlung bei Aussaat im August.</i>	39
Abb. 22:	<i>Berechneter Ertrag an Gesamttrockenmasse von im August gesäten Rüben bei Ernte im August, September und Oktober bei einer Lichtausnutzung von $2,0 \text{ g MJ m}^{-2}$.</i>	40

Verzeichnis der Tabellen

Tab. 1:	<i>Aussaat- und Erntetermine der Versuchsjahre 2005/06 und 2006/07.</i>	6
Tab. 2:	<i>Boden und Düngung in den Versuchsjahren 2005/06 und 2006/07.</i>	8
Tab. 3:	<i>In der Wachstumsanalyse verwendete Parameter (Hunt, 1990).</i>	14
Tab. 4:	<i>Gesamttrockenmasseertrag von Zuckerrüben bei Aussaat im Herbst und im Frühjahr bezogen auf die Summe der absorbierten photosynthetisch aktiven Strahlung (PAR) zu den Ernteterminen sowie Berechnung des Anteils der PAR, die für die Trockenmassebildung genutzt wurde (= Wirkungsgrad), Sieboldshausen 2006/07.</i>	38
Tab. 5:	<i>Berechnung des theoretischen Ertrages von im August gesäten Zuckerrüben bei Ernte im August, September oder Oktober des nachfolgenden Jahres auf Grundlage der Lichtabsorption; drei Versuche Aussaat August und vier Versuche Aussaat April im Raum Göttingen, 2005/06 und 2006/07.</i>	40

1 Einleitung

Beim Anbau von Zuckerrüben besteht eine erhebliche Differenz zwischen dem in Mitteleuropa aufgrund der klimatischen Bedingungen maximal möglichen Ertragspotenzial von etwa 24 t Zucker pro ha (*Kenter et al., 2006a*) und dem in Deutschland derzeit erreichten mittleren Ertragsniveau von etwa 10 t Zucker pro ha (*WVZ, 2007*). Durch die Optimierung pflanzenbaulicher Maßnahmen, wie Grundbodenbearbeitung und Saatbettbereitung sowie Düngung und Pflanzenschutz, sind aber nur noch geringe Ertragssteigerungen zu erwarten. Aber insbesondere vor dem Hintergrund der Reform der Zuckermarktordnung stellt sich die Frage, wie man das heutige Ertrags- und Qualitätsniveau von Zuckerrüben steigern kann, um so die Produktivität zu verbessern.

Bei Zuckerrüben ist der Ertrag vor allem durch die langsame Jugendentwicklung aufgrund niedriger Temperaturen und dadurch langsames Wachstum der Blätter im Frühjahr begrenzt. Durch die geringe Blattfläche im April und Mai ist die Strahlungsaufnahme limitiert, obwohl die Einstrahlung in diesem Zeitraum bereits hoch ist (*Scott et al., 1973; Scott und Jaggard, 1993*). Eine optimale Lichtabsorption kann nur erreicht werden, wenn zu Zeiten intensiver Einstrahlung ein ausreichender Blattflächenindex (BFI) vorhanden ist, so dass ein möglichst großer Anteil der Strahlung für die Photosynthese genutzt werden kann. Voraussetzung für einen hohen Ertrag ist demnach nicht nur die Länge der Vegetationszeit, sondern auch das zeitliche Zusammentreffen von Blattbildung und Einstrahlungsintensität. Den optimalen Blattflächenindex von 3,5 bis 5 (*Röver, 1995; Kenter, 2003*) erreichen Zuckerrüben in der Regel, in den meisten Fällen wird er sogar übertroffen. Ausnahme sind die ersten zwei bis drei Monate nach der Aussaat (*Milford et al., 1985d*). Das bedeutet, dass eine weitere Erhöhung des Blattflächenindex im Sommer bzw. Herbst keinen positiven Effekt auf den Ertrag hätte. Eine frühere Entwicklung der Blattfläche könnte allerdings zu einer verbesserten Ausnutzung der Einstrahlung und damit zu höheren Erträgen führen.

Es wurden bereits verschiedene Studien mit unterschiedlichen Verfahren zur Förderung der Jugendentwicklung durchgeführt. Die Realisierung von Ertragssteigerungen hing dabei immer davon ab, in welchem Ausmaß eine pflanzenbauliche Maßnahme die Entwicklung des Blattflächenindex im Frühjahr beschleunigen konnte. So wurde durch Pflanzung von im Gewächshaus vorkultivierten Zuckerrüben ein im Vergleich zur Aussaat um 15 bis 65 % höherer Rübenertrag erzielt (*Scott und Bremner, 1966; Winner, 1974; Bürcky, 1988*). Dieses Verfahren konnte sich aber aufgrund des hohen Aufwandes nicht durchsetzen, obwohl es den Blattflächenindex im Frühjahr wirksam steigern kann. Des Weiteren wurde der Anbau von Zuckerrüben unter Folie untersucht, wodurch die Jugendentwicklung der Pflanzen vor allem durch eine Erhöhung der Bodentemperatur gefördert wird (*Bürcky, 1988*). Zudem könnte

durch die Folienabdeckung eine Steigerung der Mineralisation möglich sein, so dass das Stickstoff-Angebot und der Stickstoff-Gehalt in den Pflanzen erhöht werden. Dabei ist bekannt, dass durch steigenden Stickstoff-Gehalt im Blatt die Blattausdehnung positiv beeinflusst und somit die Entwicklung des Blattflächenindex gefördert wird (*Milford et al.*, 1985d). *Bürcky* (1988) fand eine Ertragssteigerung von durchschnittlich 19 % bei Anbau unter Folie. Aber auch dieses Verfahren konnte sich bis heute nicht durchsetzen, da es mit hohem Aufwand und Kosten verbunden ist. Außerdem wurden weitere Methoden zur Förderung des Blattflächenindex bzw. der Jugendentwicklung untersucht. Dazu zählt eine Erhöhung der Bestandesdichte, wodurch der Zeitraum zwischen Aussaat und Bestandesschluss durch den geringeren Standraum je Pflanze verkürzt wird, was sich aber nur im Bereich niedriger Bestandesdichten ertragssteigernd auswirkte (*Goodman*, 1966). Daneben wurde die Verwendung von größeren Samen untersucht, um dadurch ein beschleunigtes Wachstum der Keimlinge zu bewirken, was letztendlich aber keinen deutlich positiven Einfluss auf den Ertrag hatte (*Scott et al.*, 1974).

Alle bisher durchgeführten Maßnahmen brachten somit nicht den erhofften Erfolg bzw. waren mit zu hohem Aufwand und Kosten verbunden. Deshalb wurde in der vorliegenden Untersuchung die Möglichkeit aufgegriffen, die Jugendentwicklung durch eine vorgezogene Aussaat zu fördern und somit den Ertrag zu steigern. Frühere Untersuchungen zu vorgezogenen Aussaatterminen im Frühjahr wurden mit dem Ziel durchgeführt, den optimalen Aussaattermin für Zuckerrüben zu ermitteln (*Scott und Jaggard*, 1978; *Märländer*, 1991; *Smit*, 1993; *Lauer*, 1997). Die Bodenbedingungen für die Aussaat sind optimal, wenn ein Befahren mit dem Schlepper möglich und der Boden krümelig ist. Um diesen Zustand zu erreichen, muss es vorher einige Tage warm und trocken gewesen sein. Diese Zeit könnte schon für das Wachstum der Zuckerrüben genutzt werden, wodurch bei günstiger Witterung die Phase der Jugendentwicklung zeitlich vorgezogen werden könnte. Dadurch könnte ein frühzeitiger Bestandesschluss und damit eine bessere Ausnutzung der schon intensiven Einstrahlung in den frühen Sommermonaten erreicht werden. *Märländer* (1991) zeigte in diesem Zusammenhang, dass der Rübenertrag bei einer optimalen Aussaat zwischen Ende März und Anfang April gegenüber einem verspäteten Termin Anfang Mai um etwa 30 % gesteigert werden konnte. Eine vorgezogene Aussaat im Februar und März könnte somit zu einer weiteren Verbesserung der Ausnutzung der Strahlung verbunden mit einem Ertragsanstieg beitragen. Dazu liegen bisher jedoch noch keine Informationen vor.

Eine weitere Möglichkeit zum Erreichen einer besseren Synchronisation von Blattbildung und intensiver Einstrahlung im Frühjahr könnte in dem Anbau von Winterrüben bestehen. Winterrüben sind Zuckerrüben, die im Herbst gesät und erst im darauffolgenden Jahr geerntet werden (*Eichholz und Röstel*, 1962). Sie entwickeln bereits vor dem Winter Blattmasse und

könnten mit dem vorhandenen Blatt die intensive Einstrahlung im Frühjahr für die Ertragsbildung nutzen.

Dass Zuckerrüben unter den in Deutschland vorherrschenden Anbaubedingungen ohne Schädigungen überwintern können, wurde schon in den Anfängen der Zuckerrübenzüchtung von *Achard* (1809) erkannt. Aber erst Anfang der dreißiger Jahre des 20. Jahrhunderts wurde die Frage einer Winterzuckerrübe aktuell. *Bauer* (1932) berichtete von Versuchen aus Ungarn mit winterbeständigen Rüben und stellte als Vorteile des Anbaus von Winterrüben heraus, dass höhere Rübenenerträge und eine frühere Reife und Ernte möglich sein könnten. Allerdings werden im Herbst gesäte Rüben während des Winters aufgrund niedriger Temperaturen bereits im ersten Vegetationsjahr vernalisiert und gehen im Frühjahr in die generative Phase über (*Milford und Limb, 2008*). Der Grund dafür liegt in der Biologie von Zuckerrüben. Die Zuckerrübe ist eine zweijährige Pflanze. Im ersten Jahr wächst sie vegetativ und bildet ein Speicherorgan aus. Überwintern diese Rüben im Feld, gehen sie im zweiten Jahr in die generative Phase über und bilden einen Spross mit Samenträger aus. Für diese Umsteuerung der Pflanze zum generativen Wachstum ist eine Periode mit Temperaturen $< 12\text{ }^{\circ}\text{C}$ notwendig (Vernalisation). Unter Langtagbedingungen (Photoperiodismus) im Frühjahr beginnt die Zuckerrübe dann einen Spross auszubilden (*Elliot und Weston, 1993; Milford und Limb, 2008*). Da es nicht gelang, eine Winterzuckerrübe zu züchten, die nicht schosst und dadurch verholzt, ist die Züchtung von Winterrüben bisher in den Hintergrund getreten (*Eichholz und Röstel, 1962*).

Versuche mit im Herbst gesäten Zuckerrüben wurden in den 1970er Jahren in England durchgeführt. Es konnte jedoch keine Ertragssteigerung gegenüber im Frühjahr gesäten Rüben gefunden werden (*Wood und Scott, 1975*). Aktuelle Untersuchungen zu im Herbst gesäten Rüben unter mitteleuropäischen Klimabedingungen gibt es nicht. Genauso fehlen Informationen über die Blattbildung, Lichtabsorption und Ertragsbildung von im Herbst gesäten Rüben.

Für die Ertragsbildung bzw. Zuckerspeicherung von Zuckerrüben ist die Bildung von Kambiumringen mit Speicherparenchym elementar. Die Kambiumringbildung wird von der Blattbildung induziert, da die Blätter als Sourceorgan über die Leitbündelgewebe mit dem Wurzelgewebe als Sinkorgan verbunden sind (*Zamski und Azenkot, 1981b*). Es ist denkbar, dass durch eine Aussaat im Herbst zusätzlich zu den aufgrund der Blattbildung bereits vor Winter gebildeten Kambiumringen weitere Ringe durch den Blattneuaustrieb im Frühjahr gebildet werden könnten. Eine mögliche Zunahme der Anzahl Kambiumringe ließe vermuten, dass aufgrund der positiven Korrelation von Zuckerkonzentration und Anzahl Ringe bzw. Ringdichte auch der Zuckergehalt ansteigt (*Bell et al., 1996*). Die in den Blättern gebildete

Saccharose wird über das Phloem in die Speicherwurzel und dort auf apoplastischem Weg durch Diffusion zu den Zellen transportiert (Wyse, 1979a). Dabei spielt nach der Saccharose-Gradienten-Hypothese von Wyse (1979b) die Diffusionsstrecke vom Phloem zu den einzelnen Zellen für die Saccharosekonzentration im Zellgewebe eine entscheidende Rolle. Somit ist für den Zuckergehalt in der Rübe der Abstand zwischen zwei Ringen entscheidend, da dieser die maximale Diffusionsstrecke bestimmt (Artschwager, 1930). Bisher liegen aber noch keine Untersuchungen über die Entwicklung der Anzahl Kambiumringe und dem Abstand zwischen den Ringen von im Februar und März sowie im Herbst gesäten Rüben vor. Insbesondere fehlen Informationen darüber, wann die Kambiumringe angelegt werden und ob durch eine Verlängerung der Vegetationsperiode durch eine vorgezogene Aussaat im Frühjahr bzw. Aussaat im Herbst die Anzahl der Kambiumringe und somit potenziell der Zuckergehalt und -ertrag gesteigert werden könnten.

Die für die Zuckergewinnung notwendige technische Qualität von Zuckerrüben ist abhängig vom Gehalt an Zucker (Saccharose) und einer Vielzahl von Nichtzuckerstoffen. In der Routineanalytik der Zuckerfabriken werden neben dem Zuckergehalt die Gehalte der Melassebildner bestimmt. Dazu gehören Kalium, Natrium und Aminosäurestickstoff (α -Amino-N), die die Löslichkeit von Saccharose erhöhen, so dass diese trotz hoher Konzentration in der Lösung nicht mehr kristallisieren kann und der Melasseverlust steigt (Winner, 1981). Der Gehalt an qualitätsbestimmenden Inhaltsstoffen der Zuckerrübe verbessert sich im Entwicklungsverlauf (Kenter und Hoffmann, 2006). Bei vorgezogener Aussaat könnte demnach eine für die Verarbeitung in der Zuckerfabrik notwendige technische Qualität früher erreicht werden. Wann im Herbst gesäte Zuckerrüben eine zur Verarbeitung geeignete Qualität erreichen, ist bisher nicht bekannt.

Das Mark der Zuckerrübe besteht aus den unlöslichen Zellwandbestandteilen der Zuckerrübe wie Cellulose, Hemicellulose, Pektin und einem geringen Anteil an Ligninen, Proteinen, Saponinen und Lipiden (van der Poel et al., 1998). Der Markgehalt hängt daher von der Anzahl der Kambiumringe sowie von der Anzahl und Größe der Parenchymzellen in der Speicherwurzel ab (Hoffmann, 2006a). Es gibt nur wenige Untersuchungen über den Markgehalt im Verlauf der Vegetationsperiode von im Frühjahr gesäten Rüben (Hoffmann et al., 2005) und gar keine zu im Herbst gesäten Rüben. Es ist aber zu erwarten, dass sich die Zusammensetzung der Rübe durch mögliche Winterabhärtungsprozesse und durch das Schossen im Frühjahr verändert.

Darüber hinaus gibt es bisher keine Untersuchungen unter mitteleuropäischen Klimabedingungen über die Entwicklung des Ertrages von im Herbst gesäten, nicht schossenden Rüben, die im August, September bzw. Oktober des folgenden Jahres geerntet werden. Des-

halb bleibt zu klären, ob und in welchem Ausmaß der Anbau von Winterrüben eine Ertragssteigerung bewirkt. Eine erste theoretische Abschätzung der möglichen Entwicklung des Ertrages von Winterrüben könnte auf Grundlage der verbesserten Lichtinterzeption und der Lichtnutzungseffizienz der im Herbst gesäten Rüben vorgenommen werden.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit war es daher, eine Datengrundlage über Wachstumsprozesse und Ertragsbildung von Zuckerrüben bei Aussaat im Herbst und im Frühjahr unter mitteleuropäischen Klimabedingungen zu schaffen. Ertrags- und Qualitätsbildung wurden verglichen, um erste Anhaltspunkte über das Wachstum und die Ertragsbildung von Winterrüben zu erlangen.

Für die Untersuchung ergaben sich folgende Fragestellungen:

- ▶ Welchen Einfluss haben Aussaattermine im Herbst bzw. im Frühjahr auf
 - die Wachstumsprozesse von Zuckerrüben im Vegetationsverlauf?
 - die technische Qualität der Zuckerrübe im Vegetationsverlauf?
 - die Entwicklung der Lichtabsorption in Abhängigkeit von der Blattfläche und deren Einfluss auf die Trockenmassebildung?
- ▶ In welchem Ausmaß könnte eine Aussaat im Herbst zu einer Ertragssteigerung führen?

Dazu wurden in zwei Jahren an zwei Standorten vier Feldversuche mit jeweils drei Aussaatterminen im Herbst und drei Aussaatterminen im Frühjahr durchgeführt. Die Berechnung der Temperatursumme, die zum Erreichen spezifischer Entwicklungsstadien benötigt wird, ermöglicht einen Vergleich der Ertrags- und Qualitätsentwicklung von im Herbst und im Frühjahr gesäten Rüben. Darüber hinaus wurden anhand der gewonnenen Daten Berechnungen über den theoretisch möglichen Ertrag für im Herbst gesäte, nicht schossende Rüben durchgeführt.

2 Material und Methoden

2.1 Feldversuche

Die Feldversuche wurden in den Jahren 2005/06 und 2006/07 im Raum Göttingen jeweils an zwei Standorten durchgeführt und als vollständig randomisierte Blockanlage mit den Faktoren Aussaat- und Erntetermin in 6-facher Wiederholung angelegt (Tab. 1). Am Standort Parenden 2005/06 wurde die Aussaat im Herbst und im Frühjahr in einem Block vollständig randomisiert, während im Versuchsjahr 2006/07 die Blöcke nach Aussaat im Herbst und Aussaat im Frühjahr getrennt angelegt wurden.

Tab. 1: Aussaat- und Erntetermine der Versuchsjahre 2005/06 und 2006/07.

Versuchsjahr 2005/2006				
Standort	Aussaat Herbst		Aussaat Frühjahr	
	Aussaat	Ernte	Aussaat	Ernte
Parenden (Par)	26.08.2005	06.12.2005	28.02.2006	28.06.2006
	13.09.2005	10.05.2006	20.03.2006	17.07.2006
	06.10.2005	29.05.2006	26.04.2006	07.08.2006
		19.06.2006		23.10.2006
Sieboldshausen (Sie)*	—	—	24.03.2006	27.06.2006
	—	—	07.04.2006	18.07.2006
	—	—	26.04.2006	08.08.2006
		—		09.10.2006
Versuchsjahr 2006/2007				
Standort	Aussaat Herbst		Aussaat Frühjahr	
	Aussaat	Ernte	Aussaat	Ernte
Harste (Har)	28.08.2006	11.12.2006	19.02.2007	31.05.2007
	11.09.2006	16.04.2007	12.03.2007	27.06.2007
	26.09.2006	21.05.2007	10.04.2007	30.07.2007
		12.06.2007		04.10.2007
Sieboldshausen (Sie)	24.08.2006	04.12.2006	19.02.2007	23.05.2007
	11.09.2006	16.04.2007	12.03.2007	25.06.2007
	26.09.2006	14.05.2007	10.04.2007	25.07.2007
		11.06.2007		01.10.2007

* 2005 keine Herbstaussaat

Die Aussaaten fanden zu drei Terminen im Herbst und zu drei Terminen im Frühjahr statt (Tab. 1). Im Herbst wurde die erste Aussaat Ende August direkt nach der Getreideernte durchgeführt; die zwei folgenden Aussaaten jeweils in zwei bis drei Wochen Abstand Mitte und Ende September bzw. Anfang Oktober. Im Frühjahr wurde die dritte Aussaat zum optimalen Zeitpunkt Anfang April durchgeführt. Die beiden früheren Aussaaten erfolgten jeweils drei bis vier Wochen früher, d. h. im Februar und März. Am Standort Sieboldshausen konnte im Februar 2006 aufgrund zu feuchter Bodenbedingungen keine Aussaat durchgeführt werden.

2.2 Standorte, Anbaumaßnahmen und Witterung

- Vorfrucht, Saatbettbereitung und Aussaat

Der Bodentyp war an allen Versuchsstandorten eine Parabraunerde aus Löss und die Bodenart war Lehm (Tab. 2). Im Herbst fand nach der Ernte der Vorfrucht Weizen (2005) bzw. Gerste (2006) eine Stoppelbearbeitung mit nachfolgender Saatbettbereitung statt. Die Aussaaten Ende August, Mitte September, Ende September bzw. Anfang Oktober und Anfang April wurden mit einem praxisüblichen Einzelkornsägerät auf einen Abstand von 6 cm gedreht. Die Aussaaten Ende Februar und Anfang März erfolgten aufgrund von Frost und ungünstigen Bodenbedingungen manuell. Das Saatgut war mit dem Beizmittel Imprimo (Wirkstoff: Imidacloprid + Tefluthrin) gebeizt. Die Sorte Modus war gewählt als zuckerbetonte und rizomaniatolerante Sorte mit gutem Feldaufgang, die in Sortenversuchen eine relativ geringe Anzahl Schosser aufwies. Im 4- bis 6-Blattstadium wurde auf eine Bestandesdichte von 96.000 Pflanzen ha⁻¹ vereinzelt. Aufgrund von Trockenperioden im September 2006 sowie im April 2007 wurden die Aussaaten von Anfang September und Anfang April während des Auflaufens einmalig mit 60 Liter Wasser pro Parzelle gegossen.

- Düngung

Die Bemessung der Stickstoffdüngung erfolgte nach der N_{min}-Sollwertmethode (*Wehrmann und Scharpf, 1979*). Die Stickstoffgehalte im Boden (N_{min}) im Frühjahr sind in Tab. 2 dargestellt. Als Startgabe wurden jeweils 40 kg N ha⁻¹ direkt nach der jeweiligen Aussaat gedüngt. Die im Herbst gesäten Rüben wurden im April und die im Frühjahr gesäten im Mai entsprechend dem N_{min}-Wert auf Sollwert 160 kg N ha⁻¹ aufgedüngt.

- Pflanzenschutzmaßnahmen

Pflanzenschutzmittel wurden an den Standort angepasst optimiert eingesetzt, so dass Unkräuter, Krankheiten und Schädlinge weitestgehend kontrolliert werden konnten (Anhang 1). Unkraut wurde zusätzlich mehrmals mit der Handhacke entfernt.

Tab. 2: Boden und Düngung in den Versuchsjahren 2005/06 und 2006/07.

Standorte	Bodenart	Bodentyp	Vorfrucht	N _{min} [kg ha ⁻¹]	Düngung [kg N ha ⁻¹]			
					Aussaat Herbst		Aussaat Frühjahr	
Par 05/06	Lehm	Parabraunerde	Weizen	64	n. A.	40	n. A.	40
					April	96	Mai	64
Sie 06	Lehm	Parabraunerde	Weizen	56	n. A.	-	n. A.	40
					April	-	Mai	64
Har 06/07	Lehm	Parabraunerde	Gerste	54	n. A.	40	n. A.	40
					April	106	Mai	66
Sie 06/07	Lehm	Parabraunerde	Gerste	61	n. A.	40	n. A.	40
					April	99	Mai	59

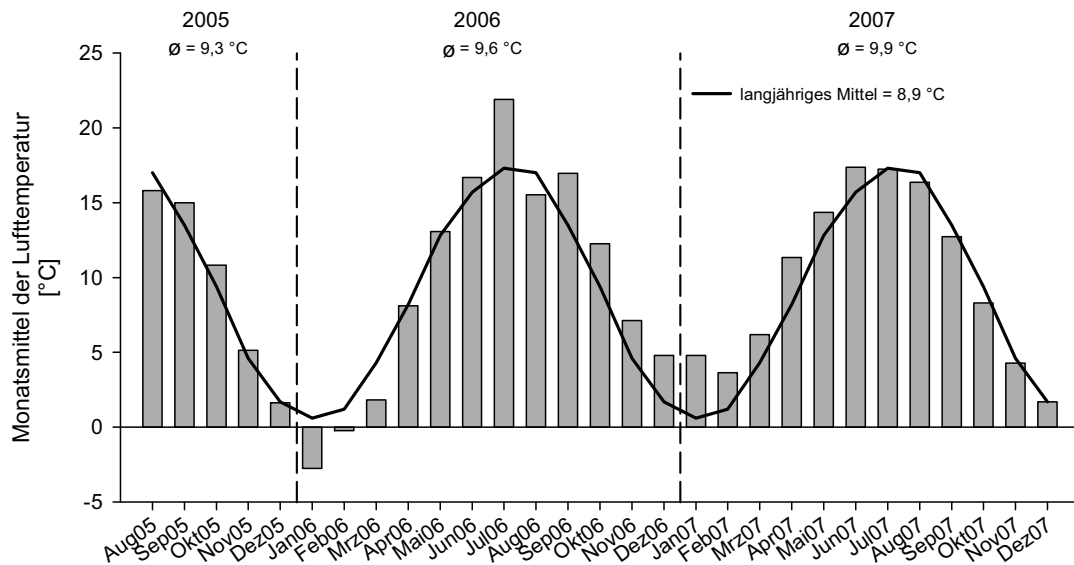
n. A. = nach Aussaat

- Witterung

Für die Versuchsstandorte wurden 2005/06 und 2006/07 für die gesamte Vegetationsperiode die Tageswerte von Lufttemperatur in 2 m Höhe, Globalstrahlung und Niederschlag in 1 m Höhe erfasst. Die Witterungsbedingungen in den beiden Versuchsjahren waren sehr unterschiedlich (Abb. 1, 2). Im Versuchsjahr 2005/06 war der Winter ungewöhnlich kalt und trocken, auch im März war es noch sehr kalt. Die Temperaturen lagen 2 bis 3 °C unter dem langjährigen Mittel. Erst ab Mitte April erwärmte es sich spürbar, wobei der April sehr regnerisch und unbeständig war. Der Juli war mit einer durchschnittlichen Temperatur von 21,9 °C durch Hitze und Trockenheit geprägt. Dies spiegelte sich auch im Verlauf der photosynthetisch aktiven Strahlung wider (PAR = 0,5 * Globalstrahlung; Kap. 2.4.2) (Abb. 2). Sie lag in den Monaten Mai bis Juli deutlich über dem langjährigen Mittel. Im Juli wurde der Maximalwert von 344 MJ m⁻² Monat⁻¹ erreicht. Erst in der zweiten Augustdekade setzte wieder Regen ein, der mit 84 mm deutlich über dem langjährigen Mittel lag. Der gesamte Herbst und Winter 2006 waren überdurchschnittlich warm und trocken, was sich auch in der höheren photosynthetisch aktiven Strahlung zeigte.

Im Versuchsjahr 2006/07 waren die Monate Januar und Februar um etwa 3 °C wärmer als im langjährigen Mittel und wiesen deutlich höhere Niederschläge auf. Es war der wärmste Winter, der in der deutschen Wetteraufzeichnung jemals verzeichnet wurde (DWD, 2007). Im März normalisierte sich die Witterung ein wenig, während der April durch starke Trockenheit und sommerliche Temperaturen geprägt war. Im Jahr 2007 wurde somit das Maximum der photosynthetisch aktiven Strahlung bereits im April erreicht und nicht wie im langjährigen Mittel im Juni. In den Sommermonaten von Mai bis September waren die Niederschläge gleichmäßig verteilt, wobei die Niederschlagsmengen in diesem Zeitraum mit in der Summe 593 mm deutlich über dem langjährigen Mittel lagen. Die durchschnittlichen Temperaturen und die photosynthetisch aktive Strahlung entsprachen ab Juli dem langjährigen Mittel.

a) Monatsmittel der Lufttemperatur



b) Monatssumme des Niederschlags

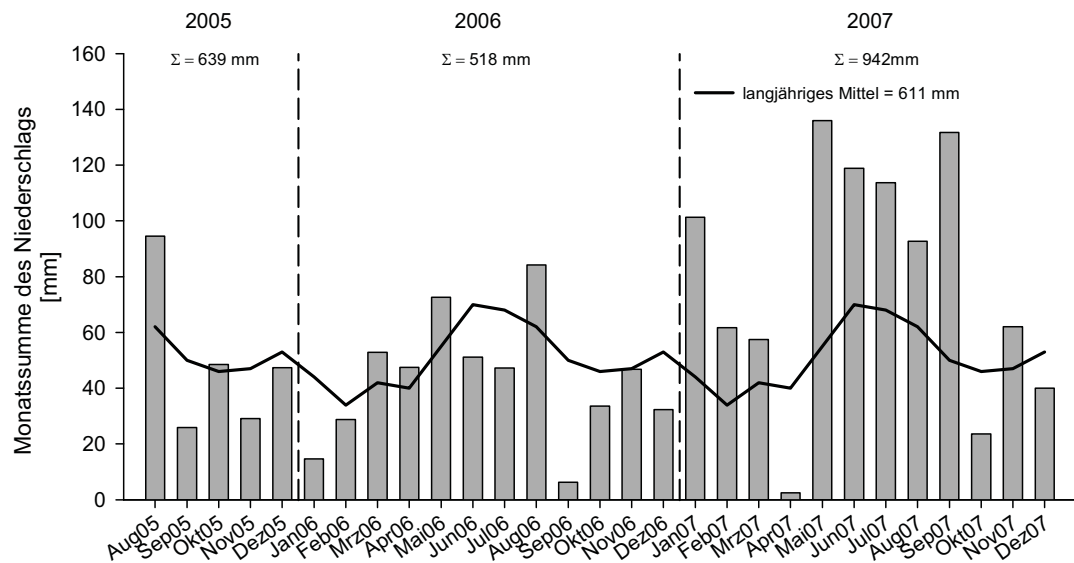


Abb. 1: Monatsmittel der Lufttemperatur (a) und Monatssummen des Niederschlags (b) jeweils mit langjährigem Mittel von 1952 bis 2007, Daten der Messstation im IfZ-Schaugarten Göttingen, 2005 bis 2007.

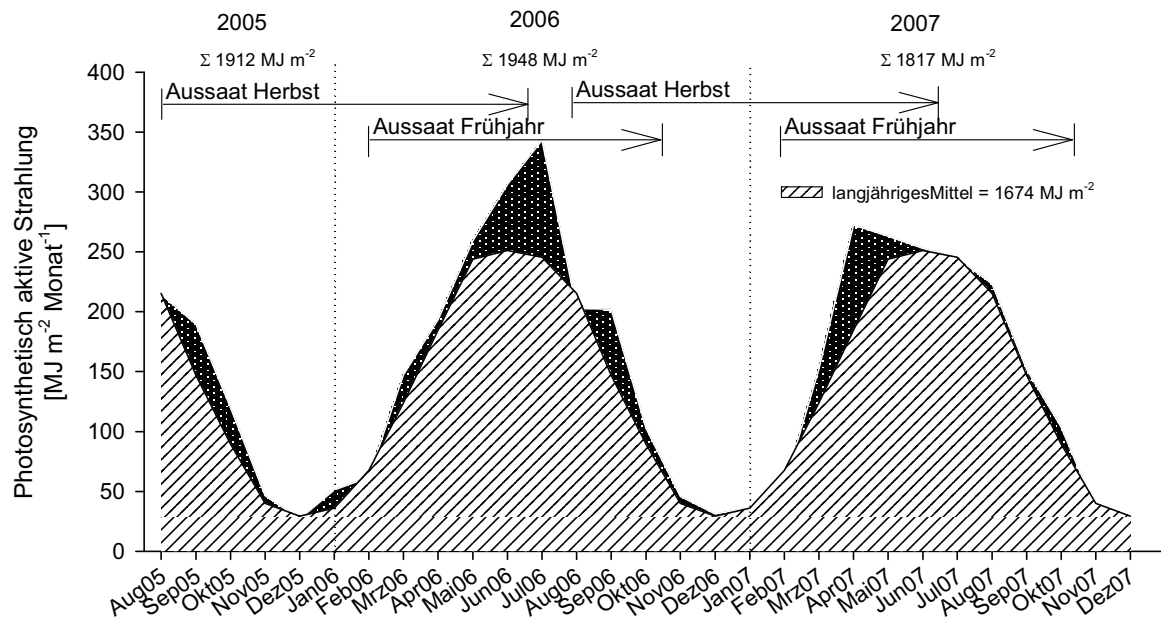


Abb. 2: Monatssummen der photosynthetisch aktiven Strahlung mit langjährigem Mittel von 1952 bis 2007, Daten der Messstation im IfZ-Schaugarten Göttingen, 2005 bis 2007.

2.3 Ernte und Probenaufbereitung

Die Beerntung der Rüben erfolgte von Hand zu vier Terminen im Verlauf der Vegetationsperiode (Tab. 1). Zur Feststellung der Vorwinterentwicklung der im Herbst gesäten Rüben lag ein Erntetermin im Dezember, die übrigen drei Ernten fanden im Frühjahr bis kurz vor der Samenreife der Schosser im Juni statt. Bei den im Frühjahr gesäten Rüben wurden zu Beginn der Vegetationsperiode die ersten drei Ernten in vierwöchigem Rhythmus durchgeführt. Die Endernte war im Oktober. Aus den sechsreihigen Parzellen (21,6 m²) erfolgte jeweils eine manuelle Kernbeerntung von drei Reihen (10,8 m²), um so Randeffekte durch die durch die Zwischenernten entstehenden freien Flächen auf die Nachbarparzellen zu vermeiden (Büchse, 1999). Die Stichprobengröße betrug 80 bis 90 Rüben pro Parzelle, die somit dem von *Beiß* und *von Müller* (1974) definierten optimalen Stichprobenumfang entsprach. Der Blattertrag (inkl. Köpfe) wurde auf dem Feld erfasst und anschließend bei den früheren Ernten das gesamte Blattmaterial, später Teilproben von 8 bis 10 kg Frischmasse für die Trockensubstanzbestimmung genommen. Diese wurden mit einem Großküchenmixer (Fa. Stephan, Hameln) zerkleinert und homogenisiert. Anschließend wurden 100 g des Materials bei 105 °C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet.

Zur ersten Ernte der Herbstsaussaat sowie der Frühjahrsaussaat waren die Ende September bzw. im April gesäten Rüben noch sehr klein, so dass weder die Blatttrockensubstanz noch andere Merkmale bestimmt werden konnten. Bei den im Herbst gesäten Rüben handelte es sich ab April um 100 % Schosser.

Die geköpften Rüben wurden gewaschen, gewogen und zu Brei verarbeitet. Bei den ersten Ernten erfolgten die Wäsche und Breiherstellung mit Hilfe eines mittleren Großküchenmixers (Fa. Stephan, Hameln) und Pürierstabs (Fa. Braun), ab 10 kg Rübenenertrag wurde für die Breiherstellung nach maschineller Wäsche und Wägung eine Rübenbreisäge (Fa. Dieball) eingesetzt. Analog zum Blattmaterial wurde an einer Teilprobe des Rübenbreis der Trockenmassegehalt bestimmt. Eine weitere Probe wurde in Kunststoffdosen à ca. 20 g und vierfach unterteilte Kunststoffeller eingestrichen, bei – 70 °C schockgefroren und bis zur weiteren Qualitätsanalyse bei – 26 °C gelagert (*Burba et al.*, 1975).

2.4 Pflanzenuntersuchungen

2.4.1 Feldaufgang

Die Zählung der aufgelaufenen Pflanzen erfolgte bis EC 14 (*Meier et al.*, 1993) an jeweils zwei Reihen pro Aussaattermin und Wiederholung. Als aufgelaufen gelten Pflanzen ab dem EC Stadium 9/10, d. h. ab dem Zeitpunkt, in dem der Keimspross die Bodenoberfläche durchbricht und die Keimblätter waagrecht entfaltet sind (*Meier et al.*, 1993). Der Feldaufgang wurde als Anteil aufgelaufener zu ausgesäten Pflanzen berechnet.

2.4.2 Blattflächenindex und Berechnung des Absorptionsgrades

Der Blattflächenindex wurde in regelmäßigen Abständen mit dem LAI-2000-Gerät (Fa. LICOR, Lincoln, NE, USA) gemessen. Die Bestimmung des Blattflächenindex erfolgte an vier Stellen in jeder Parzelle mit jeweils einer Referenzmessung oberhalb des Bestandes und vier Messungen auf einer Diagonalen zwischen zwei benachbarten Rübenreihen unterhalb des Blätterdachs. Dabei wird die kurzwellige Strahlung (Wellenlänge < 490 nm) gemessen. Das Messprinzip des LAI-2000 basiert auf der Bestimmung der durch die Blattfläche eines Bestandes sichtbaren Anteile des Himmels.

Der von einem Bestand absorbierte Anteil der einfallenden photosynthetisch aktiven Strahlung (PAR) wird im Folgenden als Absorptionsgrad bezeichnet. Der Absorptionsgrad wurde nach folgender Formel berechnet (*Röver*, 1995).

$$A = 0,92 \times (1 - e^{-k \times BFI}) \quad (1)$$

mit: A = Absorptionsgrad
e = Eulersche Zahl (2,71828)
k = Extinktionskoeffizient (0,6093)
BFI = Blattflächenindex

Bei dieser Berechnung berücksichtigte Röver (1995), dass ein Teil der einfallenden Strahlung von den Blättern nach oben reflektiert wird und dadurch nicht mehr photosynthetisch genutzt werden kann. Da die Reflexion nicht gemessen wurde, wurde angenommen, dass ein konstanter Anteil von 8 % (Gates, 1965) der auf die Blätter treffenden PAR reflektiert wurde. Zudem wurde für alle Varianten ein Extinktionskoeffizient von 0,6093 verwendet, da nach Röver (1995) die Unterschiede bezogen auf den Extinktionskoeffizienten im Vegetationsverlauf meist nicht signifikant sind. Durch Multiplikation des Absorptionsgrades mit der einfallenden PAR kann die Lichtinterzeption ermittelt werden. Die Globalstrahlung wurde in kontinuierlichen Messungen erfasst. Die PAR entspricht dabei 50 % der Globalstrahlung (Szeicz, 1974).

Für die Monate Januar bis März wurde der Absorptionsgrad für die im Herbst gesäten Rüben berechnet, indem die mittleren Blattflächenindices für diese Monate in die Formel zur Berechnung des Absorptionsgrads eingesetzt wurden. Für die im Februar, März und April gesäten Rüben wurde für den Monat Mai ein Blattflächenindex von $0,5 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$, $0,3 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ und $0,1 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ angenommen.

2.4.3 Anzahl Kambiumringe

Bei jeder Zwischenernte wurden zehn repräsentative Rüben pro Parzelle zur Bestimmung der Anzahl Kambiumringe ausgewählt. An der breitesten Stelle des Rübenkörpers wurde eine etwa 0,5 cm dicke Scheibe herausgeschnitten, die Fläche eingescannt und anschließend die Anzahl der Ringe sowie der Abstand zwischen den Ringen mit dem Programm Kappa Image Base (KAPPA opto electronics GmbH, Gleichen) ermittelt.

2.5 Analytik

2.5.1 Qualitätsbestimmende Inhaltsstoffe und Qualitätsbewertung

Die Qualitätsanalyse erfolgte mit Hilfe eines automatisierten Rübenbreianalysators (Venema, Groningen, NL) in Anlehnung an die Routineanalytik der Zuckerfabriken. Aus den tiefgefrorenen Rübenbreiproben wurden aluminiumsulfatgeklärte Filtrate hergestellt, anhand derer die Gehalte an Zucker, Kalium, Natrium und α -Amino-N bestimmt wurden (ICUMSA, 1994). Die Bestimmung des Zuckers erfolgte polarimetrisch, von Kalium und Natrium flammenphotometrisch und von α -Amino-N fluorimetrisch nach der OPT-Methode (Burba und Georgi, 1975).

Der Standardmelasseverlust (SMV) wurde mit der Braunschweiger Formel (*Buchholz et al., 1995*) berechnet.

$$\text{SMV} = 0,12 * w'(\text{K+Na}) + 0,24 * w'(\text{Amino-N}) + 0,48 \quad (2)$$

- mit: SMV = Standardmelasseverlust in % auf Rübe
 $w'(\text{K+Na})$ = Gehalt an Kalium und Natrium in mmol 100 g⁻¹ Rübe
 $w'(\text{Amino-N})$ = Gehalt an α -Amino-Stickstoff in mmol 100 g⁻¹ Rübe

Bei der Ergebnisdarstellung werden die Gehalte an Kalium, Natrium und α -Amino-Stickstoff in mmol 1000 g⁻¹ Rübe angegeben.

Der Bereinigte Zuckerertrag errechnete sich in Anlehnung an *Lüdecke (1954)* nach *Märländer et al. (2003)* wie folgt:

$$\text{BZE} = \text{RE} \times (\text{ZG} - \text{SMV} - 0,6) \quad (3)$$

- mit: BZE = Bereinigter Zuckerertrag
RE = Rübenertrag in t ha⁻¹
SMV = Standardmelasseverlust in % auf Rübe
ZG = Zuckergehalt in % auf Rübe
0,6 = Standard-Fabrik-Verlust in % auf Rübe

2.5.2 Mark

Das Rübenmark besteht aus den in heißem Wasser unlöslichen Zellwandbestandteilen (*Beiß, 1988; van der Poel et al., 1998*). Nach Heißwasserextraktion der löslichen Stoffe aus den tiefgefrorenen Rübenbreiproben wurde der Markgehalt nach Trocknen bei 105 °C bis zur Gewichtskonstanz ermittelt (*Reinefeld und Schneider, 1982*).

2.6 Wachstumsanalyse

Die Wachstumsanalyse wurde für jedes Jahr und jeden Standort einzeln durchgeführt (Tab. 3). Die absolute Wachstumsrate (Crop Growth Rate) ergibt sich aus der Differenz der Trockenmasse zwischen zwei Ernteterminen und beschreibt den Trockenmassezuwachs pro Zeiteinheit. Sie stellt somit die absoluten Änderungen der Trockenmasse von Pflanzen oder Beständen zwischen zwei Terminen dar. Die relative Wachstumsrate (Relative Growth Rate) beschreibt hingegen den Trockenmassezuwachs in Relation zur vorhandenen Trockenmasse und ist somit im Gegensatz zur absoluten Wachstumsrate ein Effizienzindex (*Hunt, 1990*).

Zur Beschreibung der Blattfläche, die während eines Zeitintervalls vorhanden war, wurde der mittlere Blattflächenindex berechnet. Die dabei benutzte Formel resultiert aus der Annahme,

dass der Blattflächenindex exponentiell mit der Zeit zunimmt. Für den Blattflächenindex einige Tage nach der Aussaat wurde für alle Parzellen ein Wert von $0,01 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ angenommen (Röver, 1995).

Tab. 3: In der Wachstumsanalyse verwendete Parameter (Hunt, 1990).

Parameter	Symbol	Einheit	Formel
Blattflächenindex	BFI	$\text{m}^2 \text{ m}^{-2}$	Einseitige Blattoberfläche/Bodenfläche
Trockenmasseertrag	TM	t ha^{-1}	Trockenmasse/Bodenfläche
Absolute Wachstumsrate (Crop Growth Rate)	CGR	$\text{t TM ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$	$(\text{TM}_2 - \text{TM}_1)/(\text{t}_2 - \text{t}_1)$
Relative Wachstumsrate (Relative Growth Rate)	RGR	$\text{t TM t}^{-1} \text{ TM d}^{-1}$	$(\ln \text{TM}_2 - \ln \text{TM}_1)/(\text{t}_2 - \text{t}_1)$
mittlerer Blattflächenindex	$\bar{\text{BFI}}$	$\text{m}^2 \text{ m}^{-2}$	$(\text{BFI}_2 - \text{BFI}_1)/(\ln(\text{BFI}_2) - \ln(\text{BFI}_1))$

$\text{t}_1, \text{t}_2 =$ Erntetermin

Aus den Witterungsdaten wurde die Temperatursumme in $^{\circ}\text{Cd}$ (Gradtage) berechnet, indem von jedem Tagesmittelwert eine Basistemperatur von 3°C für das Wachstum abgezogen (Gummerson, 1986; Milford et al. 1985a), Tageswerte $< 3^{\circ}\text{C}$ gleich null gesetzt und die Werte anschließend aufsummiert wurden.

2.7 Statistik

Die Varianzanalyse mit der GLM-Prozedur wurde mit dem Programm SAS 9.1 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) durchgeführt. Die vertikalen Linien (Error Bars) in den Abbildungen geben die Grenzdifferenz und die Buchstaben in den Abbildungen den Mittelwertvergleich nach Ryan-Einot-Gabriel-Welsch (REGW) für $p < 0,05$ für den Vergleich der Varianten zum jeweiligen Erntetermin bzw. jeweiligen Kambiumring an. Werte, die mit demselben Buchstaben gekennzeichnet sind, sind nicht signifikant verschieden.

Die Versuchsergebnisse für alle Standorte und beide Versuchsjahre wurden außerdem zusammenfassend mit einfachen Regressionsanalysen ausgewertet, dabei wurden verschiedene Polynome verwendet. Das Bestimmtheitsmaß r^2 einer Regression wurde bei Irrtumswahrscheinlichkeiten von $p \leq 0,05, 0,01$ und $0,001$ mit *, ** und *** gekennzeichnet.

3 Ergebnisse

3.1 Einfluss einer Aussaat im Herbst bzw. im Frühjahr auf die physiologischen Wachstumsprozesse von Zuckerrüben im Vegetationsverlauf

Wachstum und Entwicklung von im Herbst und im Frühjahr gesäten Rüben werden in den folgenden Kapiteln zum einen bezogen auf den Jahresverlauf in Monaten (Abb. a, b) und zum anderen bezogen auf die Temperatursumme (Abb. c, d). Durch die Verwendung der Temperatursummenskala werden die Jahres- und Umwelteinflüsse standardisiert und somit eine bessere Vergleichbarkeit der Wachstumsprozesse der im Herbst und im Frühjahr gesäten Rüben ermöglicht. Zur Wachstumsanalyse wurden einfache Regressionsanalysen durchgeführt.

3.1.1 Feldaufgang

Die Aussaat im Herbst führte unter optimalen Witterungsbedingungen zu einem zügigen Auflaufen und zu einem maximalen Feldaufgang von 80 bis 96 % (Abb. 3a). Die im August gesäten Rüben erreichten den maximalen Feldaufgang Mitte September, die Mitte September gesäten Rüben Anfang Oktober und die Ende September gesäten Rüben Mitte Oktober. Ein verzögertes Erreichen des maximalen Feldaufgangs zeigten die im August und Oktober 2005 in Parenden sowie die Mitte September 2006 in Harste und Sieboldshausen gesäten Rüben.

Bezogen auf die Temperatursumme erreichten die Rüben unabhängig vom Aussaattermin einen Feldaufgang von 50 % bei 100 °Cd, die im Mittel innerhalb von neun Tagen nach Aussaat erreicht wurden (Abb. 3c). Die Beziehung von Temperatursumme und Feldaufgang war dabei in beiden Versuchsjahren und an allen Standorten gleichgerichtet und eng ($r^2 = 0,79$). Ausnahmen bildeten die im August 2005 in Parenden und die Mitte September 2006 in Harste und Sieboldshausen gesäten Rüben. In Parenden 2005 wurde ebenfalls innerhalb von neun Tagen ein Feldaufgang von 50 % erreicht, allerdings liefen danach die Rüben bis zum Erreichen des maximalen Feldaufgangs zögerlich auf. In Harste und in Sieboldshausen 2006 wurde ein Feldaufgang von 50 % erst nach etwa 18 Tagen und bei einer Temperatursumme von 250 °Cd erreicht. Die Beziehung von Temperatursumme und Feldaufgang war dabei ebenfalls gleichgerichtet und eng ($r^2 = 0,82$).

Bei den im Februar und März gesäten Rüben kam es zu einem verzögerten Auflaufen mit einem maximalen Feldaufgang von im Mittel nur 61 bis 66 %, der erst Mitte April erreicht wurde (Abb. 3b). Die im April gesäten Rüben liefen hingegen zügig auf und erreichten Anfang bis Mitte Mai einen Feldaufgang von im Mittel 80 %.

Auf die Temperatursumme bezogen erreichten die im Februar und März gesäten Rüben einen Feldaufgang von 50 % bei 180 °Cd, der nach 51 bzw. 36 Tagen nach Aussaat erreicht wurde (Abb. 3d). Die im April gesäten Rüben erreichten einen Feldaufgang von 50 % bereits bei 130 °Cd, der innerhalb von 14 Tagen nach Aussaat erreicht wurde.

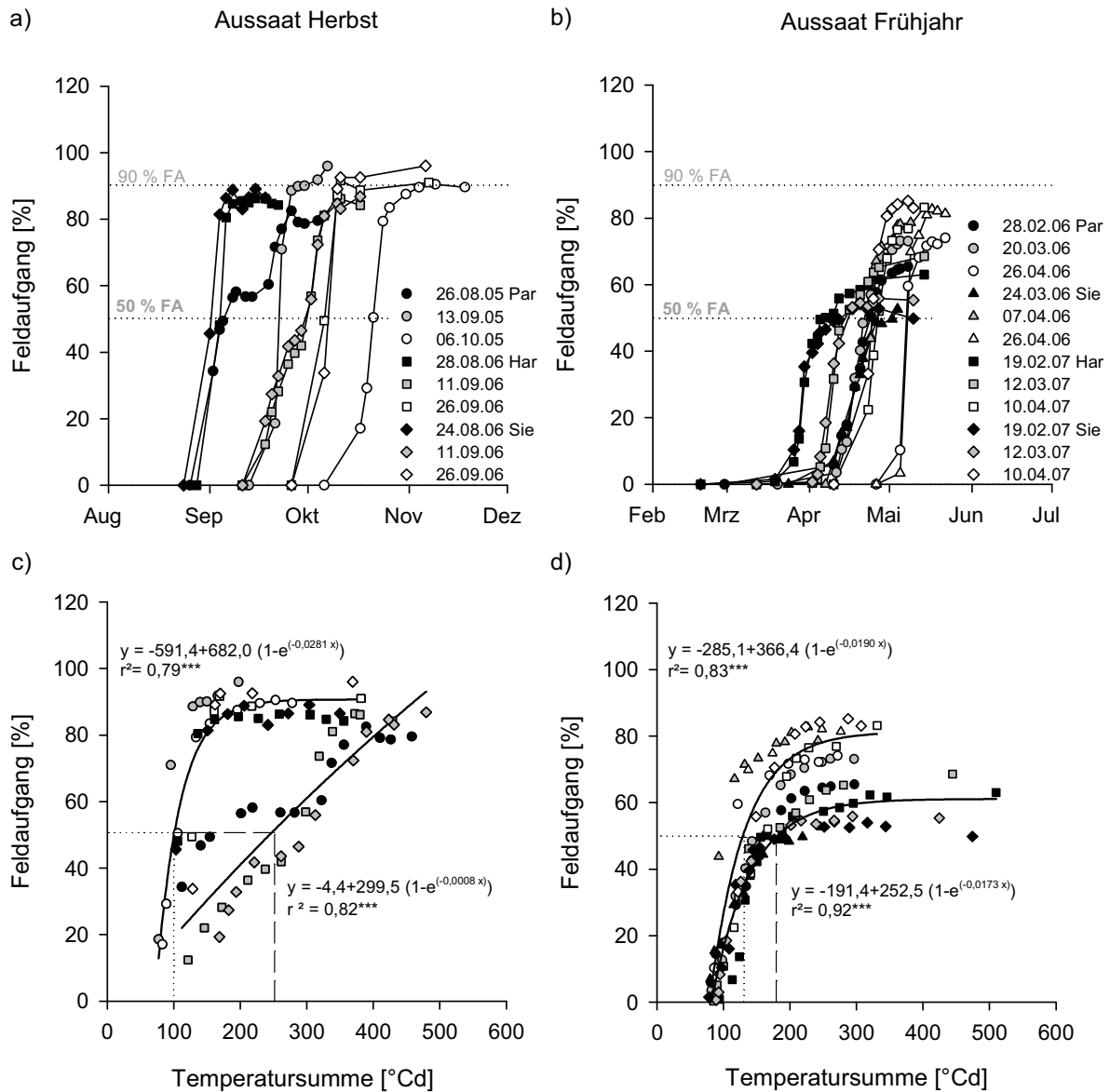


Abb. 3: Feldaufgang (= FA) von Zuckerrüben bei Aussaat im Herbst und im Frühjahr im Jahresverlauf (a, b) und in Abhängigkeit von der Temperatursumme (c, d); Standorte Par = Parsenen, Sie = Sieboldshausen und Har = Harste; drei Versuche Aussaat Herbst und vier Versuche Aussaat Frühjahr im Raum Göttingen, 2005/06 und 2006/07.

