

Aus dem
Institut für Zuckerrübenforschung
Göttingen

Jens Loel

Zuchtfortschritt von Zuckerrüben

Rückblickende Analyse und
zukünftige Herausforderungen

41/2014



Cuvillier Verlag Göttingen
Internationaler wissenschaftlicher Fachverlag



Zuchtfortschritt von Zuckerrüben - Rückblickende Analyse und zukünftige Herausforderungen





Aus dem Institut für Zuckerrübenforschung Göttingen,
An-Institut der Georg-August-Universität Göttingen

Zuchtfortschritt von Zuckerrüben - Rückblickende Analyse und zukünftige Herausforderungen

Dissertation

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

vorgelegt von

Jens Loel

geboren in Sangerhausen

Göttingen, im Mai 2014



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, 2014
Zugl.: Göttingen, Univ., Diss., 2014

D7

- | | |
|-----------------------------|------------------------------|
| 1. Referentin: | Prof. Dr. Christa Hoffmann |
| 2. Korreferent: | Prof. Dr. Heiko Becker |
| 3. Prüfer (Disputation): | Prof. Dr. Bernward Märländer |
| Tag der mündlichen Prüfung: | 22.05.2014 |

© CUVILLIER VERLAG, Göttingen 2014

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, 2014

Gedruckt auf umweltfreundlichem, säurefreiem Papier aus nachhaltiger Forstwirtschaft.

ISBN 978-3-95404-873-1

eISBN 978-3-7369-4873-0



Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis	VI
Tabellenverzeichnis	IX
Abkürzungsverzeichnis	XI
Prolog.....	1
1 Einleitung	1
2 Ertragssteigerung und Zuchtfortschritt.....	2
2.1 Ertragssteigerung im Zuckerrübenanbau	2
2.2 Zuchtfortschritt: Begriffserklärung und Definition.....	4
2.3 Zuchtfortschritt bei Zuckerrüben	5
2.4 Schwierigkeiten bei der Erfassung des Zuchtfortschrittes	7
2.5 Zuchtfortschritt bei ausgewählten landwirtschaftlichen Kulturarten	8
2.5.1 Weizen.....	8
2.5.2 Mais	9
2.5.3 Kartoffel.....	9
2.5.4 Zuckerrohr	10
2.6 Ziele der Arbeit - Zuchtfortschritt.....	10
3 Winterrüben.....	11
3.1 Geschichte der züchterischen Bearbeitung von Winterrüben	11
3.2 Anforderungen an Winterrüben	12
3.3 Ziele der Arbeit - Winterrüben.....	13
4 Aufbau der Arbeit.....	14
Manuskript I: Assessment of breeding progress in sugar beet	17
Abstract.....	17
Keywords.....	17
1 Introduction	18
	I



Inhaltsverzeichnis

2	Material and method.....	21
2.1	Varieties	21
2.2	Greenhouse experiments	21
2.3	Field trials	22
2.4	Plant parameters.....	23
2.4.1	SPAD value, Leaf Area Index (LAI), rate of photosynthesis.....	23
2.4.2	Sample treatment and analyses	23
2.5	Statistics	25
3	Results	26
4	Discussion	34
4.1	White sugar yield	34
4.2	Leaf area index.....	36
4.3	Chlorophyll concentration and rate of photosynthesis.....	36
4.4	Harvest index	37
4.5	Cambium ring formation.....	38
4.6	Standard molasses loss.....	39
4.7	Combination of the parameters	40
4.8	Comparison with other crops	41
5	Conclusions	41
	Acknowledgements	42
	References	42
	Manuskript II: Importance of growth stage and weather conditions	47
	Abstract	47
	Keywords	48
1	Introduction	48
2	Material and Methods.....	50
2.1	Field trials	50
2.2	Greenhouse experiments	50

II



2.3	Sample treatment.....	51
2.4	Weather data.....	52
2.5	Calculations.....	52
2.6	Statistics	52
3	Results	53
4	Discussion.....	60
4.1	Minimum temperature.....	60
4.2	Survival after winter.....	61
4.3	Growth stage	62
4.4	Factors affecting the survival rate	63
5	Conclusions	64
	Acknowledgements	65
	References	65
	Manuskript III: Relevance of osmotic and frost protecting compounds	69
	Abstract.....	69
	Keywords.....	70
1	Introduction	70
2	Material and methods	72
2.1	Field trials.....	72
2.2	Greenhouse experiments	73
2.3	Sample treatment and analysis of compounds	74
2.4	Thermal time	75
2.5	Statistics	75
3	Results	76
4	Discussion.....	82
4.1	Survival of autumn sown sugar beet after winter.....	82
4.2	Growth stage and survival rate of autumn sown sugar beet.....	82



