

Department für Angewandte Pflanzenwissenschaften
und Pflanzenbiotechnologie

Universität
für
Bodenkultur Wien

Süße Soja?

Untersuchungen zum Zuckergehalt von Sojabohnen
(*Glycine max* [L.] Merr.)

Masterarbeit

eingereicht von

Bakk. techn. Pia Euteneuer

Betreuer:

Ass. Prof. DI Dr. Helmut Wagentristl

und

Ao. Univ. Prof. DI Dr. Johann Vollmann

Wien, 2011



Danke!

Danke sage ich allen, die mich während meiner Studienzeit unterstützten:

Meinen Studienkollegen, die mich immer mit Vorlesungsunterlagen versorgten. Vor allem Claudia und Klaus, die mir weit darüber hinaus immer zur Seite standen.

Meinen Kollegen in Großenzersdorf, ohne sie hätte ich zu keiner Vorlesung gehen können. Ganz besonders Susi, die immer alles managte, außerdem mit mir die Soja vom Unkraut befreite und vor den Hasen schützte.

Roman, der mit mir mahlte und analysierte.

Dr. Wagentristl, für den Job, in dem ich die landwirtschaftliche Theorie in die Praxis umsetzen konnte.

Meinen ehemaligen Arbeitskollegen im Hotel, die mich zwischen 2 und 4 Uhr in der Früh mit Kaffee zum Lernen motivierten.

Dr. Vollmann, für diese Masterarbeit.

Meinen Eltern.

Florian.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	g
Abstract.....	h
1 Einleitung.....	2
1.1 Sojaprodukte und -produktion.....	2
1.2 Geschmack	3
1.3 Pflanzenzüchtung	4
2 Material und Methoden.....	8
2.1 Versuche.....	8
2.1.1 Standort.....	8
2.1.2 Versuchsanlage.....	10
2.1.3 Sojasorten.....	10
2.1.4 Versuchsdurchführung und Kultivierung	11
2.2 Analysemethoden und untersuchte Merkmale	12
2.2.1 Nah-Infrarot-Reflexions-Spektroskopie.....	12
2.2.2 Öl- und Proteingehalt	12
2.2.3 Saccharosegehalt.....	12
2.2.4 Tausendkorngewicht	13
2.2.5 Agronomische Merkmale	13
2.3 Statistik.....	13
3 Ergebnisse	14
3.1 Experiment ProtScreen_2	14
3.1.1 Heritabilität	14
3.1.2 Öl- und Proteingehalt, Tausendkorngewicht und weitere Merkmale	14
3.1.3 Saccharosegehalt.....	15
3.2 Experiment LowOil	22
3.2.1 Heritabilität	22
3.2.2 Öl- und Proteingehalt, Tausendkorngewicht und weitere Merkmale	22

3.2.3	Saccharosegehalt.....	23
3.3	Experiment GG3X_epi	27
3.3.1	Heritabilität	27
3.3.1	Öl- und Proteingehalt und Tausendkorngewicht	27
3.3.2	Saccharosegehalt.....	27
4	Diskussion.....	33
5	Literaturverzeichnis.....	35