Insgesamt zeigte die Regressionsanalyse einen gleichgerichteten und engen Zusammenhang sowohl für die im Februar (2006, 2007) und Mitte März (2007) ($r^2 = 0,92$) als auch für die Ende März (2006) und April (2006, 2007) gesäten Rüben ($r^2 = 0,83$), allerdings auf unterschiedlichem Feldaufgangsniveau.

3.1.2 Durchmesser der Rübe

Die im Herbst gesäten Rüben unterschieden sich im Dezember deutlich im maximalen Durchmesser (Abb. 4a). Die im August gesäten Rüben erreichten zu diesem Zeitpunkt in beiden Versuchsjahren einen etwa doppelt so großen Durchmesser wie die Mitte September gesäten Rüben. Die Ende September 2006 bzw. Anfang Oktober 2005 gesäten Rüben konnten aufgrund zu geringer Größe nicht vermessen werden.

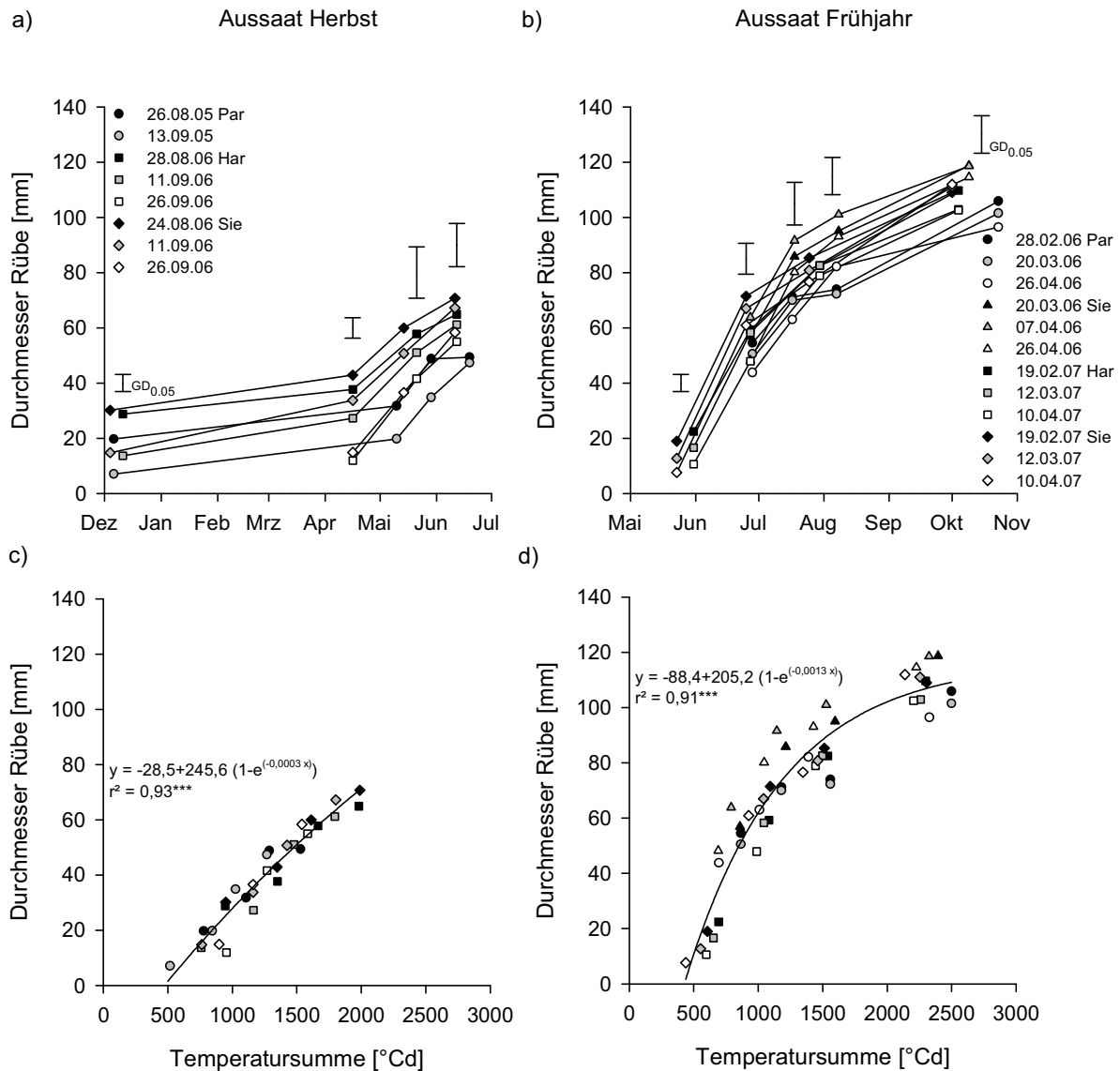


Abb. 4: Entwicklung des maximalen Durchmessers von Zuckerrüben bei Aussaat im Herbst und im Frühjahr im Jahresverlauf (a, b) und in Abhängigkeit von der Temperatursumme (c, d); Standorte Par = Parendsen, Sie = Sieboldshausen und Har = Harste; drei Versuche Aussaat Herbst und vier Versuche Aussaat Frühjahr im Raum Göttingen, 2005/06 und 2006/07.

Im weiteren Vegetationsverlauf nahm der Durchmesser zu, wobei der Unterschied zwischen den Rüben der verschiedenen Aussaattermine immer weiter abnahm. Zur Ernte im Juni erreichten die Rüben einen Durchmesser von im Mittel 67 mm (Aussaat August), 65 mm

(Aussaat Mitte September) und 55 mm (Aussaat Ende September). Ausnahme bildete der Standort Parensen, wo die Rüben beider Aussaattermine einen geringeren Durchmesser von maximal 49 mm erreichten. Insgesamt nahm der Durchmesser der im Herbst gesäten Rüben bis zur Endernte mit zunehmender Temperatursumme annähernd linear zu (Abb. 4c). Die Regressionsanalyse ergab eine sehr enge positive Beziehung mit einem Bestimmtheitsmaß von 93 %.

Auch bei den im Frühjahr gesäten Rüben nahm der Durchmesser im Verlauf der Entwicklung zu, dabei trat die stärkste Zunahme etwa bis Ende Juli/Anfang August auf (Abb. 4b). Zum ersten Erntetermin war ein Unterschied im Durchmesser zwischen den Rüben der verschiedenen Aussaattermine vorhanden, wobei die jeweils früher gesäten Rüben den größeren Durchmesser hatten. Im Verlauf der Vegetationsperiode nahm der Unterschied im Durchmesser zwischen den verschiedenen Aussaatterminen ab. Zur Endernte erreichten die im Februar gesäten Rüben einen Durchmesser von im Mittel 108 mm, die im März gesäten von 112 mm und die im April gesäten von 104 mm. Bezogen auf die Temperatursumme erfolgte eine nahezu lineare Zunahme des Durchmessers bis etwa 1500 °Cd, danach flachte die Kurve ab, so dass sich ein asymptotischer Verlauf ergab (Abb. 4d). Die Beziehung zwischen Temperatursumme und Durchmesser war sehr eng und positiv mit einem Bestimmtheitsmaß von 91 %.

3.1.3 Anzahl Kambiumringe

Schon früh war sowohl bei den im Herbst als auch bei den im Frühjahr gesäten Rüben der überwiegende Anteil an Kambiumringen gebildet (Abb. 5a, b).

Bei Aussaat im Herbst wiesen die im August gesäten Rüben bereits vor dem Winter in beiden Versuchsjahren sechs bis acht und die Mitte September gesäten Rüben vier bis sechs Kambiumringe auf. Bei den Ende September gesäten Rüben konnten aufgrund zu geringer Größe keine Kambiumringe bestimmt werden. Die maximale Anzahl an Kambiumringen hatten die im Herbst gesäten Rüben bereits im Mai erreicht. Dabei wiesen die im August gesäten Rüben mit acht bis neun Ringen einen Ring mehr auf als die Mitte und Ende September gesäten Rüben. Mit steigender Temperatursumme nahm auch die Anzahl Kambiumringe bis zu einem Maximum zu, dabei war der überwiegende Anteil bei einer Temperatursumme von etwa 1000 °Cd gebildet und das Maximum wurde bei 1500 °Cd erreicht (Abb. 5c).

Bei den im Frühjahr gesäten Rüben war Ende Juni mit acht Ringen der überwiegende Anteil an Kambiumringen gebildet (Abb. 5b). Im weiteren Verlauf bildeten die im Frühjahr gesäten Rüben in beiden Versuchsjahren weitere Kambiumringe aus, so dass eine maximale Anzahl von neun bis zehn Kambiumringen zur Endernte erreicht wurde. Ab Mitte Juli waren keine

deutlichen Unterschiede mehr zwischen den Aussatterminen an einem Standort bezogen auf die Anzahl Kambiumringe vorhanden.

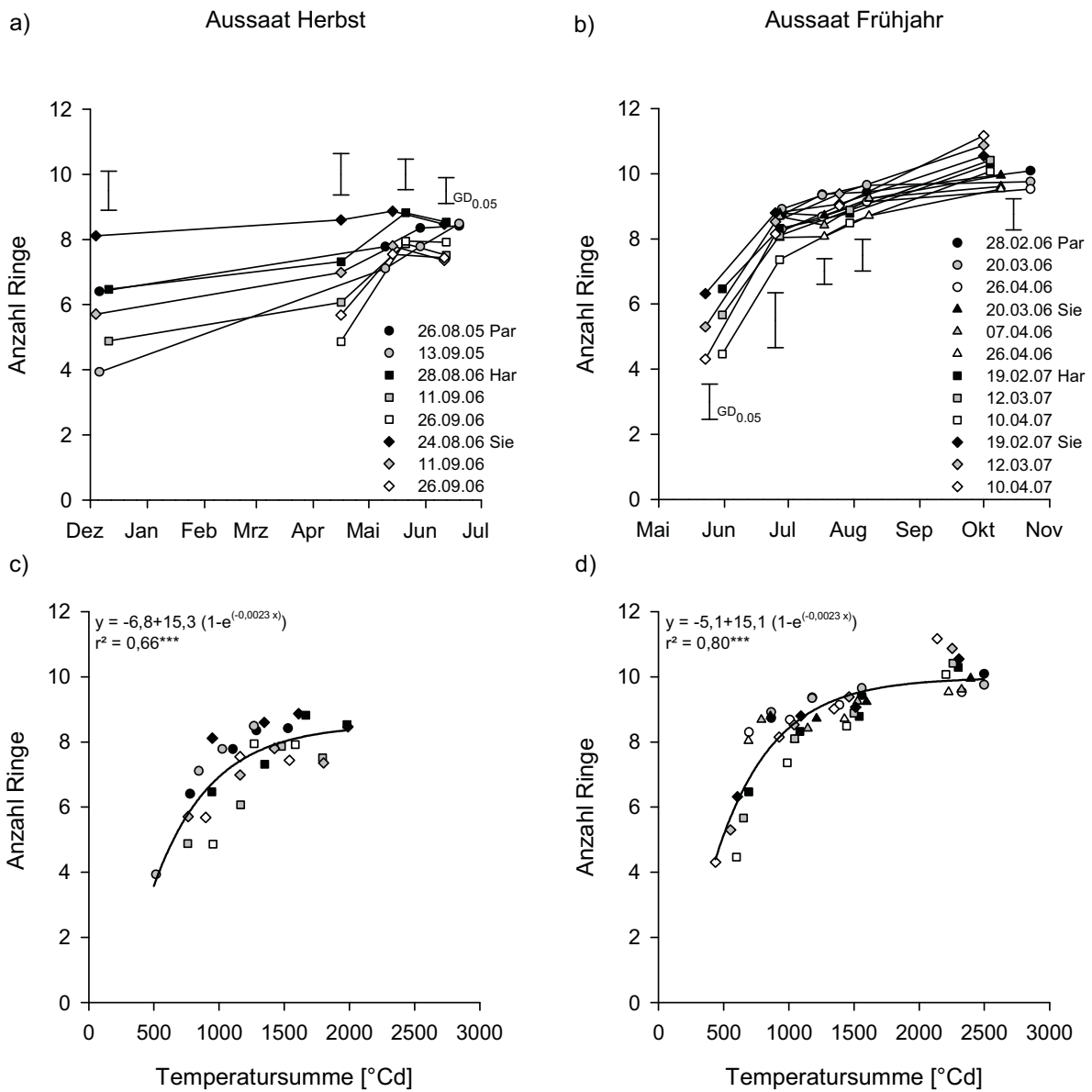


Abb. 5: Anzahl Kambiumringe von Zuckerrüben bei Aussaat im Herbst und im Frühjahr im Jahresverlauf (a, b) und in Abhängigkeit von der Temperatursumme (c, d); Standorte Par = Parensen, Sie = Sieboldshausen und Har = Harste; drei Versuche Aussaat Herbst und vier Versuche Aussaat Frühjahr im Raum Göttingen, 2005/06 und 2006/07.

In Abhängigkeit von der Temperatursumme zeigte die Entwicklung der Anzahl Kambiumringe bei den im Frühjahr gesäten Rüben einen ähnlichen Verlauf wie bei den im Herbst gesäten Rüben (Abb. 5d). Mit zunehmender Temperatursumme nahm die Anzahl der Kambiumringe bis zu einem Maximum zu, der überwiegende Anteil war ebenfalls bei einer Temperatursumme von etwa 1000 °Cd gebildet und die maximale Anzahl bei etwa 1500 °Cd. Zudem ergab die Regressionsanalyse eine annähernd identische Regressionsfunktion.

3.1.4 Abstand der Kambiumringe

Im Verlauf der Entwicklung stieg nicht nur die Anzahl der Kambiumringe, sondern auch der Abstand zwischen den Ringen, und zwar in Abhängigkeit von der Entfernung vom Zentralzylinder (Abb. 6, Anhang 2 - 4), worin sich auch die Entwicklung des Durchmessers widerspiegelte. Exemplarisch sind die Abstände zwischen den Ringen für den Standort Sieboldshausen 2006/07 dargestellt.

Früh in der Entwicklung zeigten sich deutliche Unterschiede zwischen den Aussaatterminen. Die Rüben des jeweils früheren Aussaattermins im Herbst und auch im Frühjahr wiesen die jeweils größeren Abstände zwischen allen Ringen auf. Im Verlauf der Entwicklung nahmen die Abstände zwischen allen Ringen, insbesondere zwischen den inneren sechs Ringen, zu. Dabei war zur Ernte, besonders deutlich bei den im Frühjahr gesäten Rüben, kaum noch ein Unterschied zwischen den Aussaatterminen im Abstand zwischen den einzelnen Ringen vorhanden. Insgesamt war bei den im Frühjahr gesäten Rüben zur Ernte im Oktober der Abstand zwischen allen Ringen größer als bei den im Herbst gesäten Rüben zur Ernte im Juni.

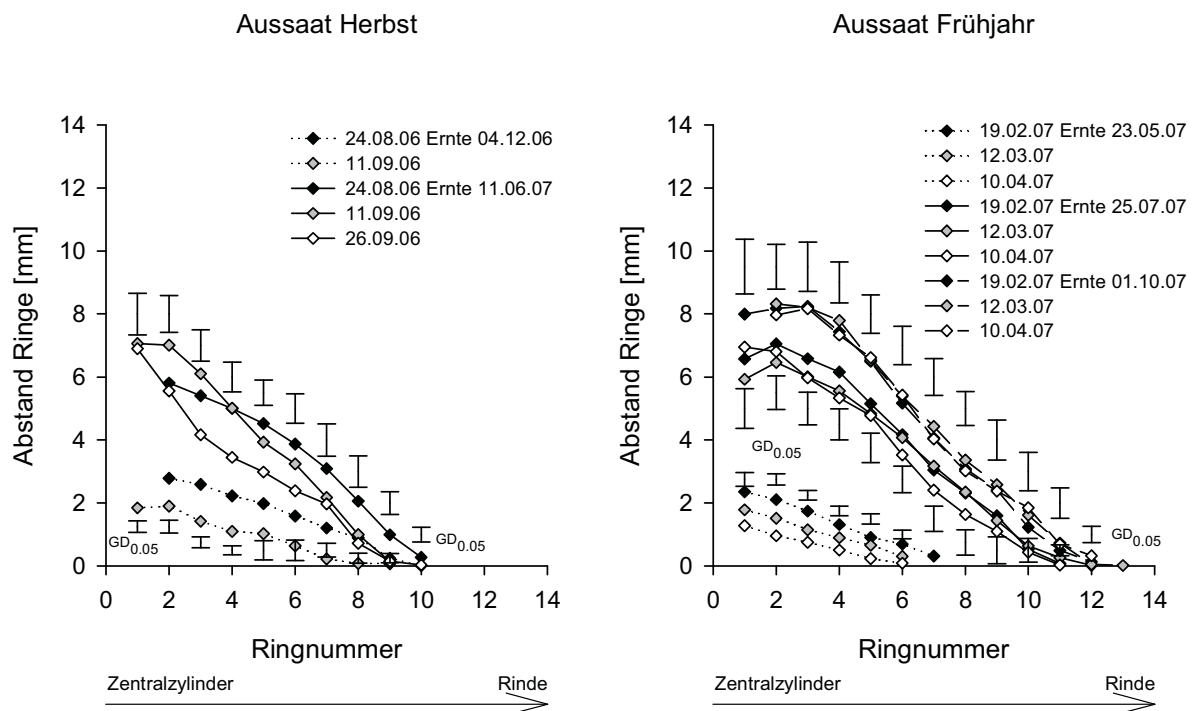


Abb. 6: Abstand zwischen den Kambiumringen von Zuckerrüben in Abhängigkeit von der Entfernung zum Zentralzylinder bei Aussaat im Herbst und im Frühjahr im Jahresverlauf; Aussaat Herbst: Ernten Dezember und Juni, Aussaat Frühjahr: Ernten Mai, Juli und Oktober; Sieboldshausen 2006/07.

3.1.5 Blatt- und Rübenrockenmasse

Die Blattrockenmasse stieg sowohl bei den im Herbst als auch bei den im Frühjahr gesäten Rüben im Vegetationsverlauf kontinuierlich an, wobei sich unterschiedliche Wachstumsver-

läufe zeigten (Abb. 7a, b). Die Blatttrockenmasse der im Herbst gesäten Rüben nahm ab April nahezu exponentiell zu und erreichte im Juni zur Endernte 6 bis 9 t ha⁻¹, wobei ein deutlicher Unterschied zwischen den Aussaatterminen auftrat (Abb. 7a). Die jeweils früher gesäten Rüben hatten den höheren Blatttrockenmasseertrag. Die Entwicklung der Blatttrockenmasse der im Herbst gesäten Rüben bezogen auf die Temperatursumme ließ sich am besten mit einer sigmoiden Funktion beschreiben (Abb. 7c). Das Bestimmtheitsmaß lag bei 91 %.

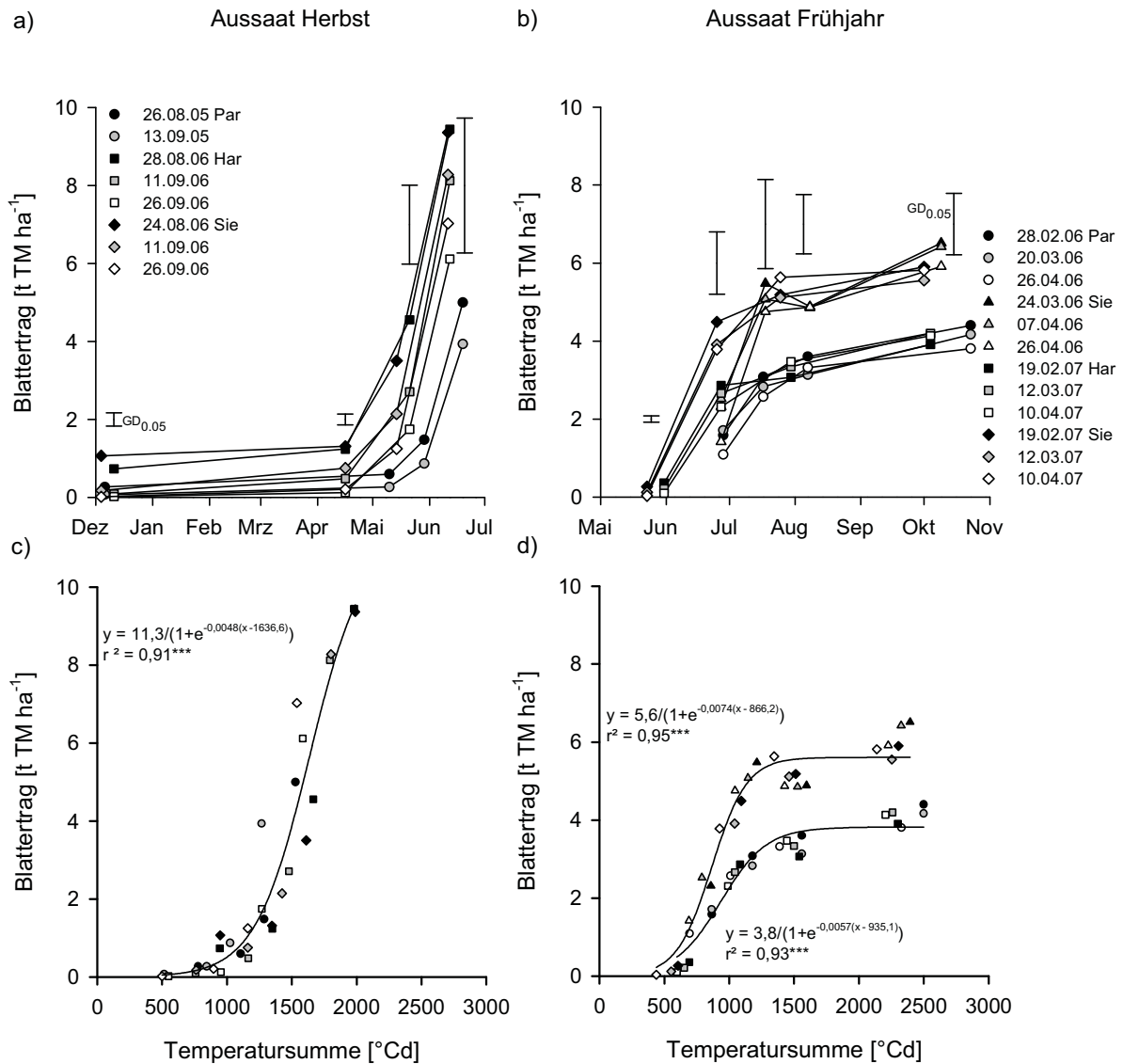


Abb. 7: Entwicklung der Blatttrockenmasse von Zuckerrüben bei Aussaat im Herbst und im Frühjahr im Jahresverlauf (a, b) und in Abhängigkeit von der Temperatursumme (c, d); Standorte Par = Parensen, Sie = Sieboldshausen und Har = Harste; drei Versuche Aussaat Herbst und vier Versuche Aussaat Frühjahr im Raum Göttingen, 2005/06 und 2006/07.

Bei den im Frühjahr gesäten Rüben war der Unterschied zwischen den Aussaatterminen über die gesamte Vegetationsperiode gering, wobei ein deutlicher Unterschied zwischen den Standorten auftrat (Abb. 7b). Die im Frühjahr gesäten Rüben am Standort Sieboldshausen

hatten in beiden Versuchsjahren bis August einen Blatttrockenmasseertrag von im Mittel 5 t ha^{-1} , während die Rüben am Standort Parendsen und Harste nur einen Blatttrockenmasseertrag von im Mittel 3 t ha^{-1} erreichten. Ab August nahm die Blatttrockenmasse bis zur Ernte im Oktober noch geringfügig zu. Der überwiegende Anteil der Blatttrockenmasse war somit an allen Standorten bei einer Temperatursumme von etwa 1250 °Cd gebildet worden (Abb. 7d). Die Entwicklung der Blatttrockenmasse der im Frühjahr gesäten Rüben ließ sich am besten mit sigmoiden Funktionen beschreiben. Die Regressionsgleichungen ergaben Bestimmtheitsmaße von 93 bzw. 95 %.

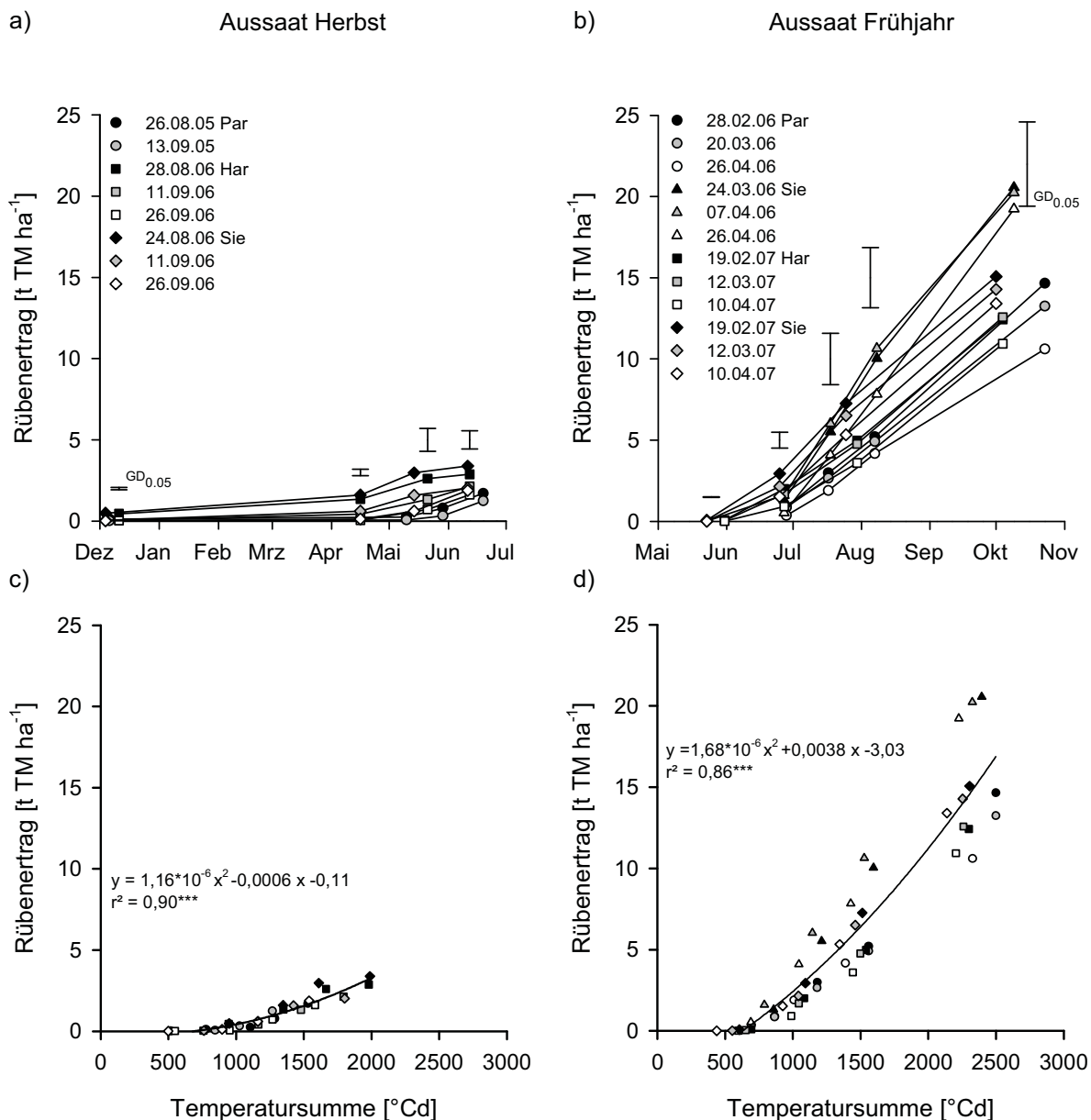


Abb. 8: Entwicklung der Rübentrockenmasse von Zuckerrüben bei Aussaat im Herbst und im Frühjahr im Jahresverlauf (a, b) und in Abhängigkeit von der Temperatursumme (c, d); Standorte Par = Parendsen, Sie = Sieboldshausen und Har = Harste; drei Versuche Aussaat Herbst und vier Versuche Aussaat Frühjahr im Raum Göttingen, 2005/06 und 2006/07.

Die Rübentrockenmasse nahm im Vegetationsverlauf sowohl bei Herbst- als auch bei Frühljahrsaussaat zu, allerdings auf sehr unterschiedlichem Niveau (Abb. 8a, b). Die im Herbst gesäten Rüben erreichten bis zur Ernte im Juni im Mittel 2 bis 3 t ha⁻¹ Rübentrockenmasse. Tendenziell wiesen dabei die jeweils früher gesäten Rüben den jeweils höheren Rübentrockenmasseertrag auf, wobei sich der Einfluss des Aussaattermins zur Ernte im Juni verringerte. Die Beziehung zwischen Temperatursumme und Rübentrockenmasse konnte dabei am besten mit einer quadratischen Funktion beschrieben werden (Abb. 8c). Mit zunehmender Temperatursumme nahm die Rübentrockenmasse zu. Das Bestimmtheitsmaß lag bei 90 %.

Die im Frühjahr gesäten Rüben wiesen hingegen zur Ernte im Oktober einen Rübentrockenmasseertrag von 12 bis 14 t ha⁻¹ auf (Abb. 8b). Ausnahmen waren die am Standort Sieboldshausen 2006 gesäten Rüben, die Erträge von 19 bis 21 t ha⁻¹ erreichten. Der Einfluss des Aussaattermins war dabei vor allem zwischen den Aussaatterminen Februar und März gering. Ausnahme bildete der Standort Parendsen 2006, wo ein deutlicherer Einfluss des Aussaattermins auf den Rübenertrag zur Ernte erkennbar war. Die Beziehung zwischen Temperatursumme und Rübentrockenmasse konnte auch hier am besten mit einer quadratischen Funktion beschrieben werden (Abb. 8d). Mit zunehmender Temperatursumme nahm die Rübentrockenmasse zu. Allerdings geschah dies bei den im Frühjahr gesäten Rüben auf einem höheren Niveau als bei den im Herbst gesäten Rüben. Das Bestimmtheitsmaß lag bei Aussaat im Frühjahr bei 86 %. Die jeweiligen Frischmasseerträge verhielten sich ähnlich wie die Trockenmasseerträge (Anhang 7 - 8).

3.1.6 Rübe-Blattverhältnis

Die pro Einheit Blattertrag gebildete Menge Rübenertrag wird mit dem Rübe-Blattverhältnis angegeben. Das Verhältnis von Rüben- zu Blatttrockenmasse stieg bei den im Herbst gesäten Rüben bis Mitte Mai an und erreichte maximale Werte von im Mittel 1,2 t TM t⁻¹ TM (Aussaat August), 0,7 t TM t⁻¹ TM (Aussaat Mitte September) und 0,6 t TM t⁻¹ TM (Aussaat Ende September) (Abb. 9a). Bis zur Ernte Mitte Juni nahm das Rübe-Blattverhältnis der Rüben aller Aussaattermine auf Werte zwischen 0,2 bis 0,4 t TM t⁻¹ TM ab. Am Standort Parendsen 2005/06 veränderte sich das Rübe-Blattverhältnis der im August und Mitte September gesäten Rüben im Verlauf der Entwicklung kaum. Bei den im Herbst gesäten Rüben gab es keine enge Beziehung zwischen Temperatursumme und Rübe-Blattverhältnis (Abb. 9c).

Die im Frühjahr gesäten Rüben unterschieden sich zu Beginn der Entwicklung im Rübe-Blattverhältnis nur geringfügig (Abb. 9b). Die Werte lagen Ende Juni im Mittel bei 0,6 t TM t⁻¹ TM (Aussaat Februar), 0,5 t TM t⁻¹ TM (Aussaat März) und 0,4 t TM t⁻¹ TM (Aussaat April). Im weiteren Verlauf stieg das Rübe-Blattverhältnis bei den Rüben aller Aussaat-

termine bis zur Endernte im Oktober auf Werte zwischen 2,3 t TM t⁻¹ TM und 3,3 t TM t⁻¹ TM an. Dabei wiesen die jeweils früher gesäten Rüben das größere Rübe-Blattverhältnis auf. Die Beziehung zwischen Temperatursumme und Rübe-Blattverhältnis ließ sich mit einer linearen Funktion beschreiben (Abb. 9d).

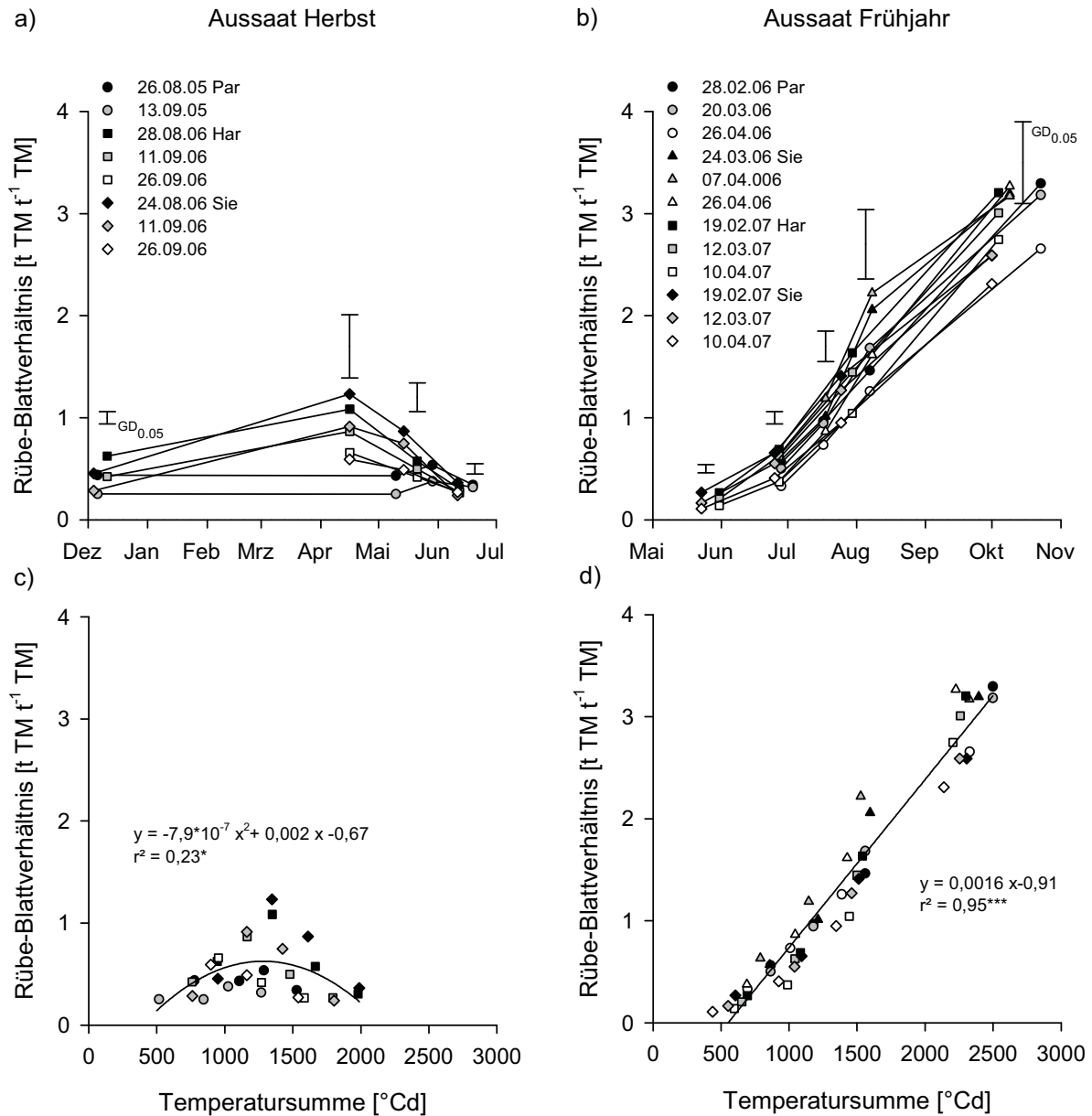


Abb. 9: Entwicklung des Rübe-Blattverhältnisses von Zuckerrüben bei Aussaat im Herbst und im Frühjahr im Jahresverlauf (a, b) und in Abhängigkeit von der Temperatursumme (c, d); Standorte Par = Parensen, Sie = Sieboldshausen und Har = Harste; drei Versuche Aussaat Herbst und vier Versuche Aussaat Frühjahr im Raum Göttingen, 2005/06 und 2006/07.

3.1.7 Wachstumsraten

Die absoluten und relativen Wachstumsraten der Gesamttrockenmasse sind aufgrund der besseren Vergleichbarkeit zwischen im Herbst und im Frühjahr gesäten Rüben nur in Ab-

hängigkeit von der Temperatursumme dargestellt. Die absolute Wachstumsrate nahm bei den im Herbst gesäten Rüben mit steigender Temperatursumme zu und ließ sich somit am besten mit einer quadratischen Funktion beschreiben (Abb. 10a). Zur Endernte wiesen die im Herbst gesäten Rüben eine absolute Wachstumsrate von 0,25 t TM ha⁻¹ d⁻¹ auf.

Die absolute Wachstumsrate der im Frühjahr gesäten Rüben war gekennzeichnet durch einen Anstieg zu Beginn des Wachstums verbunden mit einer darauf folgenden Abnahme (Abb. 10b). Die maximale Wachstumsrate wurde bei einer Temperatursumme von 1600 °Cd erreicht und lag bei den im Februar gesäten Rüben bei 0,18 bis 0,23 t TM ha⁻¹ d⁻¹, bei den im März gesäten Rüben bei 0,17 bis 0,19 t TM ha⁻¹ d⁻¹ und bei den im April gesäten Rüben bei 0,12 bis 0,17 t TM ha⁻¹ d⁻¹.

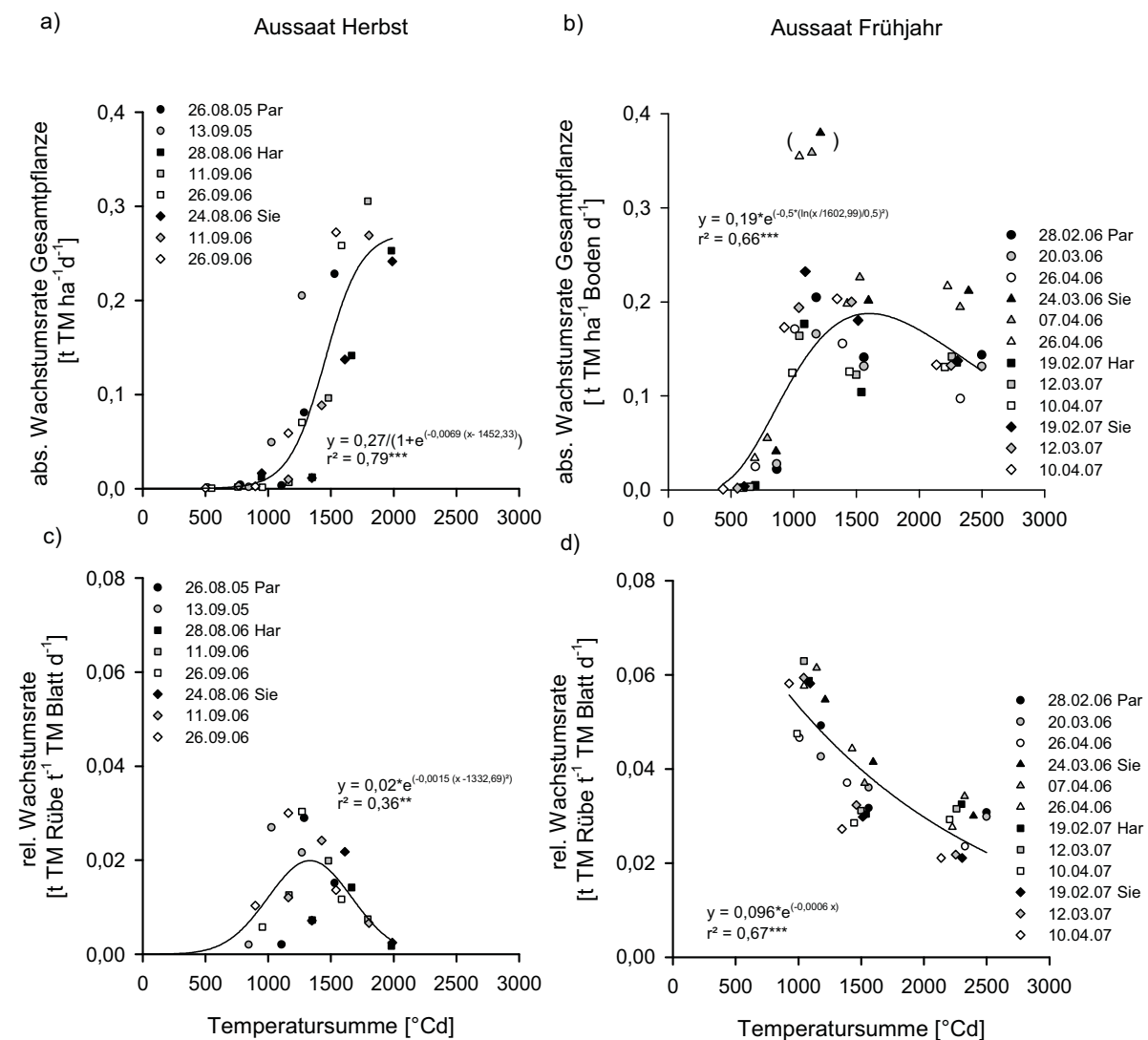


Abb. 10: Absolute (a, b) und relative (c, d) Wachstumsraten von Zuckerrüben bei Aussaat im Herbst und im Frühjahr in Abhängigkeit von der Temperatursumme; Standorte Par = Parensen, Sie = Sieboldshausen und Har = Harste; drei Versuche Aussaat Herbst und vier Versuche Aussaat Frühjahr im Raum Göttingen, 2005/06 und 2006/07.

Ausnahme bildeten die maximalen Wachstumsraten am Standort Sieboldshausen 2006, die mit im Mittel $0,36 \text{ t TM ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ sehr hoch waren und bei der Regressionsanalyse nicht mit verrechnet wurden.

Die relative Wachstumsrate, die einen Effizienzindex darstellt, zeigte bei den im Herbst gesäten Rüben keine Beziehung zur Temperatursumme (Abb. 10c). Die maximale relative Wachstumsrate wurde bei einer Temperatursumme von 1360 °Cd erreicht und lag zwischen $0,01$ und $0,03 \text{ t TM Rübe t}^{-1} \text{ TM Blatt d}^{-1}$. Zur Endernte lag die relative Wachstumsrate bei im Mittel $0,01 \text{ t TM Rübe t}^{-1} \text{ TM Blatt d}^{-1}$.

Bei den im Frühjahr gesäten Rüben nahm die relative Wachstumsrate mit zunehmender Temperatursumme ab (Abb. 10d). Zu Beginn der Entwicklung, bei einer Temperatursumme von 1100 °Cd , lag die relative Wachstumsrate bei den im Februar gesäten Rüben bei $0,06 \text{ t TM Rübe t}^{-1} \text{ TM Blatt d}^{-1}$ und bei den im März und April gesäten Rüben bei $0,05 \text{ t TM Rübe t}^{-1} \text{ TM Blatt d}^{-1}$. Zur Endernte lag die relative Wachstumsrate sowohl für im Februar als auch im März und April gesäten Rüben bei $0,03 \text{ t TM Rübe t}^{-1} \text{ TM Blatt d}^{-1}$.

3.2 Einfluss einer Aussaat im Herbst bzw. im Frühjahr auf die technische Qualität der Zuckerrübe im Vegetationsverlauf

3.2.1 Trockensubstanz-, Zucker- und Markgehalt der Rübe

Die untersuchten Qualitätsparameter werden exemplarisch für den Standort Sieboldshausen 2006/07 dargestellt, die Ergebnisse der übrigen Standorte sind im Anhang (13 - 15) abgebildet. Die Trockensubstanz der Rübe setzt sich zusammen aus Zucker, Mark und Nichtzuckerstoffen (Abb. 11). Insgesamt war der Trockensubstanz-, Zucker-, Mark- und Nichtzuckerstoffgehalt bei den im Herbst gesäten Rüben bereits vor Winter sehr hoch. Der Trockensubstanzgehalt lag bei den im August und Mitte September gesäten Rüben im Dezember bei 22 bzw. 21 %, der Zuckergehalt bei 13 bzw. 9 % und der Markgehalt bei 7 bzw. 9 %. Bei den Ende September gesäten Rüben konnte der Zuckergehalt aufgrund zu geringer Probenmenge nicht ermittelt werden.

Der Trockensubstanz-, Zucker- und Markgehalt nahm im weiteren Verlauf bis Ende Mai kontinuierlich ab; nur der Markgehalt stieg ab Mai bis zur Endernte wieder etwas an. Bei den im Herbst gesäten Rüben traten zu jedem Erntetermin signifikante Unterschiede im Zuckergehalt auf, wobei die jeweils früher gesäten Rüben einen höheren Zuckergehalt aufwiesen. Während beim Markgehalt nur im Mai ein Einfluss des Aussaattermins auftrat, war in den Monaten April und Mai ein Einfluss des Aussaattermins auf den Trockensubstanzgehalt gegeben. Dabei hatten die jeweils früher gesäten Rüben den höheren Trockensubstanzgehalt. Auffallend war bei Aussaat im Herbst der im Vergleich zur Aussaat im Frühjahr über die gesamte Periode höhere Markgehalt.

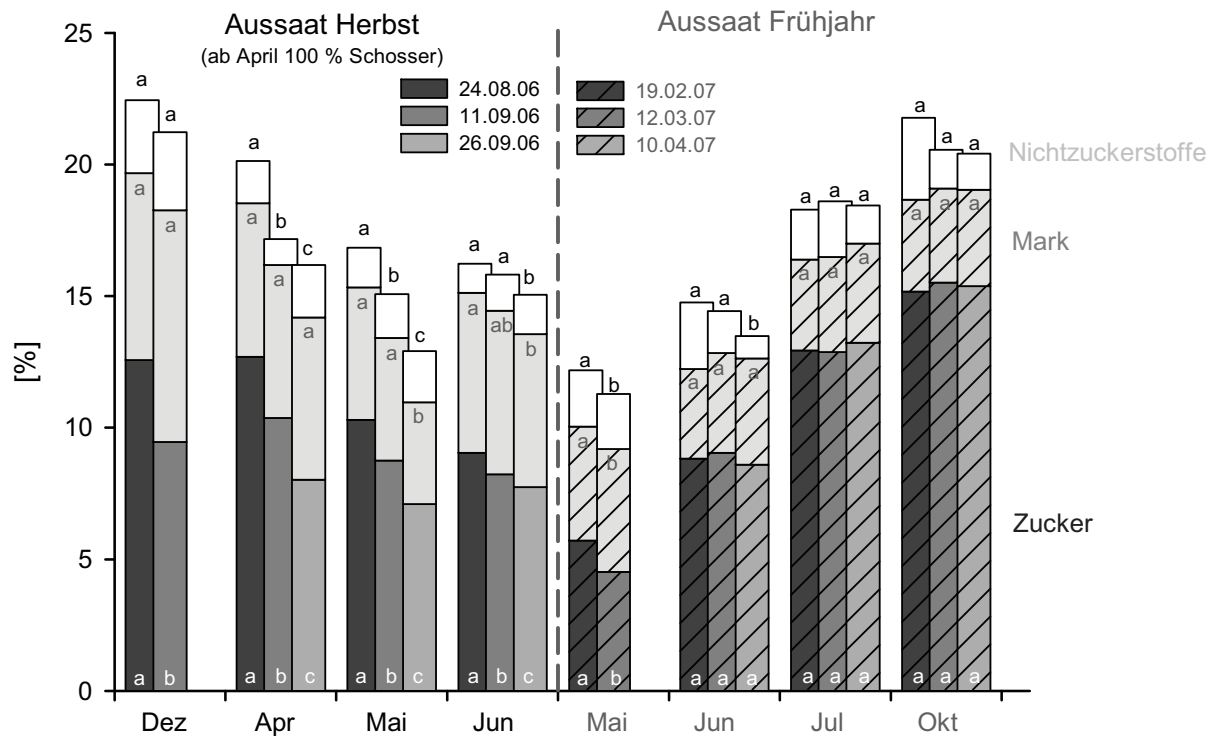


Abb. 11: Entwicklung des Trockensubstanz- (gesamte Säule), Zucker-, Mark- und Nichtzuckerstoffgehaltes von Zuckerrüben bei Aussaat im Herbst und im Frühjahr im Verlauf der Vegetationsperiode; zum jeweiligen Erntetermin mit gleichen Buchstaben gekennzeichnete Werte unterscheiden sich nicht signifikant voneinander (REGW-Test bei $p < 0,05$); Sieboldshausen 2006/07.

Bei den im Frühjahr gesäten Rüben zeigte sich für den Gehalt an Trockensubstanz und Zucker eine gegenläufige Entwicklung (Abb. 11). So nahmen der Trockensubstanz- und Zuckergehalt der Rüben aller Aussaattermine im Frühjahr während der Vegetationsperiode deutlich zu und erreichte zur Ernte im Oktober Werte von 20 bis 22 % Trockensubstanz sowie Zuckergehalte von 15 bis 16 %. Der Markgehalt lag zu Beginn der Entwicklung bei 4,5 % und nahm bis Juni auf 3,5 % ab und veränderte sich bis zur Ernte kaum.

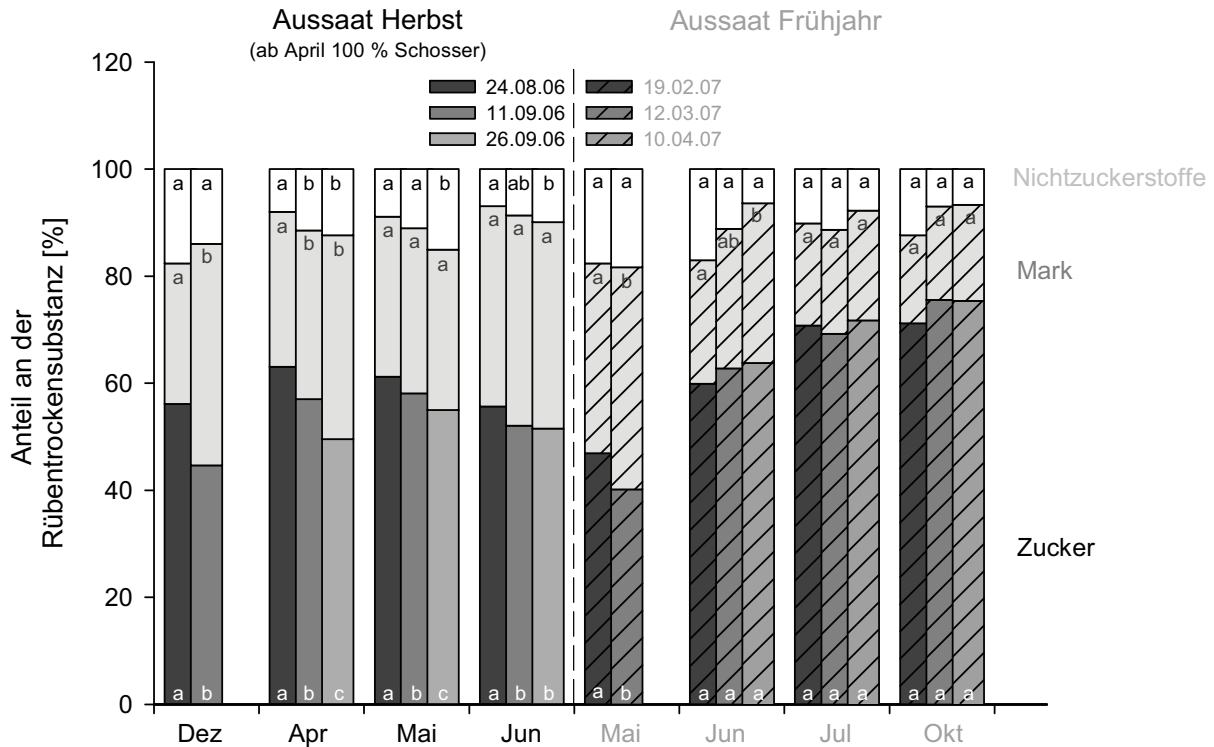


Abb. 12: Entwicklung der Anteile von Zucker, Mark und Nichtzuckerstoffen an der Rübertrockensubstanz von Zuckerrüben bei Aussaat im Herbst und im Frühjahr im Verlauf der Vegetationsperiode; zum jeweiligen Erntetermin mit gleichen Buchstaben gekennzeichnete Werte unterscheiden sich nicht signifikant voneinander (REGW-Test bei $p < 0,05$); Sieboldshausen 2006/07.