Inhaltsverzeichnis

4.3	Different compounds and their effect on winter hardiness.....	84
4.3.1	Acclimatization to low temperatures.....	84
4.3.2	Importance of frost protecting compounds for the survival rate of sugar beet genotypes.....	85
5	Conclusions	86
	Acknowledgements	87
	References	88
	Manuskript IV: Leistungspotential von Winterrüben	93
	Zusammenfassung.....	93
	Stichworte.....	94
1	Einleitung	94
2	Material und Methoden	96
2.1	Feldversuche	96
2.2	Ernte und Aufbereitung der Proben	97
2.3	Qualitätsanalyse	97
2.3.1	Zucker, Kalium, Natrium und Amino-N	97
2.3.2	Rohnährstoffe, ELOS und Gerüstsubstanzen.....	98
2.4	Statistik	98
3	Ergebnisse und Diskussion.....	99
3.1	Ertragsbildung.....	99
3.2	Qualität.....	103
3.2.1	Zuckerproduktion.....	103
3.2.2	Biogasproduktion.....	106
4	Schlussfolgerungen	108
	Danksagung.....	109
	Literatur.....	109
	Epilog	113
1	Zuchtfortschritt.....	113
1.1	Bedeutung der Züchtung bei Zuckerrüben	116

IV



2	Winterrüben	118
2.1	Herausforderungen für Winterrüben in Mitteleuropa	119
2.2	Schossen	120
2.3	Winterhärte	120
2.3.1	Anforderungen an die Züchtung	120
2.3.2	Anbautechnische Herausforderungen	121
2.4	Leistungspotential	122
2.4.1	Ertragspotential von Winterrüben	122
2.4.2	Verwertungsmöglichkeiten von Winterrüben	122
2.5	Fazit	123
	Zusammenfassung	125
	Summary	128
	Literatur	131
	Veröffentlichungen und Vorträge während der Promotion	145
1	Reviewed paper	145
2	Tagungsbeiträge	145
3	Sonstige Manuskripte	146
4	Vorträge	146
	Lebenslauf	147
	Danksagung	149

Abbildungsverzeichnis

Prolog

Abb. 1: Einflussfaktoren auf den biologisch-technischen Fortschritt von Zuckerrüben, (verändert nach Evans, 1993).....4

Manuskript I

Fig. 1: Relative sugar concentration and relative root yield of 17 sugar beet varieties registered from 1964 to 2003, 2 field trials and 2 greenhouse trials in 2007 and 2008 in Göttingen, 100% = mean of the relative values in each experiment.....27

Fig. 2: Relative root yield (a), sugar concentration (b), standard molasses loss (c) and white sugar yield (d) of sugar beet varieties registered from 1964 to 2003, field and greenhouse (GH) trials in 2007 and 2008 in Göttingen, reference variety registered in 1964 was set to 100%, s.e. = standard error of the slope: *, **, significant at $p \leq 0.05$ and 0.01.....28

Fig. 3: Development of leaf area index of sugar beet varieties registered from 1964 to 2003, field trials in 2007 and 2008 in Göttingen, *¹: optimal leaf area index, different letters indicate significant differences between varieties at each observation date at $p \leq 0.05$, n.s. not significant, REGW test.....29

Fig. 4: Distance between cambium rings of sugar beet roots, sugar beet varieties registered from 1964 to 2003, cambium ring 1 = innermost ring, field and greenhouse trials 2007 in Göttingen.....30

Fig. 5: Relative white sugar yield as affected by the relative root to leaf ratio (a) and the relative sugar to marc ratio (b) of sugar beet varieties registered from 1964 to 2003, field and greenhouse (GH) trials in 2007 and 2008 in Göttingen, reference variety registered in 1964 was set to 100%, s.e. = standard error of the slope, ***: significant at $p \leq 0.01$ and 0.001.....31

Fig. 6: Relative white sugar yield (a) and relative rate of photosynthesis (b) as affected by the relative SPAD values of sugar beet varieties registered from 1964 to 2003, field and greenhouse (GH) trials in 2007 and 2008 in Göttingen, reference variety registered in 1964 was set to 100%, s.e. = standard error of the slope, ***: significant at $p \leq 0.001$31