Abbildungsverzeichnis

<i>Abbildung 1: Die Entwicklung der Sojaproduktion in Österreich von 1997 bis 2010 in Anbaufläche [ha] und Erntemenge [t] (Agrarmarkt Austria, 2011).</i>	3
<i>Abbildung 2: Inhaltsstoffe der Sojabohne (%-Anteil an der Trockenmasse).</i>	5
<i>Abbildung 3: Niederschlagssummen von April bis Oktober von 2006 bis 2010.</i>	9
<i>Abbildung 4: Temperaturmittel von April bis Oktober von 2006 bis 2010.</i>	9
<i>Abbildung 5 Boxplotdarstellung der Saccharosewerte in den fünf Umwelten.</i>	17
<i>Abbildung 6: Grafische Darstellung des Genotyp-Umwelt-Interaktion an den fünf Linien mit höchstem und niedrigstem Saccharosegehalt.</i>	18
<i>Abbildung 7: Der Saccharosegehalt in Abhängigkeit von zwei Faktoren aufgeteilt in fünf Umwelten. Faktor 1 (SÖT) beinhalten Saccharose-, Ölgehalt und Temperatur. In Faktor 2 (PNTkg) sind Proteingehalt, Tausendkorngewicht und Niederschlag zusammengefasst.</i>	19
<i>Abbildung 8: Faktorenanalyse mit der Reifezeit in den Umwelten 1,2 und 4. Komponente PNTkgR enthält: Proteingehalt, Niederschlag, Tausendkorngewicht und Reifezeit. Komponente SÖT umfasst: Saccharose-, Ölgehalt und mittlere Temperatur.</i>	20
<i>Abbildung 9: Faktorenanalyse mit dem Merkmal Wuchshöhe [cm]. Komponente WT enthält: Temperatur und Wuchshöhe. Komponente SÖ umfasst: Saccharose- und Ölgehalt.</i>	21
<i>Abbildung 10: Saccharosegehalt (im Boxplot) aller 36 Genotypen in fünf verschiedenen Umwelten.</i>	24
<i>Abbildung 11: Interaktion zwischen Genotyp und Umwelt. Dargestellt sind die fünf Genotypen mit höchstem und niedrigstem Zuckergehalt in fünf Umwelten.</i>	26
<i>Abbildung 12: Boxplotdarstellung des Saccharosegehalts in den vier Umwelten (1, 2, 4, 5).</i>	29
<i>Abbildung 13: Genotyp-Umwelt-Interaktion im Bezug auf die mittleren Saccharosedaten in den Umwelten 1,2,4, und 5. Ausgewählt sind die fünf Genotypen mit dem höchsten und niedrigsten Zuckergehalt.</i>	30
<i>Abbildung 14: Genotyp-Umwelt-Effekt der mittleren Saccharosegehalte mit allen Genotypen in allen Umwelten.</i>	31
<i>Abbildung 15: Faktorenanalyse mit den Faktoren NT (Niederschlag und Temperatur) und Faktor SÖ (Saccharose- und Ölgehalt) in den vier Umwelten.</i>	32

Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 1 Sojabohnenerzeugung, -verwendung und -Verarbeitung in Österreich (Agrarmarkt Austria, 2010 erstellt von Statistik Austria, 2011)</i>	2
<i>Tabelle 2: Zuckerverbrauch von 1962 bis 2006 in Kilogramm pro Kopf und Jahr in verschiedenen Regionen (Südzucker AG, 2008).</i>	4
<i>Tabelle 3: Positive und negative Korrelationen zwischen den einzelnen Zuckern der Sojabohne (Hou et al., 2009).</i>	6
<i>Tabelle 4: Korrelationskoeffizient nach Pearson. Population aus der Kreuzung von V71-370 und PI 407162 angebaut in Warsaw (VA, USA) 1999 aus Cisek et al. (2006).....</i>	7
<i>Tabelle 5: Versuch ProtScreen_2 mit 50 Genotypen.</i>	10
<i>Tabelle 6: Versuch LowOil mit 36 Linien.....</i>	11
<i>Tabelle7: Versuch GG3X_epi mit 30 Linien. Eltern Kreuzung Maple Belle x Proto.</i>	11
<i>Tabelle 8: Übersicht der erhobenen Daten.....</i>	13
<i>Tabelle 9: Rangfolge und Mittelwerte der Hauptparameter sortiert nach Umwelten 1 bis 5 (H-Test).....</i>	14
<i>Tabelle 10: Rangfolge und Mittelwerte von Reifezeit, Hülsenansatz und Wuchshöhe sortiert nach Umwelten (H-Test).....</i>	15
<i>Tabelle 11: Ränge absteigend sortiert nach dem Saccharosegehalt der Genotypen über alle Umwelten (H-Test) sowie Öl-, Protein- und Öl+Proteingehalt sowie Tausendkorngewicht.</i>	16
<i>Tabelle 12: Signifikanzniveau der Genotypen über alle Umwelten im Saccharose-, Öl-, Protein- und Öl+Proteingehalt sowie Tausendkorngewicht, Reifezeit, Hülsenansatz und Wuchshöhe(H-Test).</i>	17
<i>Tabelle 13: Rangreihung der Zuckergehalte in den Umwelten 1 bis 5 (H-Test).</i>	17
<i>Tabelle 14: Korrelation der Saccharose mit den untersuchten Parametern in den fünf einzelnen Umwelten und über alle Umwelten (Spearman-Rho).....</i>	19
<i>Tabelle 15: Ränge der Parameter sortiert nach den fünf Umwelten (H-Test).....</i>	22
<i>Tabelle 16: Signifikanzniveau der Genotypen im Saccharose-, Öl-, Protein-, Öl+Proteingehalt und Tausendkorngewicht (über alle Umwelten, H-Test).....</i>	22
<i>Tabelle 17: Signifikanzniveau der Genotypen in den Merkmalen Reifezeit, Wuchshöhe, Hülsenansatz und – platzen (über alle Umwelten, H-Test).....</i>	22