Mit Ausnahme der Ernte im Mai sowie bezogen auf den Trockensubstanzgehalt im Juni traten keine signifikanten Unterschiede im Trockensubstanz-, Zucker- und Markgehalt zwischen den Aussaatterminen auf.

Der Anteil des Zuckers an der Trockensubstanz (Abb. 12, Anhang 16 - 18) lag bei den im Herbst gesäten Rüben zur Endernte im Juni zwischen 52 und 56 %, wobei die im August gesäten Rüben gegenüber den Mitte und Ende September gesäten Rüben einen signifikant höheren Anteil Zucker an der Trockensubstanz aufwiesen. Der Anteil Mark lag zwischen 37 und 39 % und war nicht signifikant. Nur bis zur Ernte im April traten signifikante Unterschiede zwischen den Aussaatterminen auf.

Bei den im Frühjahr gesäten Rüben lag hingegen der Anteil Zucker an der Trockensubstanz bereits im Juni zwischen 60 und 64 % und stieg bis zur Endernte im Oktober auf Werte zwischen 71 und 76 % an (Abb. 12). Mit Ausnahme im Mai traten keine signifikanten Unterschiede bezogen auf den Anteil Zucker an der Trockensubstanz auf. Der Anteil Mark nahm im Verlauf der Vegetationsperiode kontinuierlich auf 16 bis 18 % ab. Die Unterschiede zwischen den Aussaatterminen waren nur bis zur Ernte im Juni signifikant.

3.2.2 Melassebildner

Die Gehalte der Melassebildner Kalium, Natrium und α -Amino-N sind auf Frischmasse bezogen dargestellt. Sie waren zu Beginn der Entwicklung sowohl bei den im Herbst als auch bei den im Frühjahr gesäten Rüben am höchsten und nahmen im weiteren Entwicklungsverlauf ab (Abb. 13, 14; Anhang 20 - 25). Die größten Veränderungen traten zwischen den ersten Ernteterminen auf. Ausnahme bildete der Natriumgehalt der im Herbst gesäten Rüben, der einen gegenläufigen Verlauf zeigte. Dort kam es ab April zu einem kontinuierlichen Anstieg des Natriumgehaltes.

Der Kaliumgehalt der im Herbst gesäten Rüben betrug im Dezember 92 (Aussaat August) und 113 mmol 1000 g⁻¹ Rübe (Aussaat Mitte September) (Abb. 13a). Bis April ging er auf 46 bzw. 60 mmol 1000 g⁻¹ Rübe zurück und veränderte sich bis Juni kaum noch. Bei den Ende September gesäten Rüben lag der Kaliumgehalt im April bei 85 mmol 1000 g⁻¹ Rübe und ging bis zur Ernte im Juni auf 65 mmol 1000 g⁻¹ Rübe zurück.

Die im Frühjahr gesäten Rüben hatten zu Beginn der Entwicklung im Mai einen ähnlich hohen Kaliumgehalt wie die im Herbst gesäten Rüben im Dezember, erreichten aber bis zur Ernte im Oktober mit 30 bis 35 mmol 1000 g⁻¹ Rübe einen deutlich geringeren Gehalt (Abb. 13a). Zu jedem Erntetermin wiesen sowohl bei Aussaat im Herbst als auch im Frühjahr die Rüben der jeweils früheren Aussaattermine den geringeren Kaliumgehalt auf. Der Unterschied zwischen den Aussaatterminen war bei den im Herbst gesäten Rüben zu jedem Erntetermin signifikant, während dies bei den im Frühjahr gesäten Rüben nur zur Ernte im Mai zutraf.

Der Natriumgehalt war sowohl bei den im Herbst als auch bei den im Frühjahr gesäten Rüben über die gesamte Vegetationsperiode deutlich geringer als der Kaliumgehalt (Abb. 13b). Allerdings zeigte sich bei den im Herbst gesäten Rüben nach einer Abnahme des Gehaltes bis April ein deutlicher Anstieg im Natriumgehalt auf 13 bis 14 mmol 1000 g⁻¹ Rübe. Bei den im Frühjahr gesäten Rüben sank der Natriumgehalt hingegen zwischen erster und letzter Ernte von 11 auf 6 mmol 1000 g⁻¹ Rübe (Abb. 13b). Die im August und Mitte September gesäten Rüben unterschieden sich zu keinem Erntetermin signifikant, nur die Ende September gesäten Rüben hatten zur Ernte im April und Mai einen signifikant höheren Natriumgehalt. Bei den im Frühjahr gesäten Rüben hatte der Aussaattermin keinen signifikanten Einfluss.

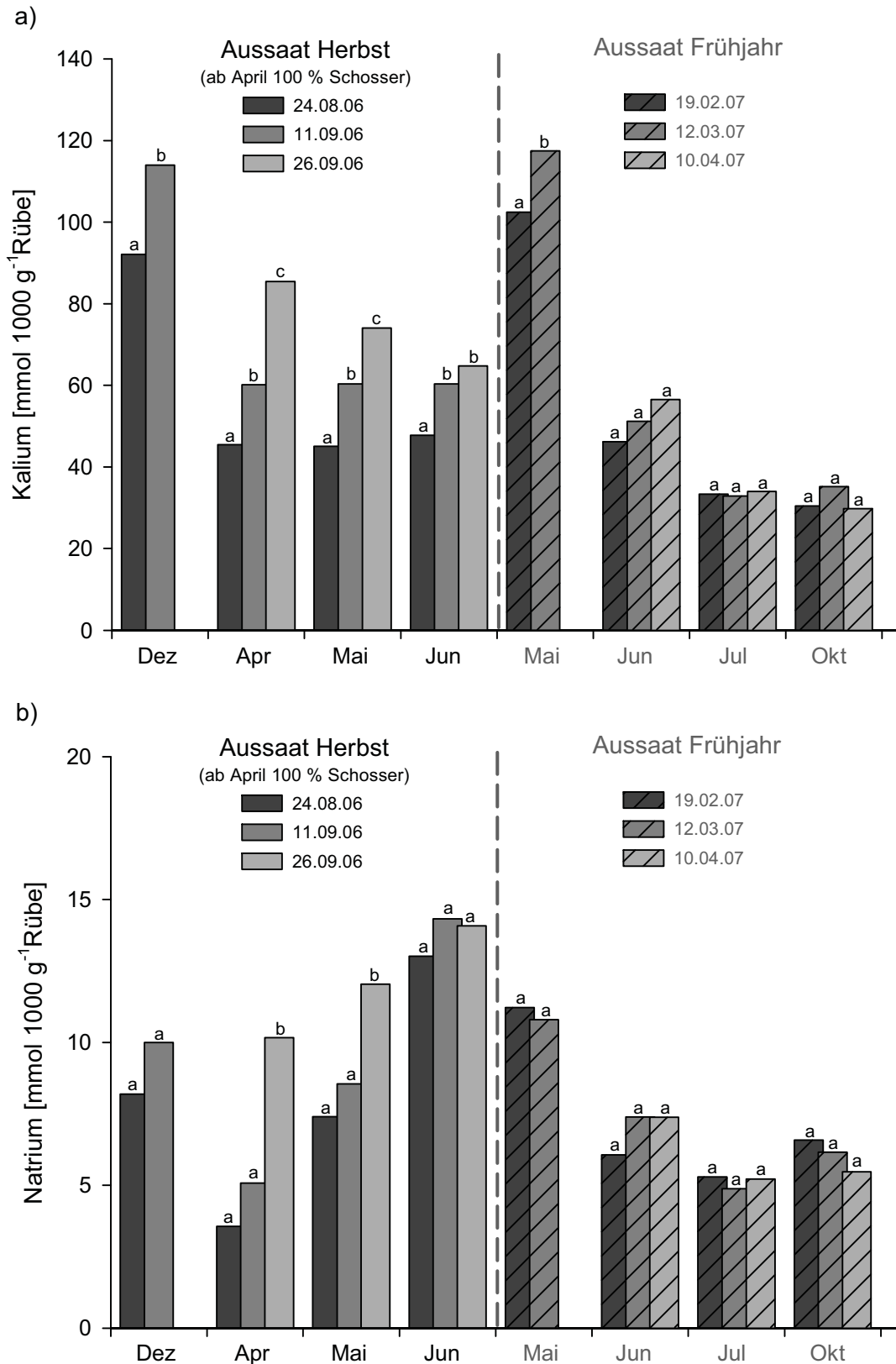


Abb. 13: Entwicklung des Kalium- (a) und Natriumgehaltes (b) von Zuckerrüben bei Aussaat im Herbst und im Frühjahr im Verlauf der Vegetationsperiode; zum jeweiligen Erntetermin mit gleichen Buchstaben gekennzeichnete Werte unterscheiden sich nicht signifikant voneinander (REGW-Test bei $p < 0,05$); Sieboldshausen 2006/07.

Der α -Amino-N-Gehalt ging bei den im Herbst gesäten Rüben im Vegetationsverlauf von 11 (Aussaat August und Mitte September) bzw. 14 mmol 1000 g⁻¹ Rübe (Aussaat Ende September) auf 3 bis 5 mmol 1000 g⁻¹ Rübe zurück, wobei die größte Veränderung zwischen April und Mai auftrat (Abb. 14). Auch bei den im Frühjahr gesäten Rüben kam es zu einer deutlichen Abnahme des α -Amino-N-Gehaltes bereits zwischen den ersten Ernten auf 7 bis 8 mmol 1000 g⁻¹ Rübe. Während der Einfluss des Aussaattermins bei im Frühjahr gesäten Rüben zu keiner Ernte signifikant war, wiesen vor allem die Ende September gesäten Rüben zu jedem Erntetermin einen signifikant höheren α -Amino-N-Gehalt auf.

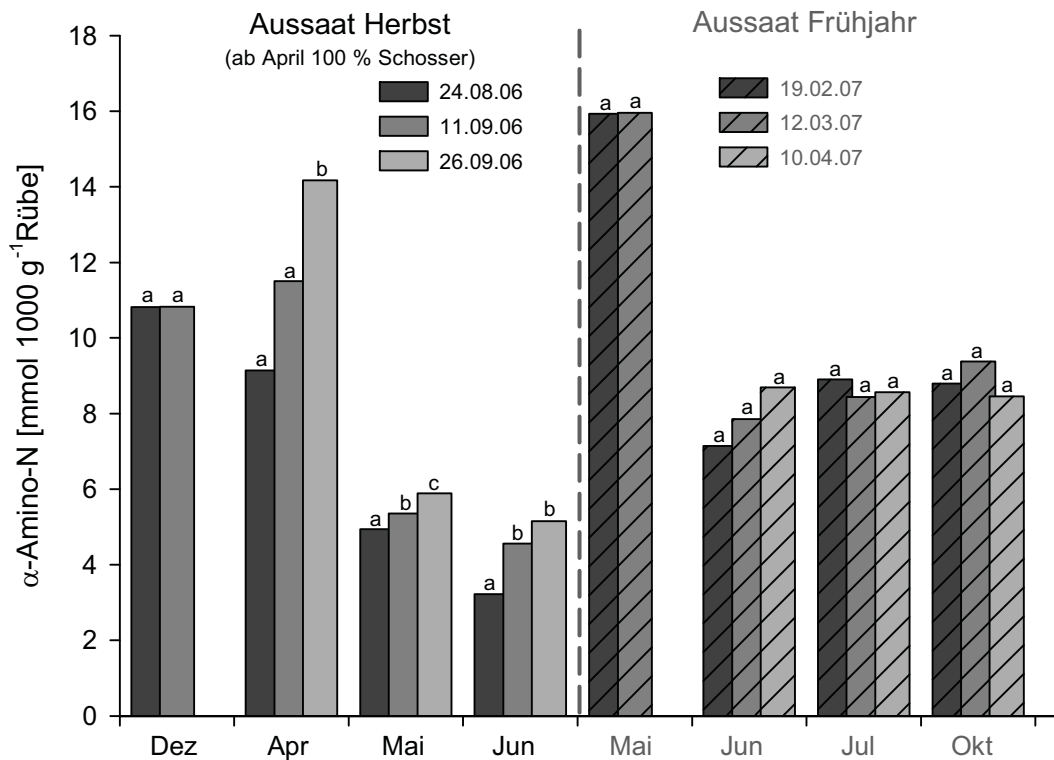


Abb. 14: Entwicklung des α -Amino-Stickstoffgehaltes von Zuckerrüben bei Aussaat im Herbst und im Frühjahr im Verlauf der Vegetationsperiode; zum jeweiligen Erntetermin mit gleichen Buchstaben gekennzeichnete Werte unterscheiden sich nicht signifikant voneinander (REGW-Test bei $p < 0,05$); Sieboldshausen 2006/07.

Insgesamt wiesen vor allem bei Aussaat im Herbst die jeweils früher gesäten Rüben den tendenziell geringeren Gehalt an Melassebildnern auf. Dabei war der Unterschied bei Aussaat im Frühjahr ab Juni eher gering. Im Entwicklungsverlauf hatten im Herbst gesäte Rüben gegenüber im Frühjahr gesäten insgesamt einen höheren Gehalt an den Melassebildnern Kalium und Natrium, dagegen aber einen geringeren Gehalt an α -Amino-N.

3.2.3 Standardmelasseverlust und Bereinigter Zuckerertrag

Als zusammenfassender Parameter der technischen Qualität von Zuckerrüben wurde der Standardmelasseverlust berechnet (Abb. 15, Anhang 26 - 28). Dieser lag bei den im Herbst gesäten Rüben im Dezember bei im Mittel 1,95 % (Aussaats August) und 2,21 % (Aussaats Mitte September) und nahm im Verlauf der Entwicklung auf 1,25 % (Aussaats August), 1,47 % (Aussaats Mitte September) und 1,53 % (Aussaats Ende September) ab. Der Einfluss des Aussaattermins war dabei zu jedem Erntetermin signifikant.

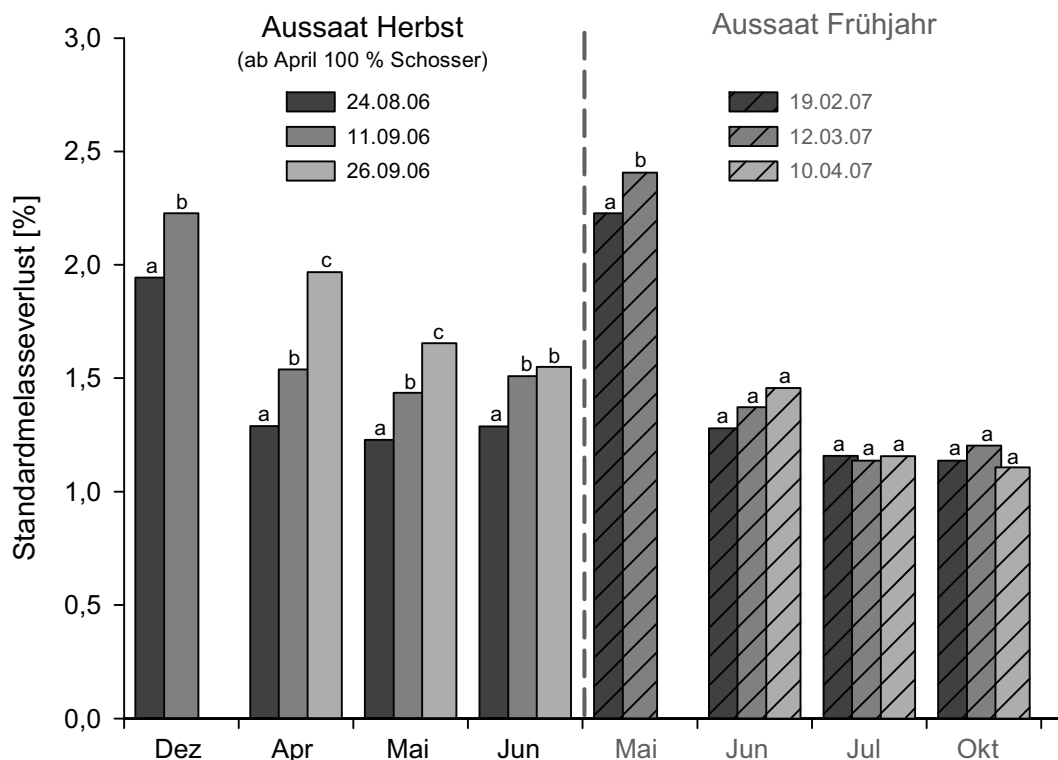


Abb. 15: Entwicklung des Standardmelasseverlustes von Zuckerrüben bei Aussaat im Herbst und im Frühjahr im Verlauf der Vegetationsperiode; zum jeweiligen Erntetermin mit gleichen Buchstaben gekennzeichnete Werte unterscheiden sich nicht signifikant voneinander (REGW-Test bei $p < 0,05$); Sieboldshausen 2006/07.

Bei den im Frühjahr gesäten Rüben unterschied sich der Standardmelasseverlust im Mai signifikant und lag bei 2,11 % (Aussaats Februar) und 2,24 % (Aussaats März) und sank bis zur Endernte im Oktober auf Werte zwischen 1,03 und 1,22 %. Dabei waren keine signifikanten Unterschiede mehr zwischen den Aussaatterminen festzustellen.

Insgesamt hatten sowohl bei Aussaat im Herbst als auch bei Aussaat im Frühjahr die jeweils früher gesäten Rüben zu jedem Erntetermin den geringeren Gehalt an Melassebildnern und somit den geringeren Standardmelasseverlust.

Der Bereinigte Zuckerertrag stieg im Entwicklungsverlauf sowohl bei den im Herbst als auch bei den im Frühjahr gesäten Rüben deutlich an, allerdings auf völlig unterschiedlichem Ni-

veau (Abb. 16, Anhang 29 - 31). Während die im Herbst gesäten Rüben zur Ernte im Juni einen Bereinigten Zuckerertrag von 1,49 t ha⁻¹ (Aussaat August), 0,94 t ha⁻¹ (Aussaat Mitte September) und 0,70 t ha⁻¹ (Aussaat Ende September) erreichten, lag dieser bei im Frühjahr gesäten Rüben zur Ernte im Oktober bei 9,30 t ha⁻¹ (Aussaat Februar), 8,69 t ha⁻¹ (Aussaat März) und 8,98 t ha⁻¹ (Aussaat April). Während bei den im Herbst gesäten Rüben der Aussaattermin zu jedem Erntetermin einen signifikanten Einfluss auf den Bereinigten Zuckerertrag hatte, zeigte sich dieser bei den im Frühjahr gesäten Rüben nur bis Juli. Dabei erreichten die Rüben des jeweils früheren Aussaattermins den höheren Bereinigten Zuckerertrag resultierend aus dem höheren Rübenertrag bei gleichzeitig höherer technischer Qualität.

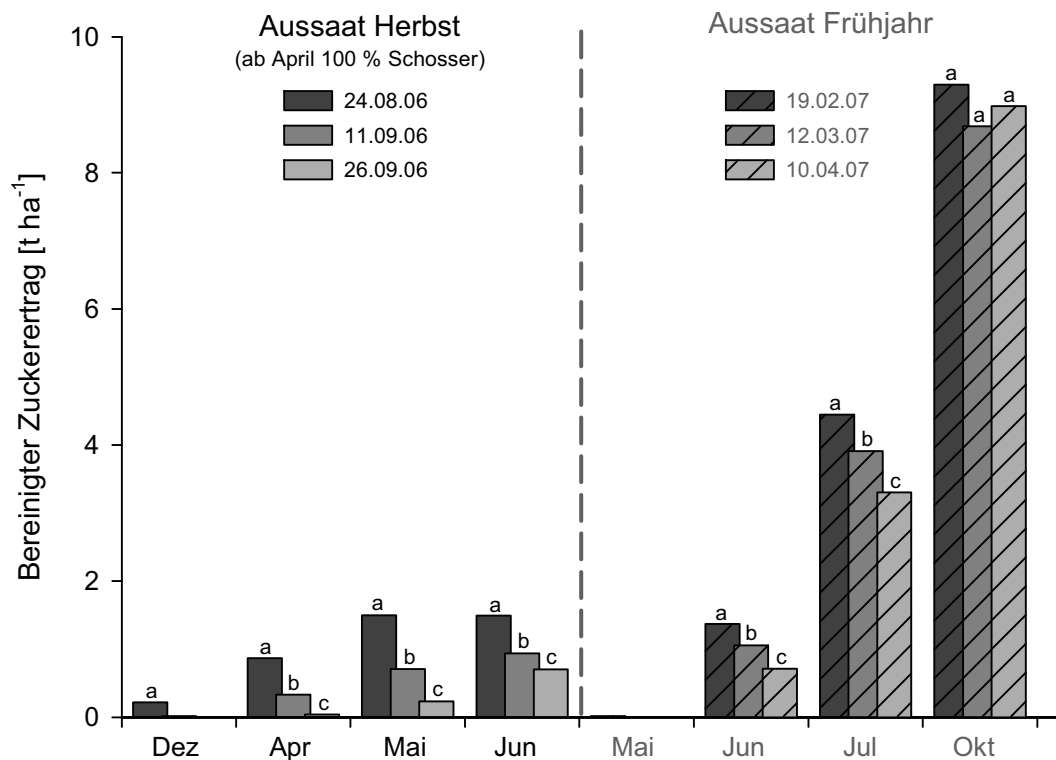


Abb. 16: Entwicklung des Bereinigten Zuckerertrages von Zuckerrüben bei Aussaat im Herbst und im Frühjahr im Verlauf der Vegetationsperiode; zum jeweiligen Erntetermin mit gleichen Buchstaben gekennzeichnete Werte unterscheiden sich nicht signifikant voneinander (REGW-Test bei $p < 0,05$); Sieboldshausen 2006/07.

3.3 Einfluss einer Aussaat im Herbst bzw. im Frühjahr auf Blattflächenindex, Lichtabsorption und Trockenmassebildung

3.3.1 Optimaler Blattflächenindex

Neben dem Einfluss einer Aussaat im Herbst und im Frühjahr auf die physiologischen Wachstumsprozesse und die technische Qualität von Zuckerrüben wurde der Einfluss des

Aussaattermin auf den Blattflächenindex als ein weiterer Parameter für die Ertragsbildung untersucht. Der optimale Blattflächenindex ist dabei der, bei dem ein Bestand die höchste Wachstumsrate erzielt. Zur Bestimmung des optimalen Blattflächenindex wurde sowohl für die im Herbst als auch für die im Frühjahr gesäten Rüben für die vier Zeitabschnitte zwischen den Ernten der mittlere Blattflächenindex berechnet und in Abhängigkeit von der absoluten Wachstumsrate der Gesamtpflanze dargestellt (Abb. 17). Die Beziehung zwischen Blattflächenindex und Wachstumsrate ergab bei den im Herbst und im Frühjahr gesäten Rüben unterschiedliche Kurvenverläufe. Mit zunehmendem mittleren Blattflächenindex stieg bei den im Herbst gesäten Rüben die absolute Wachstumsrate der Gesamttrockenmasse nahezu linear mit einem Bestimmtheitsmaß von 89 % an. Bei den im Frühjahr gesäten Rüben erreichte die Wachstumsrate ein Optimum bei einem mittleren Blattflächenindex von 3,5 bis 4.

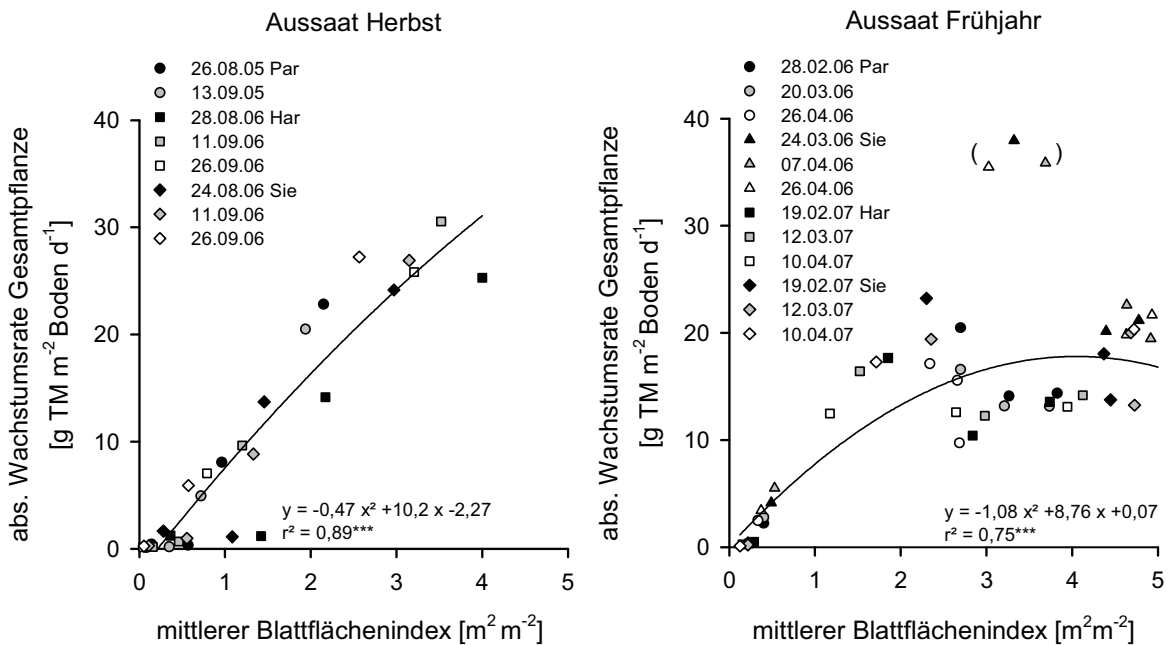


Abb. 17: Absolute Wachstumsrate der Gesamttrockenmasse von Zuckerrüben bei Aussaat im Herbst und im Frühjahr in Abhängigkeit vom mittleren Blattflächenindex; Standorte Par = Parendsen, Sie = Sieboldshausen und Har = Harste; drei Versuche Aussaat Herbst und vier Versuche Aussaat Frühjahr im Raum Göttingen, 2005/06 und 2006/07.

3.3.2 Blattflächenindex und Lichtabsorption

Die im August und Mitte September gesäten Rüben verfügten schon vor dem Winter über einen Blattflächenindex von 1 bis 1,5 (Aussaat August) bzw. 0,5 (Aussaat Mitte September), der über Winter wieder geringfügig abnahm (Abb. 18a). Ab April zeigte sich bei den im Herbst gesäten Rüben ein nahezu linearer Anstieg des Blattflächenindex, so dass bereits Mitte Mai bis Ende Mai der optimale Blattflächenindex von 3,5 gebildet war. Die früher gesäten Rüben erreichten diesen etwa eine Woche eher. Allerdings handelte es sich bei den im

Herbst gesäten Rüben ab April um 100 % Schosser. Im Versuchsjahr 2005 hatten die im Herbst gesäten Rüben bis zur Endernte einen Blattflächenindex von nur 3 gebildet.

Bezogen auf die Temperatursumme erreichten die im Herbst gesäten Rüben den optimalen Blattflächenindex bei 1610 °Cd (Abb. 18c). Die Beziehung zwischen Temperatursumme und Blattflächenindex war dabei in beiden Versuchsjahren und an allen Standorten gleichgerichtet und eng ($r^2 = 0,73$).

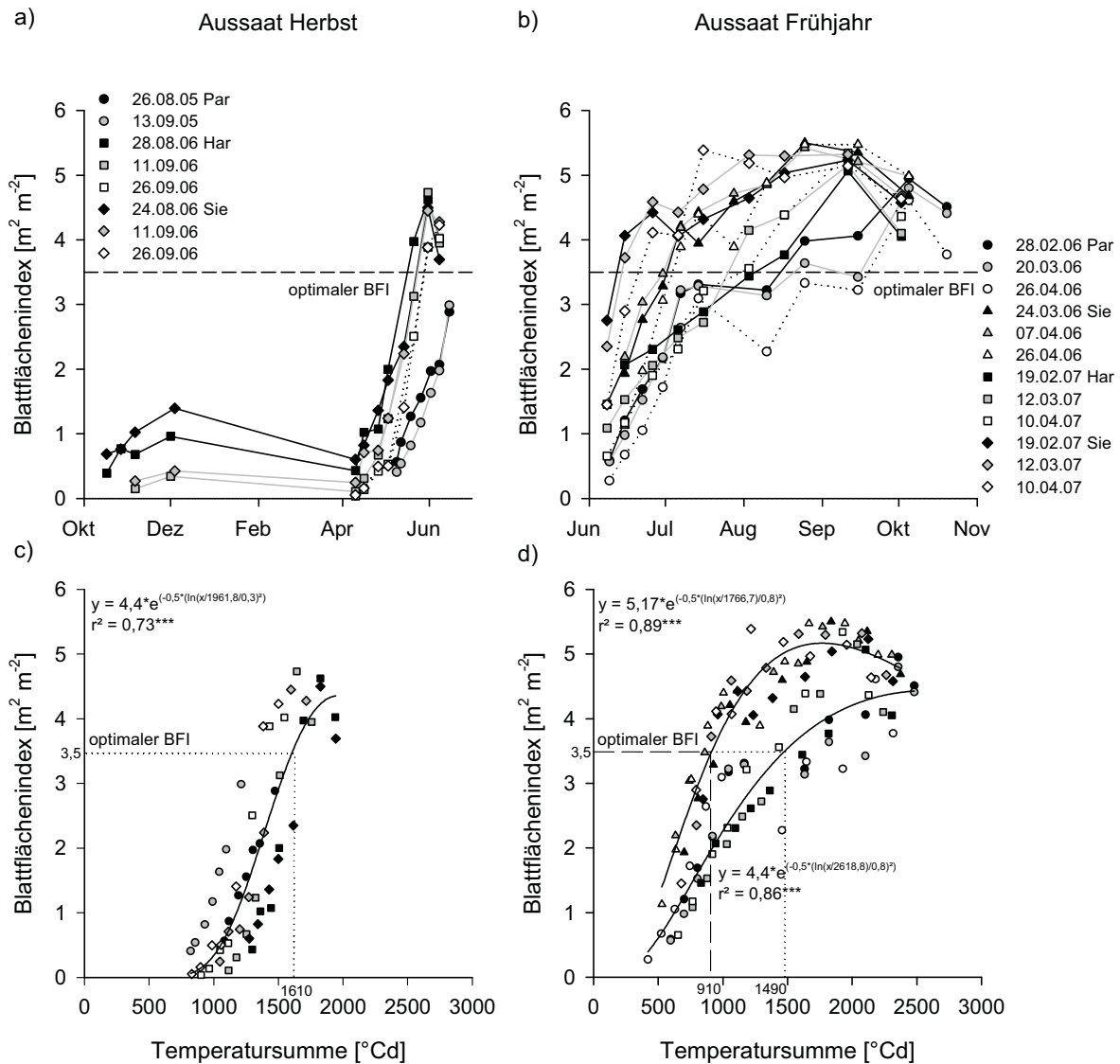


Abb. 18: Entwicklung des Blattflächenindex (BFI) von Zuckerrüben bei Aussaat im Herbst und im Frühjahr im Jahresverlauf (a, b) und in Abhängigkeit von der Temperatursumme (c, d); Standorte Par = Parendsen, Sie = Sieboldshausen und Har = Harste; drei Versuche Aussaat Herbst und vier Versuche Aussaat Frühjahr im Raum Göttingen, 2005/06 und 2006/07.

Der Blattflächenindex der im Frühjahr gesäten Rüben stieg ab Anfang Juni zügig an, so dass der optimale Blattflächenindex in Sieboldshausen in beiden Versuchsjahren Mitte bis Ende Juni erreicht wurde (Abb. 18b). In Parendsen 2006 und Harste 2007 wurde der optimale Blatt-

flächenindex erst Anfang bis Mitte August erreicht. Dabei erreichten die früher gesäten Rüben diesen einige Tage früher. Der Vorsprung der früher gesäten Rüben verlor sich sowohl bei den im Herbst als auch bei den im Frühjahr gesäten Rüben im Verlauf der Vegetationszeit.

Insgesamt stieg der Blattflächenindex wie auch bei den im Herbst gesäten Rüben mit der Temperatursumme steil an, so dass in Sieboldshausen bei 910 °Cd bzw. in Parensen 2006 und Harste 2007 bei 1490 °Cd der optimale Blattflächenindex erreicht wurde (Abb. 18d). Die Regressionsanalyse zeigte einen gleichgerichteten und engen Zusammenhang sowohl für die in Sieboldshausen 2006 und 2007 ($r^2 = 0,89$) als auch für die in Parensen 2006 und Harste 2007 gesäten Rüben ($r^2 = 0,86$).

Die Lichtabsorption ist abhängig vom Blattflächenindex eines Bestandes und ergibt sich aus der photosynthetisch aktiven Strahlung und der Absorption durch den Bestand. Der von einem Bestand absorbierte Anteil der einfallenden photosynthetisch aktiven Strahlung wird als Absorptionsgrad bezeichnet (Kap. 2.4.2).

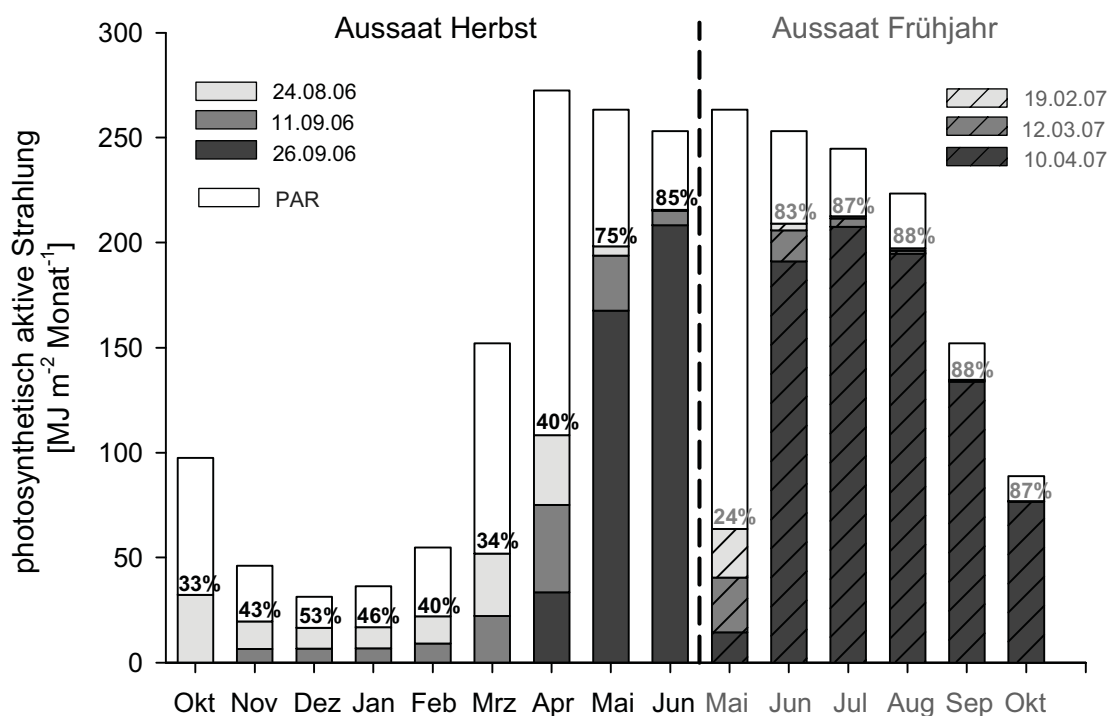


Abb. 19: Entwicklung der von Zuckerrübenbeständen absorbierten photosynthetisch aktiven Strahlung (PAR) bei Aussaat im Herbst und im Frühjahr; Prozentzahlen in den Balken kennzeichnen den maximalen Absorptionsgrad; Sieboldshausen 2006/07.

Die Lichtabsorption nahm bei den im Herbst gesäten Rüben im Verlauf der Vegetationsperiode zu (Abb. 19, Anhang 32 - 34), wobei die Rüben des jeweils früheren Aussaattermins auch die höhere Lichtabsorption aufwiesen. Im April und Mai, als die photosynthetisch aktive

Strahlung die höchsten Werte erreicht hatte, wiesen die Rüben der Augustaussaat einen Absorptionsgrad von 40 % (April) bzw. 75 % (Mai) auf. Im Juni wurden 85 % der einfallenden photosynthetisch aktiven Strahlung absorbiert und es gab kaum noch einen Einfluss des Aussaattermins auf den Absorptionsgrad.

Bei den im Frühjahr gesäten Rüben konnte nur im Mai und Juni ein Vorteil einer früheren Aussaat bezogen auf die Lichtabsorption gefunden werden (Abb. 19, Anhang 32 - 34), welcher ab Juli kaum noch vorhanden war. Ab Juli wurden fast 90 % der photosynthetisch aktiven Strahlung absorbiert. Vor allem in den Monaten April und Mai zeigte sich daher der Vorteil einer Aussaat im Herbst, da diese Rüben bereits einen großen Anteil der hohen photosynthetisch aktiven Strahlung absorbieren konnten. Im Juni war bezogen auf den Absorptionsgrad kein Unterschied mehr zwischen im Herbst und im Frühjahr gesäten Rüben vorhanden.

3.3.3 Lichtabsorption und Trockenmassebildung sowie theoretischer Ertrag von nicht schossenden Winterrüben

Zur Erfassung des Zusammenhangs zwischen Lichtabsorption und Gesamttrockenmasseertrag wurden lineare Regressionen berechnet (Abb. 20).

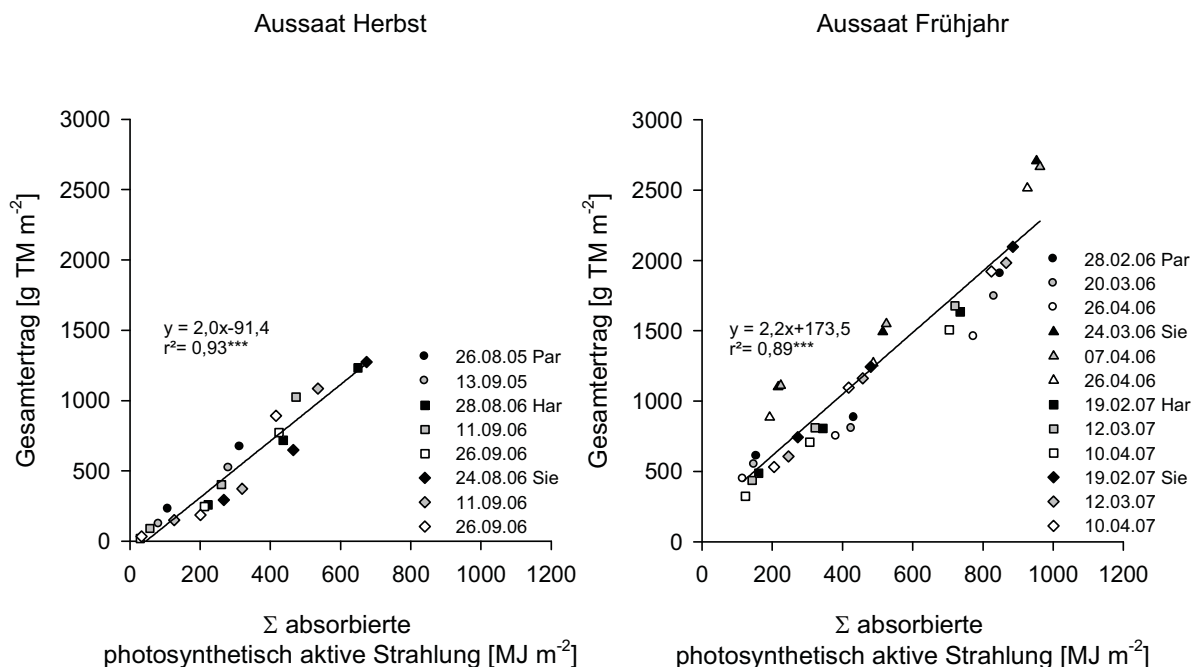


Abb. 20: Gesamtertrag von Zuckerrüben bei Aussaat im Herbst und im Frühjahr in Abhängigkeit von der absorbierten photosynthetisch aktiven Strahlung (PAR); Standorte Par = Parendsen, Sie = Sieboldshausen und Har = Harste; drei Versuche Aussaat Herbst und vier Versuche Aussaat Frühjahr im Raum Göttingen, 2005/06 und 2006/07.

Der Ertrag stieg sowohl bei im Herbst als auch bei im Frühjahr gesäten Rüben linear mit der photosynthetisch aktiven Strahlung an. Das Bestimmtheitsmaß lag bei im Herbst gesäten Rüben bei 93 % und bei im Frühjahr gesäten Rüben bei 89 %. Der Regressionskoeffizient, der die Trockenmassebildung in t je MJ absorbierter PAR angibt, wird im Folgenden Lichtausnutzung genannt. Die Lichtausnutzung lag im Mittel über die Vegetationszeit und für beide Versuchsjahre bei im Herbst gesäten Rüben bei 2,0 g MJ⁻¹ und bei im Frühjahr gesäten Rüben bei 2,2 g MJ⁻¹. Die Gleichungen unterschieden sich zudem im Schnittpunkt mit der y-Achse.

Setzt man für die Verbrennungswärme der Trockenmasse 16,75 kJ g⁻¹ an (Baeumer, 1992), dann wurde die absorbierte PAR von im Herbst gesäten Rüben im Juni zu 3,2 % bis 3,6 % und von im Frühjahr gesäten Rüben im Oktober zu 3,8 bis 4 % in Trockenmasse umgewandelt (Wirkungsgrad) (Tab. 4, Anhang 35 - 37). Insgesamt zeigte sich bei im Herbst gesäten Rüben nach einer Abnahme des Wirkungsgrads bis April eine kontinuierliche Zunahme bis Juni. Bei im Frühjahr gesäten Rüben kam es im Juni/Juli zu einem Maximum im Wirkungsgrad, das zwischen 4,4 und 4,6 % lag.

Tab. 4: Gesamttrockenmasseertrag von Zuckerrüben bei Aussaat im Herbst und im Frühjahr bezogen auf die Summe der absorbierten photosynthetisch aktiven Strahlung (PAR) zu den Ernteterminen sowie Berechnung des Anteils der PAR, die für die Trockenmassebildung genutzt wurde (= Wirkungsgrad), Sieboldshausen 2006/07.

Aussaat	Ernte Aussaat Herbst				Aussaat	Ernte Aussaat Frühjahr			
	Dezember	April	Mai	Juni		Mai	Juni	Juli	Oktober
	Σ einfallende PAR [MJ m ⁻²]					Σ einfallende PAR [MJ m ⁻²]			
	175,05	690,65	953,94	1207,01		263,30	516,36	761,05	1225,13
	Σ absorbierte PAR [MJ m ⁻²]					Σ absorbierte PAR [MJ m ⁻²]			
24.08.2006	68,43	267,51	465,69	674,01	19.02.2007	63,61	272,69	480,24	885,65
11.09.2006	13,10	126,35	320,18	535,83	12.03.2007	40,47	246,42	457,93	866,56
26.09.2006	-	33,51	201,11	416,26	10.04.2007	14,32	205,39	417,88	824,58
	Gesamt-TM [g m ⁻²]					Gesamt-TM [g m ⁻²]			
24.08.2006	155,15	292,55	647,96	1274,47	19.02.2007	33,59	743,23	1244,49	2097,53
11.09.2006	22,67	150,04	372,85	1086,58	12.03.2007	13,87	607,11	1162,83	1984,28
26.09.2006	3,40	33,13	186,02	892,08	10.04.2007	3,76	531,82	1096,55	1922,22
	* Wirkungsgrad [%]					* Wirkungsgrad [%]			
24.08.2006	3,80	1,83	2,33	3,17	19.02.2007	0,88	4,57	4,34	3,97
11.09.2006	2,90	1,99	1,95	3,40	12.03.2007	0,57	4,13	4,25	3,84
26.09.2006	-	1,66	1,55	3,59	10.04.2007	0,44	4,34	4,40	3,90

* Verbrennungswärme der Trockenmasse = 16,75 kJ g⁻¹ (Baeumer, 1992)

Darüber hinaus wurde aus den vorliegenden Ergebnissen eine theoretische Ertragsberechnung durchgeführt, um einen Anhaltspunkt für mögliche Erträge von Winterrüben zu erhalten. Für die Berechnung des theoretisch möglichen Ertrages für im August gesäte Rüben wurde angenommen, dass die Rüben im Frühjahr nicht schossen, sondern weiterhin Assimilate in das vegetative Speicherorgan einlagern. Für die Bestimmung der Lichtabsorption in den Monaten August bis Juni wurde der mittlere Blattflächenindex über alle Standorte und Jahre verwendet sowie das langjährige Mittel der photosynthetisch aktiven Strahlung von 1952 bis 2007. Daraus ergab sich eine Summe von 537 MJ m⁻² absorbierte photosynthetisch aktive Strahlung für die Vegetationsperiode der im August gesäten Rüben (Abb. 21,

Tab. 5). Für die Zeit von Juli bis Oktober wurde für die im August gesäten Rüben der mittlere Blattflächenindex von im Frühjahr gesäten Rüben angenommen, der bei 4,7 (Juli), 5,1 (August und September) und 4,6 (Oktober) lag. Aus der photosynthetisch aktiven Strahlung (= langjähriges Mittel) und den angenommenen Blattflächenindices ergab sich für die Zeit von Juli bis Oktober ein Absorptionsgrad von im Mittel 88 %, woraus sich eine Lichtabsorption von 1147 MJ m⁻² für die im August gesäten Rüben bei Ernte im Oktober ergab. Bei Annahme einer Lichtausnutzung von 2,0 t MJ⁻¹ errechnet sich somit ein Ertrag von 22,02 t TM ha⁻¹ (Abb. 22, Tab. 5).

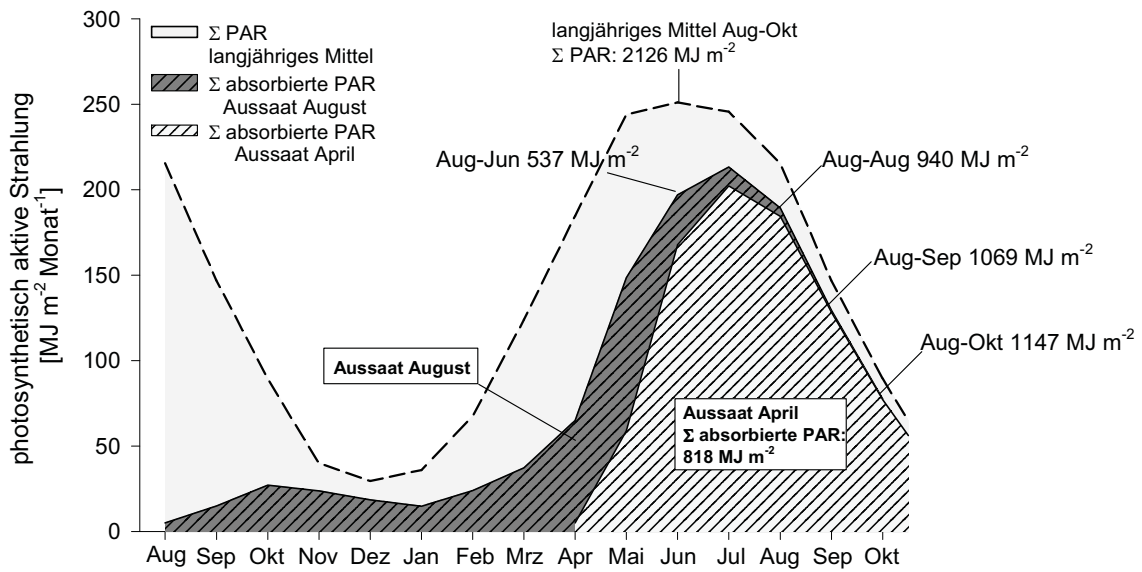


Abb. 21: Photosynthetisch aktive Strahlung (PAR) im Vegetationsverlauf und Summe absorbierter PAR von im April (Apr) und im August (Aug) gesäten Rüben sowie ab Juni (Jun) bis Oktober (Okt) theoretisch absorbierter photosynthetisch aktive Strahlung bei Aussaat im August.

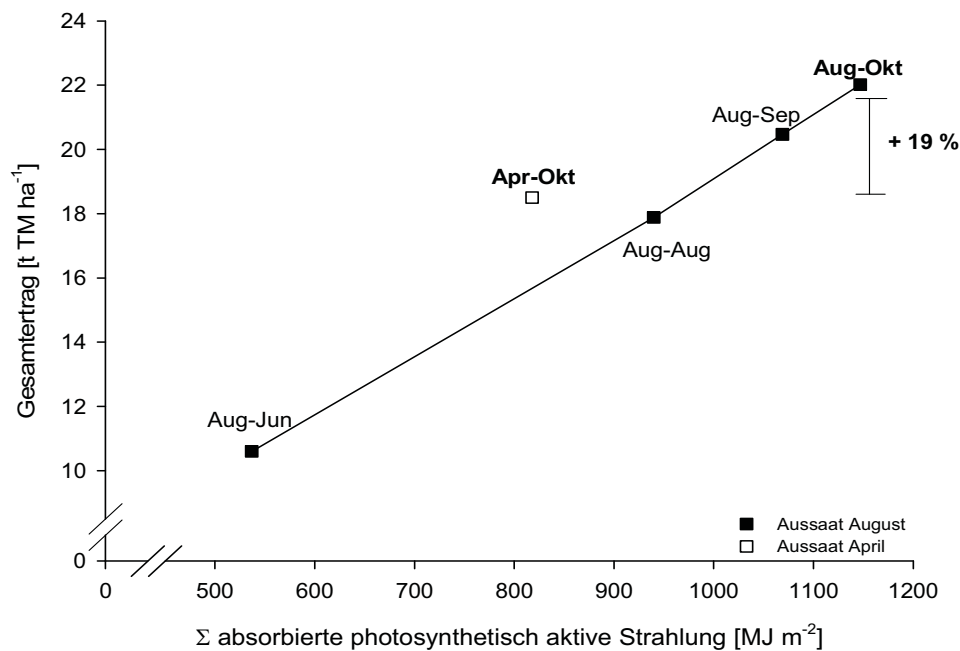


Abb. 22: Berechneter Ertrag an Gesamttrockenmasse von im August gesäten Rüben bei Ernte im August, September und Oktober bei einer Lichtausnutzung von $2,0 \text{ g MJ m}^{-2}$.

Unter den gleichen Annahmen errechnet sich für eine Ernte im August bei einer Lichtabsorption von 940 MJ m^{-2} ein Ertrag von $17,89 \text{ t TM ha}^{-1}$ und bei einer Ernte im September bei einer Lichtabsorption von 1069 MJ m^{-2} ein Ertrag von $20,46 \text{ t TM ha}^{-1}$.