Fig. 7: Principal component analysis of sugar beet varieties registered from 1964-2003, bivariate plots of the 2 factors, 15 different parameters, relative values for each experiment related to the reference variety registered 1964 (= 100%), field and greenhouse trials in 2007 and 2008 in Göttingen 33

Manuskript II

Fig. 1: Survival rate (SR) of sugar beet as affected by temperature during a frost stress period, plants grew for 8 weeks at 20 °C and 12 h light, then acclimatization period for 14 days at 4 °C and 12 h light before frost stress for 24 h, 2 greenhouse experiments (I, II) 2012, 1 genotype, mean of 10 replicates. 55

Fig. 2: Survival rate of 5 autumn sown sugar beet genotypes after winter in 11 environments 2009-2013 and estimation of variance components, 3 locations, 4 years, 4 replicates, boxplots: inter-quartile represents 50% of the values, solid line represents the median, dashed line represents the mean, dots indicate each outlier, E = environment, G = genotype, Gö = Göttingen. 56

Fig. 3: Survival rate of autumn sown sugar beet as affected by thermal time until frost incidence of -7 °C, 3 greenhouse experiments (III, IV, V) with 1 genotype in 2010-2011, field trials with 5 genotypes in 11 environments 2009-2013, field: survival rate after winter, thermal time until 1st time -7 °C, base temperature = 3 °C, greenhouse: survival rate after frost stress for 24 h with -7 °C after acclimatization (14 days, 4 °C, 12 h light). 57

Fig. 4: Maximum root diameter of autumn sown sugar beet as affected by thermal time (11 environments) until harvest in October and December, base temperature = 3 °C, field trials with 5 genotypes in 11 environments 2009-2013..... 57

Fig. 5: Principal component analysis of different parameters of autumn sown sugar beet and meteorological data, bivariate plot of the 2 factors, field trials with 5 genotypes in 11 environments 2009-2013. 59

Manuskript III

Fig. 1: Root dry matter yield of autumn sown sugar beet in relation to thermal time (a, b) and root diameter (c, d); field trials (b, d): 11 environments, 5 genotypes, 2 harvest dates (Oct./Nov., Dec.); greenhouse experiments II, III and IV (a, c): 1 genotype; thermal time until harvest, base temperature 3 °C.....77

Fig. 2: Survival rate of sugar beet after frost as affected by the root diameter; field trials: 11 environments, 5 genotypes; determination of the root diameter in December, survival rate in April; greenhouse experiments (GH) II, III, IV, 1 genotype, survival rate after frost stress (-7 °C) for 24 h after acclimatization (14 days, 4 °C, 12 h light).....78

Fig. 3: Concentrations of different compounds in the taproot of autumn sown sugar beet as a function of root diameter; field trials: 11 environments, 5 genotypes, 2 harvest dates (Oct./Nov., Dec.).....79

Manuskript IV

Abb. 1: Gesamttrockenmasseertrag von Winterrüben in Abhängigkeit von der Temperatursumme, Mittelwert aus 3 Genotypen; 3 Standorte (Göttingen, Harz, Kiel), 3 Jahre (2009/10, 2010/11, 2011/12), Temperatursumme von Aussaat bis Ernte mit Basistemperatur 3 °C.....102

Abb. 2: Roh Nährstoffzusammensetzung sowie Anteil enzymlöslicher org. Substanz und Gerüstsubstanzen an der Trockenmasse von geschossten Winterrüben, Ernte Juni/Juli, Mittel von 3 Genotypen, 3 Standorte, 3 Jahre, oTM = organische Trockenmasse, signifikante Effekte des Genotyps im jeweiligen Parameter sind bei $p \leq 0,05$ mit * gekennzeichnet.108

Epilog

Abb. 1: Veränderung des Rübenantrages und Zuckergehaltes (a) sowie des Weißzuckerantrages (b) von Zuckerrüben in Deutschland von 1937 - 2012, ab 1990 gesamtes Bundesgebiet, Praxisdaten der WVZ.....114



Tabellenverzeichnis

Prolog

Tab. 1: Relativer Ertragsanstieg landwirtschaftlicher Kulturarten in der Welt und in Deutschland von 1961 - 2012, 1961 = 100 %, eigene Berechnung aus Daten der FAO (2013).	3
--	---

Manuskript I

Table 1: Varieties tested in the field and greenhouse trials 2007 and 2008.	22
Table 2: Rotated factor loadings of the first two factors and final communality estimated of different parameters of sugar beet varieties registered from 1964 to 2003, field and greenhouse trials in 2007 and 2008 in Göttingen.	32