<i>Tabelle 18: Ränge aufsteigend sortiert nach dem Saccharosegehalt der Genotypen über alle Umwelten sowie die Rangfolge im Öl-, Protein-, Öl+Proteingehalt und im Tausendkorngewicht (H-Test).....</i>	<i>23</i>
<i>Tabelle 19: Signifikanzniveau der Genotypen in den jeweiligen Umwelten (H-Test).</i>	<i>24</i>
<i>Tabelle 20 Der mittlere Zuckergehalt in den einzelnen Umwelten sortiert nach dessen Rang im Kruskal-Wallis-Test.....</i>	<i>25</i>
<i>Tabelle 21 Korrelationskoeffizienten zwischen dem Zuckergehalt der einzelnen Umwelten sowie über alle Umwelten und dem Gehalt an Öl, Protein und Öl+Protein sowie dem Tausendkorngewicht, der Reifezeit, der Wuchshöhe, dem Hülsenansatz und dem –platzen (Spearman-Rho).</i>	<i>25</i>
<i>Tabelle 22: Ränge (H-Test) und Mittelwerte der Merkmale Öl-, Protein-, Öl+Proteingehalt und Tausendkorngewicht sortiert nach den Umwelten 1,2,4 und 5.</i>	<i>27</i>
<i>Tabelle 23: Rangfolge der Genotypen sortiert nach dem Saccharosegehalt (über alle Umwelten) mit Mittelwert sowie die Ränge und Mittelwerte des Öl-, des Protein-, des Öl+Proteingehalts und des Tausendkorngewichts. .</i>	<i>28</i>
<i>Tabelle 24: Das Signifikanzniveau der Genotypen über alle Umwelten in den Parametern Saccharose-, Öl-, Protein-, Öl+Proteingehalt und Tausendkorngewicht (H-Test).</i>	<i>29</i>
<i>Tabelle 25: Rang und Mittelwert des Saccharosegehalts in den vier Umwelten (H-Test).....</i>	<i>29</i>
<i>Tabelle 26: Korrelationskoeffizienten zwischen dem Saccharosegehalt und dem Öl-/ Protein-/ Öl+Proteingehalt/ Tausendkorngewicht in den einzelnen Umwelten und über alle Umwelten (Spearman-Rho).</i>	<i>30</i>

Zusammenfassung

Der Selbstversorgungsgrad an Sojabohnen (*Glycine max* [L.] Merr.) ist in den letzten Jahren in Österreich trotz steigender Anbauflächen und Ertragsmengen (54,095 t 2009) gesunken, da der Bedarf an Sojabohnen im Futtermittel- und Lebensmittelbereich stark angestiegen ist. Qualitätsanforderungen an den Rohstoff sind dabei je nach Verwendungszweck sehr unterschiedlich. Für Sojadrinks zum Beispiel werden ganze Sojabohnen verwendet, und um den manchmal als „bohlig“ oder „grasig“ beschriebenen Geschmack zu überdecken, wird meist der Zuckeranteil künstlich angehoben. Für die Pflanzenzüchtung besteht deshalb die Herausforderung, zur Geschmacksverbesserung den natürlichen Zuckergehalt der Sojabohne zu erhöhen.