Im Vergleich zu im April gesäten Rüben könnten somit im August gesäte Rüben zu einer Ertragssteigerung der Gesamttrockenmasse von $3,52 \text{ t TM ha}^{-1}$ (+ 19 %) bei Ernte im Oktober bzw. von noch $1,97 \text{ t TM ha}^{-1}$ (+ 11 %) bei Ernte im September führen. Zudem könnten bei einer Ernte im August bereits Erträge von etwa 18 t TM ha^{-1} erreicht werden, was einem Ertrag von im April gesäten Rüben im Oktober entspricht (Abb. 22, Tab. 5).

Tab. 5: Berechnung des theoretischen Ertrages von im August gesäten Zuckerrüben bei Ernte im August, September oder Oktober des nachfolgenden Jahres auf Grundlage der Lichtabsorption; drei Versuche Aussaat August und vier Versuche Aussaat April im Raum Göttingen, 2005/06 und 2006/07.

Variante	Summe absorbierte PAR [MJ m ⁻²]	Gesamtertrag [t TM ha ⁻¹]*	Blattertrag [t TM ha ⁻¹]	Rübenertrag [t TM ha ⁻¹]	Zuckerertrag [t ha ⁻¹]
<u>Aussaat Apr</u>					
Apr-Okt	818	18,50	4,96	13,54	10,34
<u>Aussaat Aug</u>					
Aug-Juni	537	10,59	7,93	2,66	1,45
** berechnete Erträge:					
Aug-Aug	940	17,88	4,83	13,05	9,79
Aug-Sep	1069	20,47	5,53	14,94	11,21
Aug-Okt	1147	22,02	5,94	16,07	12,05

* berechnet mit Regressionsgleichung für Herbstaussaat $y=2,0x-91,4$

** Annahme: Rüben schossen nicht; Gesamt-TM-Ertrag = 27 % Blatt-TM + 73 % Rüben-TM; Zucker = 75 % der Rüben-TM
kursiv = berechnete Werte

4 Diskussion

4.1 Zielsetzung

Durch eine Aussaat im Herbst bzw. einer vorgezogenen Aussaat im Frühjahr könnte die Jugendentwicklung der Zuckerrübe gefördert und somit durch eine bessere Ausnutzung der bereits intensiven photosynthetisch aktiven Strahlung im Frühjahr der Ertrag gesteigert werden. Das Ziel der vorliegenden Arbeit war es daher, eine Datengrundlage über die Ertrags- und Qualitätsentwicklung von Zuckerrüben bei Aussaat im Herbst und im Frühjahr unter mitteleuropäischen Klimabedingungen zu schaffen und die Wachstumsprozesse zu analysieren. Anhand der auch in den Zuckerfabriken routinemäßig erfassten Gehalte an Zucker, Kalium, Natrium und α -Amino-N soll untersucht werden, ob sich die Qualität von im Herbst und im Frühjahr gesäten Rüben unterschiedlich entwickelt und ob sich anhand der Entwicklung der qualitätsbestimmenden Inhaltsstoffe Rückschlüsse auf eine Akklimatisation an winterliche Temperaturen ziehen lassen.

Dazu wurden in zwei Jahren Feldversuche an jeweils zwei Standorten mit drei Aussaatterminen im Herbst (Ende August, Anfang und Ende September bzw. Anfang Oktober) und drei Aussaatterminen im Frühjahr (Februar, März und April) durchgeführt.

Zudem wurden erstmalig auf Grundlage von im Feldversuch gewonnenen Daten Berechnungen zur Bestimmung des möglichen Ausmaßes von Ertragssteigerungen bei Aussaat von Zuckerrüben im August und Ernte im folgenden Jahr (August, September und Oktober) durchgeführt. Die Berechnungen basieren auf der Lichtnutzungseffizienz und der Summe der theoretisch möglichen absorbierten photosynthetisch aktiven Strahlung von im Herbst gesäten Rüben.

4.2 Methodischer Ansatz

Da es bisher keine aktuellen Versuche zu im Herbst bzw. im Februar/März gesäten Rüben gab, werden im Folgenden die ersten Erfahrungen des methodischen Ansatzes der Versuche diskutiert. Im ersten Jahr wurden die Versuche am Standort Parenden im Herbst und im Frühjahr als vollständig randomisierte Blockanlage mit sechs Wiederholungen und den Faktoren Aussaat- und Erntetermin angelegt. Die Parzellengröße betrug 21,6 m². Dies hatte eine ab April zunehmende Beschattung der benachbarten Parzellen zur Folge, da die im Herbst gesäten Rüben durch Vernalisation im Winter schossten. Im zweiten Versuchsjahr wurden die Aussaattermine im Herbst und im Frühjahr deshalb in allen Versuchen in getrennten Blöcken vollständig randomisiert.

Die Aussaat im Herbst erfolgte in beiden Versuchsjahren nach einer Stoppelbearbeitung mit nachfolgender Saatbettbereitung. Im ersten Jahr war die Vorfrucht Weizen. Am Standort

Parenzen wurde das Stroh nicht geborgen. Durch die einmalige Stoppelbearbeitung und den zeitlich geringen Abstand zwischen Ernte und Rübenaussaat konnte kaum eine Strohhotte stattfinden, so dass sich nach der Saatbettbereitung viel Stroh auf den Parzellen befand. Um Ungenauigkeiten der Ablagetiefe bei der maschinellen Aussaat zu vermeiden, wurde das Stroh per Hand aus den Parzellen geharkt. Im zweiten Versuchsjahr wurden Standorte mit Vorrucht Gerste gewählt, um geringere Strohmengen und eine frühere Stoppelbearbeitung mit einer besseren Strohhotte bis zur Aussaat zu gewährleisten. Die Saatbettbereitung für die Aussaaten im Frühjahr wurde bereits im Herbst durchgeführt, da damit zu rechnen war, dass im Februar und März der Boden noch nicht befahr- bzw. bearbeitbar sein würde.

Die Aussaaten im Herbst und im April erfolgten mit einem praxisüblichen sechsreihigen Einzelkornsäugerät auf einen Abstand von 6 cm. Die Aussaaten im Februar und März wurden hingegen manuell durchgeführt, um so die Wirkung einer verdichteten Bodenstruktur bzw. eine zu geringe Ablagetiefe durch zu frühe Bestellung bei zu feuchtem bzw. gefrorenem Boden weitestgehend zu vermeiden. Dazu wurden im Abstand von 6 cm Löcher in den Boden gedrückt und anschließend die Rübenpille abgelegt und angedrückt.

Die optimale Bestandesdichte von 96.000 Pflanzen ha⁻¹ (*Winner*, 1981) wurde bei den im Herbst gesäten Rüben erst im Frühjahr eingestellt, um eine optimale Bestandesdichte für den gesamten Versuchsverlauf sicherstellen zu können. Vor dem Winter wurden die Aussaaten August und Mitte September im 8- bis 12-Blattstadium auf einen Abstand von 12 cm vereinzelt, um intraspezifische Konkurrenz ausschließen zu können (*Röver*, 1995). Bei den im Frühjahr gesäten Rüben wurde die optimale Bestandesdichte im 4- bis 6-Blattstadium eingestellt. Durch das Vereinzeln sollte der Versuchsfehler möglichst gering gehalten werden (*Büchse*, 1999). Gerade bei Aussaat im Februar und März hätte sonst bei Aussaat auf Endabstand aufgrund des insgesamt geringen Feldaufgangs keine ausreichende Bestandesdichte erreicht werden können.

Als Sorte wurde einheitlich eine konventionelle Sorte mit geringer Schosserneigung angebaut. Die genetische Schossfestigkeit der heutigen Zuckerrübensorten ermöglicht eine Aussaat ab etwa Anfang März (*Märländer*, 1991), so dass in der vorliegenden Untersuchung bei Aussaat im Februar und März keine Schosser auftraten. Bei Aussaat im Herbst kam es aufgrund des Vernalisationsreizes über Winter zum Schossen der Rüben im Frühjahr (*Milford* und *Limb*, 2008). Derzeit gibt es keine schossresistenten Zuckerrübensorten, woran in der Züchtung aber bereits intensiv gearbeitet wird (*Jung*, 2000; *Hohmann* et al., 2003). Das Ziel der vorliegenden Untersuchung war es daher, grundlegende Erkenntnisse über die Ertragsbildung von Winterrüben zu erlangen. Die Witterungsbedingungen in den beiden Versuchsjahren, vor allem im Winter, waren sehr unterschiedlich und können somit als repräsentativ für das Klima Mitteleuropas gelten.

Am Standort Parenden 2006 kam es zum Auftreten von Nematoden und den Befall mit *Pero-nospora farinosa* f. sp. *betae* (Falscher Mehltau), der von den im Herbst gesäten Rüben auf die im Frühjahr gesäten Rüben übergegangen war, sowie zu Trockenheit in den Monaten Juni und Juli. Die anhaltende Trockenheit verbunden mit hohen Temperaturen sowie der Befall von Nematoden führten zum Welken des Zuckerrübenbestandes und Absterben einzelner Blätter, wodurch das Wachstum und die Ertragsbildung negativ beeinflusst wurden. Da im Vordergrund der Untersuchung zunächst die grundlegende Ertrags- und Qualitätsentwicklung von Zuckerrüben bei Aussaat im Herbst und im Frühjahr unter mitteleuropäischen Klimabedingungen stand, wird im Folgenden nicht näher auf den Standort Parenden eingegangen.

Die Ergebnisse werden bezogen auf den Kalendertag dargestellt, um den zeitlichen Verlauf der Entwicklung der im Herbst und im Frühjahr gesäten Rüben vergleichen zu können. Zusätzlich erfolgt die Darstellung auf Basis der Temperatursumme, da die Temperatur ein Hauptfaktor ist, der das Wachstum von Pflanzen im Vegetationsverlauf bestimmt (Milford et al., 1985a). Das Aufsummieren der Temperatur über die Zeit basiert dabei auf Beobachtungen, die zeigen, dass die Pflanzen eine bestimmte Menge an Wärme benötigen, um bestimmte Entwicklungsstadien zu erreichen (Milford et al., 1985a, d; Bellin et al., 2007). Durch die Verwendung der Temperatursummenskala, die eine Basistemperatur von 3 °C für das Wachstum von Rüben berücksichtigt, werden die Jahres- und Umwelteinflüsse standardisiert und somit eine bessere Vergleichbarkeit der Wachstumsprozesse der im Herbst und im Frühjahr gesäten Rüben ermöglicht. Die Darstellung bezogen auf Tage nach Aussaat ist ungeeignet, da die Vegetationsperiode der im Herbst gesäten Rüben aufgrund der Vegetationsruhe im Winter deutlich länger war.

Insgesamt scheint eine Aussaat im Februar und März unter den Klimabedingungen Mitteleuropas nicht in die Praxis umsetzbar zu sein, da die Böden zu dieser Zeit zum Befahren und zur Saatbettbereitung zu nass oder gefroren sind und somit eine maschinelle Aussaat von Zuckerrüben nicht möglich wäre. Im Vordergrund der vorliegenden Versuche stand nicht die technische Umsetzbarkeit, sondern die Analyse des Wachstums und die Frage, ob durch eine vorgezogene Aussaat im Frühjahr im Vergleich zu April gesäten Zuckerrüben der Ertrag aufgrund einer früheren Jugendentwicklung gesteigert werden könnte. Eine Aussaat im August bzw. September scheint demgegenüber gut in die Praxis umsetzbar zu sein, da die Bodenbedingungen zu dieser Zeit im langjährigen Mittel für eine optimale Saatbettbereitung sowie Aussaat geeignet sind.

4.3 Einfluss einer Aussaat im Herbst bzw. im Frühjahr auf die physiologischen Wachstumsprozesse von Zuckerrüben im Vegetationsverlauf

4.3.1 Feldaufgang

Im vereinzlungslosen Zuckerrübenanbau entscheiden die Höhe und die Dynamik des Feldaufgangs, ob die optimale Bestandesdichte von 80.000 bis 110.00 Pflanzen ha⁻¹ (*Märlander*, 1991) etabliert werden kann, da eine Bestockung während des vegetativen Wachstums der Rübe nicht stattfindet (*Meier et al.*, 1993). Mit steigender Temperatur nimmt die Anzahl Tage zwischen Aussaat und Aufgang ab, da die Keimung ein stark temperaturabhängiger Prozess ist (*Winner*, 1981; *Campbell und Enz*, 1991). Aber auch Niederschlag, Bodenfeuchte und Sauerstoff im Boden haben einen entscheidenden Einfluss auf die Keimung und den Verlauf des Feldaufgangs von Zuckerrüben (*Thielebein*, 1960a; *Durrant*, 1988; *Lexander*, 1993). Neben Witterung und Saatgutqualität kann besonders die standortspezifische Bodenstruktur die Temperatur- und Wasserleitfähigkeit sowie den mechanischen Widerstand mitbestimmen (*Yonts et al.*, 1983; *Winner*, 1974).

Diese Faktoren unterscheiden sich bei einer Aussaat im Herbst und im Frühjahr deutlich. Der hohe und zügige Feldaufgang der im Herbst gesäten Rüben ist vor allem auf die hohe Temperatur im September zurückzuführen, die in den Versuchsjahren 2005 und 2006 im Mittel bei 14,9 °C und 17 °C lag. Im langjährigen Mittel (1952 bis 2007) liegt die mittlere Temperatur im September dagegen bei 13,5 °C. Die für den Feldaufgang von Zuckerrüben notwendige Temperatursumme von > 100 °Cd bezogen auf eine Basistemperatur von 3 °C (*Gummerson*, 1986) wurde somit innerhalb weniger Tage erreicht. Untersuchungen von *Longden und Thomas* (1989) bestätigen den Vorteil einer Herbstaussaat für den Feldaufgang aufgrund der höheren Temperaturen im Vergleich zu im Frühjahr gesäten Rüben. Während im April gesäte Rüben bei einer durchschnittlichen Bodentemperatur von 8,6 °C 14 Tage zum Erreichen von 50 % Feldaufgang benötigten, liefen die im September gesäten Rüben bei einer durchschnittlichen Bodentemperatur von 15,4 °C innerhalb von sechs Tagen auf (*Longden und Thomas*, 1989).

Allerdings sollte der Aussaatzeitpunkt im Herbst nicht später als Ende September liegen, da aufgrund der dann sinkenden Temperaturen der Keimungs- und Auflaufprozess der Zuckerrübenpflanzen verlangsamt wird. Diese Pflanzen können vor Winter keine ausreichende Größe mehr erreichen, um unbeschadet überwintern zu können, da vor allem Pflanzen im 2- bis 4-Blattstadium gegen Kälte empfindlich sind (*Winner*, 1981). Dies konnte auch anhand der Versuche gezeigt werden. Die im Oktober 2005 gesäten Rüben hatten vor dem Winter nur zwei bis vier Blätter gebildet und sind erfroren.

Ein weiteres Problem einer Aussaat im Herbst, insbesondere im August und Anfang September, kann eine zu geringe Bodenfeuchte sein, wie es auch die vorliegende Untersuchung

gezeigt hat. Die Ende August 2005 gesäten Rüben erreichten zwar nach 9 Tagen einen Feldaufgang von 50 %, liefen danach aber bis zum Erreichen des maximalen Feldaufgangs nur zögerlich auf. Dies war auf die Trockenheit im September zurückzuführen. In beiden Versuchsjahren lagen die Niederschlagsmengen im September deutlich unter dem langjährigen Mittel, so dass bei der Aussaat Anfang September 2006 erst nach einer einmaligen Bewässerung nach 18 Tagen ein Feldaufgang von 50 % erreicht wurde.

Der niedrige Feldaufgang der im Februar bzw. März gesäten Rüben von im Mittel 61 bzw. 66 % ist dagegen durch niedrige Temperaturen begründet, die eine Keimung unterdrücken und zum Absterben einiger Embryos führen können. Nach *Brown* (1981) reichen dazu schon Temperaturen zwischen 5 bis 7 °C. Außerdem wird die optimale Keimtemperatur von etwa 30 °C (*Radke und Bauer, 1969*) trotz niedriger Durchschnittstemperaturen in den Frühjahrs-tagen bei Sonneneinstrahlung in den oberen Bodenschichten kurzfristig erreicht und kann so die Keimung bewirken. Ist der Keimvorgang erst einmal eingeleitet, so kann die Pflanze auch bei niedrigeren Temperaturen weiter wachsen (*Thielebein, 1960a*), allerdings verlangsamt (*Durr und Boiffin, 1995*). Für diese Pflanzen besteht aber gerade bei einer vorgezogenen Aussaat im Frühjahr ein hohes Frostrisiko, wodurch es zum Absterben einzelner Pflanzen kommen kann (*Thielebein, 1960b*). Durch anhaltend kühle Witterung mit durchschnittlichen Temperaturen von 5 bis 8 °C in den ersten Wochen nach dem Aufgang kann zudem eine Anregung zum vorzeitigen Schossen erfolgen (*Winner, 1981*). Ein weiterer Grund für den niedrigen Feldaufgang kann eine Bodenverdichtung und -verschlämmung sein, die aufgrund widriger Witterungsbedingungen und trotz Aussaat per Hand aufgetreten sein kann (*Märländer, 1991; Gemtos und Lellis, 1997*). Einen Feldaufgang von 50 % erreichten die Rüben der vorgezogenen Aussaattermine somit erst Mitte April (ca. 51 bzw. 35 Tage nach Aussaat) bei einer Temperatursumme von 180 °Cd. Die im April zum optimalen Aussaatzeitpunkt gesäten Rüben liefen, wie die im Herbst gesäten Rüben, zügig auf und erreichten innerhalb von 14 Tagen bei einer Temperatursumme von 130 °Cd einen Feldaufgang von 50 %.

Somit wurde bestätigt, dass der Feldaufgang unter sonst optimalen Bedingungen in enger Beziehung zur Temperatursumme steht (*Campbell und Enz, 1991; Boiffin et al., 1992; Durr und Boiffin, 1995; Hoffmann, 1997*). Daher ist eine Aussaat im Herbst einer vorgezogenen Aussaat im Frühjahr vorzuziehen. Die höheren Temperaturen ermöglichen ein zügiges Auf-laufen und verkürzen die anfällige Phase des Keimlings gegenüber Bodenschädlingen und -krankheiten. Allerdings zeigte sich bei den im April 2007 gesäten Rüben, wie auch bei den Aussaatterminen Ende August 2005 und Anfang September 2006, dass neben der Temperatur auch eine ausreichende Bodenfeuchte ausschlaggebend für einen zügigen Feldaufgang ist. Im Herbst besteht die Gefahr von Trockenheit, so dass ein hoher Feldaufgang nicht immer gewährleistet werden kann. Aber auch im Frühjahr kommt es vereinzelt zu Trockenheit, was vor allem im Frühjahr 2007 in der Praxis (*DNZ, 2008*) zu sehr ungleichmäßigen Zucker-

rübenbeständen geführt hat. Eine vorgezogene Aussaat im Februar oder März bietet aufgrund der zu niedrigen Temperaturen für den Feldaufgang keine Vorteile. Der geringere Feldaufgang, den auch *Scott* und *Jaggard* (1978) fanden, ist gerade im Hinblick auf eine Aussaat auf Endabstand kritisch zu beurteilen. In der vorliegenden Untersuchung war dies kein Problem, da der Bestand nicht auf Endabstand gesät wurde, sondern nach der Bestimmung des Feldaufgangs auf die optimale Bestandesdichte vereinzelt wurde. Zudem ergeben sich technische Probleme bei der Aussaat, da die bei zu feuchtem Boden durchgeführte Saatbettbereitung zu Bodenverdichtungen führen kann, die eine Verzögerung des Feldaufgangs und der Jugendentwicklung bewirken können.

4.3.2 Durchmesser, Kambiumringbildung und Abstand zwischen den Ringen

Charakteristisch für die Ertragsbildung von Zuckerrüben ist das sekundäre Dickenwachstum der Hauptwurzel, aus der im ersten Vegetationsjahr kontinuierlich eine Speicherwurzel gebildet wird (*Geisler*, 1983). Dieser Prozess bewirkt die Bildung von konzentrischen Zuwachszonen. Dabei wird der erste Kambiumring ausgehend vom Prokambium, das zwischen dem primären Phloem und Xylem liegt, und dem Perizykel gebildet, während der zweite Ring aus dem Phloemparenchym des ersten Ringes und undifferenzierten Prokambiumzellen gebildet wird. Alle nachfolgenden Kambiumringe sind daher Abkömmlinge des jeweils vorhergehenden älteren Rings (*Zamski* und *Azenkot*, 1981a; *Geisler*, 1983). Die Ausbildung der Kambiumringe, die durch die Blattbildung induziert wird, ist eine wesentliche Voraussetzung für die Zuckerspeicherung in der Zuckerrübe. Die Anzahl der Ringe und deren Abstand zueinander, die auch die Entwicklung des Durchmessers zeigen, sind dabei eng korreliert mit dem Zuckergehalt (*Milford*, 1973).

Der Durchmesser nahm nahezu linear bis etwa 1500 °Cd bei den im Frühjahr gesäten Rüben zu, danach flachte die Steigung der Geraden ab. Dies stimmt annähernd mit Ergebnissen von *Bellin et al.* (2007) überein, die ebenfalls eine Zunahme des Rübendurchmessers bis 1599 °Cd fanden. Der Durchmesser der im Herbst gesäten Rüben dagegen nahm bis zur Ernte im Juni linear zu. Allerdings erreichten die im Herbst gesäten Rüben deutlich geringere Durchmesser als im Frühjahr gesäte Rüben. Dies ist auf das Schossen der Rüben zurückzuführen. Die gebildeten Assimilate wurden für den Aufbau des Sprosses verwendet und standen somit nicht für die Speicherung in den Parenchymzellen zur Verfügung und konnten daher nicht zur Vergrößerung der Zellen und des Durchmessers beitragen (*Bürcky* und *Beiß*, 1980).

Die Anzahl Kambiumringe stieg bei einer Temperatursumme zwischen 500 °Cd und 1500 °Cd deutlich an. Der überwiegende Anteil Kambiumringe war sowohl bei im Herbst als auch bei im Frühjahr gesäten Rüben schon früh in der Entwicklung ausgebildet, wie auch

Artschwager (1926), *Milford* (1973) und *Hoffmann* (2006a) feststellten. Im weiteren Wachstumsverlauf bildeten die Rüben bei Aussaat im Herbst sowie im Frühjahr weitere Ringe aus, wobei bei einer Temperatursumme von 1500 °Cd, das heißt Ende Mai bei im Herbst gesäten bzw. Anfang August bei im Frühjahr gesäten Rüben, die Kambiumringbildung nahezu abgeschlossen war. *Bellin et al.* (2007) fanden die deutlichste Zunahme der Anzahl Kambiumringe zwischen 452 °Cd und 1420 °Cd, was gut mit den dargestellten Ergebnissen übereinstimmt. Insgesamt hatten die im Herbst gesäten Rüben maximal sieben bis neun und die im Frühjahr gesäten Rüben neun bis elf Ringe gebildet. Die geringere Anzahl Kambiumringe der im Herbst gesäten Rüben gegenüber im Frühjahr gesäten Rüben ist ebenso auf den im April einsetzenden Übergang der Zuckerrübenpflanzen in die generative Phase (Schossen) zurückzuführen.

Beim Vergleich der Entwicklung der Anzahl Kambiumringe von im Herbst mit im Frühjahr gesäten Rüben zeigte sich jedoch, dass bei Aussaat im Herbst deutlich früher im Jahr eine große Anzahl Kambiumringe gebildet war und somit die im Herbst gesäten Rüben schon im zeitigen Frühjahr eine große Speicherkapazität für die in den Blättern produzierte Saccharose aufwiesen. Zu diesem Zeitpunkt waren im Frühjahr gesäte Rüben noch nicht aufgelaufen. Wie die Kambiumringbildung bei im Herbst gesäten Rüben weiter verlaufen würde und wie groß die maximale Anzahl Ringe wäre, wenn die Rüben nicht schossen würden, muss in weiteren Untersuchungen geklärt werden. Allerdings deuten die Ergebnisse der Rüben der vorgezogenen Aussaattermine im Frühjahr an, wie auch Untersuchungen von *Milford* (1976), dass die Anzahl der Ringe genetisch festgelegt ist. Die Rüben der vorgezogenen Aussaattermine hatten trotz verlängerter Vegetationszeit keine größere Anzahl an Ringen gebildet als die im April gesäten Rüben. Das würde bedeuten, dass mit den aktuellen Zuckerrüben-Genotypen durch Verlängerung der Vegetationsperiode keine größere Speicherkapazität für eine Ertragssteigerung erreicht werden kann.

Bei der Betrachtung der Abstände zwischen den Ringen war auffällig, dass im Vegetationsverlauf bei den im Herbst gesäten Rüben vor allem der Abstand zwischen den ersten sechs und bei den im Frühjahr gesäten Rüben zwischen den ersten acht Ringen zunahm. Der Abstand zwischen den übrigen gebildeten Ringen blieb hingegen sehr gering, sie wurden nicht mehr vollständig ausgebildet.

Das weist darauf hin, dass die Zunahme des Durchmessers der Rübe während der Vegetationsperiode hauptsächlich auf die Vergrößerung der schon früh angelegten Ringe zurückzuführen war und nicht auf die Anlage und Ausbildung neuer Ringe. Dies wurde auch von *Milford* (1973, 1976) beschrieben, der ebenso bei im Frühjahr gesäten Rüben fand, dass sich vor allem die inneren acht Ringe ausdehnten und 90 % des Durchmessers der Rüben ausmachten. Dabei war eine gleichzeitige Zunahme des Abstands zwischen allen Ringen festzustellen, die nach *Milford* (1973) sowohl durch Zellteilung als auch Zellvergrößerung ent-

steht. *Zamski* und *Azenkot* (1981b) wiesen mit radioaktiv markiertem CO₂ ebenfalls nach, dass alle Ringe gleichzeitig zur Ertragsbildung beitragen, wobei die inneren Ringe ein stärkerer Sink sind, da hier bereits mehr Zellen gebildet sind.

4.3.3 Rüben- und Blattertrag sowie Rübe-Blattverhältnis und Wachstumsraten

Die im Herbst gesäten Rüben zeigten einen völlig anderen Wachstumsverlauf als im Frühjahr gesäte Rüben. Der Blattertrag nahm zunächst bis Dezember langsam zu und nahm über Winter aufgrund von Frost und dem Auftreten von *Ramularia beticola* geringfügig ab. Ab Mitte April/Mai kam es dann aufgrund steigender Temperaturen zu einer nahezu linearen Zunahme. Dass die im Herbst gesäten Rüben nicht den typisch sigmoiden Kurvenverlauf für die Entwicklung der Blatttrockenmasse zeigten, ist mit dem Übergang der Rüben in die generative Phase ab April zu erklären. Über Winter erfahren die Zuckerrübenpflanzen einen Vernalisationsreiz. Durch die Bildung des Sprosses ab April mit vielen kleineren Blättern nimmt der Blatt- bzw. Sprossertrag stark zu. Der Aussattermin hatte dabei einen Einfluss auf den Blattertrag. Die Rüben des jeweils früheren Aussattermins wiesen aufgrund der längeren Vegetationsperiode und der damit verbundenen höheren Temperatursumme den höheren Blattertrag auf. Auch *Milford et al.* (1985a, b, c, d) und *Kenter* (2003) zeigten, dass die Blattbildung stark temperaturabhängig ist.

Der Rübenertrag von im Herbst gesäten Rüben nahm dagegen nur geringfügig zu. Bezogen auf den Rübenertrag hatte der Aussattermin einen deutlich geringeren Einfluss als auf den Blattertrag. Zur Ernte trat kein signifikanter Unterschied im Ertrag zwischen den verschiedenen Aussatterminen auf, was auf das Schossen zurückzuführen war.

Die Entwicklung der Trockenmasse von Rübe und Blatt der im Frühjahr gesäten Rüben folgte im Wesentlichen dem typischen Verlauf der Ertragsbildung (*Geisler*, 1983). Die Blattbildung eilt zunächst der Bildung des Rübenertrages zeitlich weit voraus (*Theurer*, 1979; *Büchse* und *Röver*, 1998) und erreicht etwa Anfang August bei einer Temperatursumme von 1400 °Cd bezogen auf eine Basistemperatur von 3 °C den maximalen Blattertrag. Ab Anfang August bis zur Ernte im Oktober verändern sich Blatttrocken- und Blattfrischmasse kaum noch, wie auch *Kenter* (2003) fand. Ab diesem Zeitpunkt hatte sich offensichtlich ein Gleichgewicht zwischen Blattneubildung und dem Absterben der äußeren Blätter eingestellt (*Milford et al.*, 1985c). Die ersten Blätter sterben dabei bereits im Juni ab (*Eslami et al.*, 1988). Die Blattneubildung verlangsamt sich ab etwa Mitte August aufgrund der Verkürzung der Tageslänge sowie unter anderem durch die schlechtere Nährstoffversorgung und der Konkurrenz des Blattapparates mit der Speicherwurzel um Assimilate und Nährstoffe (*Bürcky*, 1980; *Milford et al.*, 1985b).

Der Rübenenertrag nahm hingegen bis zur Endernte im Oktober nahezu linear zu. Insgesamt hatten die jeweils früher gesäten Rüben den jeweils etwas höheren Blatt- und Rübenenertrag gebildet. Begründen lässt sich dies nach *Scott und Bremner* (1966) mit der gesteigerten Lichtinterzeption und der mit einer verlängerten Vegetationsperiode verbundenen längeren Nährstoffaufnahme (*Jaggard und Werker*, 1999). *Scott und Bremner* (1966) fanden in diesem Zusammenhang im Mittel von sieben Jahren eine Ertragssteigerung von 15 bis 20 % bei einer Aussaat von im Gewächshaus vorgezogenen Pflanzen zum normalen Aussaatzeitpunkt.

In der vorliegenden Untersuchung lag die Ertragssteigerung im Rübenenertrag von im März gegenüber im April gesäten Rüben bei nur 5 bis 6 % (*Sieboldshausen* 2006 und 2007) bzw. maximal 13 % (*Harste* 2007). Der Ertragsunterschied zwischen im Februar und März gesäten Rüben war gering und betrug nur 1 % (*Harste* 2007) bzw. maximal 5 % (*Sieboldshausen* 2007), so dass durch eine Aussaat im Februar der Ertrag nicht deutlich gesteigert wurde. Auch *Märländer* (1991) fand, dass sich Anfang März gesäte Rüben im Ertrag nicht von Ende März gesäten Rüben unterschieden. Zu erklären ist der geringe Unterschied im Blatt- und Rübenenertrag bei den vorgezogenen Aussaatterminen durch die etwa gleichzeitig beginnende Vegetationsperiode. Bereits beim Feldaufgang zeigte sich, dass die im Februar bzw. im März gesäten Rüben zunächst aufgrund niedriger Temperaturen zögerlich aufliefen und letztendlich erst mit beginnender wärmerer Witterung nur wenige Tage früher als die im April gesäten Rüben einen Feldaufgang von 50 % erreichten.

Anhand dieser Ergebnisse zeigt sich, dass eine Aussaat ab März zu Ertragssteigerungen von bis zu 13 % führen kann. Der am stärksten limitierende Faktor für eine möglichst frühe Aussaat der Zuckerrübe zur Nutzung einer möglichst langen Vegetationsperiode ist auf lehmigen Böden die Bodenfeuchte im Frühjahr, die eine maschinelle Aussaat undurchführbar machen kann. Eine verdichtete Bodenstruktur aufgrund zu früher Saatbettbereitung bei zu feuchtem Boden kann zu Ertragsverlusten führen (*Baeumer*, 1992). Somit ist das Potenzial der Verlängerung der Vegetationsperiode in der Praxis schon weitestgehend ausgeschöpft. Eine vorgezogene Aussaat im Februar bringt unter mitteleuropäischen Klimabedingungen keinen Vorteil.

Resultierend aus der Entwicklung von Blatt- und Rübenenertrag zeigten sich auch im Rübe-Blattverhältnis unterschiedliche Verläufe. Bei den im Herbst gesäten Rüben wurden die höchsten Werte bereits Mitte April erreicht, wobei die jeweils früher gesäten Rüben die höheren Werte aufwiesen. Den Wert 1 erreichten dabei nur die im August 2006 gesäten Rüben im April. Dieser Wert kennzeichnet den Zeitpunkt, von dem an die Rübe mehr Trockenmasse gebildet hat als das Blatt (*Beiß und Winner*, 1975). Danach nahm das Rübe-Blattverhältnis kontinuierlich auf Werte $< 0,5$ ab. Diese Entwicklung des Rübe-Blattverhältnisses zeigt deut-

lich den Übergang der Rüben in die generative Phase. Hier kam es zu einem betonten Blattwachstum durch die Ausbildung des Sprosses ab Mitte April/Mai. Das bedeutet, dass der Anteil neu gebildeter Assimilate, der für den Aufbau des Sprosses verwendet wurde, anstieg und somit nicht für die Speicherung in der Rübe zur Verfügung stand.

Die im Frühjahr gesäten Rüben zeigten die aus verschiedenen Untersuchungen bekannte Entwicklung des Rübe-Blattverhältnisses (Kenter, 2003). Das Rübe-Blattverhältnis nahm nahezu linear zu, was bedeutet, dass der Anteil neu gebildeter Assimilate, der in die Speicherwurzel verlagert wurde, kontinuierlich anstieg (Milford und Watson, 1971; Stein und Willenbrink, 1976). Etwa ab August bei einer Temperatursumme von 1200 °Cd überschritt das Rübe-Blattverhältnis bezogen auf die Trockenmasse den Wert 1. Zum Ende der Vegetationsperiode lag das Rübe-Blattverhältnis zwischen 2,3 und 3,3, was mit dem von Kenter (2003) gefundenen Rübe-Blattverhältnis von 2,4 zum Ende der Vegetation im Mittel von 27 Umwelten übereinstimmt. Der Unterschied zwischen den im Februar und März gesäten Rüben war dabei gering. Es ergab sich nur ein Einfluss des Aussaattermins im Vergleich von im März bzw. im Februar zu im April gesäten Rüben, die ein kleineres Rübe-Blattverhältnis aufwiesen.

Auch bezogen auf die absoluten und relativen Wachstumsraten zeigten sich wesentliche Unterschiede zwischen im Herbst und im Frühjahr gesäten Rüben. Bei den im Herbst gesäten Rüben stieg mit steigender Temperatursumme die absolute Wachstumsrate stetig an, während sich bei den im Frühjahr gesäten Rüben ein Optimum zeigte. Der stetige Anstieg spiegelt das Schossen der Rübe wider. Bis zur Endernte im Juni war hier der maximale Wert noch nicht erreicht.

Der Anstieg der absoluten Wachstumsrate der im Frühjahr gesäten Rüben zeigt die Zunahme der leistungsfähigen Masse. Die maximalen Wachstumsraten wurden bei den im Frühjahr gesäten Rüben zwischen Juni und Juli erreicht, die jeweils früher gesäten Rüben wiesen die etwas höheren absoluten Wachstumsraten auf. Als mittlerer Wert für die gesamte Vegetationsdauer ergab sich 0,11 bis 0,12 t TM m⁻² d⁻¹. Geisler (1983) gibt als mittleren Wert für Zuckerrüben für die gesamte Vegetationsdauer einen etwas höheren Wert von 0,18 bis 0,19 t TM m⁻² d⁻¹ an.

Die relative Wachstumsrate ist ein Effizienzindex, der angibt, wie viel Rübetrockenmasse pro Einheit Blatttrockenmasse und Tag gebildet werden. Bei den im Herbst gesäten Rüben konnte kein Zusammenhang zwischen relativer Wachstumsrate und der Temperatursumme gefunden werden. Dies ist wiederum auf das Schossen der Rüben zurückzuführen. Bei den im Frühjahr gesäten Rüben nahm die relative Wachstumsrate im Verlauf der Vegetationsperiode ab. Zurückzuführen sein könnte dies darauf, dass eine Vergrößerung der Blattfläche von Zuckerrüben im Vegetationsverlauf zwar den Ausnutzungsgrad der Einstrahlung stei-

gern, gleichzeitig aber auch eine erhöhte Attraktion des Blattes für Assimilate zuungunsten der Rübe bewirken könnte (Märländer, 1990)

Insgesamt zeigte sich, dass die im Herbst und im Frühjahr gesäten Rüben bei ähnlichen Temperatursummen den maximalen Feldaufgang, die maximale Anzahl Kambiumringe und den maximalen Durchmesser erreichten. Bezogen auf die Trockenmassebildung zeigten sich hingegen völlig verschiedene Wachstumsverläufe, was in den unterschiedlichen Entwicklungsphasen der im Herbst und im Frühjahr gesäten Rüben begründet ist. Während die im Frühjahr gesäten Rüben ausschließlich vegetativ wuchsen, bildeten die im Herbst gesäten Rüben aufgrund des Vernalisationsreizes im Winter einen generativen Spross aus. Wie das Wachstum und die Ertragsbildung verlaufen würden, wenn die Rüben nicht schossen, muss in weiterführenden Untersuchungen analysiert werden.

4.4 Einfluss einer Aussaat im Herbst bzw. im Frühjahr auf die technische Qualität der Zuckerrübe im Vegetationsverlauf

Die technische Qualität ist definiert als die Summe aller Eigenschaften der Zuckerrübe, die bei der Verarbeitung in der Zuckerfabrik einen Einfluss auf die Gewinnung und Ausbeute des Weißzuckers haben (Winner, 1981). Diese Eigenschaften der technischen Qualität werden in physikalische Eigenschaften (Erdanteil, Köpfqualität, Schneidfestigkeit), biologische Eigenschaften (Schosffestigkeit, Krankheitsresistenz) und chemische Zusammensetzung unterteilt (Saccharose und Nichtzuckerstoffe) (Oltmann et al., 1984). Im Folgenden wird die chemische Zusammensetzung der Rüben betrachtet. Eine Rübe ist umso besser für die Zuckergewinnung geeignet, je höher ihr Gehalt an Zucker (Saccharose) ist, bei einem gleichzeitig möglichst geringen Gehalt an Nichtzuckerstoffen. Zu den Nichtzuckerstoffen gehören als wichtigste Melassebildner vor allem Kalium und Natrium, die die Wasserlöslichkeit der Saccharose erhöhen und damit einen erhöhten Melasseanfall verursachen, und α -Amino-N, der ebenso wie Invertzucker die Zuckerfabrikation durch Säure- und Farbstoffbildung erschwert (Burba, 1996). Die technische Qualität von Zuckerrüben wird in der Routine einer Zuckerfabrik über die Bestimmung des Zuckergehaltes und der genannten Melassebildner bewertet und in der Braunschweiger Formel über den Standardmelasseverlust zusammengefasst (Buchholz et al., 1995). Aus Rübenertrag, Zuckergehalt, Standardmelasseverlust und Standardfabrikverlust ergibt sich der Bereinigte Zuckerertrag (Lüdecke, 1954).

Zusätzlich zu den in der Qualitätsanalyse standardmäßig bestimmten Inhaltsstoffen wurde der Markgehalt der Zuckerrübe betrachtet. Als Mark werden alle unlöslichen Inhaltsstoffe der Zuckerrübe bezeichnet. Diese fallen in der Zuckerfabrik als Schnitzel an und stellen das wichtigste Nebenprodukt der Zuckererzeugung dar (Kenter und Hoffmann, 2006).

Im folgenden Kapitel wird der Einfluss des Aussaattermins auf die Entwicklung der technischen Qualität von im Herbst und im Frühjahr gesäten Rüben und somit ihre Eignung für die Zuckerproduktion betrachtet.

4.4.1 Trockensubstanzgehalt sowie Mark- und Zuckergehalt der Rübe

Auffallend war bei den im Herbst gesäten Rüben ein Trockensubstanzgehalt von 21 bis 22 % und ein Zuckergehalt von 9 bis 13 % bereits vor Winter, wobei die jeweils früher gesäten Rüben auch den höheren Gehalt aufwiesen. Zu diesem Zeitpunkt befanden sich die Rüben in der Jugendentwicklung (sechs bis zwölf Blätter). Im Frühjahr gesäte Rüben erreichen dieses Stadium ungefähr im Mai, allerdings mit einem etwa halb so hohen Trockensubstanz- und Zuckergehalt.

Der hohe Trockensubstanz- und Zuckergehalt vor Winter lässt sich auf eine Frosttoleranzreaktion der Rübenpflanzen zurückführen, die dazu dient, die Eisbildung im Symplasten zu verhindern bzw. zu verzögern. Ein wichtiger Mechanismus ist dabei die Frostplasmolyse. In frosttoleranten Pflanzen gefriert bei Temperaturabfall in der Pflanze unter den Nullpunkt zunächst die wässrige Phase im Apoplasten, da die osmotische Konzentration dieser Lösung meist relativ gering ist (Mohr und Schopfer, 1992; Schmitt, 2003). Eis hat ein geringeres Wasserpotenzial als flüssiges Wasser. Es entsteht ein Potenzialgefälle, wodurch immer mehr Wasser aus den Protoplasten in den Apoplasten diffundiert und dort einfriert. Gleichzeitig werden die Zellen entwässert, der Zellsaft wird aufkonzentriert. Der Zellsaft hat somit ein erhöhtes osmotisches Potenzial und der Trockensubstanzgehalt steigt an, wodurch die Gefahr der intrazellulären Eisbildung gesenkt wird (etwa $2\text{ °C pro } 1\text{ mol L}^{-1}$). Die Frostplasmolyse setzt voraus, dass die Abkühlung des Gewebes relativ langsam erfolgt (z. B. -1 °C h^{-1}). Schneller Temperaturabfall (z. B. -10 °C h^{-1}) kann unter sonst gleichen Bedingungen letal sein, wenn nämlich die Eisbildung den Symplasten schneller erfasst als dies die Dehydratisierung durch Frostplasmolyse verhindern kann.

Die Anreicherung von Zuckermolekülen hat neben der Erhöhung des osmotischen Potenzials eine schützende Wirkung auf zelluläre Membrane von Pflanzen. Bei Frost sind vor allem die zellulären Membrane, wie Plasma- und Chloroplastenmembran, gefährdet, wie schon vor einigen Jahren nachgewiesen wurde (Steponkus, 1984; Hinch und Schmitt, 1992; Schmitt, 2003). Durch die Eisbildung werden den Membranen auch die Wassermoleküle entzogen, die die Lipidköpfchen der Zellmembran umgeben. Die Folge ist, dass die Membran ihre Beweglichkeit verliert und zu Gel erstarrt. Dadurch werden einerseits Transportprozesse behindert, andererseits erfolgt die Gelbildung nicht gleichmäßig, sondern in manchen Membranbereichen schneller als in anderen. Dadurch kommt es zu Beschädigungen der Membran, Löcher entstehen und die Zellen verlieren ihre Inhaltstoffe (Mohr und

Schopfer, 1992; Larcher, 1994). Aus Versuchen mit Modellmembranen ist aber bekannt, dass die hydrophilen Kopfgruppen der Lipide sich anstelle von Wasser auch mit verschiedenen Zuckermolekülen umgeben können und dadurch die Membrane unterschiedlich gut gegen Gefrierschäden schützen (*Caffrey et al., 1988*).

In der Regel erfolgt die Frostakklimatisation im Herbst unter dem Einfluss sinkender Durchschnittstemperaturen und kurzer Lichtperioden und wird im Frühjahr wieder aufgehoben. Zum Erlangen der maximalen Widerstandsfähigkeit gegenüber Kälte benötigen die Pflanzen Zeit und Temperaturen zwischen +5 °C und -2 °C. Daher ist es auch wichtig, eine Aussaat von Zuckerrüben im Herbst bis spätestens Mitte September durchzuführen, um eine möglichst widerstandsfähige Pflanze zu erhalten (*Wood und Scott, 1975; Jaggard und Werker, 1999*). Die Abnahme des Trockensubstanzgehaltes im Frühjahr bei im Herbst gesäten Rüben kann, wie auch beim Blatt, nur durch eine Vergrößerung der vorhandenen Zellen durch Wasseraufnahme erklärt werden, da die gebildete Trockensubstanz in der Rübe nicht in dem Maße abgebaut werden kann. Der Wiederanstieg des Trockensubstanzgehaltes zur Endernte Mitte Juni kann auf die zunehmende Verholzung der Rübenzellen zurückgeführt werden (*Bürcky und Beiß, 1980*).

Der Zuckergehalt nahm bei den im Herbst gesäten Rüben bis zur Endernte im Juni tendenziell ab und lag bei nur 8 bis 9 %. *Bürcky und Beiß (1980)* fanden einen maximalen Zuckergehalt von 12 % in geschossten Rüben. Im Vergleich dazu erreichten die im Frühjahr gesäten Rüben zur Endernte im Oktober einen Zuckergehalt von 16 %. Der niedrige Zuckergehalt der im Herbst gesäten Rüben ist darauf zurückzuführen, dass die gebildeten Assimilate für den Aufbau des Sprosses und zur Bildung von verholztem Zellwandmaterial verwendet werden (*Bürcky und Beiß, 1980*). So erklärt sich auch der geringe Anteil des Zuckers an der Rübentrockensubstanz, der bei den im Herbst gesäten Rüben zwischen 43 % und 59 % lag.

Der Trockensubstanz- und Zuckergehalt der im Frühjahr gesäten Rüben zeigte hingegen eine gegenläufige Entwicklung. Im Verlauf der Vegetationsperiode stiegen die Gehalte kontinuierlich an, wie bereits vielfach beschrieben wurde (*Milford, 1973; Beiß und Winner 1975, 1985; Kenter, 2003; Kenter und Hoffmann, 2006*). Der Anstieg des Zuckergehaltes verlangsamte sich dabei bis zum Ende der Vegetationsperiode. Begründen lässt sich dies durch den Energieaufwand, der für den Transport der Saccharose gegen einen Konzentrationsgradienten notwendig ist und der mit wachsender Saccharosekonzentration in der Rübe ansteigt (*Kursanov, 1974; Stein und Willenbrink, 1976; Wyse, 1979a*). Der Aussaatetermin hatte dabei keinen Einfluss auf den Zuckergehalt im Oktober. Der Zuckergehalt in der Trockensubstanz der Rübe lag bereits Ende Mai bei etwa 55 % und damit höher als bei den im Herbst gesäten Rüben. Bis Ende Juli stieg der Anteil Zucker an der Trockensubstanz der Rübe auf 73 % an und erreichte im Oktober 75 bis 78 %, wie auch *Milford (1973)* und *Kenter (2003)* beobachteten, dabei wurde kein signifikanter Unterschied zwischen den Aussaateterminen gefunden.

Dieses Ergebnis könnte, wie auch der fehlende Unterschied im Rübenantrag bei im Frühjahr gesäten Rüben, darauf hindeuten, dass der Ertrag der aktuellen Zuckerrübensorten durch Seneszenzprozesse und physiologische Grenzen limitiert ist (*Hoffmann, 2006b*) und sich somit auch durch eine Verlängerung der Vegetationsperiode nicht deutlich steigern ließe.

Der Markgehalt war über die gesamte Vegetationsperiode bei den im Herbst gesäten Rüben im Vergleich zu im Frühjahr gesäten Rüben relativ hoch. Der hohe Markgehalt vor Winter lässt sich auf die fortgeschrittene Entwicklung der Zuckerrüben zurückführen. Die Rüben hatten bereits vor Winter die meisten Kambiumringe und Speicherparenchymzellen gebildet, während der Durchmesser noch gering war. Zuckereinlagerung und Wasseraufnahme fanden im Herbst jedoch nur in einem geringen Umfang statt, so dass die Zellen klein blieben und die Kambiumringdichte hoch war. Da die Kambiumringe von den Leitbündeln, die einen hohen Anteil holziger Xylemzellen enthalten und zudem von einer Schicht von dickwandigen Parenchymzellen (*Artschwager, 1930*) umgeben sind, steigt mit der Dichte der Kambiumringe auch der Markgehalt der Rübe (*Hoffmann, 2006a*). Zudem besteht die Möglichkeit, dass Lignin als Frostschutz in die interfibrillären Räume der Zellwände der Rübe eingelagert wurde (Verholzung), wodurch der Markgehalt der Rübe zusätzlich erhöht wurde. Dabei ist bekannt, dass dichte verholzte Sekundärwände die Eisausbreitung im Gewebe behindern (*Larcher, 1994*). In folgenden Untersuchungen sollte daher das Mark der Rübe auch auf seine Zusammensetzung, vor allem Lignin, untersucht werden.

Im Frühjahr kam es bei den im Herbst gesäten Rüben, bedingt durch Wasseraufnahme und zunehmende Einlagerung von Zucker in die Parenchymzellen, zur Vergrößerung der Zellen und dadurch zunächst zu einer Abnahme des Markgehaltes. Der Wiederanstieg des Markgehaltes bis Juni lässt sich dagegen auf das eintretende Schossen und die zunehmende Verholzung der Zellwände im Rübenkörper zurückführen.

Bei den im Frühjahr gesäten Rüben lag der Markgehalt im Mai bei 4,5 % und nahm bis Juni auf 3,5 % ab. Ab Juni veränderte sich der Markgehalt dagegen kaum noch, was mit Untersuchungen von *Hoffmann et al. (2005)* und *Kenter und Hoffmann (2006)* übereinstimmt.

Wie sich der Markgehalt bei schossresistenten Genotypen entwickeln würde, bleibt offen. Aus den winterrübenanbauenden Mittelmeerländern ist bekannt, dass der Markgehalt auch bei nicht schossenden Winterrüben höher ist als bei im Frühjahr gesäten Rüben (*Rosso et al., 1999*). Das deutet darauf hin, dass die Erhöhung des Markgehaltes eine Abhärungsreaktion durch kältere Temperaturen und kürzer werdende Tage ist. Somit ist damit zu rechnen, dass auch bei schossresistenten Zuckerrübengenotypen der Markgehalt höher sein wird als bei im Frühjahr gesäten Rüben. Für die Trockensubstanzzusammensetzung bedeutet dies, dass der Markgehalt von im Herbst gesäten Rüben von etwa 7 bis 9 % vor Winter im weiteren Verlauf der Vegetationsperiode aufgrund der Vergrößerung der Zellen durch Wasserauf-

nahme und Zuckereinlagerung leicht abnehmen, insgesamt aber höher sein würde als der Markgehalt von im Frühjahr gesäten Rüben, der zur Endernte im Oktober bei 3,5 % lag. Das würde für die Trockensubstanzzusammensetzung bedeuten, dass bei einem Trockensubstanzgehalt der Rübe von 23 %, einem angenommenen Markgehalt von 6 bis 7 % und einem Nichtzuckerstoffgehalt von 2,5 % nur ein Zuckergehalt von 13,5 bis 14,5 % erreicht werden könnte. Der Anteil des Zuckergehaltes an der Trockensubstanz könnte somit bei im Herbst gesäten Rüben nur 58 bis 63 % erreichen und nicht wie bei im Frühjahr gesäten Rüben 75 %. Ergebnisse aus England und der Türkei bestätigen diese Annahme, dass bei im Herbst gesäten Rüben insgesamt ein geringerer Zuckergehalt erreicht wird (*Wood und Scott, 1975; Özgör und Erdal, 1999*). In weiteren Untersuchungen müssten somit der Vorteil einer früheren Ernte und die damit verbundenen ökonomischen Vorteile für die Zuckerfabriken dem vermutlich geringeren Zuckergehalt gegenübergestellt werden.

4.4.2 Melassebildner, Standardmelasseverlust und Bereinigter Zuckerertrag

Auffallend war die deutliche Abhängigkeit des Gehaltes der Melassebildner vom Alter der Zuckerrübenpflanze. Der Gehalt an Melassebildnern war zu Beginn der Entwicklung der Zuckerrüben sowohl bei im Herbst als auch bei im Frühjahr gesäten Rüben sehr hoch. Der hohe Gehalt ist darauf zurückzuführen, dass die Nährstoffaufnahme der Zuckerrübe der Substanzbildung stark vorseilt (*von Boguslawski et al., 1961; Beiß und Winner, 1975*). Im weiteren Vegetationsverlauf kommt es infolge der stetigen Zunahme der organischen Substanz zu einer Verdünnung und der Gehalt an Melassebildnern nimmt ab. Eine Ausnahme bildete der Natriumgehalt der im Herbst gesäten Rüben, der im Verlauf der Vegetationsperiode zunahm.