Manuskript II

Table 1: Characterization and meteorological data of the field trials 2009-2013.	54
Table 2: Rotated factor loadings of the first two factors and final communality estimated of different parameters of sugar beet, field trials with 5 genotypes in 11 environments 2009-2013.	58
Table 3: Calculation of the range for the optimal sowing date for sugar beet in autumn, 6 environments 2009-2013*.	60

Manuskript III

Table 1: Survival rate of autumn sown sugar beet in April; field trials: 11 environments, 5 genotypes; different letters indicate significant differences between the genotypes in the given environment at $p \leq 0.5$; REGWQ-test.	76
Table 2: Concentration of different compounds of sugar beet taproot and leaves with and without cold acclimatization and relative concentration change; mean of 5 genotypes; mean root diameter: control = 14 mm, after acclimatization = 10 mm, plant age 10 weeks; acclimatization: 14 days, 4 °C, 12 h light; greenhouse experiment I, SD = standard deviation.	80



Table 3: Spearman's correlation coefficient of the survival rate of 5 sugar beet genotypes sown in autumn with different compounds in taproot and leaves determined in Oct./Nov.; concentration on fresh matter basis; relative values standardized to the mean of each location; 4 field trials (Göttingen and Kiel, 2010 and 2012), 5 genotypes.81

Manuskript IV

Tab. 1: Feldversuche 2009 - 2011 mit Winterrüben an 3 Standorten (Göttingen, Kiel, Harz), Bodenart, Aussaat, Frostschutz.96

Tab. 2: Trockenmasseertrag von Rübe, Blatt und Gesamtpflanze von Winterrüben sowie Temperatursumme von Aussaat bis Erntezeitpunkt, Mittel von 3 Genotypen, in Klammern: Standardabweichung.100

Tab. 3: Trockenmasse- (TM), Zucker-, Kalium-, Natrium- und Amino-N-Gehalt in der Rübe von Winterrüben, Mittel von 3 Genotypen, in Klammern: Standardabweichung. ...105

Epilog

Tab. 1: Anteil der Züchtung an der Veränderung von Ertrags- und Qualitätsparametern von Zuckerrübe, Vergleich von Angaben aus der Literatur und eigenen Werten aus den Feldversuchen.....117



Abkürzungsverzeichnis

ABA	Abscisinsäure
ADF	Säure-Detergenz-Faser
ADL	Säure-Detergenz-Lignin
AmN	Amino-N concentration
ANOVA	Analysis of variance
BDP	Bundesverband Deutscher Pflanzenzüchter
BET	Betaine concentration
BSA	Bundessortenamt
BZE	Bereinigter Zuckerertrag
CMS	Cytoplasmatic male sterility
ColdSum	Cold sum
diameter	Maximal root diameter
DM	Dry matter
dps	Days past sowing
DWD	Deutscher Wetterdienst
E	Environment
ELOS	Enzymlösliche organische Substanz
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
FD	Frost days
FDws	Frost days with snow
FM	Fresh matter
G	Genotype
GH	Greenhouse
Gö	Göttingen
INVERT	Invert sugar concentration
LAI	Leaf area index
LDM	Leaf dry matter
LDMC	Leaf dry matter concentration
MARC	Marc concentration
MSA	Measure of sampling adequacy
n.s.	Not significant



Abkürzungsverzeichnis

NDF	Neutral-Detergenz-Faser
NfE	Stickstoff freie Extraktstoffe
OPA	Ortho-Phthaldialdehyd
P	Signifikanzwert
PAR	Photosynthetic active radiation
PCA	Principle component analysis
RDM	Root dry matter
RDMC	Root dry matter conc.
RE	Rübenenertrag
REGWQ	Ryan-Einot-Gabriel-Welsch Q
RLR	Root to leaf ratio
RUE	Radiation use efficiency
RY	Root yield
s.e.	Standard errors
SC	Sugar concentration
SD	Standard deviation
SFL	Standard factory loss
SH at $T_{\min}$	Snow height at $T_{\min}$
SML	Standard molasses loss
SMR	Sugar to marc ratio
SPAD	SPAD value
SR	Survival rate
TM	Trockenmasse
$T_{\min}$	Minimum temperature during winter
$T_{\min}^{\text{wos}}$	$T_{\min}$ without snow
tt to -7°C	Thermal time from sowing to first time -7°C
UN	United Nations
WSY	White sugar yield
WVZ	Wirtschaftliche Vereinigung Zucker
ZG	Zuckergehalt