Drei Versuchsserien mit je 30-50 Genotypen wurden über vier bis fünf Jahre im pannonischen Marchfeld geprüft. Mittels der Nah-Infrarot-Reflexionsspektroskopie wurde das Erntegut auf seinen Öl-, Protein- und Saccharosegehalt hin analysiert, um der Frage nachzugehen: Ist es möglich, den natürlichen Saccharosegehalt in der Sojabohne in diesen drei Populationen züchterisch zu steigern?

Die gemessenen Saccharosegehalte schwankten in einem weiten Bereich von 3-8 g/kg und unterlagen wie auch die anderen Qualitätsmerkmale signifikanten Jahres- und Genotyp-Effekten. Die Heritabilität des Saccharosegehaltes (h^2) zwischen 85% und 87% läßt in zwei der drei Populationen einen Selektionserfolg erwarten, in der dritten Population liegt sie aufgrund offenbar fehlender genetischer Variabilität nur bei 9.7%.

Signifikante phänotypische Korrelationen ($p < 0.001$) zeigten einen positiven Zusammenhang zwischen dem Öl- und dem Saccharosegehalt ($r = 0.471$ und $r = 0.649$; über alle Jahre); da jedoch ein hoher Ölgehalt in der Sojadrinkproduktion nicht erwünscht ist, fällt eine direkte Selektion auf Ölgehalt aus. Eine hohe negative Korrelation zwischen Zucker- und Proteingehalt ($r = -0.820$, $r = -0.738$; jeweils über alle Jahre) erschwert zudem die gleichzeitige Selektion auf diese beiden für den Lebensmittelbereich wichtigen Qualitätsmerkmale.

Insgesamt zeigte sich, daß in zwei der drei zuvor noch nie auf Saccharose selektierten Populationen eine Erhöhung des Zuckergehaltes möglich ist; dadurch können Genotypen erhalten werden, die eine Geschmacksverbesserung bei daraus hergestellten Sojaprodukten zulassen.

Abstract

In recent years, domestic production of soybean (*Glycine max* [L.] Merr.) in Austria has increased, although production does not meet the high demand of food and feed production. In soyfood production for soy drinks, whole beans are utilized, which can have negative effects on product taste due to the so called “beany” and “grassy” flavour. In order to overlay this unwanted taste, sugar is added during processing. Therefore, selection for increased natural sucrose content could be a new breeding goal contributing to improved taste of soybean products.

Three experiments consisting of 30-50 genotypes each were grown over four to five years in the Marchfeld region of Austria. Field experiments were harvested and soybeans were analysed for seed protein, oil and sucrose content using near-infrared reflectance spectroscopy. The main objective of this research was to evaluate whether selection for increased natural sucrose content would be feasible in these three populations.

Soybean sucrose content varied in a wide range from 3-8 g/kg and was significantly affected by seasonal and genetic effects. Heritability (h^2) of sucrose content was between 85% and 87% for two out of three populations, whereas it was only 9.7% for the third population suggesting a low degree of genetic variation in that particular population.

Significant phenotypic correlations ($p < 0.001$) revealed a positive relationship between oil and sucrose content ($r = 0.471$ and $r = 0.649$ for two populations across all years). In contrast, the correlation between sucrose and seed protein content was highly negative ($r = -0.820$ and $r = -0.738$ across all years) which limits the simultaneous increase of both characters in selection for food grade quality.

The results demonstrate that in two out of three unselected soybean populations, an increase in the level of sucrose appears feasible. Thus, genotypes could be selected suitable for soy food processing with improved taste of products.