Die dem Zuckergehalt gegenläufige Entwicklung der Melassebildner ist zum Teil dadurch begründet, dass das osmotische Potenzial junger Pflanzen noch stark von den anorganischen Osmotika in den Vakuolen bestimmt wird und im Verlauf des Rübenwachstums und der Zuckerspeicherung ein Ersatz durch die eingelagerten Zucker stattfindet (*Bell et al., 1996*). Im Umkehrschluss lässt sich somit für den im Vegetationsverlauf zunehmenden Natriumgehalt der im Herbst gesäten Rüben vermuten, dass durch die geringe Einlagerung von Zucker in geschosste Rüben mehr Natrium in die Vakuolen aufgenommen wird, um das osmotische Gleichgewicht aufrechterhalten zu können. Es ist bekannt, dass Zuckerrüben natrophile Pflanzen sind, bei denen Natrium beschränkt unspezifische Funktionen des Kaliums übernehmen kann (*Amberger, 1996*). Die Wirkung des Natriums erstreckt sich, ähnlich wie die des Kaliums, primär auf den Wasserhaushalt und damit zusammenhängende Vorgänge wie Erhöhung des Turgors, Regulation der Stomatabewegung, Aktivierung von Enzymen sowie Ausdehnung der Zelle und Quellung durch Wasseraufnahme. Eine weitere Erklä-

nung könnte sein, dass ab April für den Aufbau des Sprosses aus dem Boden vermehrt Stickstoff in Form von Nitrat (NO_3^-) aufgenommen wurde. Im Gegenzug nahmen die natrophilen Zuckerrüben dann vermehrt Kationen (Na^+) auf, um das Kationen-Anionen-Gleichgewicht der Zellen aufrechterhalten zu können (*Eslami et al.*, 1988; *Amberger*, 1996). Insgesamt hatten im Herbst gesäte Rüben einen deutlich höheren Gehalt an Kalium und Natrium als im Frühjahr gesäte Rüben, allerdings bei insgesamt sehr niedrigem Niveau an Melassebildnern. Auch *Schneider* (1971), *Beiß et al.* (1979) und *Bürcky und Beiß* (1980) fanden höhere Gehalte an Kalium und Natrium in geschossten Rüben. Dagegen war der α -Amino-N-Gehalt bei Schosserrüben geringer als bei Nichtschossern. Offensichtlich wird zum Aufbau des Sprosses bei den Schosserrüben sehr viel Stickstoff in Proteinen gebunden, der teilweise aus den in der Rübe vorhandenen N-Verbindungen bereitgestellt wird (*Beiß et al.*, 1979). Der Einfluss des Aussaattermins zeigte sich bei den im Herbst gesäten Rüben vor allem im Gehalt an Kalium und Natrium deutlich, aber auch im Gehalt an α -Amino-N. Die jeweils früher gesäten Rüben hatten zu jedem Erntetermin den geringeren Gehalt an Melassebildnern.

Eine ähnliche Tendenz zeigte sich bei den im Frühjahr gesäten Rüben zu den ersten Ernteterminen. Ab Juli trat kein Einfluss des Aussaattermins mehr auf. *Märländer* (1991) fand, dass Aussaattermine bis Ende April keine Veränderung im Gehalt der Melassebildner hervorriefen. Erst eine Aussaat im Mai führte zu einem deutlich höheren Gehalt an Melassebildnern der Zuckerrübe.

Auch *García-Mauriño et al.* (2005) fanden eine deutlich schlechtere technische Qualität bei im Herbst gesäten, nicht schossenden Rüben im Vergleich zu im Frühjahr gesäten Rüben und führten das auf unterschiedliche Stadien des Stoffwechsels zurück. Im Frühjahr gesäte Rüben werden am Ende ihres ersten Vegetationsjahres geerntet, wenn sie dormant sind und eine geringe Stoffwechselaktivität aufweisen (*García-Mauriño et al.*, 2005). Die im Herbst gesäten Rüben werden hingegen mit einer hohen Stoffwechselaktivität geerntet, was sich in den Untersuchungen von *García-Mauriño et al.* (2005) in einem erhöhten Gehalt an Glucose und Prolin sowie einer höheren Atmungsrate der Rübe zeigte. Dabei ist bekannt, dass vor allem Trockenstress zu einer Anreicherung von Prolin und Glucose in Zuckerrüben führt (*Koch et al.*, 1985) und somit auch die Witterung kurz vor der Ernte Einfluss auf die Qualität hat. Das bedeutet, dass der physiologische Mechanismus, der die Unterschiede zwischen im Herbst und im Frühjahr gesäten Rüben verursacht, eine Kombination aus dem aktiven Atmungssystem, das den Abbau von Kohlenhydraten und die Akkumulation von Osmotika ermöglicht, und den klimatischen Bedingungen zum Erntezeitpunkt sein könnte. Daraus ergibt sich die Frage, wann unter mitteleuropäischen Klimabedingungen der optimale Erntezeitpunkt für im Herbst gesäte Rüben wäre. Bei einer frühen Ernte im Mai oder Juni wäre noch

nicht der maximal mögliche Rübenenertrag erreicht, während bei Ernte im Juli oder August aufgrund von Trockenheit die technische Qualität schlechter sein könnte.

Der aus den Melassebildnern errechnete Standardmelasseverlust nahm sowohl bei im Herbst als auch bei im Frühjahr gesäten Rüben im Vegetationsverlauf ab. Im Herbst gesäte Rüben wiesen dabei aufgrund der höheren Kalium- und Natriumgehalte zur Endernte im Juni geringfügig höhere Werte auf als im Frühjahr gesäte Rüben zur Endernte im Oktober.

Aufgrund des niedrigen Rübenenertrags und Zuckergehaltes sowie der hohen Gehalte an Kalium und Natrium lag der Bereinigte Zuckerertrag bei im Herbst gesäten Rüben bei maximal $1,5 \text{ t ha}^{-1}$. Im Frühjahr gesäte Rüben erreichten hingegen aufgrund des deutlich höheren Rübenenertrags und der besseren technischen Qualität einen Bereinigten Zuckerertrag von $8,7$ bis $9,3 \text{ t ha}^{-1}$.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass eine vorgezogene Aussaat im Frühjahr zu keiner wesentlichen Änderung der Entwicklung der technischen Qualität von Zuckerrüben führt. Eine Aussaat mit aktuell zur Verfügung stehenden Zuckerrübensorten im Herbst führte hingegen dazu, dass die Rüben im Frühjahr vollständig schossten. Aus diesem Übergang in die generative Phase resultierte ein geringer Rübenenertrag verbunden mit einer aus zuckertechnologischer Sicht unzureichenden Qualität, insbesondere wegen des geringen Zuckergehaltes. Dazu kam ein hoher Markgehalt, der bei der Ernte und Verarbeitung in der Zuckerfabrik aufgrund schlechter Schneidbarkeit zu erheblichen Schwierigkeiten führen würde (Schneider, 1971). Diese Rüben sind demnach für die Zuckergewinnung nicht geeignet.

Allerdings deutet sich beim Vergleich von im Herbst mit im Frühjahr gesäten Rüben an, dass im Herbst gesäte Rüben bereits früher im Jahr für die Zuckergewinnung einen ausreichend hohen Zuckergehalt verbunden mit einem niedrigen Gehalt an Melassebildnern erreichen könnten, wenn sie nicht schossen würden. Allerdings bestünde alternativ für die schossenden Winterrüben schon heute die Möglichkeit, diese für die Biogasproduktion einzusetzen, da hierfür die technische Qualität im ursprünglichen Sinne keine Rolle spielt und ein hoher Gesamttrockenmasseertrag pro Flächeneinheit erreicht wird (Hoffmann et al., 2008).

4.5 Einfluss einer Aussaat im Herbst bzw. im Frühjahr auf Blattflächenindex, Lichtabsorption und Trockenmassebildung

Gesamttrockenmasse- und Zuckerertrag von Zuckerrüben sind eine Funktion der absorbierten Strahlung während der Vegetationsperiode (Scott und Jaggard, 1978; Milford und Riley, 1980). Die Lichtabsorption wird dabei durch die Entwicklung des Blattflächenindex bestimmt. Erst wenn der optimale Blattflächenindex erreicht wird, kann die Einstrahlung fast vollständig vom Bestand absorbiert werden. Je früher der optimale Blattflächenindex gebildet ist, desto

länger kann der Bestand die zur Verfügung stehende photosynthetisch aktive Strahlung (PAR) für die Ertragsbildung nutzen (Röver, 1995).

Inwiefern eine vorgezogene Aussaat im Frühjahr bzw. eine Aussaat im Herbst zu einem früheren Erreichen des optimalen Blattflächenindex beitragen kann und ob sich dadurch eine Ertragssteigerung bzw. eine frühere Ernte im Jahr ergeben könnte, wird in den folgenden Kapiteln diskutiert. Außerdem wird anhand der vorliegenden Ergebnisse das Ausmaß einer möglichen Ertragssteigerung von im Herbst gesäten Zuckerrüben abgeschätzt.

4.5.1 Optimaler Blattflächenindex

Für den Zusammenhang zwischen Blattflächenindex und absoluter Wachstumsrate der Gesamtpflanze ergab sich für im Frühjahr gesäte Rüben im vorliegenden Versuch eine Optimumsfunktion. Der Rückgang ist darauf zurückzuführen, dass die unteren Blattschichten eine negative Nettoassimilationsrate besitzen können, wenn durch gegenseitige Beschattung der Blätter die Belichtung dieser Blattschichten unterhalb des Lichtkompensationspunktes liegt und die Respirationrate die Bruttoassimilationsrate übersteigt (Clark und Loomis, 1978; Bürcky, 1980). Somit erfolgt nur eine unvollständige Ausnutzung der Assimilationsfläche (Erbas und Fischbeck, 1972). Die maximale Wachstumsrate wurde bei einem Blattflächenindex von 3,5 bis 4 realisiert. Dieses Ergebnis stimmt gut mit den Angaben anderer Autoren überein. Goodman (1966) gibt für die maximale Trockenmassebildung ebenfalls einen Blattflächenindex von 4 an. In Feldversuchen von Schultz (1963) und Röver (1995) wurde die maximale Wachstumsrate mit Blattflächenindices zwischen 3 und 4 erzielt.

Bei im Herbst gesäten Rüben zeigte sich dagegen keine Optimumsfunktion. Die Wachstumsrate stieg bis zu einem Blattflächenindex von 4,5 nahezu linear an. Das bedeutet, dass der optimale Blattflächenindex noch oberhalb dieses Wertes liegen kann. Dieses Ergebnis ist auf das Schossen der im Herbst gesäten Rüben zurückzuführen, die bis zur Endernte im Juni eine maximale Wachstumsrate von 20 bis 30 g TM m⁻² d⁻¹ erreicht hatten. Ob sich auch hier eine Optimumsfunktion einstellen würde, muss noch weiter untersucht werden. Für schossresistente im Herbst gesäte Rüben muss dieser Zusammenhang ebenfalls noch geklärt werden, sobald entsprechende Genotypen zur Verfügung stehen.

4.5.2 Blattflächenindex und Lichtabsorption

Durch eine Aussaat im Herbst konnte die Phase der Jugendentwicklung zeitlich vorgezogen werden. Die im Herbst gesäten Rüben hatten bereits vor dem Winter einen Blattflächenindex von 1,5 (Augustaussaat) bzw. 0,5 (Aussaat Mitte September) gebildet. Über die Wintermonate starben aufgrund von Frost und Befall mit *Ramularia* einige Blätter ab, trotzdem konnten die Pflanzen durch das bereits entwickelte Wurzelsystem und die eingelagerten Reservestof-

fe sowie eine schnellere Assimilation aufgrund des höheren Blattflächenindices im Frühjahr den Blattapparat zügig aufbauen (*Wood und Scott, 1975*).

Den optimalen Blattflächenindex von 3,5 erreichten im Herbst gesäte Rüben bereits Mitte bis Ende Mai und somit ca. drei bis vier Wochen früher als im Frühjahr gesäte Rüben. Auch *Wood und Scott (1975)* fanden eine beschleunigte Blattentwicklung im Frühjahr durch eine Aussaat im Herbst. In ihren Versuchen erreichten im Herbst gesäte Rüben vier bis fünf Wochen früher den optimalen Blattflächenindex als im Frühjahr gesäte Rüben.

Bei den im Frühjahr gesäten Rüben nahm der Blattflächenindex parallel zur Blatttrockenmasse und Blattfrischmasse bis Mitte August zu, ging aber zum Ende der Vegetation, im Gegensatz zum Blattertrag, zurück. Die Blattfläche pro Einheit Blattmasse oder spezifische Blattfläche (*Hunt, 1990*) wurde somit geringer. Dies kann darauf zurückgeführt werden, dass die Zuckerrübenblätter zum Ende der Vegetation dicker werden (*Follet et al., 1970*). Wie stark der Blattflächenindex im späteren Vegetationsverlauf abnimmt, wird durch die Absterberate der älteren, größeren Blätter und die relative Größe der neu gebildeten Blätter bestimmt. Die Größe der neugebildeten Blätter ist dabei wiederum temperaturabhängig und nimmt mit steigender Temperatur zu (*Milford et al., 1985c, d*).

Dass sowohl bei Aussaat im Herbst als auch bei Aussaat im Frühjahr die jeweils früher gesäten Rüben den optimalen Blattflächenindex einige Tage früher als die später gesäten Rüben erreichten, wie auch Versuche von *Wood und Scott (1975)* zeigten, war zurückzuführen auf eine längere Vegetationsperiode verbunden mit einem früheren Erreichen der notwendigen Temperatursumme. Diese lag bei im Frühjahr gesäten Rüben, die unter günstigen Wachstumsbedingungen aufwuchsen (*Sieboldshausen 2006 und 2007*), bei etwa 900 °Cd bezogen auf eine Basistemperatur von 3 °C. Vergleichbare Temperatursummen fanden auch *Werker und Jaggard (1997)* sowie *Malnou et al. (2006)*. Für im Frühjahr gesäte Rüben, die aufgrund von Trockenheit unter nicht optimalen Bedingungen wuchsen (*Parensen 2006 und Harste 2007*) bzw. für die im Herbst gesäten Rüben ergaben sich deutlich höhere Temperatursummen bis zum Erreichen des optimalen Blattflächenindices, die zwischen 1500 °Cd und 1600 °Cd lagen. Zu erklären ist dies dadurch, dass nicht nur die Temperatur einen Einfluss auf die Bestandesetablierung hat, sondern weitere Faktoren wie Saatgutqualität, Bodenfeuchtigkeit, Saatbettbereitung sowie Düngung und das Auftreten von Krankheiten (*Milford et al., 1985d*).

Die im Frühjahr in Harste gesäten Rüben benötigten somit aufgrund von Trockenheit eine höhere Temperatursumme, weil Keimung und Feldaufgang trotz warmer Temperaturen bereits etwas verzögert wurden. Bei im Herbst gesäten Rüben ist die höhere Temperatursumme zum Erreichen des optimalen Blattflächenindex hingegen auf die niedrigeren Temperaturen im Herbst und im zeitigen Frühjahr zurückzuführen. *Milford et al. (1985a, b, c)* fanden eine enge Beziehung von Blattbildungsrate und Entwicklung der Blattfläche zur Temperatur-

summe. Die Blattbildungs- und Blattwachstumsrate nahm dabei linear mit der Temperatursumme zu. Zudem konnten sie zeigen, dass Blätter, die bei 20 °C wuchsen, eine viermal größere Blattfläche aufwiesen als solche, die bei 7 °C wuchsen (Milford et al., 1985a). Das bedeutet, dass im Herbst gesäte Rüben bis zum Erreichen des optimalen Blattflächenindex mehr Blätter bilden mussten, da die Blätter insgesamt kleiner waren, wozu eine höhere Temperatursumme notwendig war. Ein weiterer Grund könnte bei im Herbst gesäten Rüben in dem Übergang in die generative Phase liegen, wodurch es zu Veränderungen im Stoffwechsel und Wachstum der Pflanze kommt (Lexander, 1980). Aufgrund dieser Veränderungen könnte die Blattbildung vorübergehend unterbrochen bzw. reduziert worden sein.

Der Blattflächenindex ist die entscheidende Größe dafür, welcher Anteil der photosynthetisch aktiven Strahlung absorbiert und für die Ertragsbildung genutzt werden kann (Scott und Jaggard, 1993; Röver, 1995).

Die Berechnung der photosynthetisch aktiven Strahlung, die einem Bestand zur Verfügung steht, wird in der Literatur unterschiedlich durchgeführt. Dies muss beim Vergleich mit den eigenen Ergebnissen berücksichtigt werden. Bei der Berechnung der absorbierten photosynthetisch aktiven Strahlung sollte berücksichtigt werden, dass durch Reflexion und Transmission nicht die gesamte einfallende photosynthetisch aktive Strahlung absorbiert werden kann (Bonhomme, 2000). Als Transmission ist dabei der Quotient aus der unterhalb einer Blattschicht mit einem bestimmten Blattflächenindex noch vorhandenen und der eingestrahnten Strahlung zu verstehen (Monsi und Saeki, 1953). Zusätzlich sollte berücksichtigt werden, dass die transmittierte photosynthetisch aktive Strahlung auch teilweise vom Boden wieder in den Bereich der Blattfläche reflektiert wird und damit die Absorption erhöht. Messungen zur Bestimmung der Reflexion durch die Blattfläche und den Boden sind aber sehr aufwendig. So wurde in vielen Untersuchungen statt der Absorption nur die auf die Blattfläche auftreffende Strahlung, also die Lichtinterzeption, berechnet (Scott und Jaggard, 1993; Clover et al., 2001; Qi et al., 2005). Sie entspricht der photosynthetisch aktiven Strahlung abzüglich der Transmission. In der vorliegenden Untersuchung wurde dagegen die Lichtabsorption berechnet. Dabei wurde die Reflexion durch eine Konstante berücksichtigt, wonach ein Anteil von 8 % der auf die Blätter treffenden photosynthetisch aktiven Strahlung reflektiert wurde, da auch in den vorliegenden Versuchen die Reflexion der Blätter und des Bodens nicht gemessen wurden. Bei der Verwendung der Lichtinterzeption zur Bestimmung der Lichtausnutzung ergeben sich somit geringere Werte als bei der Verwendung der Lichtabsorption.

Der Extinktionskoeffizient k drückt die Absorptionseigenschaften der Blattschicht aus. Er ist abhängig von der Reflexion und dem Blattwinkel. Je steiler die Blattstellung ist, desto kleiner ist der Extinktionskoeffizient, da der Anteil des Lichtes, der durch die Blattschicht hindurchtritt, zunimmt. Bei Zuckerrüben errechnete Röver (1995) anhand des Modells von

Monsi und *Saeki* (1953) über verschiedene Varianten und Messtermine einen mittleren Extinktionskoeffizienten von $k = 0,6093$, der für die vorliegenden Berechnungen für Pflanzen der Frühjahrs- und Herbstausaat übernommen wurde. Ob dieser Koeffizient für im Herbst gesäte Rüben, die im Frühjahr schossen, zutreffend ist, müsste in folgenden Untersuchungen durch detaillierte Messungen der Transmissionseigenschaften der Blätter und der Blattwinkel ermittelt werden. Anzunehmen ist, dass der Extinktionskoeffizient für im Herbst gesäte, schossende Rüben aufgrund ihrer deutlich kleineren Blätter und einer steileren Blattstellung insgesamt zu hoch angenommen wurde. Für im Herbst gesäte Rüben, die nicht schossen und somit im Frühjahr wahrscheinlich eine vergleichbare Blattentwicklung wie im Frühjahr gesäte Rüben aufweisen würden, erscheint ein Extinktionskoeffizient von $0,6093$ als realistisch. Ob die Blätter von im Herbst gesäten Rüben aber tatsächlich ähnliche Transmissionseigenschaften und eine Blattstellung wie im Frühjahr gesäte Rüben aufweisen würden, kann erst geklärt werden, wenn schossresistente Zuckerrüben-Genotypen zur Verfügung stehen.

Die Berechnung des Absorptionsgrades zeigte für im Herbst gesäte Rüben, dass diese aufgrund der Vorwinterentwicklung und somit bereits im zeitigen Frühjahr vorhandenen, größeren Blattfläche bereits im April 40 % und im Mai 75 % der einfallenden Strahlung absorbieren und für die Ertragsbildung nutzen konnten. Dabei hatten zunächst die jeweils früher gesäten Rüben einen deutlichen Vorteil gegenüber den später gesäten Rüben. Dieser Vorteil verlor sich im Verlauf der Vegetationsperiode zunehmend, so dass im Juni kaum noch ein Effekt des Aussaattermins zu finden war und einheitlich 85 % der Einstrahlung absorbiert wurden. Da die im Herbst gesäten Rüben ab April geschossen sind, kann davon ausgegangen werden, dass der tatsächliche Blattflächenindex von im Herbst gesäten Rüben und somit der Absorptionsgrad über den hier gemessenen und berechneten Werten lagen, da die kleineren Blätter des Sprosses nicht miterfasst werden konnten. Allerdings spielt dies für die vorliegende Untersuchung keine Rolle, da zunächst die Frage geklärt werden sollte, ob durch eine Aussaat im Herbst die Jugendentwicklung von Zuckerrüben im Frühjahr gefördert und so die Lichtabsorption erhöht werden könnte.

Im Gegensatz zu im Herbst gesäten Rüben befanden sich im Frühjahr gesäte Rüben im April und Mai in der Auflaufphase bzw. frühen Jugendentwicklung und erreichten erst zum Zeitpunkt abnehmender Strahlung im Juli den höchsten Absorptionsgrad. Ab Juli bis zur Ernte im Oktober wurden von den im Frühjahr gesäten Rüben knapp 90 % der Einstrahlung genutzt. Das zeigt, dass im Hauptwachstum das Potenzial zur Steigerung der Lichtabsorption weitestgehend ausgeschöpft ist (*Bürcky*, 1988). Zudem war kein signifikanter Einfluss des Aussaattermins im Frühjahr auf den Absorptionsgrad vorhanden.

Dieses Ergebnis bestätigt die in der Literatur vielfach beschriebene Bedeutung einer Förderung der Jugendentwicklung von Zuckerrüben, da sich in dieser Wachstumsphase der Blattflächenindex weit unter dem Optimum befindet, während die Einstrahlung vor allem in den Monaten April bis Juni bereits intensiv ist (Watson, 1947; Scott und Bremner, 1966; Scott und Jaggard, 1978; Bürcky, 1988; Scott und Jaggard, 1993; Kenter et al., 2006a). Eine Aussaat im Februar oder März führte zu einer deutlichen Zunahme der Lichtabsorption im Mai gegenüber im April gesäten Rüben, wobei eine Aussaat im Herbst aufgrund der besseren Synchronisation von intensiver Strahlung und absorbierender Blattfläche noch besser zu einer Förderung der Lichtabsorption im Frühjahr beitragen konnte.

4.5.3 Lichtausnutzung

In der vorliegenden Untersuchung ergab die Regressionsanalyse sowohl für im Herbst als auch für im Frühjahr gesäte Rüben einen engen linearen Zusammenhang zwischen absorbierter photosynthetisch aktiver Strahlung und Gesamttrockenmasseertrag. Auch Scott et al. (1973) sowie Scott und Jaggard (1978) zeigten bereits, dass die Gesamttrockenmasse von Zuckerrüben eine Funktion der während der Vegetationsperiode absorbierten Strahlung ist. Die Linearität ist darin begründet, dass mit zunehmender Lichtintensität der Anteil Blätter, die die Lichtsättigung erreichen und somit erheblich an der Trockenmassebildung beteiligt sind, zunimmt. Der Regressionskoeffizient gibt die Lichtausnutzung, d. h. die Trockenmassebildung in g je MJ absorbierter photosynthetisch aktiver Strahlung an. Die Lichtnutzungseffizienz (RUE) ist ein Maß für die Fähigkeit der Zuckerrüben, photosynthetisch aktive Strahlung zu absorbieren und diese in Trockenmasse umzusetzen (Bonhomme, 2000).

Die Lichtnutzungseffizienz von Zuckerrüben wird mit $1,8 \text{ g MJ}^{-1}$ Globalstrahlung angegeben (Qi et al., 2005), wobei nicht die Absorption, sondern nur die Interzeption berechnet und die einfallende Strahlung in Form der Globalstrahlung gemessen wurde. Als Korrekturfaktor für die Umrechnung der Globalstrahlung auf photosynthetisch aktive Strahlung wurde 0,5 angenommen, da nach Szeicz (1974) die photosynthetisch aktive Strahlung 50 % der Globalstrahlung entspricht. Damit entspricht der von Qi et al. (2005) angegebene Wert $3,6 \text{ g MJ}^{-1}$ absorbierter photosynthetisch aktiver Strahlung.

In der vorliegenden Untersuchung konnte dieser Wert für die Gesamttrockenmasse von im Herbst und im Frühjahr gesäten Rüben nicht erreicht werden. Die Lichtnutzungseffizienz lag über alle Standorte und Jahre und über die gesamte Vegetationszeit bei $2,0 \text{ g MJ}^{-1}$ für im Herbst gesäte Rüben und bei $2,2 \text{ g MJ}^{-1}$ für im Frühjahr gesäte Rüben. Auch Scott und Jaggard (1993) und Röver (1995) fanden mit $3,4 \text{ g MJ}^{-1}$ (umgerechnet) bzw. $4,0 \text{ g MJ}^{-1}$ eher höhere Werte für die Lichtnutzungseffizienz bezogen auf die Gesamttrockenmasse von Zuckerrüben. Nur in einem von drei Versuchsjahren fand Röver (1995) eine geringe Lichtaus-

nutzung von $1,6 \text{ g MJ}^{-1}$, die er darauf zurückführte, dass andere Wachstumsfaktoren oder Krankheiten begrenzend gewirkt haben, wie zum Beispiel ein verdichteter Boden und Befall mit Nematoden.

Da in die Regressionsanalyse beide Versuchsjahre, alle Standorte und alle Aussaattermine im Herbst und im Frühjahr einbezogen wurden, lässt sich die niedrige Lichtausnutzung auf verschiedene Stressfaktoren zurückführen, die nach *Arkebauer et al.* (1994) stets die Lichtausnutzung verringern. Dies können zum einen eventuell aufgetretene Bodenverdichtung durch Aussaat im Februar und März sowie Trockenheit im Sommer 2006 bzw. Hagel im Sommer 2007 gewesen sein, zum anderen durch das Auftreten von Nematoden (2006) und Krankheiten wie *Peronospora farinosa* f. sp. *betae* und *Cercospora beticola*.

Die niedrigere Lichtnutzungseffizienz der im Herbst gesäten Rüben ist auf die über Winter niedrigen Temperaturen zurückzuführen, die den Stoffwechsel zunächst verlangsamen und im Frühjahr die Umstimmung vom vegetativen zum generativen Wachstum bewirken. Zudem unterscheiden sich geschosste und nicht geschosste Rüben deutlich in ihrer Zusammensetzung der Trockenmasse. Aufgrund der Ausbildung des Sprosses werden mehr langkettige Kohlenhydrate (Cellulose, Hemicellulose) gebildet und weniger niedermolekulare Zucker als bei vegetativ wachsenden Rüben. Für die Stabilität des Sprosses wird Lignin in die interfibrillären Räume der Zellwände eingelagert (*Hua, 1998*). Zudem ist der Proteingehalt von Blättern hoch, da sich dort viele Enzyme befinden (*Nultsch, 1996*). Für die Synthese dieser Stoffe sind physiologische Prozesse notwendig, bei denen im Mittel aus 1 mol Glucose, das durch Photosynthese gewonnen wird, nur 0,83 mol Kohlenhydrate, 0,47 mol Lignin und 0,4 mol Protein gebildet werden (*Penning de Vries, 1974* in: *Specht et al. 1999*). Das bedeutet, dass die Lichtnutzungseffizienz sinkt, je mehr Assimilate bzw. Energie notwendig sind, um 1 g Biomasse zu erzeugen (*Lawlor, 1995*).

Für die Bildung von Schossern müssten somit aufgrund ihrer Zusammensetzung mehr Assimilate und Energie für die Trockenmassebildung aufgewendet werden als bei nicht geschossten Rüben. Das könnte der Grund für die geringere Lichtnutzungseffizienz sein.

Wie hoch die Lichtnutzungseffizienz von schossresistenten Rüben sein wird, kann anhand der vorliegenden Ergebnisse nicht beantwortet werden. Es ist aber anzunehmen, dass diese höher als die Lichtnutzungseffizienz der Schosser liegen wird, da weniger Assimilate und Energie für den Aufbau des Sprosses benötigt werden. Ob aber die Frostabhärtung Einfluss auf die Lichtnutzungseffizienz haben wird und ob sich im Herbst gesäte Rüben in ihrer Trockenmassezusammensetzung von im Frühjahr gesäten Rüben unterscheiden, muss in folgenden Projekten untersucht werden.

4.5.4 Berechnung des theoretischen Ertrages von nicht schossenden Winterrüben

Um den theoretisch möglichen Ertrag abzuschätzen, wurde für die im August gesäten Rüben angenommen, dass die Rüben im Frühjahr nicht schossen, sondern weiterhin Assimilate in die Rübe, das vegetative Speicherorgan, einlagern. Für die Bestimmung der Lichtabsorption von August bis zur Ernte im Juni des nächsten Jahres wurde der mittlere Blattflächenindex der im August gesäten Rüben über alle Standorte und Jahre verwendet. Ferner wurde das langjährige Mittel der photosynthetisch aktiven Strahlung von 1952 bis 2007 angenommen. Dadurch wurde der Jahreseffekt in der Berechnung minimiert, da die beiden Versuchsjahre Extreme in Bezug auf die Globalstrahlung darstellten. 2006 wurde das Maximum zwar wie gewöhnlich im Juni erreicht, lag aber deutlich über dem langjährigen Mittel. 2007 wurde hingegen das Maximum bereits im April erreicht, danach nahm die Globalstrahlung kontinuierlich ab.

Aus dem langjährigen Mittel ergab sich für die Vegetationsperiode der im August gesäten Rüben (August bis Juni) eine Summe von 537 MJ m^{-2} absorbierte photosynthetisch aktive Strahlung. Für den Zeitraum von Juli bis Oktober wurde der mittlere Blattflächenindex von im Frühjahr gesäten Rüben angenommen, um zu simulieren, dass die Rüben nicht schossen. Zudem haben die eigenen Untersuchungen gezeigt, dass es für die Lichtabsorption in der Hauptwachstumsphase kaum einen Unterschied zwischen den verschiedenen Aussaatterminen gab. Aus der Summe der photosynthetisch aktiven Strahlung und den angenommenen Blattflächenindices wurden der Absorptionsgrad und die absorbierte photosynthetisch aktive Strahlung berechnet.

Der theoretische Gesamttrockenmasseertrag wurde anhand der Regressionsgleichung von absorbierter photosynthetisch aktiver Strahlung und Gesamttrockenmasseertrag der im Herbst gesäten Rüben berechnet, da angenommen wurde, dass auch im Herbst gesäte schossresistente Rüben wegen der physiologischen Prozesse der Frostabhärtung eine etwas geringere Lichtausnutzung aufweisen als im Frühjahr gesäte Rüben.

So ergab sich ein Gesamtertrag von $17,9 \text{ t TM ha}^{-1}$ für im August gesäte Rüben bei Ernte im August des nachfolgenden Jahres; dies entspricht ungefähr dem Ertrag von im April gesäten Rüben zur Ernte im Oktober. Somit wäre eine frühere Ernte und dadurch eine Verlängerung der Kampagne in den Zuckerfabriken möglich. Bei Ernte im September könnte durch die zusätzliche Lichtabsorption ein Ertrag von $20,5 \text{ t TM ha}^{-1}$ und bei Ernte im Oktober ein Ertrag von $22,0 \text{ t TM ha}^{-1}$ erzielt werden. Das bedeutet, dass durch eine Aussaat im August eine Ertragssteigerung um 11 % bei Ernte im September und bis zu 19 % bei Ernte im Oktober des Folgejahres denkbar wäre. *Jaggard* und *Werker* (1999) kamen anhand von Berechnungen mit einem Simulationsmodell zu einem Ertragsvorteil von 19 % bis 27 % von im September gesäten Rüben gegenüber im Frühjahr gesäten Rüben. Dabei wurden sowohl Tro-

ckenstress- als auch optimale Wachstumsbedingungen modelliert. Der unter Trockenstress, also nicht optimalen Wachstumsbedingungen modellierte Ertrag stimmt gut mit den eigenen Ergebnissen überein. Dass auch in den eigenen Untersuchungen suboptimale Wachstumsbedingungen geherrscht haben bzw. auch der Übergang in die generative Phase limitierend gewirkt haben könnte, zeigte sich in der geringen Lichtnutzungseffizienz der im Herbst gesäten Rüben.

Die dargestellten Ertragssteigerungen stellen dabei eine konservative Schätzung dar, da die angenommene Lichtausnutzung von $2,0 \text{ g MJ}^{-1}$ deutlich unter der für Zuckerrüben gewöhnlich angenommenen Lichtausnutzung von bis zu $3,6 \text{ g MJ}^{-1}$ lag (Qi et al., 2005).

Auf der anderen Seite kann die Berechnung jedoch auch als optimistisch angesehen werden, da für das Wachstum von im Herbst gesäten Rüben im Frühjahr angenommen wurde, dass es dem Wachstum von im Frühjahr gesäten Rüben entspricht. Zudem wurde davon ausgegangen, dass Zuckerrüben ein nichtdeterminiertes Wachstum aufweisen. *Demmers-Derks* et al. (1998) schlussfolgerten hingegen aus ihren Versuchen, dass die Entwicklung der Zuckerrübe durch die Temperatur reguliert wird und somit das Wachstum als determiniert betrachtet werden müsste. Sie fanden zwar, wie auch *Milford* et al. (1985d), dass die Blattbildung bei Zuckerrüben mit steigenden Temperaturen linear zunimmt und somit der optimale Blattflächenindex und die maximale Lichtinterzeption zügiger erreicht werden können, der Blattapparat aber bei warmen Temperaturen auch schneller altert. Die Seneszenz des Blattapparates wirkt sich somit negativ auf den Biomasseertrag aus, da die Phase von Zuckerbildung und -speicherung verkürzt wird, so dass *Demmers-Derks* et al. (1998) in ihren Versuchen keine Ertragssteigerung durch höhere Temperaturen erzielen konnten. Das deutet darauf hin, dass es auch bei Zuckerrüben Seneszenzprozesse gibt, die einen weiteren Ertragszuwachs reduzieren. Auch *Qi* et al. (2005) nahmen für ihr Simulationsmodell an, dass der Blattapparat altert und im Herbst weniger effizient assimiliert. Demzufolge muss damit gerechnet werden, dass auch das Wachstum und die Ertragsbildung von im Herbst gesäten Rüben limitiert sein können und somit keine deutliche Ertragssteigerung über eine Verlängerung der Vegetationsperiode möglich sein könnte. Wie das Wachstum von schossresistenten Genotypen aber tatsächlich verlaufen würde und wie lange Zuckerrüben einen Ertragszuwachs realisieren, muss noch untersucht werden. Die fehlenden Unterschiede im Rübenertrag der im Frühjahr zu unterschiedlichen Terminen gesäten Rüben deuten aber daraufhin, dass der Ertrag der aktuellen Zuckerrübensorten durch Seneszenzprozesse in der Rübe limitiert sein könnte (*Hoffmann*, 2006b).

Die Berechnung der dargestellten Ertragssteigerungen kann damit einen ersten Anhaltspunkt für den theoretisch möglichen Ertrag von nicht schossenden Winterrüben unter mitteleuropäischen Klimabedingungen bieten. Praktische Versuche zur Ermittlung des möglichen Ertrages von Winterrüben sind derzeit noch nicht möglich, da es bisher noch keine schossresis-

tenten Zuckerrübensorten gibt. Für genauere Berechnungen wäre jedoch die Entwicklung eines Simulationsmodells sinnvoll, das die Entwicklung der Rübe vor Winter und deren Überwinterung einbezieht. Um ein solches Modell entwickeln zu können, müssten weitere Untersuchungen in größerer Anzahl und unter Einbeziehung schossresistenter Zuckerrüben- genotypen durchgeführt werden.

4.6 Abschließende Betrachtung und Ausblick

Der Anbau von Winterrüben setzt insgesamt voraus, dass die Zuckerrüben eine gewisse Winterhärte aufweisen. Über die Mechanismen und Substanzen, die bei Zuckerrüben zur Winterhärte beitragen, gibt es noch keine Untersuchungen. Aus den vorliegenden Ergebnissen kann aufgrund des hohen Trockensubstanzgehaltes in Blatt und Rübe sowie dem relativ hohen Zuckergehalt in der Rübe vor Winter geschlossen werden, dass eine Akklimatisation an kalte Temperaturen durch osmotische Anpassung stattgefunden haben muss. Ob weitere Mechanismen und Substanzen zur Winterhärte von Zuckerrüben beitragen, muss in folgenden Untersuchungen analysiert werden.

Dazu sollte neben dem Gehalt an Saccharose der Gehalt an anderen Zuckerstoffen, wie z. B. Raffinose untersucht werden, da aus zahlreichen Untersuchungen bekannt ist, dass neben Saccharose vor allem größere Zuckermoleküle eine noch stärkere Wirkung gegen Frost aufweisen können (*Hughes und Dunn, 1996; Castonguay und Nadeau, 1998; Hinch et al., 2002; Caffrey et al., 1988*).

Auch Phytohormone können zur Erhöhung der Resistenz gegen Kälte beitragen, wie z. B. die Abscinsäure in Gerste (*Hordeum vulgare*) und Gartenbohne (*Phaseolus vulgaris*) (*Mohr und Schopfer, 1992*). Ob Phytohormone auch bei Zuckerrüben zur Winterhärte beitragen können, ist nicht bekannt. Weitere wichtige physiologische Veränderungen bei der Akklimatisation von Pflanzen sind neben der osmotischen Anpassung (Erhöhung der Partikelkonzentration im Cytoplasma, u. a. durch Anreicherung von löslichen Kohlenhydraten) die Anreicherung von Proteinen, Fettsäuren und Phospholipiden, die Zunahme der Membranstabilität und die Induktion spezifischer Gene, die für Frostschutzproteine codieren (*Li, 1984; Shahba et al., 2003; Beck et al., 2004*). Inwiefern diese Mechanismen eine Rolle für die Frostakklimatisation von Zuckerrüben spielen, ist noch unklar und zeigt den Forschungsbedarf auf. Zudem gibt es noch keine Informationen über eine mögliche genetische Variation von Winterhärte in Zuckerrüben, die aber aufgrund des Anbaus von Zuckerrüben unter den Anbaubedingungen in Süd- als auch in Nordeuropa wahrscheinlich erscheint.

Voraussetzung für die Zucker- bzw. alternativ auch Bioethanolproduktion sind Zuckerrüben mit einem hohen Zuckergehalt, was für den Anbau von Winterrüben die Schaffung von

schossresistenten Zuckerrüben genotypen erforderlich macht (Jung, 2000; Hohmann et al., 2003, Jung et al., 2007). Daran wird derzeit züchterisch intensiv gearbeitet. Allerdings werden solche Genotypen nach heutigem Wissensstand immer transgene Pflanzen sein. Deshalb wäre zur Verwirklichung des Anbaus von Winterrüben in letzter Konsequenz die Akzeptanz des Verbrauchers für gentechnisch veränderte Pflanzen erforderlich.

Die Winterrübe aus aktuellen Zuckerrüben genotypen ist zwar aufgrund des Schossens für die Zuckergewinnung ungeeignet, könnte aber bereits heute für die Biogasproduktion von Nutzen sein, da hierfür die technische Qualität im ursprünglichen Sinne keine Rolle spielt und hohe Biomasseerträge erreicht werden. Im Folgenden werden daher die Anbauverfahren von schossresistenten Winterrüben für die Zucker- bzw. Bioethanolerzeugung und von schossenden Winterrüben für die Biogasproduktion betrachtet.

4.6.1 Anbauverfahren schossresistenter Winterrüben

Die Versuchsergebnisse und die darauf basierenden Berechnungen deuten an, dass durch eine Aussaat im Herbst der Ertrag gesteigert bzw. ein ausreichend hoher Ertrag früher im Jahr erzielt werden könnte.

Wie eine Fruchtfolge mit im Herbst gesäten Rüben gestaltet werden könnte, wurde noch nicht untersucht. Aber es ist denkbar, dass als Vorfrucht eine früh räumende Körnerfrucht wie Gerste angebaut wird. Nach der Ernte der Rüben im August, September oder auch Oktober kann, wie auch nach im Frühjahr gesäten Zuckerrüben, Winterweizen ausgesät werden. Ein großer Vorteil wäre bei der Aussaat im Herbst in der Begrünung der Ackerfläche über Winter zu sehen, wodurch der Boden vor Erosionen und Nährstoffauswaschung geschützt wäre (Longden und Thomas, 1989). Dadurch könnte auf einen Zwischenfruchtanbau verzichtet und somit Kosten eingespart werden.

Durch den ganzjährigen Zuckerrübenanbau kann die Bekämpfung von Krankheiten und Schädlingen schwieriger werden. Dies ist zum einen begründet in der sogenannten grünen Brücke, durch die Krankheiten direkt von den älteren Pflanzen auf die jungen Pflanzen übergehen können. Zum anderen haben die im Herbst gesäten Rüben eine längere Vegetationsperiode, so dass mehr Zeit zur Vermehrung von Krankheiten und Schädlingen bleibt. In den eigenen Untersuchungen kam es bei im Herbst gesäten Rüben zum Befall mit *Ramularia beticola* bereits im Herbst, mit *Cercospora beticola* und *Peronospora farinosa betae* (Falscher Mehltau) im Frühjahr.

Der Falsche Mehltau ist eine Krankheit, die in Mitteleuropa gewöhnlich nicht auftritt und als typische Winterrübenkrankheit angesehen werden kann. Zur Bekämpfung des Falschen Mehltaus in Zuckerrüben ist derzeit kein Fungizid in Deutschland zugelassen.

Auch Nematoden könnten durch eine Aussaat von Zuckerrüben im Herbst und einem damit verbundenen ganzjährigen Rübenanbau im Feld schwer kontrollierbar werden, da sie aufgrund der hohen Bodentemperaturen bereits vor dem Winter die Rüben besiedeln und den Winter in den Faserwurzeln überdauern, um so im Frühjahr die Entwicklung der ersten Generation abzuschließen. Das bedeutet, dass sogar drei bis vier Generationen möglich wären. Durch diese Zunahme der Vermehrung könnte eine weitergestellte Fruchtfolge zur Vorbeugung der Nematoden notwendig werden.

Ein weiteres Problem bei im Herbst gesäten Rüben könnte durch Blattläuse verursacht werden, die Überträger von Pflanzenviren, insbesondere für BYV (beet yellows virus) und BMYV (beet mild yellowing virus) sind. Durch das ganzjährige Vorhandensein von Zuckerrüben können die Läuse im Herbst von den im Frühjahr gesäten Rüben auf die jungen Rübenpflanzen der Herbstsaat fliegen und diese infizieren (*Jaggard und Werker, 1999*). Zurzeit beruht die Kontrolle der Vergilbungsviren hauptsächlich auf der Saatgutbehandlung mit Insektiziden. Dieser Schutz hält für ca. zehn Wochen an (*Dewar und Cooke, 2006*). Das bedeutet, dass der Schutz für die im Herbst gesäten Rüben nicht bis ins Frühjahr reichen wird und somit der Insektizideinsatz erhöht oder die Hüllmassentechnologie verändert werden muss.

Durch im Herbst gesäte Rüben wird es auch zu Änderungen der Herbizidstrategie kommen, da neben sommerannuellen Unkräutern auch winterannuelle Unkräuter auftreten werden (*Sosa und Garcia, 1999*). Dazu kommt, dass nach dem Winter auch stärker entwickelte Unkräuter bekämpft werden müssen. Dadurch wird der Herbizidaufwand gegenüber einer Bekämpfung im Keimblattstadium steigen. In den eigenen Versuchen aufgetretene Problemunkräuter waren *Matricaria chamomilla*, *Atriplex patula* und *Stellaria media*, die teilweise nur mit der Handhacke bekämpft werden konnten.

Zur Abschätzung der Möglichkeit einer frühen Ernte von im Herbst gesäten Rüben ist, neben der technischen Qualität, die Rodbarkeit ein wichtiger Punkt. Auf lehmigen Böden kann bei Trockenheit die Ernte erheblich erschwert sein, wodurch es zu Ernteverlusten von bis zu 30 % durch Wurzelbruch kommen kann (*Jaggard und Werker, 1999*). Eine Ernte bereits im August hätte für die Zuckerfabriken den Vorteil eines früheren Kampagnebeginns und damit einer Verlängerung der Kampagne, wodurch die hohen Fixkosten der Zuckerfabriken gesenkt werden könnten.

Ein weiteres Problem bei einer frühen Ernte ist die Lagerung. Lagerungsverluste nehmen mit zunehmender Temperatur und Lagerungsdauer zu (*Kenter et al. 2006b*). Das bedeutet, dass im August gerodete Rüben aufgrund der hohen Temperatur möglichst schnell in der Zuckerfabrik verarbeitet werden müssten. Dies setzt eine termingerechte Ernteplanung und exaktes Lagerungsmanagement voraus.

4.6.2 Anbauverfahren schossender Winterrüben

Im Hinblick auf die Erreichung der Klimaschutzziele, die darin bestehen, bis 2020 den Anteil erneuerbarer Energien an der Stromversorgung auf mindestens 30 % zu erhöhen und danach kontinuierlich zu steigern (*Anonym, 2008*), gewinnt die Biogasproduktion immer mehr an Bedeutung. Grundsätzlich sind für die Biogaserzeugung alle Arten von Biomasse geeignet, die sich aber in ihrer Zusammensetzung und somit in den Biogaserträgen deutlich voneinander unterscheiden. Die Methanbildung wird durch den Gehalt an Kohlenhydraten, Fetten, Proteinen und Rohfaser bestimmt. Die höchste theoretische Biogasausbeute haben dabei Fette, gefolgt von Kohlenhydraten und Proteinen (*Baserga, 1998*). Nur eingeschränkt nutzbar sind Substrate mit einem hohen Anteil an Lignin und ligninkrustierter Cellulose, wie zum Beispiel Holz und Stroh. Für ein Biogassubstrat ist der Ertrag je Flächeneinheit, die Energieausbeute je Einheit Substrat und die Umsetzungsgeschwindigkeit im Fermenter entscheidend (*Amon et al., 2007*).

Zuckerrüben besitzen in den gemäßigten Breiten neben Mais die höchsten Biomasseerträge. Aufgrund der Zusammensetzung der Trockenmasse aus etwa 94 % direkt fermentierbaren Kohlenhydraten, wovon bis zu 75 % Saccharose sind, erreicht die Rübe einen optimalen Abbaugrad und auch eine hohe Umsetzungsgeschwindigkeit. *Amon et al. (2007)* fanden hohe Methanerträge und eine günstige Raum-Zeit-Ausbeute bei der Fermentation von Zuckerrüben-Ganzpflanzensilage.

Die heutigen Winterrüben sind zwar aufgrund der Schosserbildung nicht für die Zuckergewinnung geeignet, könnten allerdings für die Biogasproduktion zu nutzen sein. Die vorliegenden Versuche für schossende Winterrüben zeigen, dass hohe Erträge schon im Mai erreicht werden, die mit keiner anderen Frucht unter mitteleuropäischen Klimabedingungen zu dieser Zeit im Jahr erzielt werden können. In Verbindung mit im Frühjahr gesäten Rüben könnte so eine ganzjährige Versorgung mit dem Rohstoff Zuckerrübe sichergestellt werden, was die Zuckerrübe zu einem attraktiven Substrat für die Biogasproduktion macht. Die Anforderungen an die Qualität für die Biogaserzeugung sind dabei bis heute nur wenig beschrieben. Schosser zeichnen sich durch geringere Zuckergehalte, aber deutlich höhere Markgehalte im Vergleich zu nicht geschossten Zuckerrüben aus (*Beiß et al., 1979*). Zudem war in den eigenen Versuchen das Gewebe stark verholzt. Ob es sich dabei um Lignineinlagerung gehandelt hat und somit mit einer Abnahme der Vergärbarkeit zu rechnen ist, müsste in nachfolgenden Untersuchungen analysiert werden. Erste Untersuchungen deuten aber darauf hin, dass durch die Verwertung der Schosser (Rübe und Blatt) neben einem hohen Ertrag auch eine beträchtliche Methanausbeute erzielt werden könnte (*Hoffmann et al., 2008*).

Die Frage, wie der Anbau von schossenden Winterrüben für die Biogasproduktion in eine Fruchtfolge integriert werden kann, wurde bisher nicht untersucht. Es ist aber denkbar, dass die Aussaat im August/September wie auch bei nicht schossenden Winterrüben nach einer früh räumenden Körnerfrucht durchgeführt wird. Die Ernte könnte aufgrund der bereits hohen Biomasseerträge im Mai stattfinden, so dass Mais als Folgefrucht möglich wäre. Die Ernte sollte bis spätestens Mitte/Ende Juni abgeschlossen sein, da es sonst zum Abreifen und Aussamen der Schosser kommt, wodurch das Problem von Unkrautrüben drastisch erhöht werden würde.

Das Risiko des Auftretens von Krankheiten und Schädlingen und die erschwerte Bekämpfung aufgrund der grünen Brücke im Feld entsprechen den bei nicht schossenden Winterrüben geschilderten Problemen und den sich daraus ergebenden praktischen Änderungen im Fungizid-, Insektizid- und Herbizideinsatz. In den eigenen Versuchen wurde kein deutlich erhöhter Pflanzenschutzmitteleinsatz gegenüber im Frühjahr gesäten Rüben festgestellt (Anhang 1). Allerdings war die Wirkung der Herbizide im Frühjahr in den im Herbst gesäten Rüben aufgrund der zum Teil bereits über das Keimblattstadium hinaus entwickelten Unkräuter gering, so dass die Parzellen zusätzlich manuell unkrautfrei gehalten werden mussten.

Wie die Ernte der Schosser technisch gelöst werden könnte, bedarf noch weiterer Untersuchungen. Wichtig ist ein möglichst niedriger Erdanhang, damit es zu möglichst geringer Erdablagerung im Gärbehälter und geringerem Verschleiß an Förderschnecken und Pumpen kommt. Zudem ist denkbar, dass ein hoher Erdanhang die Lagerfähigkeit des Ernteguts herabsetzen könnte, wie es auch aus der Futterlagerung von Mais bzw. Gras bekannt ist (*Granz et al., 1990*).

Für eine ganzjährige Verfügbarkeit des Substrates stellt sich die Frage, wie die Rüben und Schosser konserviert werden können. Es ist bekannt, dass eine ausreichende Zerkleinerung notwendig ist, um die Abbaubarkeit zu fördern (*Amon et al., 2007*). Die optimale Aufbereitung des Ernteguts für die Silierung und die technische Durchführbarkeit muss jedoch noch untersucht werden, genauso wie die Veränderungen der Qualität und der Gasausbeute durch die Lagerung.

Insgesamt scheint eine Erhöhung des Einsatzes von chemischen Pflanzenschutzmitteln (Fungizid, Insektizid und Herbizid) bei dem Anbau von Winterrüben, sowohl schossresistenter als auch schossender, nicht zu vermeiden zu sein, was im Hinblick auf die angestrebte Verringerung des Pflanzenschutzmitteleinsatzes kritisch zu bewerten ist. In zukünftigen Projekten sollten deshalb ökologische und ökonomische Aspekte des Anbauverfahrens Winterrübe sowohl für die Zucker- und Bioethanolerzeugung als auch die Biogasproduktion (schossende Rübe) untersucht werden. Darin einzubeziehen ist die Frage nach einer optimalen

pflanzenbaulichen Gestaltung der Anbauverfahren in Verbindung mit verfahrenstechnischen Fragestellungen, vor allem bezüglich der Ernte (Trockenheit bzw. Schosser) und Lagerung. Zudem müssten organisatorische Gegebenheiten von zuckerrübenanbauenden landwirtschaftlichen Betrieben berücksichtigt werden, da es zu einer Verschärfung der Arbeitsspitze im Sommer bzw. zusätzlich im Mai kommen könnte. Abschließend müsste eine ganzheitliche ökonomische Betrachtung des Anbauverfahrens Winterrübe durchgeführt werden, in dem der zusätzliche Aufwand der möglichen Ertragssteigerung bzw. Nutzen gegenübergestellt wird.