1 Einleitung

1.1 Sojaprodukte und -produktion

Sojabohnen (*Glycine max* L. [Merr.]) sind in vielen Lebensmitteln enthalten und werden auch im Non-Food-Bereich stark genutzt. Die jeweiligen Verarbeitungsprozesse trennen sich nach Sojaprotein, -öl und ganzen Bohnen. Angefangen vom Sojaöl, das in Salatölen, Mayonnaisen, Shampoos, Insektiziden, Plastik usw. zu finden ist, bis zum Sojaprotein, das unter anderem verwendet wird in: Tierfutter, Backzusätzen, Nudeln, Sperrholzplatten, Antibiotika und Linoleum; die ganze Sojabohne ist in Lebensmitteln wie Sojadrinks, Tofu, Miso, Natto, Sufu, Sojasauce, Sojamehl, Tempeh und Sojasprossen (Endres, 2001).

Der Schwerpunkt der Pflanzenzüchtung liegt auf der Entwicklung von Sorten mit einem hohen Öl- bzw. Proteingehalt. Zunehmend werden auch andere Inhaltstoffe interessant, wie Trypsininhibitoren, die die Verdauung von rohen Sojabohnen hemmen. Weitere Beispiele sind Isoflavone und Saponine, die eine gesundheitsfördernde Wirkung besitzen. Soja wird in der Medizin, der Industrie und der Lebensmittelbranche eingesetzt, und die Pflanzenzüchtung versucht mit entsprechenden Sorten auf diese verschiedenen Anforderungen zu reagieren.

Tabelle 1 Sojabohnenerzeugung, -verwendung und -Verarbeitung in Österreich (Agrarmarkt Austria, 2010 erstellt von Statistik Austria, 2011)

	1997/98	1999/00	2000/01	2004/05	2008/09
Erzeugung [t]	33.477	50.449	32.843	44.824	54.095
Inlandsverwendung [t]	34.954	17.423	24.364	41.573	117.377
Futter [t]	24.090	6.667	13.108	30.085	86.222
Saat [t]	1.602	1.243	1.307	2.143	2.532
Verarbeitung [t]	--	--	--	3.000	15.000
Nahrungsverbrauch [t]	7.923	8.000	8.964	5.000	12.000
Pro-Kopfverbrauch [kg]	1	1	1,1	0,6	1,4
Selbstversorgungsgrad [%]	96	290	135	108	46

Der Soja-Nahrungsmittelverbrauch ist in Österreich seit 1997 bis 2009 um 151% (Tabelle 1) gestiegen, auch die Sojaproduktion hat in diesem Zeitraum ein Plus von 162%, und die inländische Verarbeitung steigerte sich seit 2005 um 500% (Agrarmarkt Austria, 2010). Die Anbaufläche 2010 hat sich gegenüber 1997 mit 34.221ha mehr als verdoppelt (Agrarmarkt Austria, 2011) (Abbildung 1) und

dennoch beträgt der Selbstversorgungsgrad nur noch 46% (Tabelle 1) (Agrarmarkt Austria, 2010). Diese Situation bietet den österreichischen Landwirten die Möglichkeit, ihre Fruchtfolge um eine Marktfrucht zu erweitern. Gleichzeitig stellt sich die Frage an die Pflanzzüchter, ob der Zuckergehalt in der Sojabohne züchterisch beeinflussbar ist, denn der Zucker beeinflusst den Geschmack der Sojaprodukte positiv. Dieser süßen Frage wird in dieser Masterarbeit nachgegangen.