5 Zusammenfassung

Unter mitteleuropäischen Klimabedingungen ist die langsame Jugendentwicklung und Ausbildung des Blattapparates von Zuckerrüben im Frühjahr der am stärksten ertragsbegrenzende Faktor. Eine frühere Entwicklung der Blattfläche könnte zu einer verbesserten Ausnutzung der Einstrahlung und damit zu einem höheren Ertrag führen. Eine Möglichkeit, die Jugendentwicklung zu fördern und somit den Ertrag zu steigern, wird in einer vorgezogenen Aussaat im Frühjahr bzw. im Herbst gesehen. Aufgrund des frühzeitigen Bestandesschlusses und besseren Ausnutzung der schon intensiven Einstrahlung in den frühen Sommermonaten ist anzunehmen, dass der Ertrag durch die Verlängerung der Vegetationsperiode gesteigert werden kann.

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, eine Datengrundlage über die Wachstumsprozesse und die Ertragsbildung von Zuckerrüben bei Aussaat im Herbst und im Frühjahr unter mitteleuropäischen Klimabedingungen zu schaffen. Im Vordergrund stand dabei die Untersuchung der Entwicklung von im Herbst gesäten Rüben vor Winter und im Frühjahr. Dazu wurden in 2005/06 und 2006/07 an zwei Standorten vier Feldversuche mit jeweils drei Aussaatterminen im Herbst (Ende August, Anfang und Ende September bzw. Anfang Oktober) und im Frühjahr (Februar, März und April) durchgeführt. Zur Dokumentation der Wachstumsprozesse und der Qualitätsentwicklung wurden jeweils vier Ernten durchgeführt und die Ertragsdaten mit der Temperatur in Beziehung gesetzt. Anhand der vorliegenden Daten und der physiologischen Prozesse wurden theoretisch mögliche Erträge von nicht schossenden Winterrüben berechnet.

Die Aussaat im Herbst führte zu einem zügigen Auflaufen und zu einem maximalen Feldaufgang von 80 bis 90 % bei einer Temperatursumme von 190 °Cd. Dagegen liefen die im Februar und März gesäten Rüben nur zögerlich auf und erreichten einen Feldaufgang von maximal 66 % bei einer Temperatursumme von 180 °Cd. Dies war auf die im Frühjahr zunächst niedrigen Temperaturen (< 3 °C) zurückzuführen, die die Keimung als stark temperaturabhängigen Prozess deutlich verzögerten.

Charakteristisch für die Ertragsbildung von Zuckerrüben ist das sekundäre Dickenwachstum, das durch die Ausbildung von Kambiumringen geprägt ist. Durchmesser, Anzahl Kambiumringe und Abstand zwischen den Ringen nahmen sowohl bei im Herbst als auch bei im Frühjahr gesäten Rüben im Vegetationsverlauf kontinuierlich zu, aber auf unterschiedlichem Niveau. Dabei führte ein früherer Aussaattermin sowohl im Herbst als auch im Frühjahr zu den tendenziell höheren Werten. Die im Herbst gesäten Rüben wiesen insgesamt einen deutlich geringeren Durchmesser, eine geringere Anzahl an Kambiumringen sowie geringere Abstände zwischen den Ringen als im Frühjahr gesäte Rüben auf. Dies kann auf das ab April beginnende Schossen zurückgeführt werden.

Insgesamt führte eine Aussaat im Herbst zu einem deutlich höheren Blattertrag, aber geringeren Rübenertrag verbunden mit einem niedrigeren Zuckergehalt und höheren Markgehalt. Der Gehalt an Kalium und Natrium war deutlich höher als bei im Frühjahr gesäten Rüben, während der α -

Amino-N-Gehalt geringer war. Ein früherer Aussattermin im Herbst führte zudem zu einem höheren Blatt- und Rübenenertrag, Zuckergehalt, Markgehalt sowie niedrigeren Gehalt an Kalium-, Natrium- und α -Amino-N. Bei den im Frühjahr gesäten Rüben traten dagegen meist keine signifikanten Unterschiede zwischen den Aussatterminen auf. Die Entwicklung der qualitätsbestimmenden Inhaltsstoffe spiegelt bei den im Herbst gesäten Rüben die Akklimatisation der Rüben vor Winter sowie den Übergang in die generative Phase im Frühjahr wider.

Der optimale Blattflächenindex von 3,5 wurde bei im Herbst gesäten Rüben bereits Mitte bis Ende Mai bei einer Temperatursumme von 1610 °Cd erreicht, während die im Frühjahr gesäten Rüben diesen etwa vier Wochen später bei einer Temperatursumme von 910 °Cd erreichten. Daraus resultierte, dass die im August gesäten Rüben bereits im Mai 75 % der Strahlung absorbierten, während die im Februar gesäten Rüben nur 24 % der Strahlung für die Ertragsbildung nutzen konnten. Ab Juni erreichten alle Pflanzen unabhängig vom Aussattermin eine Lichtabsorption von 90 %.

Auf Grundlage der aus den Daten ermittelten Lichtnutzungseffizienz und der absorbierten Einstrahlung erfolgte erstmalig eine Abschätzung des theoretisch möglichen Ertrags von nicht schossenden Winterrüben. Es ergab sich für Winterrüben bei Ernte im Oktober eine Steigerung der Gesamttrockenmasse von 19 % gegenüber im April gesäeter Rüben bzw. bei Ernte im August ein Ertrag, der ungefähr dem von im April gesäten Rüben zur Ernte im Oktober entspricht.

Durch eine Aussaat im Herbst kann demnach die Jugendentwicklung von Zuckerrüben gefördert werden, wodurch die Lichtabsorption positiv beeinflusst wird. Somit könnte der Rübenenertrag gesteigert werden oder es könnte schon früher im Jahr ein hoher Ertrag erreicht werden. Voraussetzung dafür ist, dass die Zuckerrüben nicht schossen. Alternativ könnten schossende Winterrüben aufgrund der hohen Biomasseproduktion als Gesamtpflanze (Rübe und Spross) zur Biogasproduktion verwendet werden, zumal hier die technische Qualität im ursprünglichen Sinne keine Rolle spielt. Eine vorgezogene Aussaat im Frühjahr hingegen brachte keine Vorteile für die Ertragsbildung.

Wie die Ertragsbildung und Qualitätsentwicklung bei schossresistenten Rüben verlaufen würde, muss noch analysiert werden. Weiterhin sollten zukünftige Projekte die Winterhärte von Zuckerrüben und die zugrunde liegenden physiologischen Mechanismen untersuchen. Für die Umsetzung des Anbaus von Winterrüben in die Praxis müssten zudem ökologische und ökonomische Aspekte im Hinblick auf eine nachhaltige Landwirtschaft analysiert werden.

6 Literaturverzeichnis

- Achard, F.C.* (1809): Die europäische Zuckerfabrikation aus Runkelrüben, in Verbindung mit der Bereitung des Brandweins, des Rums, des Essigs, und eines Coffee-Surrogats aus ihren Abfällen. Leipzig 1809, zitiert in: *Eichholz, W. & Röstel, H.-J.* (1962): Züchtung der Winterzuckerrübe. Sonderabdruck aus „Der Züchter“, 32, 6, 281-290.
- Amberger, A.* (1996): Pflanzenernährung. 4. Aufl., Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart.
- Amon, T., Machmüller, A., Kryvoruchko, V., Milovanovic, D., Hrbek, R., Eder, M.W. & Stürmer, B.* (2007): Optimierung der Methanausbeute aus Zuckerrüben, Silomais, Körnermais, Sonnenblumen, Ackerfutter, Getreide, Wirtschaftsdünger und Rohglyzerin unter den Standortbedingungen der Steiermark. Forschungsprojekt 1421. Institut für Bodenkultur Wien.
- Anonym* (2008): Gesetz zur Neuregelung des Rechts der Erneuerbaren Energien im Strombereich und zur Änderung damit zusammenhängender Vorschriften – Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) vom 7. Aug. 2008, BGBl. I 2008, S. 1658 vom 18. August 2008.
- Arkebauer, T.J., Weiss, A., Sinclair, T.R. & Blum, A.* (1994): In defense of radiation use efficiency: a response to Demetriades-Shah et al. (1992). *Agricultural and Forest Meteorology*, 68, 221-227.
- Artschwager, E.* (1926): Anatomy of the vegetative organs of the sugar beet. *Journal of Agricultural Research*, 33, 143-176.
- Artschwager, E.* (1930): A study of the structure of sugar beets in relation to sugar content and type. *Journal of Agricultural Research*, 40, 897-915.
- Baeumer, K.* (1992): Allgemeiner Pflanzenbau. 3. Aufl., Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart.
- Baserga, U.* (1998): Landwirtschaftliche CO-Vergärungs-Biogasanlage „Biogas aus organischen Reststoffen und Energiegras“. Eidg. Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik (FAT), Bericht Nr. 512, Tänikon, Schweiz.
- Bauer, A.B.* (1932): Beta Hivernalis. Beiträge zu den Versuchen des Prof. Németh mit winterbeständigen Rüben in Ungarn. *Fortschrittliche Landwirtschaft*, 7, 1-4.
- Beck, E.H., Heim, R. & Hansen, J.* (2004): Plant resistance to cold stress: mechanisms and environmental signals triggering frost hardening and dehardening. *Journal of Bioscience*, 29, 449-459.

- Beiß, U.* (1988): Einfluß verschiedener Faktoren auf den Markgehalt der Zuckerrübe. *Zuckerindustrie*, 113, 1041-1048.
- Beiß, U. & von Müller, A.* (1974): Beiträge zur Methodik der Ertrags- und Qualitätsbestimmung bei Zuckerrüben. I. Die Variabilität der Einzelpflanze im Feldbestand. *Zucker*, 27, 173-178.
- Beiß, U. & Winner, C.* (1975): Ertragsbildung, Nährstoffaufnahme und Nährstoffentzug der Zuckerrübe. *Zucker*, 28, 461-471.
- Beiß, U. & Winner, C.* (1985): Ertragsbildung und Qualität der Zuckerrübe im Verlauf des Wachstums. Ein Beitrag zur Ertragsprognose. *Zuckerindustrie*, 110, 199-209.
- Beiß, U., Bürcky, K. & Winner, C.* (1979): Zur Qualität von Schosserrüben aus Feldbeständen. *Zuckerindustrie*, 104, 283-287.
- Bell, C.I., Milford, G.F.J. & Leigh, R.A.* (1996): Sugar beet. In: *Zamski, E. & Schaffer, A.A.* (Eds): Photoassimilate distribution in plants and crops: Source-Sink Relationships. *Books in Soil, Plants and the environment*, 48, 691-707. Marcel Dekker Inc., New York.
- Bellin, D., Schulz, B., Soerensen, R.T., Salamini, F. & Schneider, K.* (2007): Transcript profiles at different growth stages and tap-root zones identify correlated developmental and metabolic pathways of sugar beet. *Journal of Experimental Botany*, 58, 699-715.
- von Boguslawski, E., Atanasius, N. & Zamani, R.* (1961): Nährstoffaufnahme und Nährstoffverhältnis im Laufe der Vegetation bei Zuckerrüben. *Zucker*, 14, 398-404 und 426-435.
- Boiffin, J., Durr, C., Fleury, A., Marin-Lafliche, A. & Maillet, I.* (1992): Analysis of the variability of the sugar beet (*Beta vulgaris* L.) growth during the early stages. I. Influence of various conditions on crop establishment. *Agronomie*, 12, 515-525.
- Bonhomme, R.* (2000): Beware of comparing RUE values calculated from PAR vs. solar radiation or absorbed vs. intercepted radiation. *Field Crops Research*, 68, 247-252.
- Brown, S.J.* (1981): Germination and emergence of sugar beet at low temperatures. 44th IIRB-Congress, Brüssel, 93-103.
- Buchholz, K., Märländer, B., Puke, H., Glattkowski, H. & Thielecke, K.* (1995): Neubewertung des technischen Wertes von Zuckerrüben. *Zuckerindustrie*, 120, 113-121.
- Büchse, A.* (1999): Bedeutung und Ursachen von Nachbarschaftseffekten in Sortenversuchen bei Zuckerrüben. Dissertation, Universität Göttingen, Cuvillier Verlag, Göttingen.

- Büchse, A. & Röver, A. (1998):* Blattbildungsrate und Assimilatverteilung als Kriterien zur Trennung von Entwicklungsabschnitten der Zuckerrübe. *Pflanzenbauwissenschaften*, 2, 20-24.
- Burba, M. (1996):* Der Schädliche Stickstoff als Kriterium der Rübenqualität. *Zuckerindustrie*, 121, 165-173.
- Burba, M. & Georgi, B. (1975):* Die fluorimetrische Bestimmung der Aminosäuren in Zuckerrüben und Zuckerfabrikprodukten mit Fluoreszamin und o-Phthalaldehyd. *Zuckerindustrie*, 25, 667-673.
- Burba, M., Haufe, W. & Krüger, W. (1975):* Verhalten von qualitätsbestimmenden Inhaltsstoffen der Zuckerrübe während der Herstellung und Lagerung von Gefrierbrei. *Zucker*, 28, 411-418.
- Bürcky, K. (1980):* Physiologische Aspekte des Stickstoffumsatzes der Zuckerrübe. II. N-Umsatz im Blatt. *Zuckerindustrie*, 104, 1128-1131.
- Bürcky, K. (1988):* Förderung der Jugendentwicklung der Zuckerrübe durch Pflanzung und Anbau unter Folie. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 161, 157-165.
- Bürcky, K. & Beiß, U. (1980):* Einfluß des Schosszeitpunktes auf Rübengewicht und Qualität von Schosserrüben. *Zuckerindustrie*, 105, 232-236.
- Caffrey, M., Fonseca, V. & Leopold, A.C. (1988):* Lipid-Sugar Interactions: relevance to anhydrous biology. *Plant Physiology*, 86, 754-758.
- Campbell, L.G. & Enz, J.W. (1991):* Temperature effects on sugarbeet seedling emergence. *Journal of Sugar Beet Research*, 28, 129-140.
- Castonguay, Y. & Nadeau, P. (1998):* Enzymatic control of soluble carbohydrate accumulation in cold-acclimated crowns of alfalfa. *Crop Science*, 38, 1183-1189.
- Clark, E.A. & Loomis, R.S. (1978):* Dynamics of leaf growth and development in sugarbeets. *Journal of American Society of Sugar Beet Technologists*, 20, 97-113.
- Clover, G.R.G., Jaggard, K.W., Smith, H.G. & Azam-Ali, S.N. (2001):* The use of radiation interception and transpiration to predict the yield of healthy, droughted and virus-infected sugar beet. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*, 136, 169-178.
- Demmers-Derks, H., Mitchell, R.A.C., Mitchell, V.J. & Lawlor, D.W. (1998):* Response of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) yield and biochemical composition to elevated CO₂ and temperature at two nitrogen applications. *Plant, Cell and Environment*, 21, 829-836.

- Dewar, A.M. & Cooke, D.A. (2006):* Pests. In: *Draycott, A.P. (Eds): Sugar Beet.* Blackwell Publishing, 316-358.
- DNZ (2008):* Dachverband Norddeutscher Zuckerrübenanbauer e.V. Jahresbericht 2007/08, 1-36.
- Durr, C. & Boiffin, J. (1995):* Sugarbeet seedling growth from germination to first leaf stage. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*, 124, 427-435.
- Durrant, M.J. (1988):* A Survey of seedling establishment in sugar-beet crops in 1980 and 1981. *Annals of Applied Biology*, 113, 347-355.
- DWD (2007):* Monatlicher Witterungsreport Express. Deutscher Wetterdienst (Eds), Offenbach am Main.
- Eichholz, W. & Röstel, H.-J. (1962):* Züchtung der Winterzuckerrübe. Sonderabdruck aus „Der Züchter“, 32, 281-290.
- Elliot, M.C. & Weston, G.D. (1993):* Biology and physiology of the sugar beet plant. In: *Cooke, D.A. & Scott, R.K. (Eds): The Sugar Beet Crop. Science into practice*, 37-66. Chapman & Hall, London.
- Erbas, S. & Fischbeck, G. (1972):* Der Einfluß der Stickstoffdüngung und anbautechnischen Maßnahmen auf die Blattflächenentwicklung sowie über die Beziehung zwischen Blattflächenindex und Wurzeletrag bei Zuckerrüben. *Zeitschrift für Acker- und Pflanzenbau*, 133, 122-134.
- Eslami, E.M., Lee, G.S. & Schmehl, W.R. (1988):* Nutrient concentration in sugarbeet senescing leaves during the season and in six plant parts at harvest. *Journal of Sugar Beet Research*, 25, 11-27.
- Follet, R.F., Schmehl, W.R. & Viets, F.G. (1970):* Seasonal leaf area, dry weight, and sucrose accumulation by sugarbeets. *Journal of the American Society of Sugar Beet Technologists*, 16, 235-252.
- Gates, M. (1965):* Energy, plants and ecology. *Ecology*, 46, 1-14.
- García-Mauriño, S., Jiménez, E.T., Monreal, J.A., Morillo-Velarde, R. & Echevarría, C. (2005):* Adenylate patterns of autumn-sown sugar beet differ from spring-sown sugar beet. Implications for root quality. *Physiologia Plantarum*, 124, 200-207.
- Geisler, G. (1983):* Ertragsphysiologie von Kulturarten des gemäßigten Klimas. Paul Parey Verlag, Berlin.

- Gemtos, T.A. & Lellis, T.* (1997): Effects of soil compaction, water and organic matter contents on emergence and initial plant growth of cotton and sugar beet. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 66, 121-134.
- Goodman, P.J.* (1966): Effect of varying plant population on growth and yield of sugar beet. *Agricultural Progress*, 41, 89-107.
- Granz, E., Weiss, J., Pabst, W. & Strack, K.E.* (1990): Tierproduktion. 11. Auflage, Paul Parey Verlag, Berlin.
- Gummerson, R.J.* (1986): The effect of constant temperature and osmotic potentials on the germination of sugar beet. *Journal of Experimental Botany*, 37, 179, 729-741.
- Hincha, D.K. & Schmitt, J.M.* (1992): Freeze-thaw injury and cryopreservation of thylakoid membranes. In: *Somero, G.N., Osmond, C.B. & Bolis, C.L.* (Eds.): *Water and Life*. Springer Verlag, Berlin, 316-337.
- Hincha, D.K., Zuther, E., Hellwege, E.M. & Heyer, A.G.* (2002): Specific effects of fruct- and gluco-oligosacchrides in the preservation of liposomes during drying. *Glycobiology*, 12, 103-110.
- Hoffmann, C.* (1997): Wachstumsanalyse von Zuckerrüben bei langjährig differenzierter Bodenbearbeitung. *Pflanzenbauwissenschaften*, 1, 164-170.
- Hoffmann, C.* (2006a): Zuckerrüben als Rohstoff – Die technische Qualität als Voraussetzung für eine effiziente Verarbeitung. Weender Druckerei, Göttingen.
- Hoffmann, C.* (2006b): Physiologische Grundlagen des Ertragspotenzials von Zuckerrüben. *Zuckerindustrie*, 131, 24-31.
- Hoffmann, C., Kenter, C. & Bloch, D.* (2005): Marc concentration of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) in relation to sucrose storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85, 459-465.
- Hoffmann, C., Greef, J.-M., Höppner, F. & Hüther, L.* (2008): Bioenergie aus Zuckerrüben – Schosser geben Gas! *Zuckerrübe*, 57, 320-323.
- Hohmann, U., Jacobs, G., Telgman, A., Gaafar, R.M., Alam, S. & Jung, C.* (2003): A bacterial artificial chromosome (BAC) library of sugar beet and physical map of the region encompassing the bolting gene B. *Mol Gen Genomics*, 296, 126-136.
- Hua, Y.* (1998): Modellierung der eindimensionalen Abpressung von Zuckerrübenschnitzeln. Dissertation, Universität Braunschweig.

- Hughes, M.A. & Dunn, M.A.* (1996): The molecular biology of plant acclimation to low temperature. *Journal of Experimental Botany*, 47, 296, 291-305.
- Hunt, R.* (1990): *Basic Growth Analysis*. Unwin Hyman, London.
- ICUMSA International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis* (1994): *Methods Book*. Dr. Albert Bartens Verlag, Berlin.
- Jaggard, K.W. & Werker, A.R.* (1999): An evaluation of the potential benefits and costs of autumn-sown sugarbeet in NW Europe. *Journal of Agricultural Science*, 132, 91-102.
- Jung, C.* (2000): Molekulare Genomforschung an Zuckerrüben und wie die Pflanzenzüchtung davon profitieren kann. *Zuckerindustrie*, 125, 683-687.
- Jung, C., Qian, W., Büttner, B., Hohmann, U., Mutasa-Gottgens, E., Chia, T. & Müller, A.* (2007): Using Genomic Information for Altering Bolting and Flowering Behaviour of Crop Plants. *Molecular Plant Breeding*, 5, 156-158.
- Kenter, C.* (2003): Ertragsbildung von Zuckerrüben in Abhängigkeit von der Witterung. Dissertation, Universität Göttingen, Cuvillier Verlag, Göttingen.
- Kenter, C. & Hoffmann, C.* (2006): Seasonal patterns of sucrose concentration in relation to other quality parameters of sugar beet (*Beta vulgaris* L). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86, 62-70.
- Kenter, C., Hoffmann, C.M. & Märländer, B.* (2006a): Effects of weather variables on sugar beet yield development (*Beta vulgaris* L.). *European Journal of Agronomy*, 24, 62-69.
- Kenter, C., Hoffmann, C. & Märländer, B.* (2006b): Optimierung der Rohstoffqualität von Zuckerrüben durch verbessertes Lagerungsmanagement. *Zuckerindustrie*, 131, 39-53.
- Koch, K., Lindhauer, M.G. & von Rheinbaben, W.* (1985): Einfluß von Wasserstreß, Stickstoff- und Kaliumversorgung auf den Betaingehalt von Zuckerrüben. *VDLUFA-Schriftenreihe 16, Kongreßband*, 535-542.
- Kursanov, A.L.* (1974): Assimilattransport und Zuckerspeicherung in der Zuckerrübe. *Zuckerindustrie*, 24, 478-487.
- Larcher, W.* (1994): *Ökophysiologie der Pflanzen*. 5. Aufl., Eugen Ullmer Verlag, Stuttgart.
- Lauer, J.G.* (1997): Sugar beet performance and interactions with planting date, genotype, and harvest date. *Agronomy Journal*, 89, 469-475.

- Lawlor, D.W.* (1995): Photosynthesis, productivity and environment. *Journal of Experimental Botany*, 46, 1449-1461.
- Lexander, K.* (1980): Present knowledge of sugar beet bolting mechanisms. 43th IIRB-Congress, Brüssel, 245-258.
- Lexander, K.* (1993): Present understanding of the physiology of sugar-beet seed germination. 56th IIRB-Congress, Brüssel, 387-394.
- Li, P.H.* (1984): Subzero temperature stress physiology of herbaceous plants. *Horticultural Reviews*, 6, 373-416.
- Longden, P.C. & Thomas, T.H.* (1989): Why not autumn-sown sugar beet? *British Sugar Beet Review*, 57, 7-9.
- Lüdecke, H.* (1954): Der Begriff des "bereinigten Zuckerertrages" als Bewertungsgröße für die Leistung der Zuckerrübe. *Landwirtschaftliche Forschung*, 7, 24-30.
- Malnou, C.S., Jaggard, K.W. & Sparkes, D.L.* (2006): A canopy approach to nitrogen fertilizer recommendation for the sugar beet crop. *European Journal of Agronomy*, 25, 254-263.
- Märländer, B.* (1990): Einfluß der Bestandesdichte auf Ertrags- und Qualitätskriterien sowie über mögliche Ursachen der Konkurrenz in Zuckerrübenbeständen. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 164, 120-130.
- Märländer, B.* (1991): Zuckerrüben. Produktionssteigerung bei Zuckerrüben als Ergebnis der Optimierung von Anbauverfahren und Sortenwahl sowie durch Züchtungsfortschritt. *Bernhardt-Pätzhold, Stadthagen*.
- Märländer, B., Hoffmann, C., Koch, H.-J., Ladewig, E., Merkes, R., Petersen, J. & Stockfisch, N.* (2003): Environmental Situation and Yield Performance of the Sugar Beet Crop in Germany: Heading for Sustainable Development. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 189, 201-226.
- Meier, U., Bachmann, L., Buhtz, E., Hack, H., Klose, R., Märländer, B. & Weber, E.* (1993): Phänologische Entwicklungsstadien der Beta-Rüben (*Beta vulgaris* L. ssp.). *Nachrichtenblatt Deutscher Pflanzenschutzdienst*, 45, 37-41.
- Milford, G.F.J.* (1973): The growth and development of the storage root of sugar beet. *Annals of Applied Biology*, 75, 427-438.

- Milford, G.F.J.* (1976): Sugar concentration in sugar beet: varietal differences and the effects of soil type and planting density on the size of the root cells. *Annals of Applied Biology*, 83, 251-257.
- Milford, G. & Limb, R.* (2008): Bolting in sugar beet – time to re-evaluate our advice? *British Sugar Beet Review*, 76, 3-5.
- Milford, G.F.J. & Riley, J.* (1980): The effects of temperature on leaf growth of sugar beet varieties. *Annals of Applied Biology*, 94, 431-443.
- Milford, G.F.J. & Watson, D.J.* (1971): The effect of nitrogen on the growth and sugar content of sugar-beet. *Annals of Botany*, 35, 287-300.
- Milford, G.F.J., Pocock, T.O. & Riley, J.* (1985a): An analysis of leaf growth in sugar beet. I: Leaf appearance and expansion in relation to temperature under controlled conditions. *Annals of Applied Biology*, 106, 163-172.
- Milford, G.F.J., Pocock, T.O. & Riley, J.* (1985b): An analysis of leaf growth in sugar beet. II: Leaf appearance in field crops. *Annals of Applied Biology*, 106, 173-185.
- Milford, G.F.J., Pocock, T.O., Riley, J. & Messemer, A.B.* (1985c): An analysis of leaf growth in sugar beet. III: Leaf expansion in field crops. *Annals of Applied Biology*, 106, 187-203.
- Milford, G.F.J., Pocock, T.O., Jaggard, K.W., Biscoe, P.V., Armstrong, M.J., Last, P.J. & Goodman, P.J.* (1985d): An analysis of leaf growth in sugar beet. IV. The expansion of leaf canopy in relation to temperature and nitrogen. *Annals of Applied Biology*, 107, 335-347.
- Mohr, H. & Schopfer, P.* (1992): *Pflanzenphysiologie*. 4. Aufl., Springer Verlag, Berlin.
- Monsi, M. & Saeki, T.* (1953): Über den Lichtfaktor in Pflanzengesellschaften und seine Bedeutung für die Stoffproduktion. *Jap. Journal of Botany*, 14, 22-52.
- Nultsch, W.* (1996): *Allgemeine Botanik*. 10. Aufl., Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York.
- Oltmann, W., Burba, M. & Bolz, G.* (1984): Die Qualität der Zuckerrübe: Bedeutung, Beurteilungskriterien und züchterische Maßnahmen zu ihrer Verbesserung. *Fortschritte der Pflanzenzüchtung H.*, 12, Paul Parey Verlag, Berlin.
- Özgör, O.E. & Erdal, M.* (1999): Untersuchungen über den Winterrübenanbau in der Türkei. 62th IIRB-Congress, Brüssel, 165-175.

- van der Poel, P.W., Schiweck, H. & Schwartz, T.* (1998): Sugar Technology Beet and Cane Sugar Manufacture. Dr. Albert Bartens Verlag, Berlin.
- Qi, A., Kenter, C., Hoffmann, C. & Jaggard, K.W.* (2005): The Broom's Barn sugar beet growth model and its adaption to soils with varied available water content. *European Journal of Agronomy*, 23, 108-122.
- Radke, J.K. & Bauer, R.E.* (1969): Growth of sugar beets as affected by root temperatures. Part I: Greenhouse studies. *Agronomy Journal*, 61, 860-863.
- Reinefeld, E. & Schneider, F.* (1982): Analytische Betriebskontrolle der Zuckerindustrie. Dr. Albert Bartens Verlag, Berlin.
- Rosso, F., Meriggi, P., Amaducci, M.T. & Venturi, G.* (1999): La culture la betterave automnale en Itale au-dessus du 42ème parallèle de latitude. 62th IIRB-Congress, Brüssel, 133-151.
- Röver, A.* (1995): Ertragsbildung von Zuckerrüben in Abhängigkeit von Blattfläche und intraspezifischer Konkurrenz. Dissertation, Universität Göttingen, Cuvillier Verlag, Göttingen.
- Schmitt, J.* (2003): Funktion von Cryoprotectin bei der Frosthärte von Nutzpflanzen. Vortrag Pflanzenzüchtung, 61, 117-125.
- Schneider, F.* (1971): Einiges aus der Kampagne 1970. *Zuckerindustrie*, 18, 557-559.
- Schultz, G.* (1963): Die Bedeutung der Blattfläche für die Trockensubstanzproduktion der Zuckerrüben. *Zucker*, 16, 288-292.
- Scott, R.K. & Bremner, P.M.* (1966): The effects on growth, development and yield of sugar beet of extension of the growth period by transplantation. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*, 66, 379-389.
- Scott, R.K. & Jaggard, K.W.* (1978): Theoretical criteria for maximum yield. 41th IIRB-Congress, Brüssel, 179-198.
- Scott, R.K. & Jaggard, K.W.* (1993): Crop physiology and agronomy. In: *Cooke, D.A. & Scott, R.K.* (Eds): *The Sugar Beet Crop: Science into practice*, 179-237. Chapman & Hall, London.
- Scott, R.K., English, S.D., Wood, D.W. & Unsworth, M.H.* (1973): The yield of sugar beet of extension of the growth period by transplantation. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*, 81, 339-347.

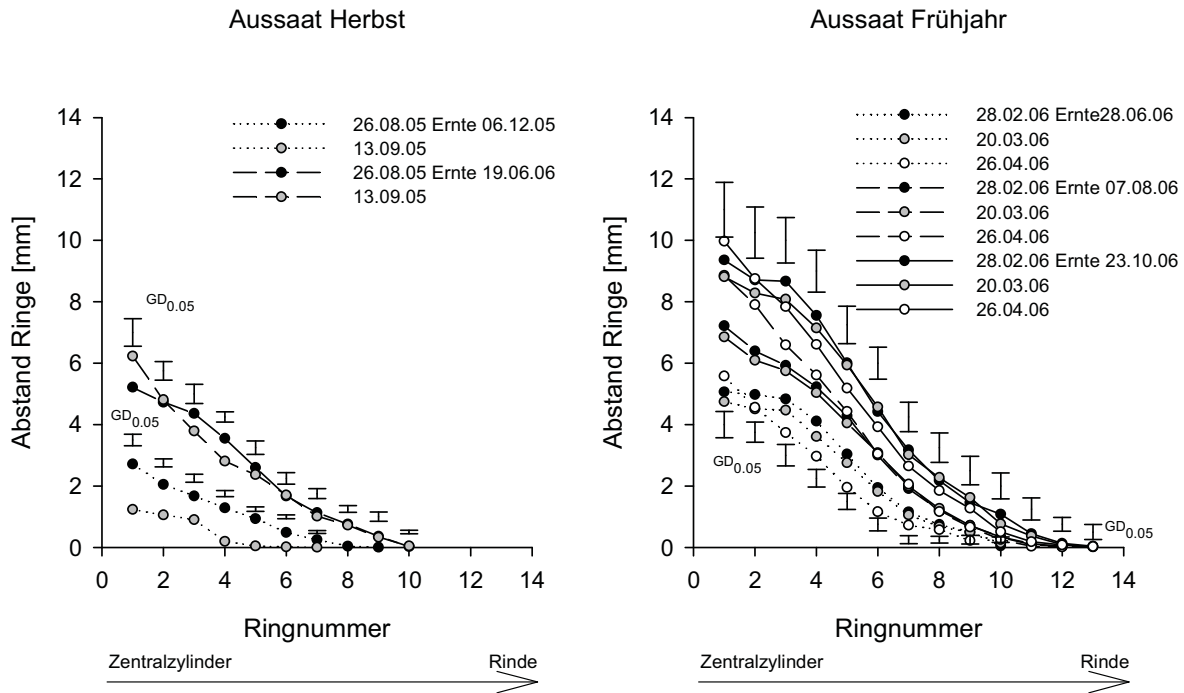
- Scott, R.K., Harper, F., Wood, D.W. & Jaggard, K.W.* (1974): Effects of seed size on growth, development and yield of monogerm sugar beet. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*, 82, 517-530.
- Shahba, M.A., Qian, Y.L., Hughes, H.G., Koski, A.J. & Christensen, D.* (2003): Relationships of soluble carbohydrates and freeze tolerance in saltgrass. *Crop Science*, 43, 2148-2153.
- Smit, A.L.* (1993): The influence of sowing date and plant density on the decision to resow sugar beet. *Field Crops Research*, 34, 159-173.
- Sosa, G. & Garcia, A.* (1999): Les strategies pour contrôle des mauvaises herbes de la betterave sucrière des semailles d'automne au sud de l'Espagne. 62th IIRB-Congress, Brüssel, 51-59.
- Stein, M. & Willenbrink, J.* (1976): Zur Speicherung von Saccharose in der wachsenden Zuckerrübe. *Zeitschrift für Pflanzenphysiologie*, 79, 310-322.
- Steponkus, P.L.* (1984): Role of the plasma membrane in freezing injury and cold acclimation. *Annual Review of Plant Physiology*, 35, 543-584.
- Specht, J.E., Hume, D.J. & Kumudini, S.V.* (1999): Soybean yield potential – a genetic and physiological perspective. *Crop Science*, 39, 1560-1570.
- Szeicz, G.* (1974): Solar radiation for plant growth. *Journal of Applied Ecology*, 11, 617-636.
- Thielebein, M.* (1960a): Voraussetzung für den Feldaufgang von Rübensaatgut. Sonderdruck, *Zucker*, 13, 21.
- Thielebein, M.* (1960b): Frostschäden an Zuckerrübenkeimpflanzen. Sonderdruck, *Mitteilungsblatt der Forschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode*, 4, 103-104.
- Theurer, J.C.* (1979): Growth patterns in sugar beet production. *Journal of the American Society of Sugar Beet Technologists*, 4, 342-367.
- Watson, D.J.* (1947): Comparative physiological studies on the growth of field crops. I. Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and between years. *Annals of Botany*, 11, 41-76.
- Wehrmann, J. & Scharpf, H.C.* (1979): Der Mineralstickstoffgehalt des Bodens als Maßstab für den Stickstoffdüngerbedarf (N_{\min} -Methode). *Plant and Soil*, 52, 109-126.

- Werker, A.R. & Jaggard, K.W. (1997): Modelling asymmetrical growth curves that rise and then fall: applications to Foliage dynamics of sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *Annals Botany*, 79, 657-665.
- Winner, C. (1974): Die Jugendentwicklung der Zuckerrübe in ihrer Bedeutung für das spätere Wachstum und den Ertrag. *Zucker*, 27, 517-527.
- Winner, C. (1981): Zuckerrübenanbau. DLG Verlag, Frankfurt (Main).
- Wood, D.W. & Scott, R.K. (1975): Sowing sugar beet in autumn in England. *Journal of Agricultural Science*, 84, 97-108.
- WVZ (2007): Zuckerwirtschaft Europa 2007. Verlag Dr. Albert Bartens, Berlin.
- Wyse, R. (1979a): Sucrose Uptake by sugar Beet Tap Root Tissue. *Plant Physiology*, 64, 837-841.
- Wyse, R. (1979b): Parameters controlling sucrose content and yield of sugarbeet roots. *Journal of the American Society of Sugar Beet Technologists*, 20, 366-385.
- Yonts, C.D., Fornstrom, K.J. & Edling, R.J. (1983): Sugarbeet emergence affected by soil moisture and temperature. *Journal of the American Society of Sugar beet Technologists*, 22, 119-134.
- Zamski, E. & Azenkot, A. (1981a): Sugarbeet vasculature. I. Cambial development and the three-dimensional structure of the vascular system. *Botanical Gazette*, 142, 334-343.
- Zamski, E. & Azenkot, A. (1981b): Sugarbeet vasculature. II. Translocation of assimilates in the supernumerary phloem. *Botanical Gazette*, 142, 344-346.

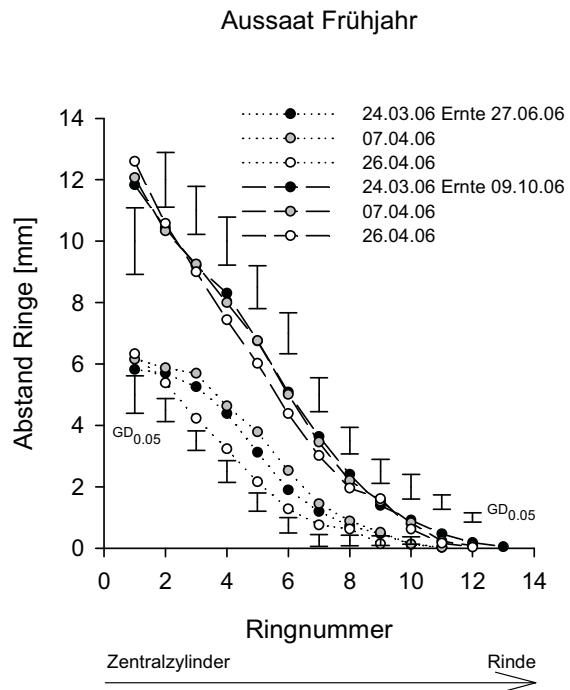
7 Anhang

Anhang 1: Pflanzenbauliche Maßnahmen bei Aussaat im Herbst und im Frühjahr, Versuchsjahr 2005/06 und 2006/07.

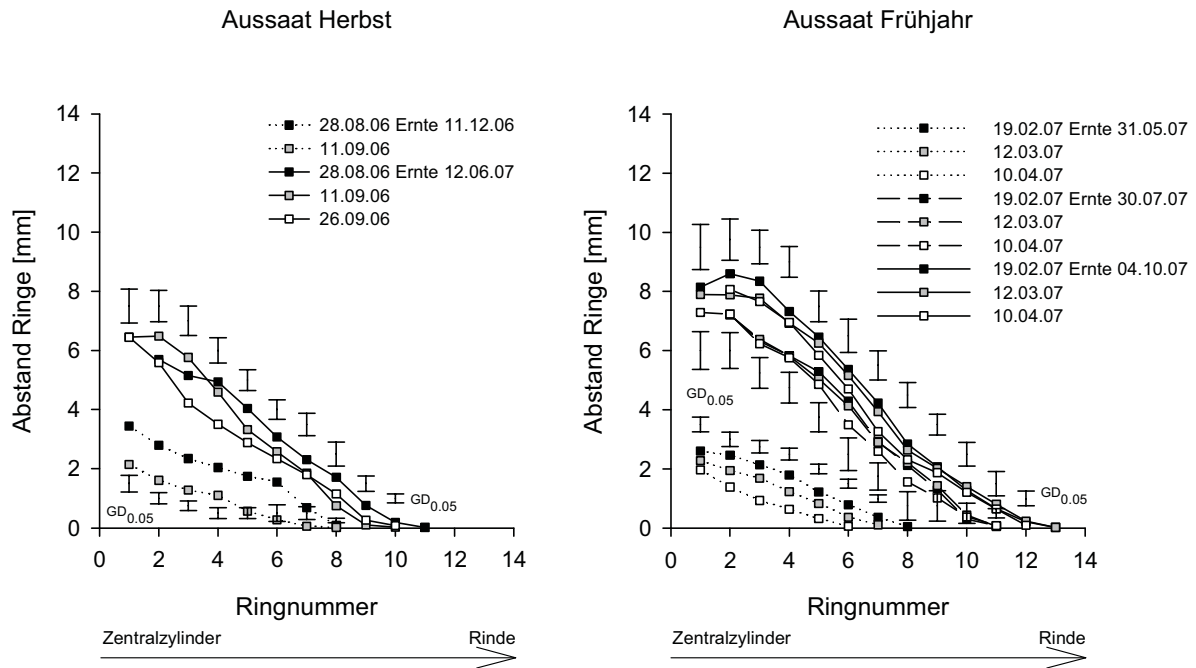
<u>Versuchsjahr</u> <u>2005/06</u>	<u>Aussaat Herbst</u>	<u>Aussaat Frühjahr</u>	<u>Versuchsjahr</u> <u>2006/07</u>	<u>Aussaat Herbst</u>	<u>Aussaat Frühjahr</u>
31.08.2005	1 l/ha Tornado		06.09.2006	1,5 kg/ha Goltix	
05.09.2005	0,5 l/ha Gallant Super		12.09.2006	1 l/ha Agil	
23.09.2005	Mäusegift und Mesurool		15.09.2006	Mäusegift und Mesurool	
30.09.2005	1 l/ha Agil		12.10.2006	1 kg/ha Goltix+ 1 l/ha Betanal Expert	
05.10.2005	1 kg/ha Goltix+ 1 l/ha Betanal Expert		07.11.2006	1 l/ha Agil	
			18.12.2006	Mäusegift	
20.04.2006	1,5 kg/ha Goltix SC	1,5 kg/ha Goltix SC+ Schneckenkorn	15.03.2007		Mesurool
02.05.2006		1,5 kg/ha Goltix SC	27.03.2007	1,5 kg/ha Goltix	1,5 kg/ha Goltix
17.05.2006		1 kg/ha Goltix SC+ 1 l/ha Betanal Expert	11.04.2007	1 l/ha Agil	1 l/ha Agil
12.06.2006		1 kg/ha Goltix SC+ 1 l/ha Betanal Expert	26.04.2007	1,2 l/ha Betanal Expert+ 0,7 l/ha Goltix, 0,5 l/ha Öl	1,2 l/ha Betanal Expert+ 0,7 l/ha Goltix, 0,5 l/ha Öl
18.07.2006		1 l/ha Spyrale	18.05.2007		1,5 kg/ha Goltix+ 1,5 l/ha Betanal Expert
24.08.2006		1 l/ha Spyrale	31.05.2007		1 kg/ha Goltix+ 1 l/ha Betanal Expert
			23.05.2007		300 g Pirimor
<u>Sonstige Maßnahmen</u>			<u>Sonstige Maßnahmen</u>		
Anfang Sep	Zaun gegen Hasenfraß		Anfang Sep	Zaun gegen Hasenfraß	
Herbst 2005	mind. zweimal Unkraut gehackt		28.09.2006	Aussaat vom 11.09.06 gegossen (10 l/Reihe)	
Anfang Nov	angehäufelt als Frostschutz		Herbst 2006	mind. zweimal Unkraut gehackt	
Ende Jan 2006	Stroh auf Parzellen als Frostschutz bis 20.03.06		Anfang Nov	angehäufelt als Frostschutz	
Frühjahr 2006	mind. zweimal Unkraut gehackt		20.04.2007		Aussaat 10.04.07 gegossen (12 l/Reihe)
			Frühjahr 2007	mind. zweimal Unkraut gehackt	



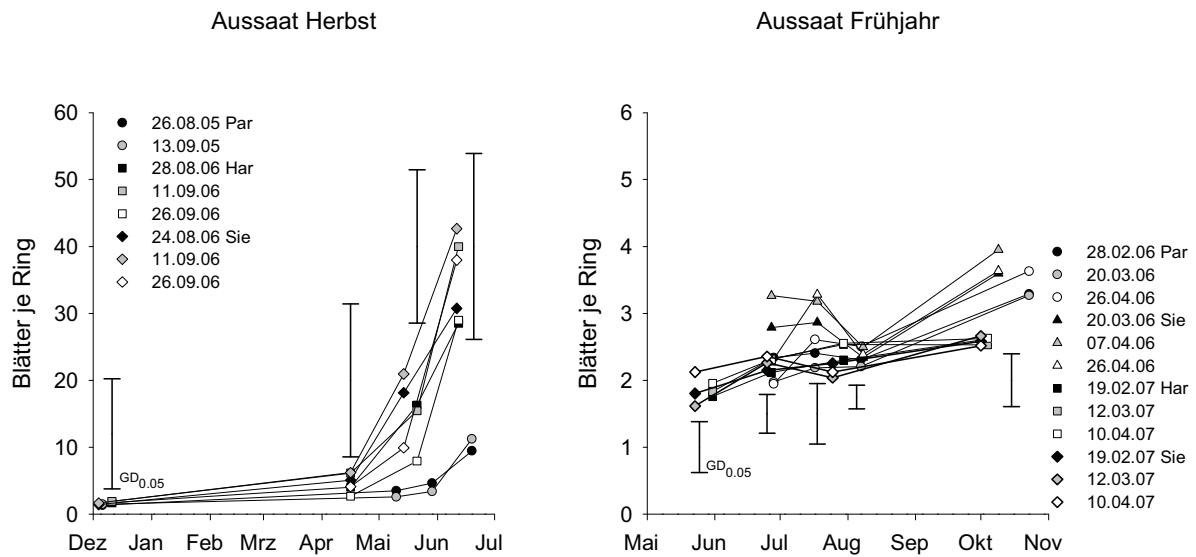
Anhang 2: Abstand zwischen den Kambiumringen von Zuckerrüben in Abhängigkeit von der Entfernung zum Zentralzylinder bei Aussaat im Herbst und im Frühjahr im Jahresverlauf; Aussaat Herbst: Ernten Dezember und Juni, Aussaat Frühjahr: Ernten Mai, August, Oktober; Standort Panssen 2005/06.



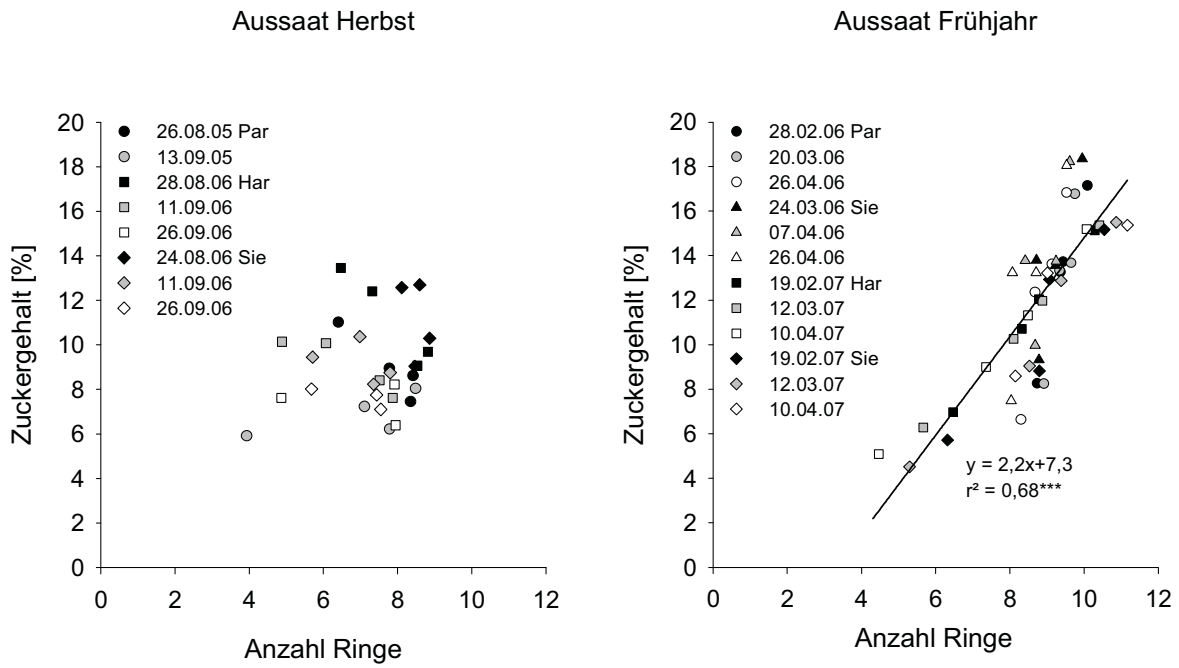
Anhang 3: Abstand zwischen den Kambiumringen von Zuckerrüben in Abhängigkeit von der Entfernung zum Zentralzylinder bei Aussaat im Frühjahr im Jahresverlauf; Aussaat Frühjahr: Ernten Juni und Oktober; Standort Sieboldshausen 2006.



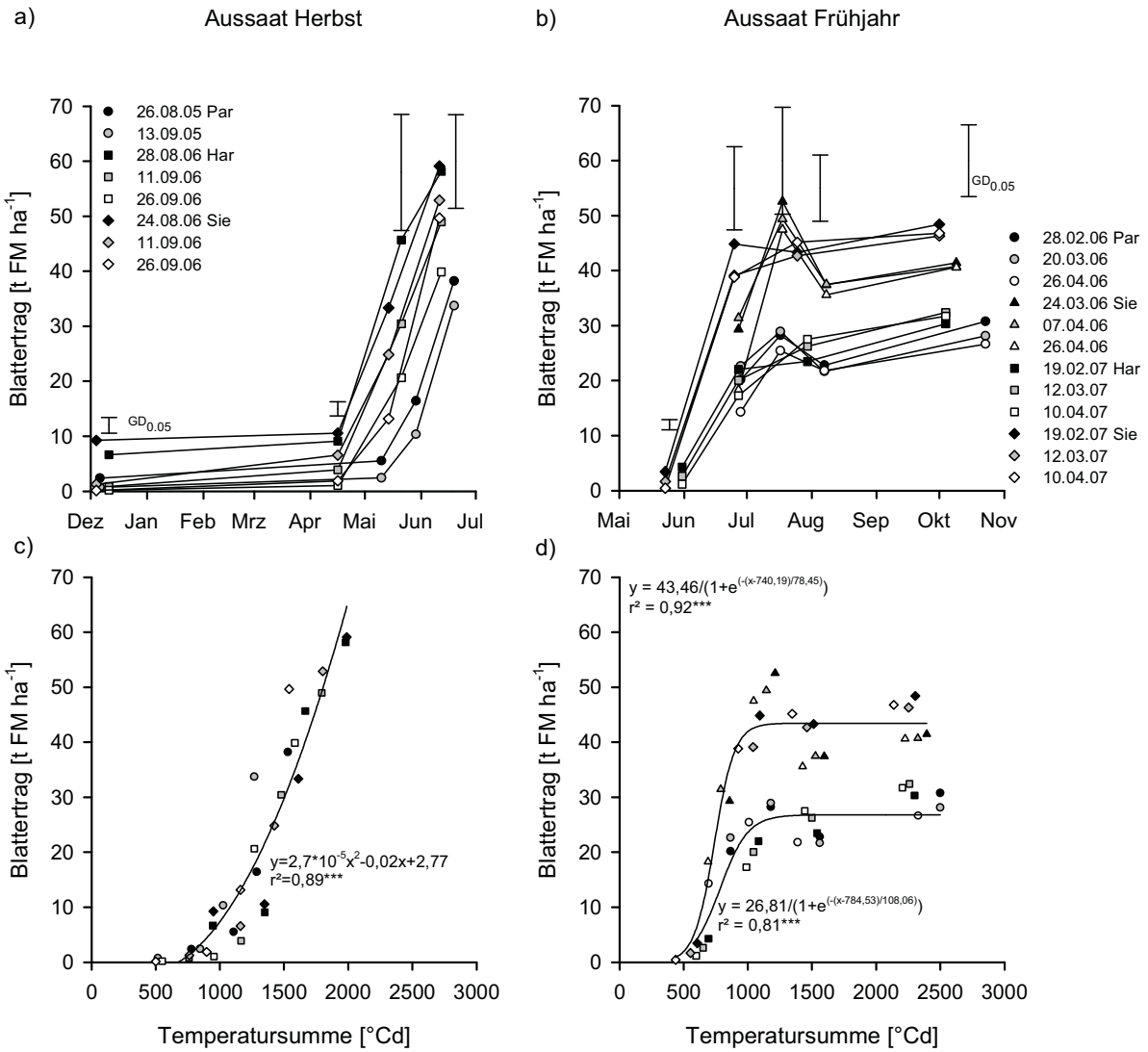
Anhang 4: Abstand zwischen den Kambiumringen von Zuckerrüben in Abhängigkeit von der Entfernung zum Zentralzylinder bei Aussaat im Herbst und im Frühjahr im Jahresverlauf; Aussaat Herbst: Ernten Dezember und Juni, Aussaat Frühjahr: Ernten Mai, Juli und Oktober; Standort Harste 2006/07.