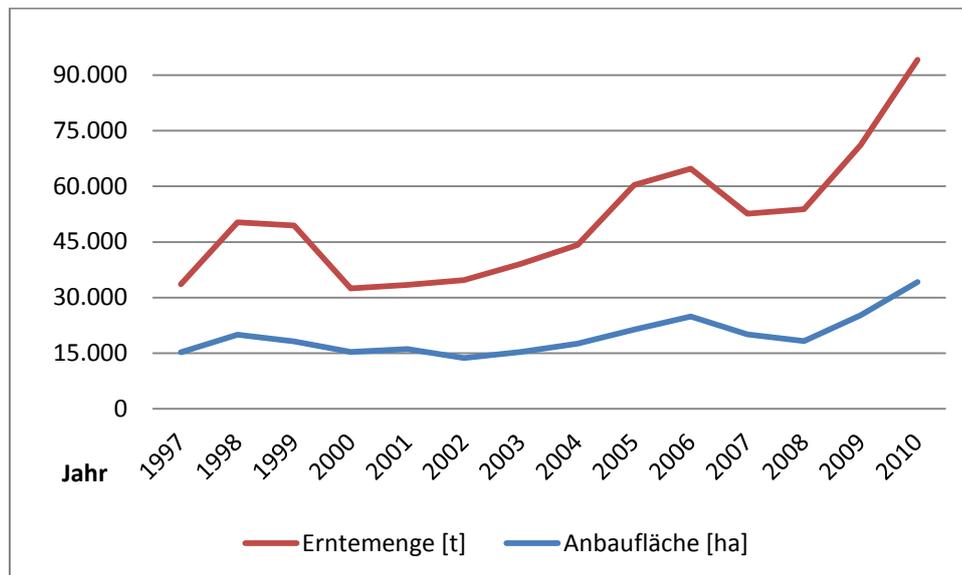


Abbildung 1: Die Entwicklung der Sojaproduktion in Österreich von 1997 bis 2010 in Anbaufläche [ha] und Erntemenge [t] (Agrarmarkt Austria, 2011).

1.2 Geschmack

Geschmack entwickelt sich regional, so beschreiben Europäer orientalische hergestellte Sojamilch (kalt vermahlen), als bohlig, grasig und grün (Shurtleff und Aoyagi, 1990), was nur in einem geringen Ausmaß akzeptiert wird. Dieser Fehlgeschmack wird durch Enzyme (Lipoxygenase) ausgelöst und lässt sich durch verschiedene Herstellungsverfahren (Heißvermahlung, ILLINOIS-Methode) reduzieren (Shurtleff und Aoyagi, 1990). Ebenso werden Sojadrinks in verschiedenen Geschmacksrichtungen (flavored), wie zum Beispiel Vanille, Schokolade und Erdbeere angeboten. Was all diesen flavored Sojadrinks gemeinsam ist, ist der hohe Gehalt an zusätzlichem Zucker. Ein handelsüblicher naturbelassener Sojadrink hat zumeist ein Verhältnis von 4:2:3 an Protein, Öl und Zuckern. Flavored Sojadrinks hingegen weisen einen reduzierten Protein- und Ölanteil und durch Zuckerzusatz einen doppelt so hohen Zuckergehalt, im Verhältnis von 2:1:6 (P:Ö:Z)¹, auf.

Zucker wandelte sich vom sparsam eingesetzten Gewürz über ein Statussymbol des Adels zu einem Konservierungs- und Lebensmittel im späten 19. Jahrhundert zu einem Massenprodukt der

¹ Berechnet laut Nährwertangaben von Sojadrinks der Hersteller: Mona Naturprodukte GmbH, Alpro GmbH und Alnatura Produktions- und Handels GmbH.

Jetztzeit (Reichel, 2002). Viele Speisen und Getränke werden zusätzlich gesüßt, und so stieg der jährliche Zuckerverbrauch pro Kopf in Österreich seit 1955 um 6kg auf 38kg im Jahr 2008 (Statistik Austria, 2009), dieser Anstieg ist auch weltweit zu sehen (Tabelle 2) (Südzucker AG, 2008).

Ein höherer natürlicher Zuckeranteil in der Sojabohne kann sich ebenso positiv auf den Geschmack oder die Produktion (Fermentation) anderer Sojaprodukte auswirken. Was die Bedeutung von natürlichem Zucker in der Sojabohne nur noch steigert.

Tabelle 2: Zuckerverbrauch von 1962 bis 2006 in Kilogramm pro Kopf und Jahr in verschiedenen Regionen (Südzucker AG, 2008).