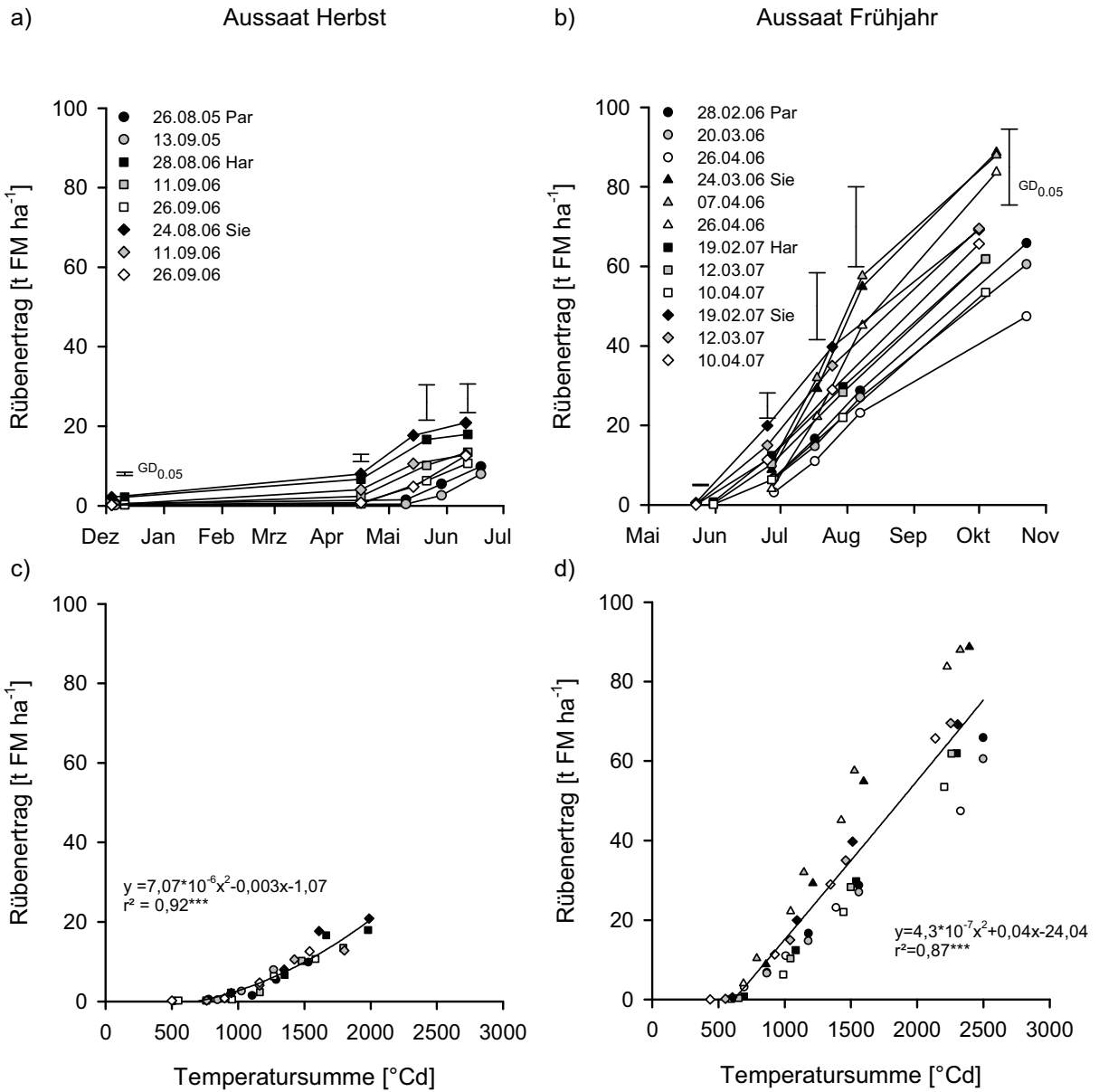
Anhang 5: Anzahl Blätter je gebildeten Kambiumring von Zuckerrüben bei Aussaat im Herbst und im Frühjahr im Jahresverlauf; Standorte Par = Parendsen, Sie = Sieboldshausen und Har = Harste; drei Versuche Aussaat Herbst und vier Versuche Aussaat Frühjahr im Raum Göttingen, 2005/06 und 2006/07.



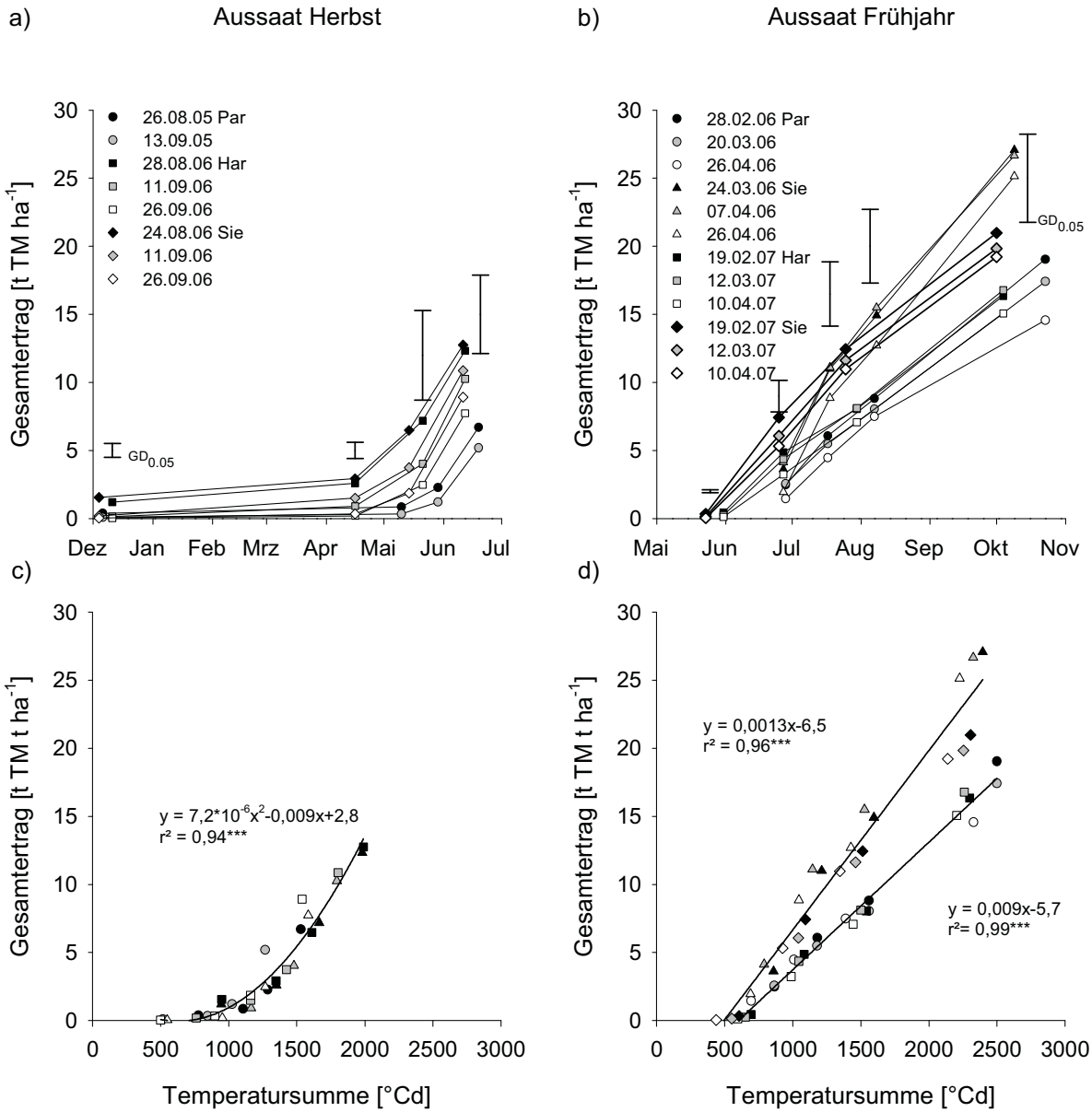
Anhang 6: Beziehung zwischen Anzahl Kambiumringe und Zuckergehalt von Zuckerrüben bei Aussaat im Herbst und im Frühjahr; Standorte Par = Parensen, Sie = Sieboldshausen und Har = Harste; drei Versuche Aussaat Herbst und vier Versuche Aussaat Frühjahr im Raum Göttingen, 2005/06 und 2006/07.



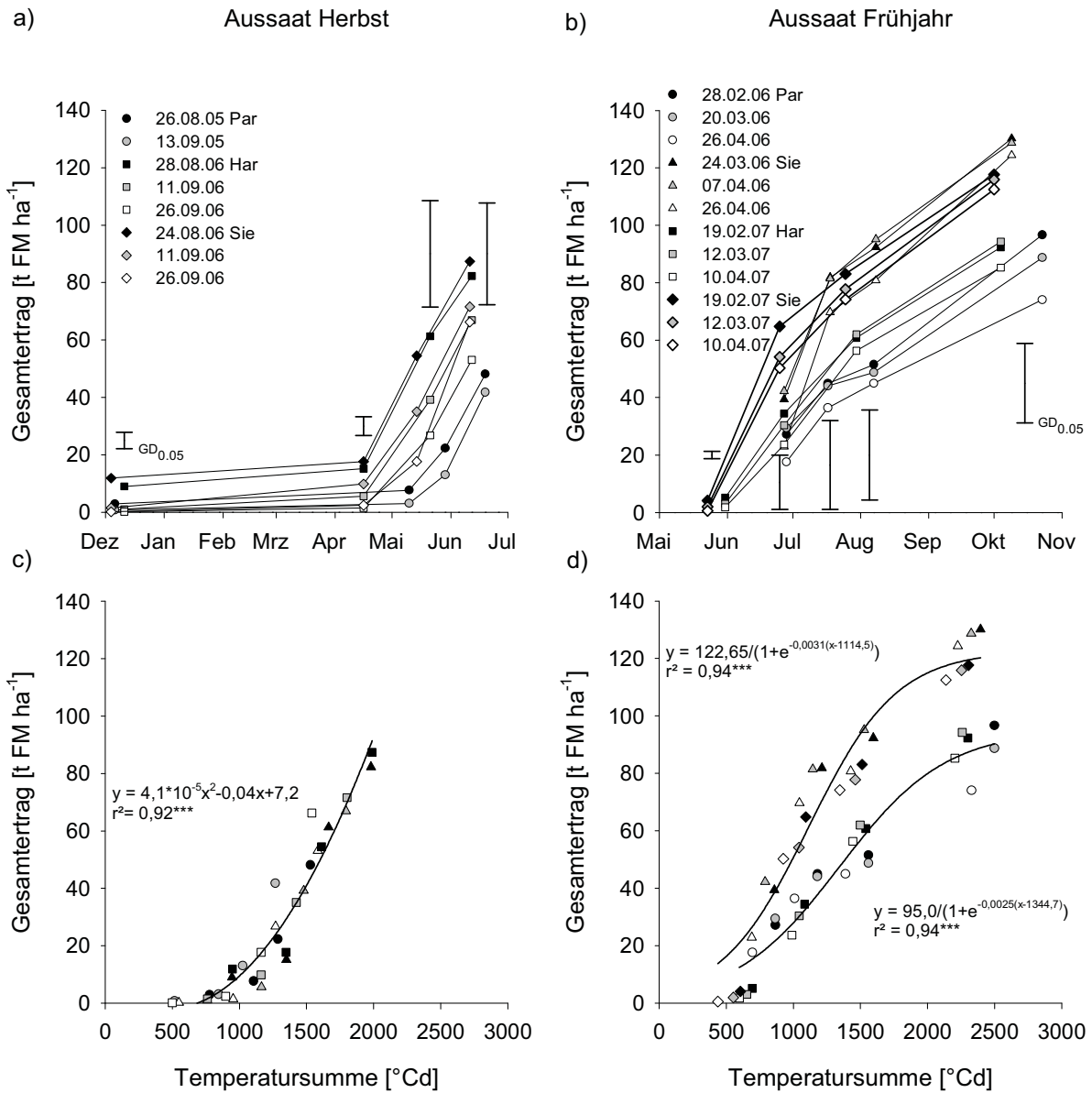
Anhang 7: Entwicklung der Blattfrischmasse von Zuckerrüben bei Aussaat im Herbst und im Frühjahr im Jahresverlauf (a, b) und in Abhängigkeit von der Temperatursumme (c, d); Standorte Par = Pahrensen, Sie = Sieboldshausen und Har = Harste; drei Versuche Aussaat Herbst und vier Versuche Aussaat Frühjahr im Raum Göttingen, 2005/06 und 2006/07.



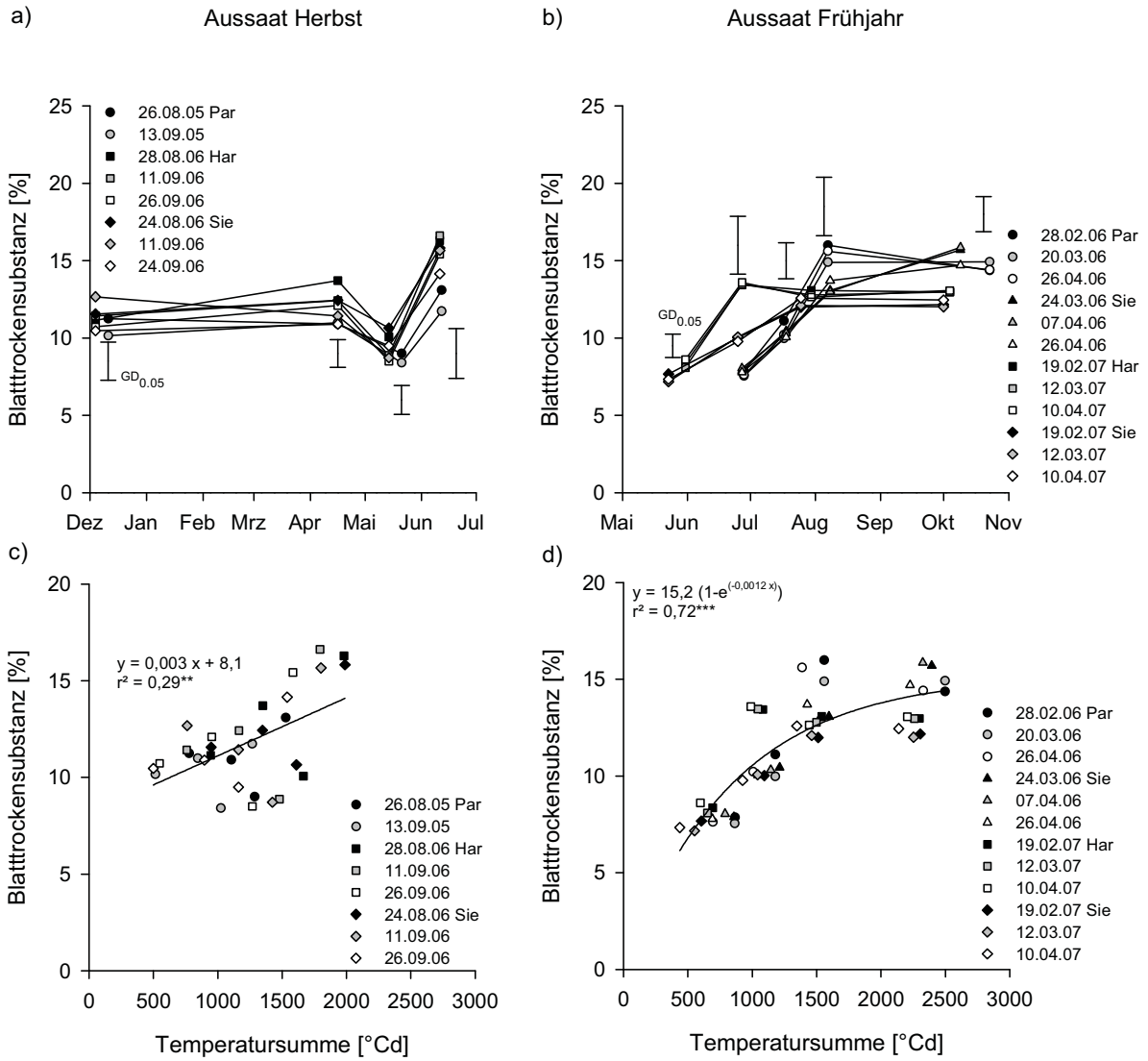
Anhang 8: Entwicklung der Rübenfrischmasse von Zuckerrüben bei Aussaat im Herbst und im Frühjahr im Jahresverlauf (a, b) und in Abhängigkeit von der Temperatursumme (c, d); Standorte Par = Parendsen, Sie = Sieboldshausen und Har = Harste; drei Versuche Aussaat Herbst und vier Versuche Aussaat Frühjahr im Raum Göttingen, 2005/06 und 2006/07.



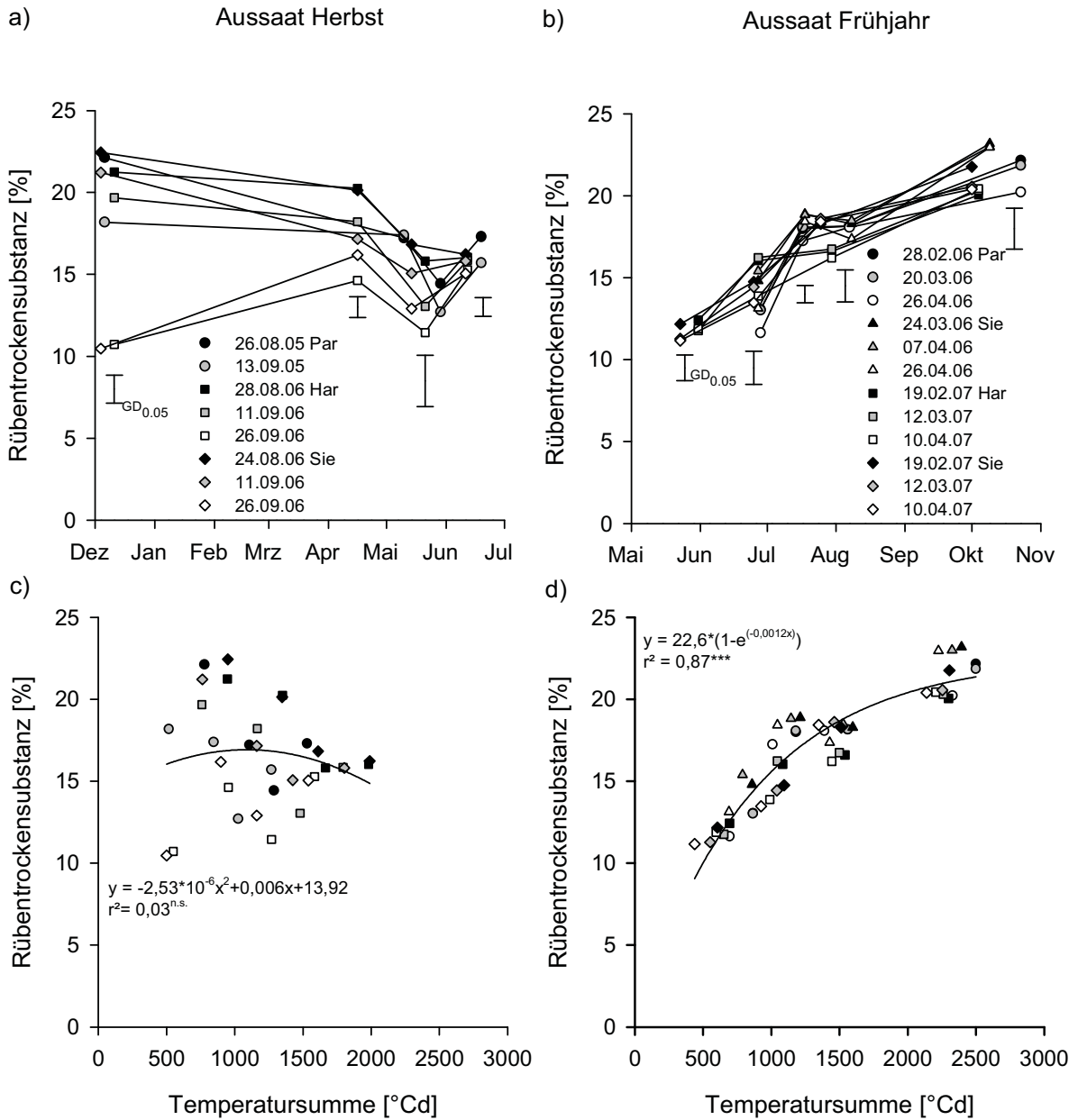
Anhang 9: Entwicklung der Gesamttrockenmasse von Zuckerrüben bei Aussaat im Herbst und im Frühjahr im Jahresverlauf (a, b) und in Abhängigkeit von der Temperatursumme (c, d); Standorte Par = Parensen, Sie = Sieboldshausen und Har = Harste; drei Versuche Aussaat Herbst und vier Versuche Aussaat Frühjahr im Raum Göttingen, 2005/06 und 2006/07.



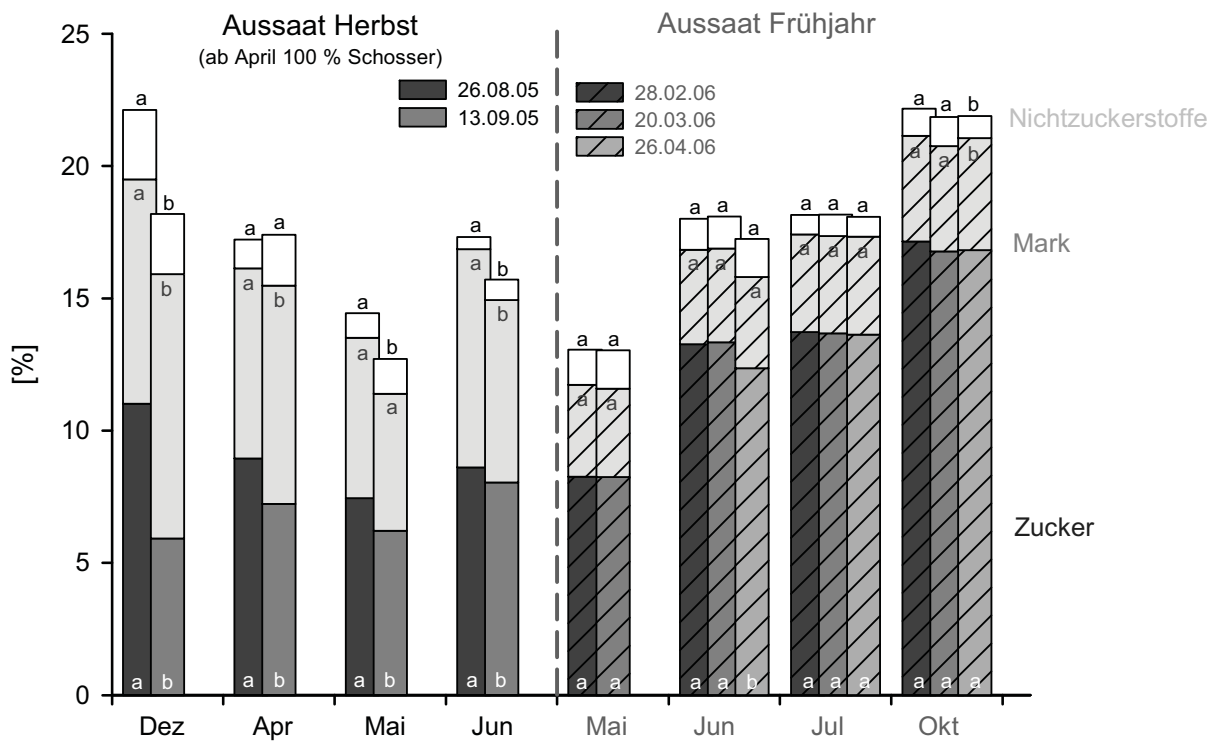
Anhang 10: Entwicklung der Gesamtfrischmasse von Zuckerrüben bei Aussaat im Herbst und im Frühjahr im Jahresverlauf (a, b) und in Abhängigkeit von der Temperatursumme (c, d); Standorte Par = Parendsen, Sie = Sieboldshausen und Har = Harste; drei Versuche Aussaat Herbst und vier Versuche Aussaat Frühjahr im Raum Göttingen, 2005/06 und 2006/07.



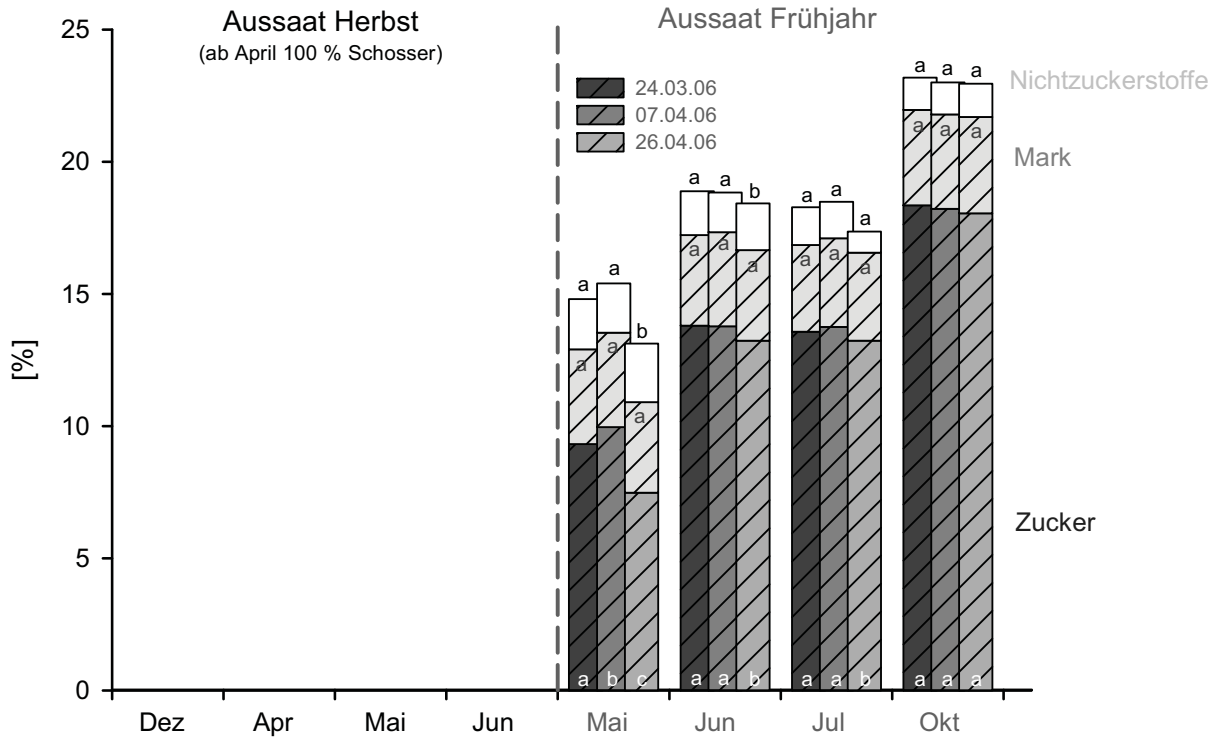
Anhang 11: Entwicklung der Blattrockensubstanz von Zuckerrüben bei Aussaat im Herbst und im Frühjahr im Jahresverlauf (a, b) und in Abhängigkeit von der Temperatursumme (c, d); Standorte Par = Parenden, Sie = Sieboldshausen und Har = Harste; drei Versuche Aussaat Herbst und vier Versuche Aussaat Frühjahr im Raum Göttingen, 2005/06 und 2006/07.



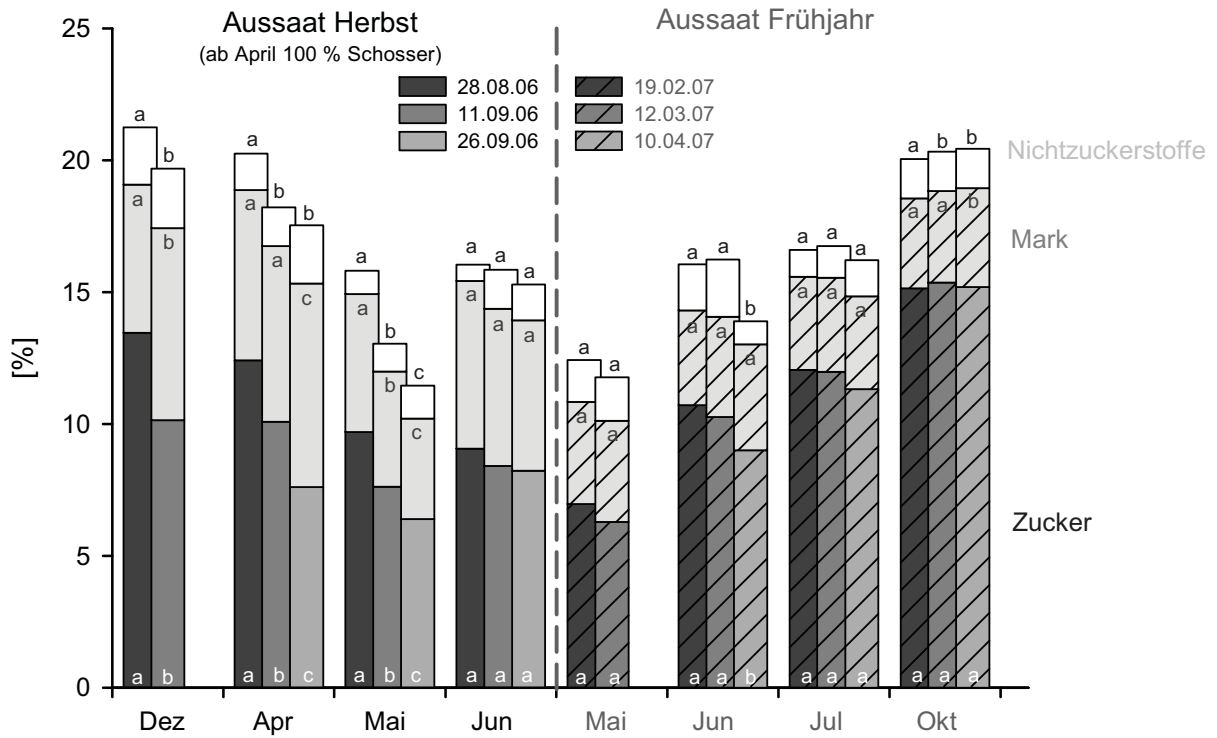
Anhang 12: Entwicklung der Rübertrockensubstanz von Zuckerrüben bei Aussaat im Herbst und im Frühjahr im Jahresverlauf (a, b) und in Abhängigkeit von der Temperatursumme (c, d); Standorte Par = Parendsen, Sie = Sieboldshausen und Har = Harste; drei Versuche Aussaat Herbst und vier Versuche Aussaat Frühjahr im Raum Göttingen, 2005/06 und 2006/07.



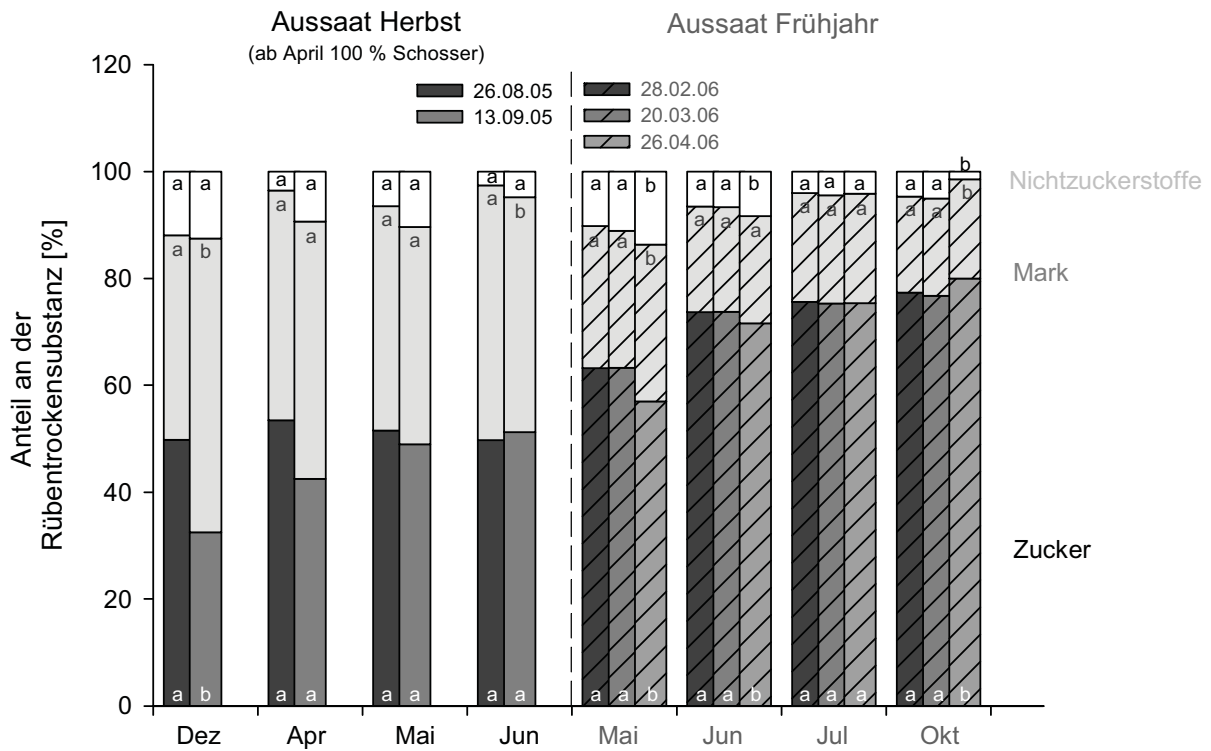
Anhang 13: Entwicklung des Trockensubstanz- (gesamte Säule), Zucker-, Mark- und Nichtzuckerstoffgehaltes von Zuckerrüben bei Aussaat im Herbst und im Frühjahr im Verlauf der Vegetationsperiode; zum jeweiligen Erntetermin mit gleichen Buchstaben gekennzeichnete Werte unterscheiden sich nicht signifikant voneinander (REGW-Test bei $p < 0,05$); Parensen 2005/06.



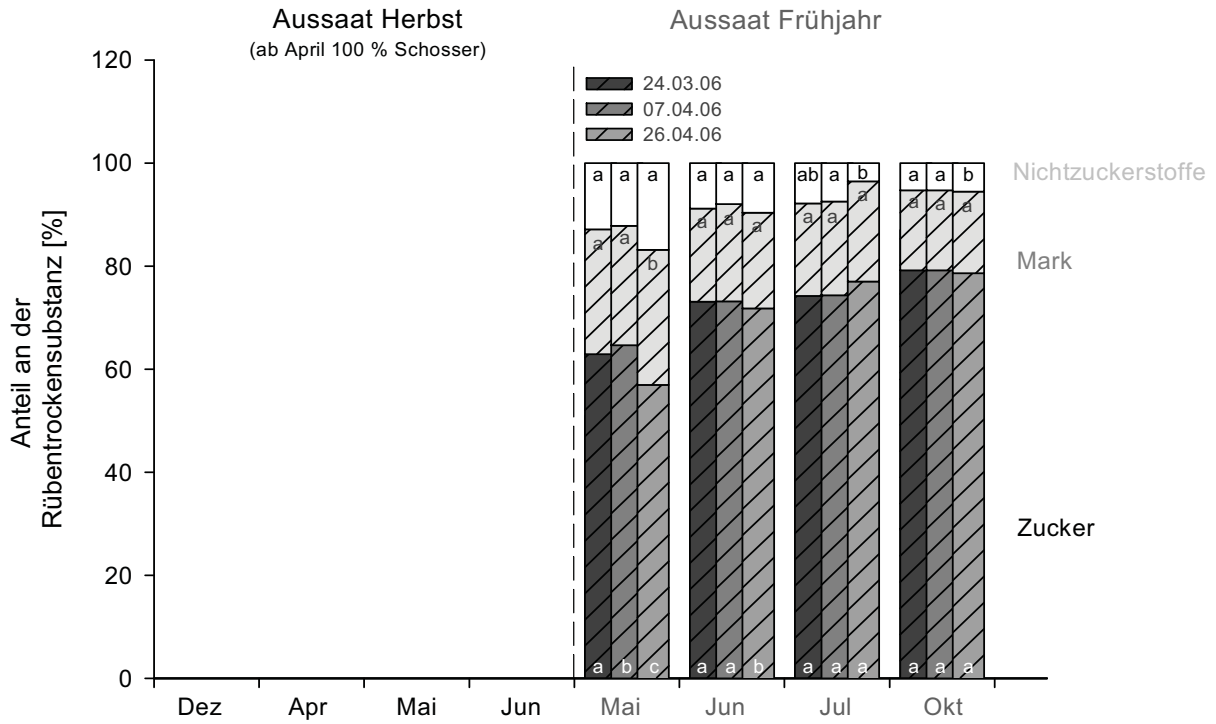
Anhang 14: Entwicklung des Trockensubstanz- (gesamte Säule), Zucker-, Mark- und Nichtzuckerstoffgehaltes von Zuckerrüben bei Aussaat im Herbst und im Frühjahr im Verlauf der Vegetationsperiode; zum jeweiligen Erntetermin mit gleichen Buchstaben gekennzeichnete Werte unterscheiden sich nicht signifikant voneinander (REGW-Test bei $p < 0,05$); Sieboldshausen 2006.



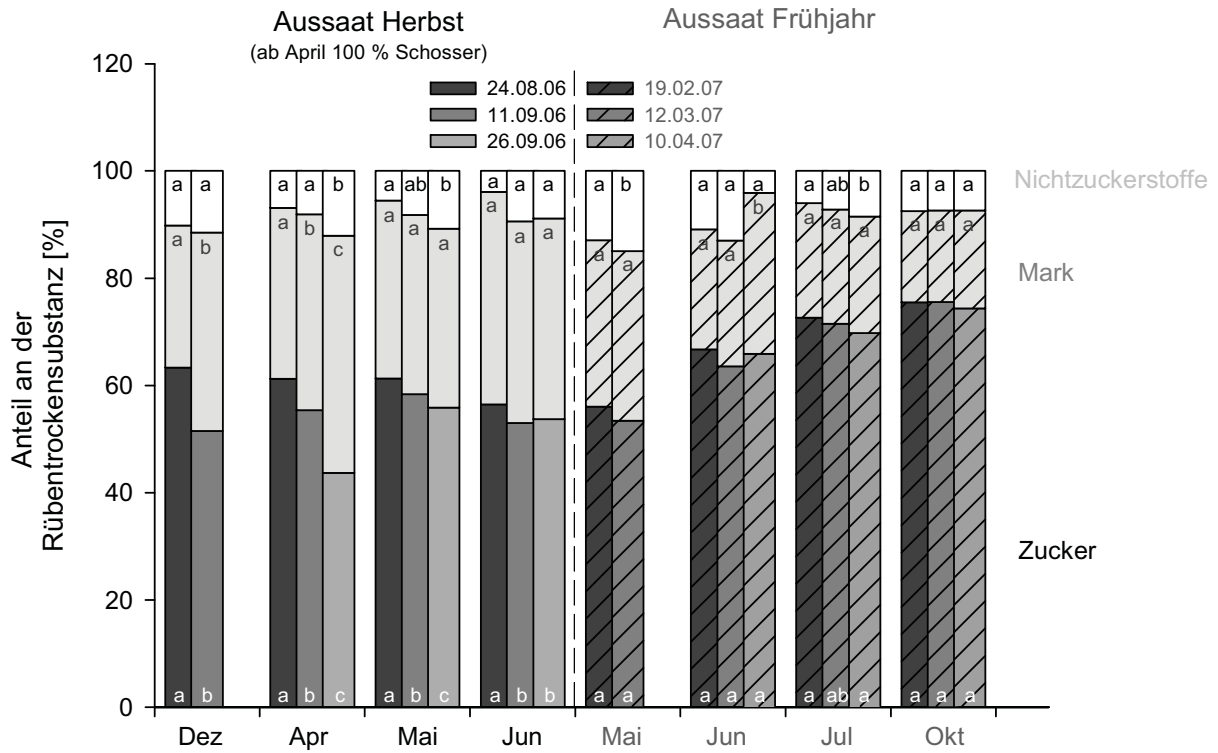
Anhang 15: Entwicklung des Trockensubstanz- (gesamte Säule), Zucker-, Mark- und Nichtzuckerstoffgehaltes von Zuckerrüben bei Aussaat im Herbst und im Frühjahr im Verlauf der Vegetationsperiode; zu jedem Erntetermin mit gleichen Buchstaben gekennzeichnete Werte unterscheiden sich nicht signifikant voneinander (REGW-Test bei $p < 0,05$); Harste 2006/07.



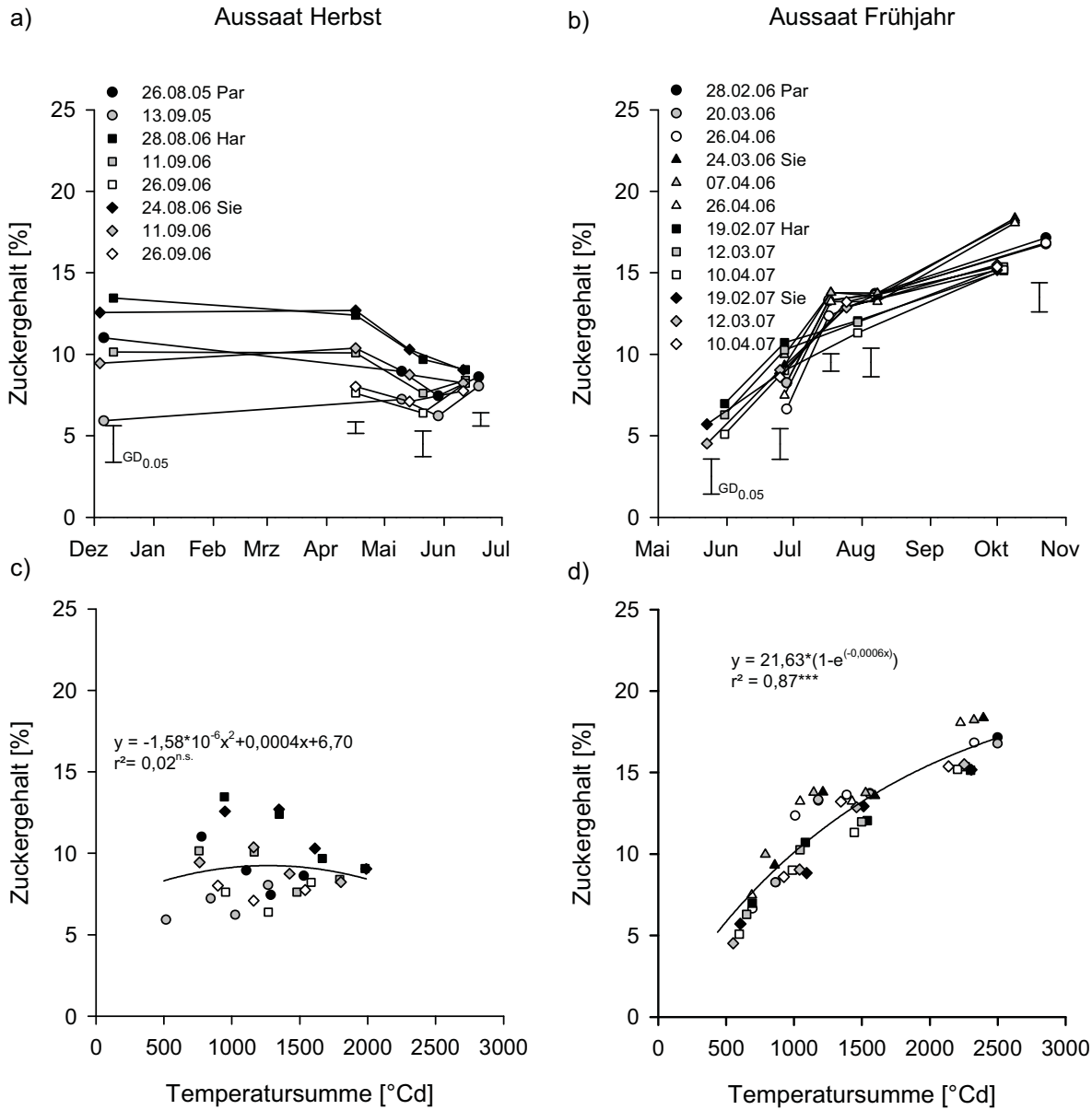
Anhang 16: Entwicklung der Anteile von Zucker, Mark und Nichtzuckerstoffen an der Rübetrockensubstanz von Zuckerrüben bei Aussaat im Herbst und im Frühjahr im Verlauf der Vegetationsperiode; zu jedem Erntetermin mit gleichen Buchstaben gekennzeichnete Werte unterscheiden sich nicht signifikant voneinander (REGW-Test bei $p < 0,05$); Paresen 2005/06.



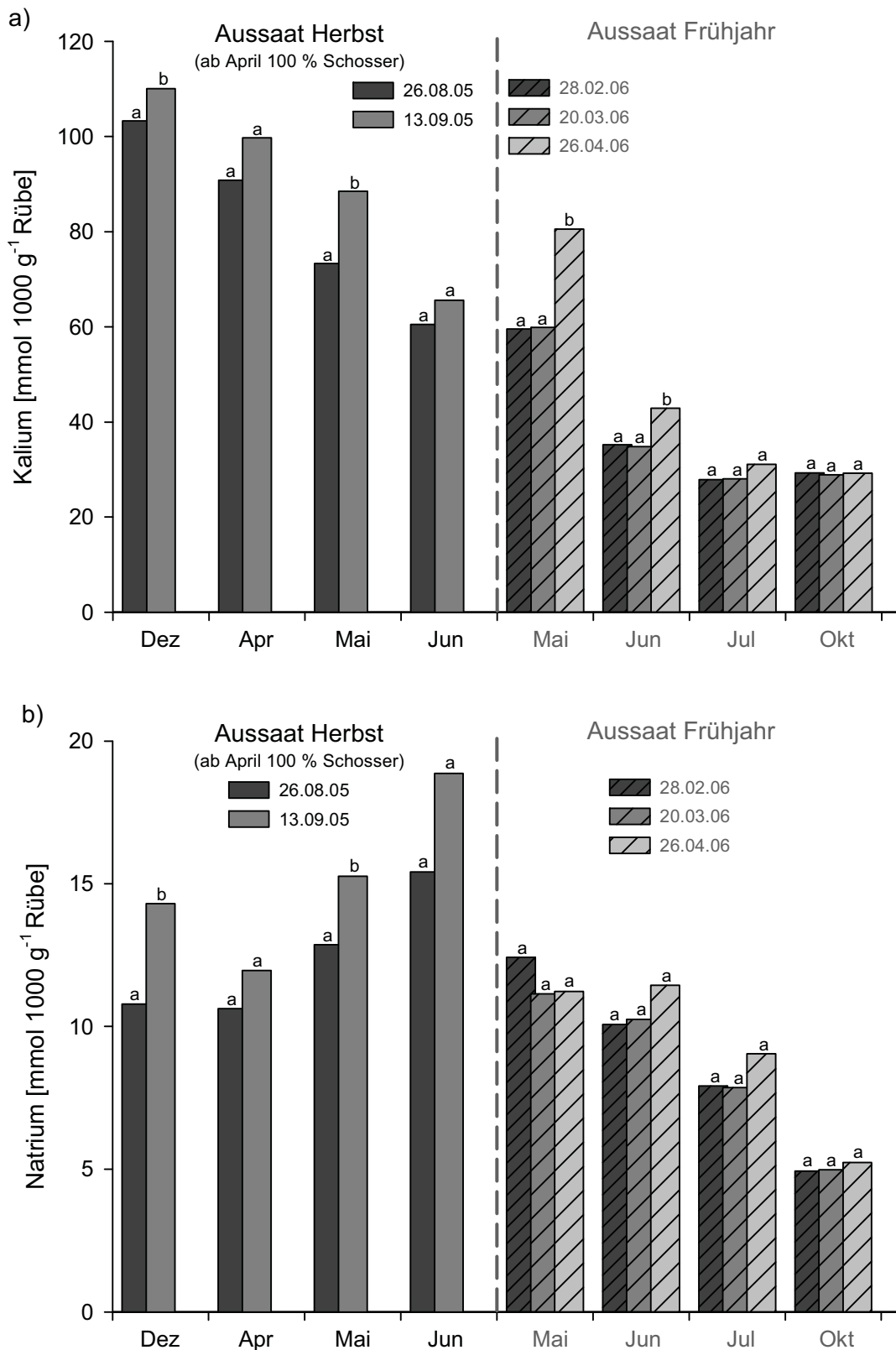
Anhang 17: Entwicklung der Anteile von Zucker, Mark und Nichtzuckerstoffen an der Rübentrockensubstanz von Zuckerrüben bei Aussaat im Herbst und im Frühjahr im Verlauf der Vegetationsperiode; zu jedem Erntetermin mit gleichen Buchstaben gekennzeichnete Werte unterscheiden sich nicht signifikant voneinander (REGW-Test bei $p < 0,05$); Sieboldshausen 2006.



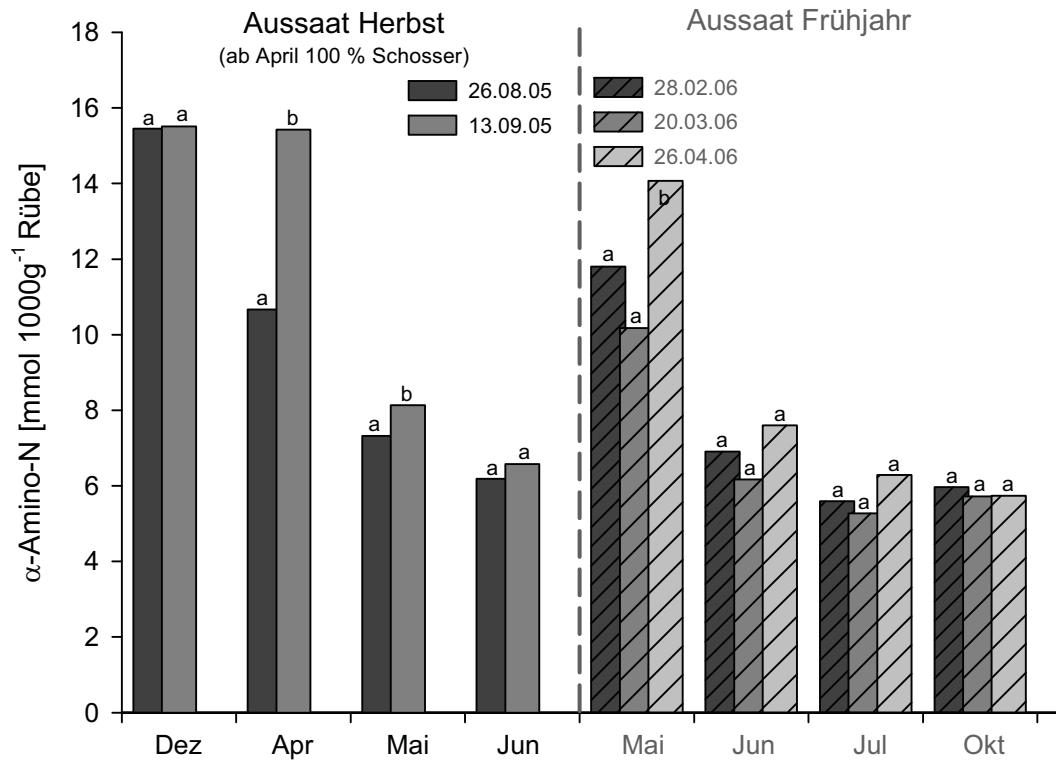
Anhang 18: Entwicklung der Anteile von Zucker, Mark und Nichtzuckerstoffen an der Rübetrockensubstanz von Zuckerrüben bei Aussaat im Herbst und im Frühjahr im Verlauf der Vegetationsperiode; zu jedem Erntetermin mit gleichen Buchstaben gekennzeichnete Werte unterscheiden sich nicht signifikant voneinander (REGW-Test bei $p < 0,05$); Harste 2006/07.



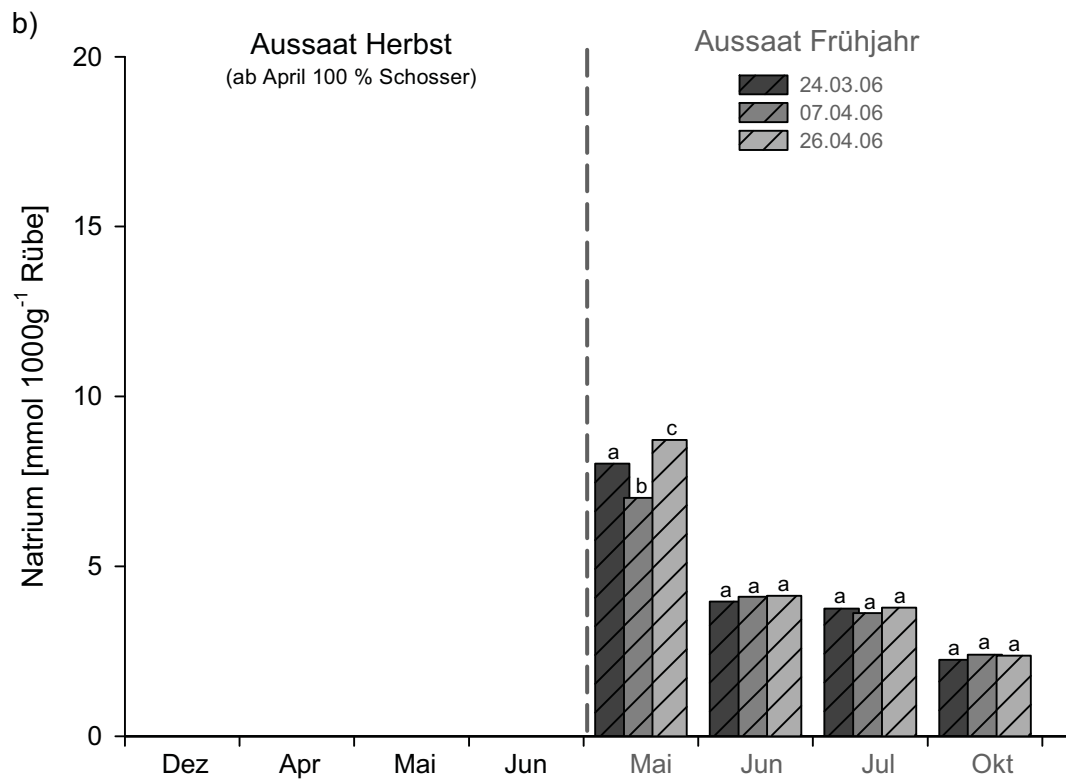
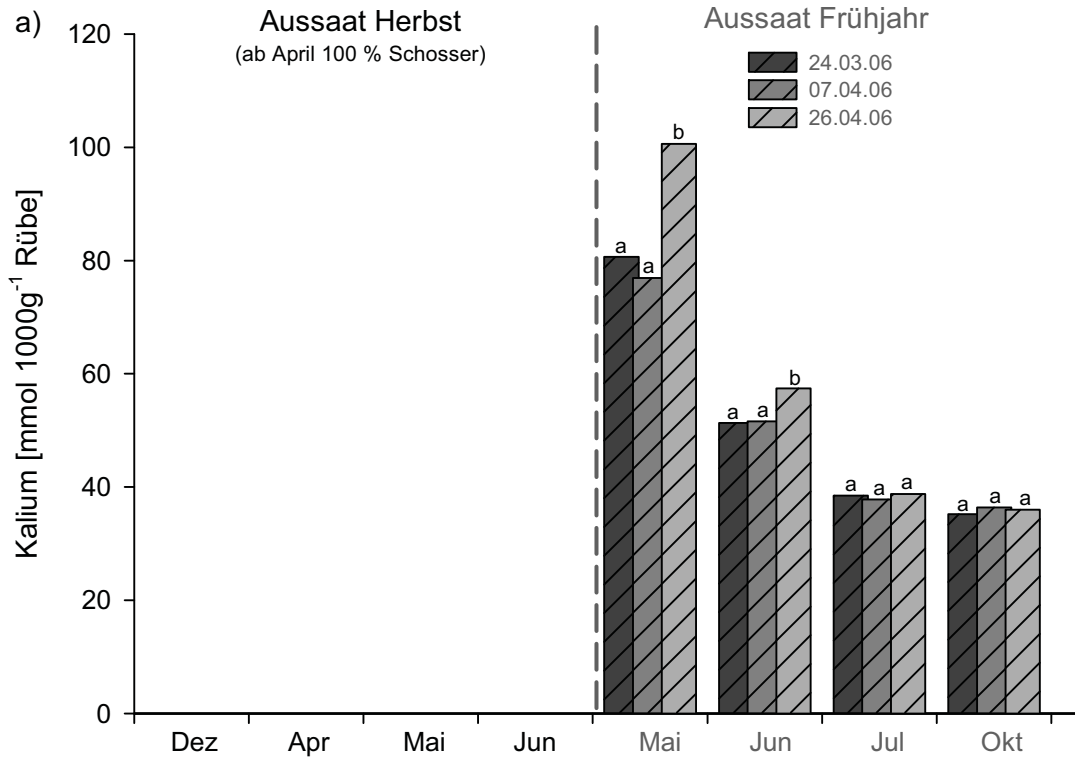
Anhang 19: Entwicklung des Zuckergehaltes von Zuckerrüben bei Aussaat im Herbst und im Frühjahr im Jahresverlauf (a, b) und in Abhängigkeit von der Temperatursumme (c, d); Standorte Par = Parensen, Sie = Sieboldshausen und Har = Harste; drei Versuche Aussaat Herbst und vier Versuche Aussaat Frühjahr im Raum Göttingen, 2005/06 und 2006/07.



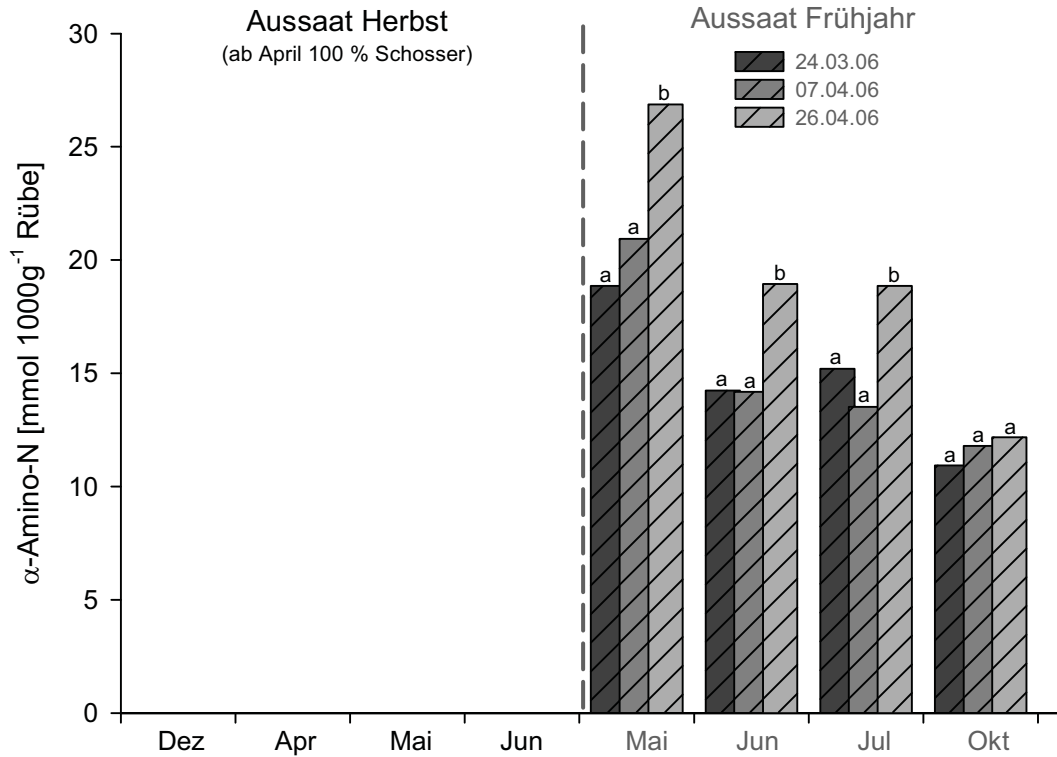
Anhang 20: Entwicklung des Kalium- (a) und Natriumgehaltes (b) von Zuckerrüben bei Aussaat im Herbst und im Frühjahr im Verlauf der Vegetationsperiode; zum jeweiligen Erntetermin mit gleichen Buchstaben gekennzeichnete Werte unterscheiden sich nicht signifikant voneinander (REGW-Test bei $p < 0,05$); Paresen 2005/06.



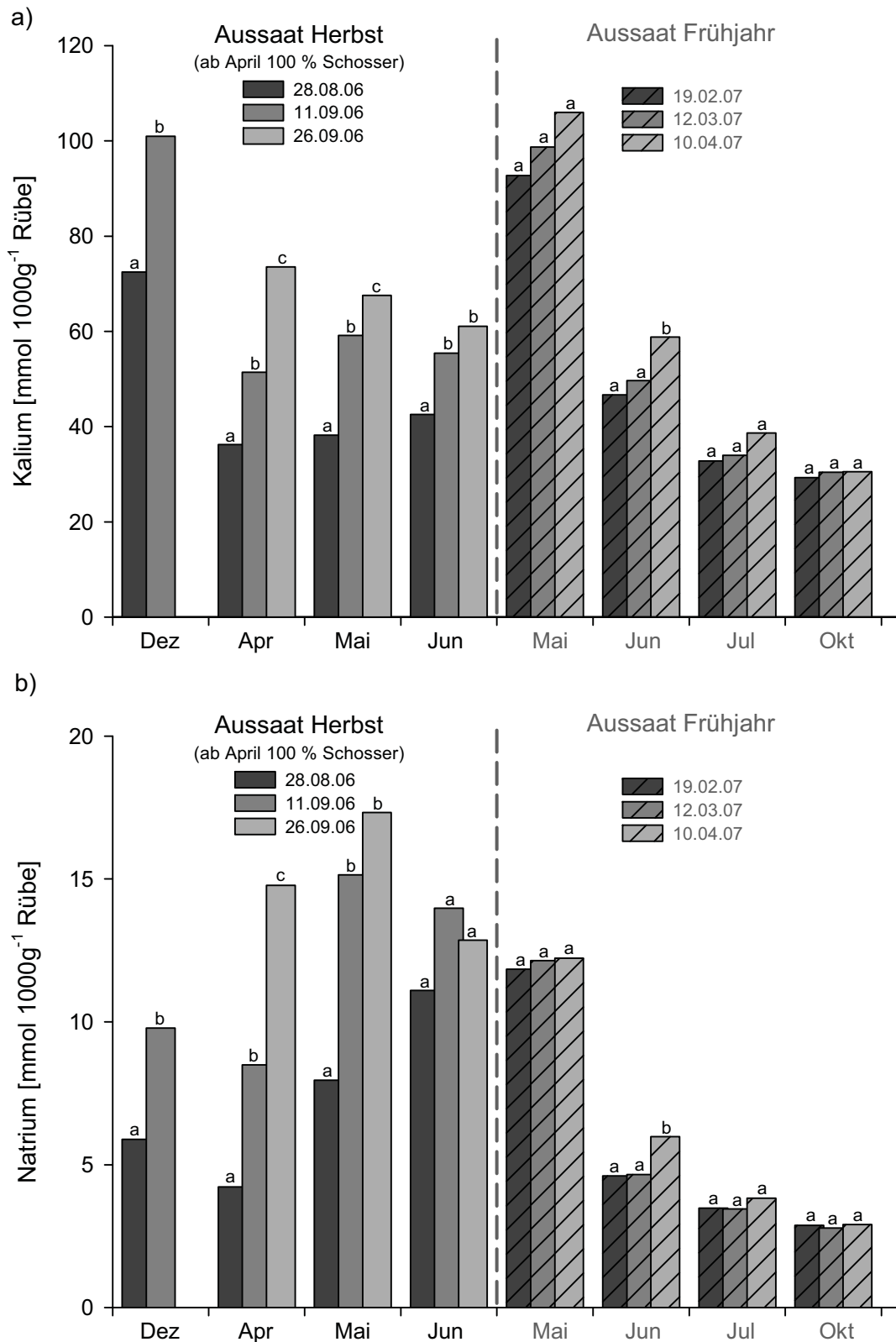
Anhang 21: Entwicklung des α -Amino-Stickstoffgehaltes von Zuckerrüben bei Aussaat im Herbst und im Frühjahr im Verlauf der Vegetationsperiode; zum jeweiligen Erntetermin mit gleichen Buchstaben gekennzeichnete Werte unterscheiden sich nicht signifikant voneinander (REGW-Test bei $p < 0,05$); Paresen 2005/06.



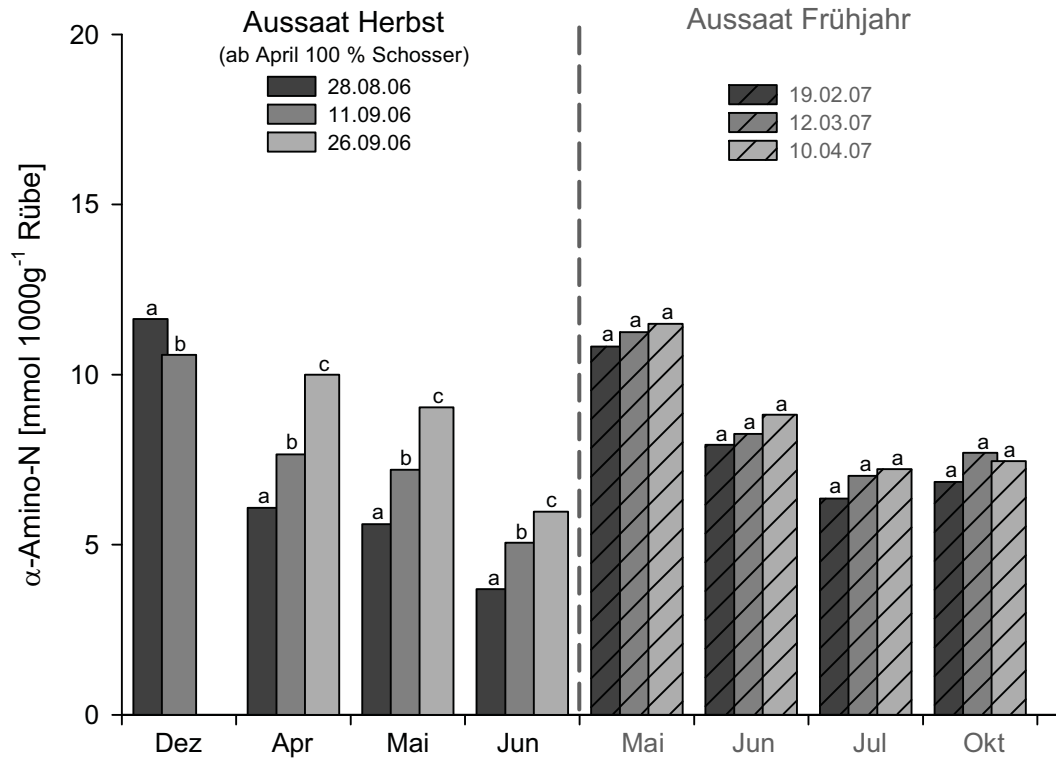
Anhang 22: Entwicklung des Kalium- (a) und Natriumgehaltes (b) von Zuckerrüben bei Aussaat im Herbst und im Frühjahr im Verlauf der Vegetationsperiode; zum jeweiligen Erntetermin mit gleichen Buchstaben gekennzeichnete Werte unterscheiden sich nicht signifikant voneinander (REGW-Test bei $p < 0,05$); Sieboldshausen 2006.



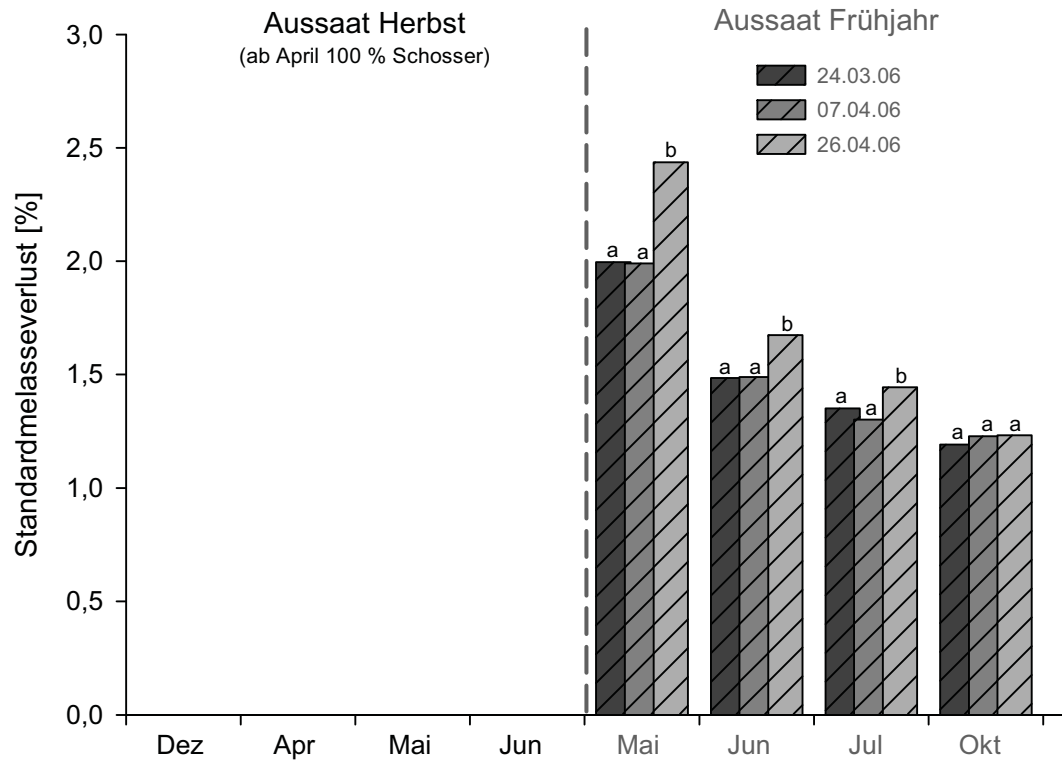
Anhang 23: Entwicklung des α -Amino-Stickstoffgehaltes von Zuckerrüben bei Aussaat im Herbst und im Frühjahr im Verlauf der Vegetationsperiode; zum jeweiligen Erntetermin mit gleichen Buchstaben gekennzeichnete Werte unterscheiden sich nicht signifikant voneinander (REGW-Test bei $p < 0,05$); Sieboldshausen 2006.



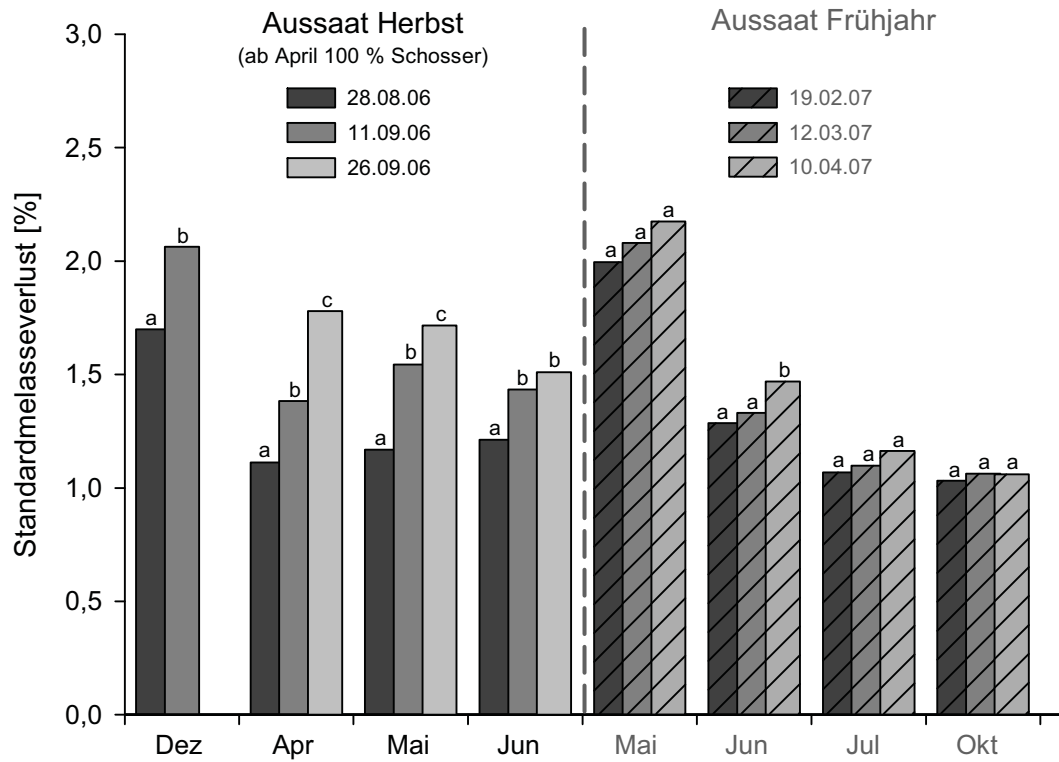
Anhang 24: Entwicklung des Kalium- (a) und Natriumgehaltes (b) von Zuckerrüben bei Aussaat im Herbst und im Frühjahr im Verlauf der Vegetationsperiode; zum jeweiligen Erntetermin mit gleichen Buchstaben gekennzeichnete Werte unterscheiden sich nicht signifikant voneinander (REGW-Test bei $p < 0,05$); Harste 2006/07.



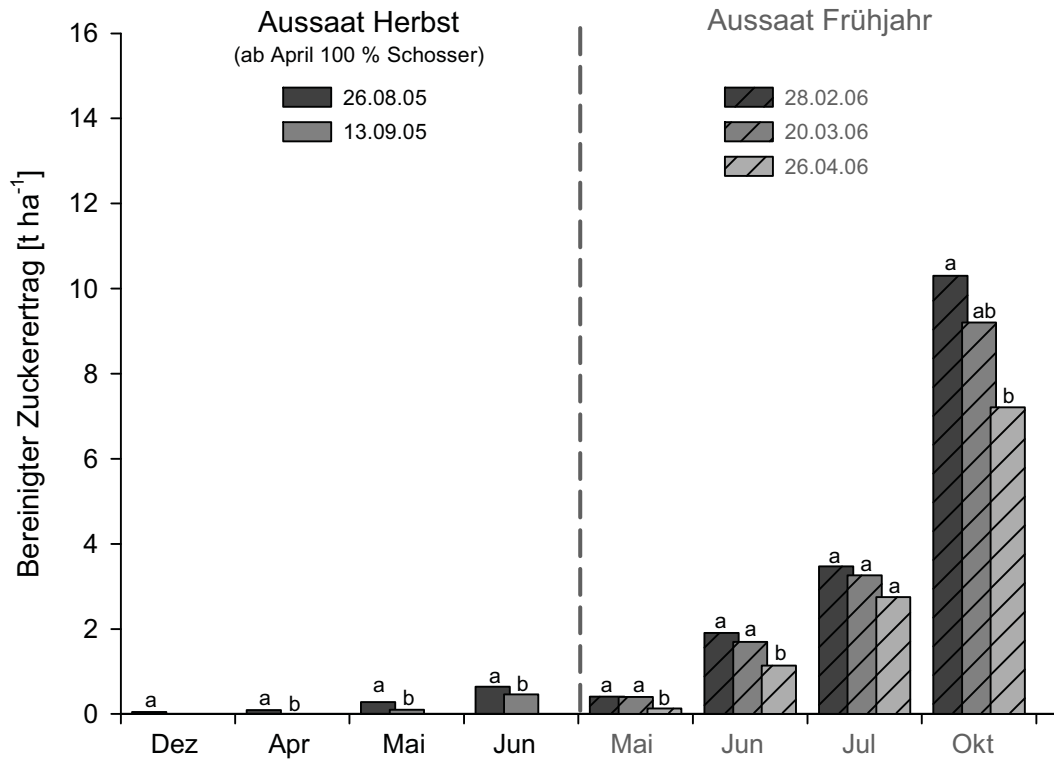
Anhang 25: Entwicklung des α -Amino-Stickstoffgehaltes von Zuckerrüben bei Aussaat im Herbst und im Frühjahr im Verlauf der Vegetationsperiode; zum jeweiligen Erntetermin mit gleichen Buchstaben gekennzeichnete Werte unterscheiden sich nicht signifikant voneinander (REGW-Test bei $p < 0,05$); Harste 2006/07.



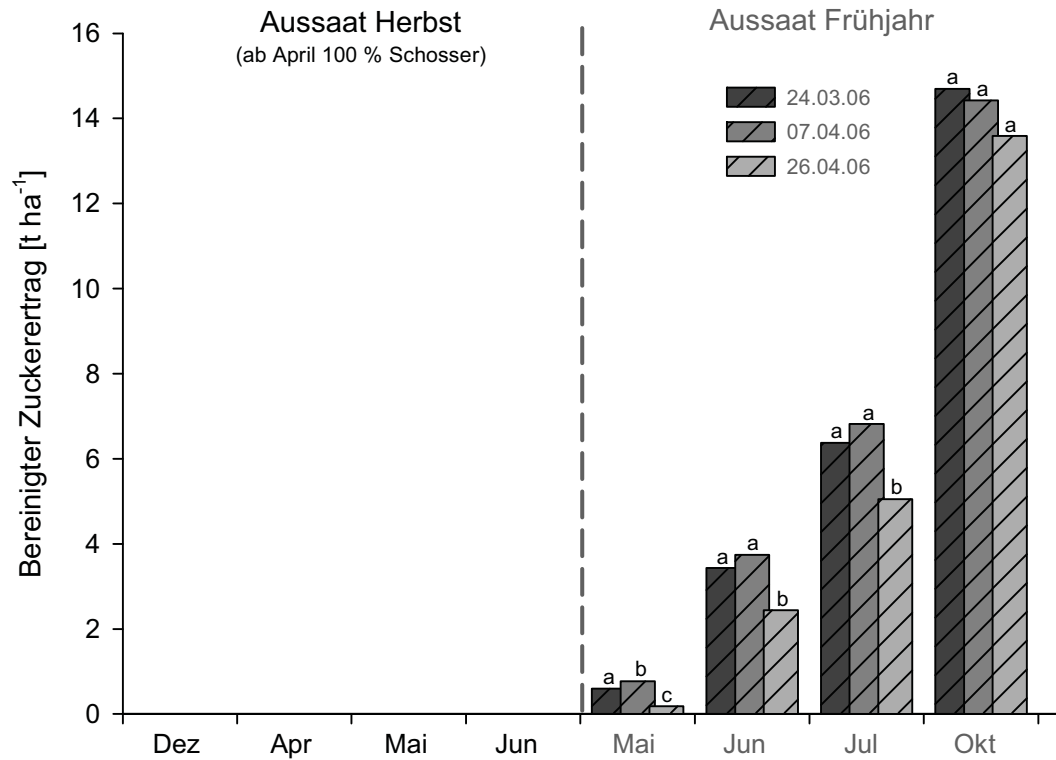
Anhang 27: Entwicklung des Standardmelasseverlustes von Zuckerrüben bei Aussaat im Herbst und im Frühjahr im Verlauf der Vegetationsperiode; zum jeweiligen Erntetermin mit gleichen Buchstaben gekennzeichnete Werte unterscheiden sich nicht signifikant voneinander (REGW-Test bei $p < 0,05$); Sieboldshausen 2006.



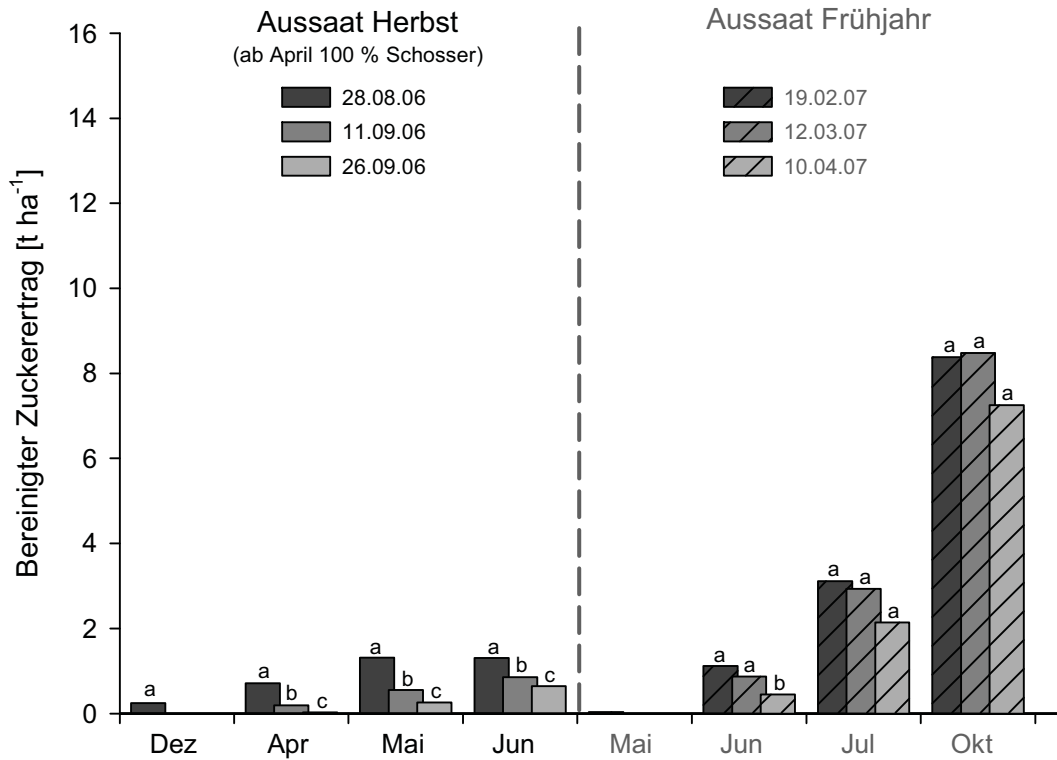
Anhang 28: Entwicklung des Standardmelasseverlustes von Zuckerrüben bei Aussaat im Herbst und im Frühjahr im Verlauf der Vegetationsperiode; zum jeweiligen Erntetermin mit gleichen Buchstaben gekennzeichnete Werte unterscheiden sich nicht signifikant voneinander (REGW-Test bei $p < 0,05$); Harste 2006/07.



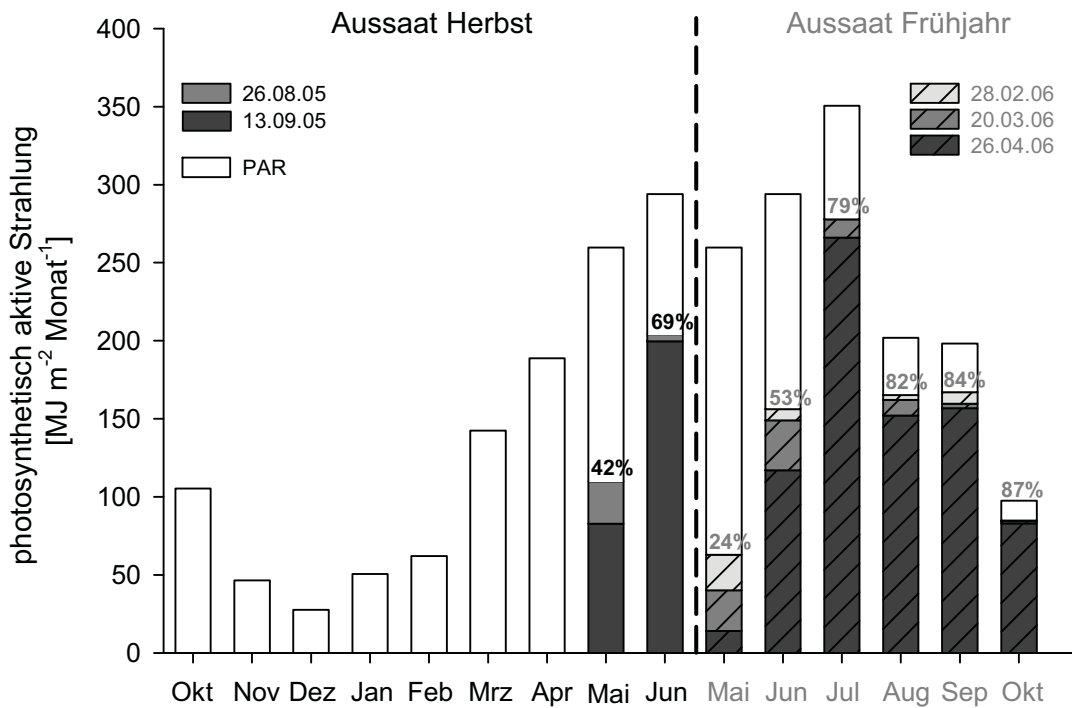
Anhang 29: Entwicklung des Bereinigten Zuckerertrages von Zuckerrüben bei Aussaat im Herbst und im Frühjahr im Verlauf der Vegetationsperiode; zu jedem Erntetermin mit gleichen Buchstaben gekennzeichnete Werte unterscheiden sich nicht signifikant voneinander (REGW-Test bei $p < 0,05$); Pansen 2005/06.



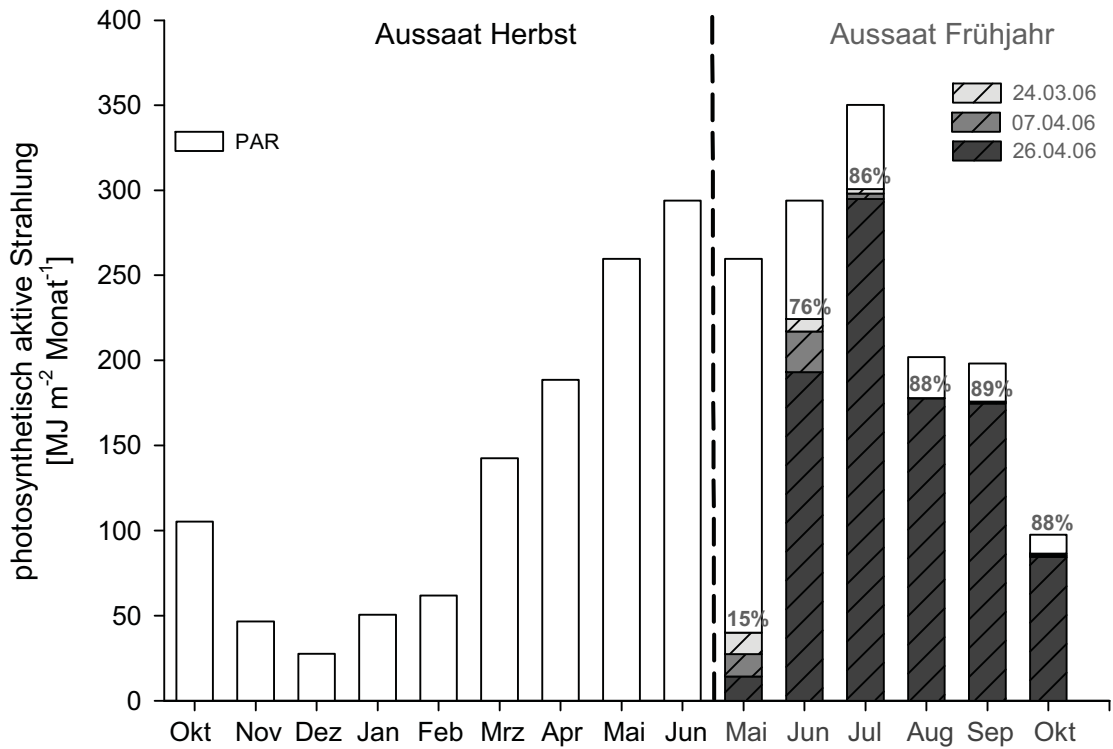
Anhang 30: Entwicklung des Bereinigten Zuckerertrages von Zuckerrüben bei Aussaat im Herbst und im Frühjahr im Verlauf der Vegetationsperiode; zum jeweiligen Erntetermin mit gleichen Buchstaben gekennzeichnete Werte unterscheiden sich nicht signifikant voneinander (REGW-Test bei $p < 0,05$); Sieboldshausen 2006.



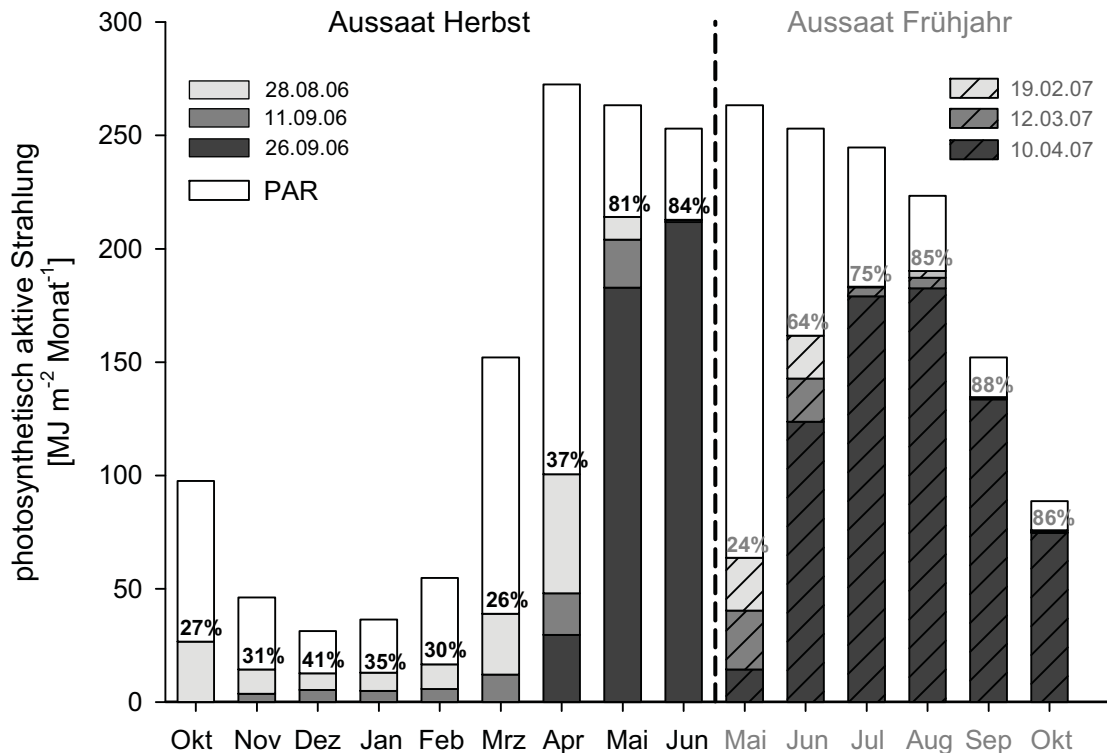
Anhang 31: Entwicklung des Bereinigten Zuckerertrages von Zuckerrüben bei Aussaat im Herbst und im Frühjahr im Verlauf der Vegetationsperiode; zum jeweiligen Erntetermin mit gleichen Buchstaben gekennzeichnete Werte unterscheiden sich nicht signifikant voneinander (REGW-Test bei $p < 0,05$); Harste 2006/07.



Anhang 32: Entwicklung der von Zuckerrübenbeständen absorbierten photosynthetisch aktiven Strahlung (PAR) bei Aussaat im Herbst und im Frühjahr; weiße Säulen = PAR, Beginn der Messungen im Mai; Prozentzahlen in den Balken kennzeichnen den maximalen Absorptionsgrad; Pansen 2005/06.



Anhang 33: Entwicklung der von Zuckerrübenbeständen absorbierten photosynthetisch aktiven Strahlung (PAR) bei Aussaat im Herbst und im Frühjahr; weiße Säulen = PAR, keine Aussaat im Herbst; Prozentzahlen in den Balken kennzeichnen den maximalen Absorptionsgrad; Sieboldshausen 2006.



Anhang 34: Entwicklung der von Zuckerrübenbeständen absorbierten photosynthetisch aktiven Strahlung (PAR) bei Aussaat im Herbst und im Frühjahr; Prozentzahlen in den Balken kennzeichnen den maximalen Absorptionsgrad; Harste 2006/07.

Anhang

Anhang 35: Gesamttrockenmasseertrag von Zuckerrüben bei Aussaat im Herbst und im Frühjahr bezogen auf die Summe der absorbierten photosynthetisch aktiven Strahlung (PAR) zu den Ernteterminen sowie Berechnung des Anteils der PAR, die für die Trockenmassebildung genutzt wurde (= Wirkungsgrad), Parensen 2005/06.

Aussaat	Dezember	Ernte Aussaat Herbst		
		April	Mai	Juni
		Σ einfallende PAR [MJ m ⁻²]		
		179,17	622,41	882,09
		Σ absorbierte PAR [MJ m ⁻²]		
26.08.2005	-	-	109,65	313,76
13.09.2005	-	-	82,72	282,26
06.10.2005	-	-	-	-
		Gesamt-TM [g m ⁻²]		
26.08.2005	38,66	84,73	226,70	670,27
13.09.2005	9,11	33,31	119,77	518,40
06.10.2005	-	-	-	-
		* Wirkungsgrad [%]		
26.08.2005	-	-	3,46	3,58
13.09.2005	-	-	2,43	3,08
06.10.2005	-	-	-	-

Aussaat	Juni	Ernte Aussaat Frühjahr		
		Juli	August	Oktober
		Σ einfallende PAR [MJ m ⁻²]		
		553,64	903,76	1105,70
		Σ absorbierte PAR [MJ m ⁻²]		
28.02.2006	156,07	433,45	598,52	850,09
20.03.2006	148,95	426,69	588,87	832,74
26.04.2006	116,95	382,84	534,91	774,48
		Gesamt-TM [g m ⁻²]		
28.02.2006	246,53	606,58	880,67	1904,53
20.03.2006	256,70	548,24	804,03	1741,01
26.04.2006	144,90	445,75	748,43	1456,37
		* Wirkungsgrad [%]		
28.02.2006	2,34	2,46	3,75	2,89
20.03.2006	2,15	2,29	3,50	2,08
26.04.2006	1,95	1,95	2,34	3,15

* Verbrennungswärme der Trockenmasse = 16,75 kJ g⁻¹ (Baeumer, 1992)

Anhang 36: Gesamttrockenmasseertrag von Zuckerrüben bei Aussaat im Herbst und im Frühjahr bezogen auf die Summe der absorbierten photosynthetisch aktiven Strahlung (PAR) zu den Ernteterminen sowie Berechnung des Anteils der PAR, die für die Trockenmassebildung genutzt wurde (= Wirkungsgrad), Sieboldshausen 2006.

Aussaat	Mai	Ernte Aussaat Frühjahr		
		Juni	Juli	Oktober
		Σ einfallende PAR [MJ m ⁻²]		
		553,64	903,76	1105,70
		Σ absorbierte PAR [MJ m ⁻²]		
24.03.2006	217,01	514,96	692,86	952,65
07.04.2006	224,23	524,88	702,54	962,57
26.04.2006	193,07	488,02	665,87	927,05
		Gesamt-TM [g m ⁻²]		
24.03.2006	362,20	1100,32	1491,97	2707,64
07.04.2006	412,76	1110,27	1549,64	2666,29
26.04.2006	195,13	885,02	1270,43	2514,48
		* Wirkungsgrad [%]		
24.03.2006	2,80	3,58	3,61	4,76
07.04.2006	3,08	3,54	3,69	4,64
26.04.2006	1,69	3,04	3,20	4,54

* Verbrennungswärme der Trockenmasse = 16,75 kJ g⁻¹ (Baeumer, 1992)

Anhang 37: Gesamttrockenmasseertrag von Zuckerrüben bei Aussaat im Herbst und im Frühjahr bezogen auf die Summe der absorbierten photosynthetisch aktiven Strahlung (PAR) zu den Ernteterminen sowie Berechnung des Anteils der PAR, die für die Trockenmassebildung genutzt wurde (= Wirkungsgrad), Harste 2006/07.

Aussaat	Dezember	Ernte Aussaat Herbst		
		April	Mai	Juni
		Σ einfallende PAR [MJ m ⁻²]		
		175,05	690,65	953,94
		Σ absorbierte PAR [MJ m ⁻²]		
28.08.2006	53,90	222,95	437,04	649,84
11.09.2006	9,11	57,15	261,15	472,99
26.09.2006	-	29,63	212,45	425,21
		Gesamt-TM [g m ⁻²]		
28.08.2006	119,61	258,86	717,65	1232,96
11.09.2006	13,94	90,80	403,24	1025,51
26.09.2006	4,37	19,83	247,24	773,73
		* Wirkungsgrad [%]		
28.08.2006	3,72	1,94	2,75	3,18
11.09.2006	2,56	2,66	2,59	3,63
26.09.2006	-	1,12	1,95	3,05

Aussaat	Mai	Ernte Aussaat Frühjahr		
		Juni	Juli	Oktober
		Σ einfallende PAR [MJ m ⁻²]		
		263,30	516,36	761,05
		Σ absorbierte PAR [MJ m ⁻²]		
19.02.2007	-	161,64	344,59	735,41
12.03.2007	-	142,73	321,72	720,64
10.04.2007	-	123,67	306,92	704,49
		Gesamt-TM [g m ⁻²]		
19.02.2007	45,42	486,84	805,19	1633,94
12.03.2007	25,73	435,86	810,47	1677,46
10.04.2007	11,34	322,93	707,63	1507,26
		* Wirkungsgrad [%]		
19.02.2007	1,20	5,04	3,91	3,72
12.03.2007	1,07	5,11	4,22	3,90
10.04.2007	1,33	4,37	3,86	3,58

* Verbrennungswärme der Trockenmasse = 16,75 kJ g⁻¹ (Baeumer, 1992)

Anhang 38: Berechnung des theoretischen Ertrages von im August gesäten, schossenden Zuckerrüben bei Ernte im August, September oder Oktober des nachfolgenden Jahres auf Grundlage der Lichtabsorption; drei Versuche Aussaat August und vier Versuche Aussaat April im Raum Göttingen, 2005/06 und 2006/07.

Variante	Summe absorbierte PAR [MJ m ⁻²]	Gesamtertrag [t TM ha ⁻¹]*	Blattertrag [t TM ha ⁻¹]	Rübenenertrag [t TM ha ⁻¹]	Zuckerertrag [t ha ⁻¹]
<u>Aussaat Apr</u>					
Apr-Okt	818	18,5	4,9	13,5	10,3
<u>Aussaat Aug</u>					
Aug-Juni	537	10,6	7,9	2,7	1,5
** berechnete Erträge:					
Aug-Aug	940	17,88	13,4	4,5	3,4
Aug-Sep	1069	20,47	15,4	5,1	3,8
Aug-Okt	1147	22,02	16,5	5,5	4,1

*berechnet mit Regressionsgleichung für Herbstsaat $y=2,0x-91,4$

**schossende Rüben: Gesamt-TM-Ertrag= 75 % Blatt-TM + 25 % Rüben-TM; Zucker = 75 % der Rüben-TM
kursiv = kalkulierte Werte

Sinje Kluge-Severin

Lebenslauf

Geboren am 06.09.1979 in Stadtoldendorf,
verheiratet.

Schulbildung

08/1992 – 07/1999 Campe-Gymnasium in Holzminden; Abschluss: Allgemeine Hochschulreife.

Das Hochschulstudium

07/1999 - 07/2000 Einjähriges Praktikum auf einem Milchvieh- und Ackerbaubetrieb;
Abschluss: Praktikantenprüfung.

10/2000 - 08/2005 Studium der Agrarwissenschaften an der Georg-August-Universität
Göttingen

11/2003 Abschluss: Bachelor of Science Schwerpunkt Agribusiness.
Bachelorarbeit:
„Einfluss der Düngung auf die Proteine in der Kartoffel.“

09/2005 Abschluss: Master of Science Schwerpunkt Pflanzenproduktion.
Masterarbeit:
„Einfluss von Anbaumaßnahmen auf Qualitätsparameter von
Zuckerrüben während der Lagerung“

Promotion

11/2005 – 05/2009 Promotion am Institut für Zuckerrübenforschung, Göttingen
Abteilung Physiologie

Berufliche Weiterbildung

03/2004 Ausbilder-Eignungsprüfung

Danksagung

Frau PD. Dr. Christa Hoffmann möchte ich für die Übernahme des Referates danken. Ihre Unterstützung und ständige Diskussionsbereitschaft, vor allem in der letzten Phase der Promotion sowie Gespräche auch über das Thema hinaus, haben zum Gelingen dieser Arbeit maßgeblich beigetragen.

Frau Prof. Dr. Elke Pawelzik danke ich für die freundliche Bereitschaft, das Koreferat zu übernehmen.

Herrn Prof. Dr. Mark Varrelmann möchte ich für die Übernahme der Drittprüferschaft danken, sowie für so manches motivierendes Gespräch während meiner Zeit am Institut für Zuckerrübenforschung (IfZ).

Herrn Prof. Dr. Bernward Märländer danke ich für die Möglichkeit der Promotion am Institut für Zuckerrübenforschung sowie die Teilnahme an verschiedenen Tagungen, Fachexkursionen, Betriebsausflügen und Doktorandenfahrten, die auch über den agrarwissenschaftlichen Bereich hinaus zu meiner Erfahrungssammlung und meinem Wissenszuwachs beigetragen haben.

Mein herzlicher Dank gilt allen Kollegen und Kolleginnen des IfZs, besonders der Abteilung Physiologie, für die stets angenehme Arbeitsatmosphäre und der Hilfsbereitschaft. Für die zuverlässige Zusammenarbeit bei Feldarbeiten und bei der Analyse der Proben sowie für so manches „offenes Ohr“ danke ich Friedrich-Walter Evers, Julia Pfahlert, Swetlana Wirt, Fabian Napp, Anja Schrooten, Olga Pasweg und Dr. Tina Lange. Dr. Christine Kenter danke ich zudem für die gemeinsame Zeit im Büro und zahlreiche unterstützende und motivierende Gespräche auch über die Zuckerrübe hinaus. Für die Hilfe bei den frostigen Aussaaten und aufwendigen Beerntungen möchte ich mich außerdem bei meinen Mitdoktoranden, verschiedenen „Hiwis“ und Personen vor Ort bedanken, die ich hier nicht alle namentlich nennen kann.

Für die kritische Durchsicht des Manuskriptes und der vielfältigen Anregungen danke ich Dr. Christine Kenter, Dr. Cord Buhre, Dr. Tina Lange und Kerstin Busse.

Meinen Freunden danke ich für zahlreiche angenehme Ablenkungen, Sporteinheiten jeglicher Art, ausgiebige Telefonate und liebe Worte.

Besonderer Dank gilt meinen Eltern, Geschwistern und besonders meinem Ehemann Mark Severin für die Unterstützung, die Motivation, das Verständnis und den Rückhalt während meiner gesamten Ausbildung.