Länder	1962	2005	2006
Europa	30,7	35,0	36,1
Nordamerika	43,9	29,9	29,6
Mittelamerika	28,7	42,2	42,0
Südamerika	31,0	44,0	44,7
Asien	5,3	15,1	14,5
Afrika	9,5	14,6	14,4
Ozeanien	50,9	39,8	39,5
Welt	15,9	21,3	21,3

1.3 Pflanzenzüchtung

Die Pflanzenzüchtung versucht nun auf diesen süßen Trend zu reagieren und den natürlichen Zuckeranteil zu erhöhen. Dabei wird besonderes Augenmerk auf die Saccharose gelegt, die den größten Anteil am Gesamtzuckeranteil in der Sojabohne aufweist (Hou et al., 2009). Die Sojabohne hat, gemessen an ihrer Trockenmasse, einen Saccharosegehalt von ca. 6% und einen Gesamtzuckeranteil von 16% (Hymowitz und Collins, 1974) (Abbildung 2).

Die Beeinflussung der Sojainhaltsstoffe durch Umwelteinflüsse erschwert die Selektion, eine hohe Heritabilität erleichtert hingegen die Planung weiterer Züchtungsschritte. Openshaw und Hadley (1981) fanden eine 93%ige Heritabilität für den Gesamtzucker und Cisek et al. (2006) berechneten in ihrem Versuch eine vielversprechende Saccharose-Heritabilität von 87%, die Heritabilität von Raffinose und Stachyose fiel mit 42% und 66% deutlich geringer aus, außerdem sind diese beiden Zucker für Mensch und Tier oft schwerverdaulich und deshalb unerwünscht.

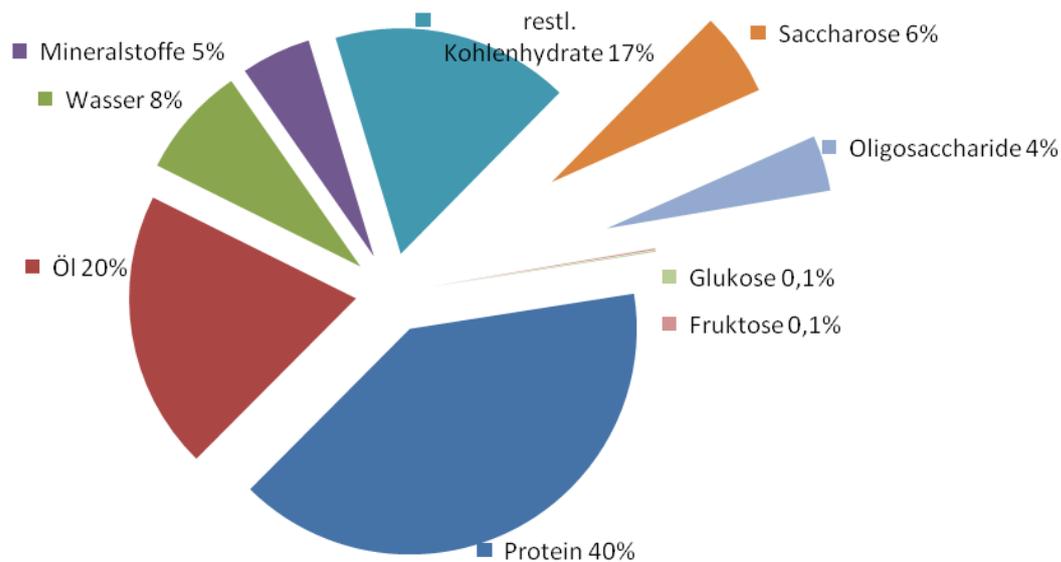


Abbildung 2: Inhaltsstoffe der Sojabohne (%-Anteil an der Trockenmasse).

In verschiedenen Untersuchungen wurden Korrelationen zum Zuckergehalt betrachtet, die eventuell für eine indirekte Selektion genutzt werden können, oder einen negativen Einfluss auf die Hauptinhaltsstoffe haben. Ein solch negativer, signifikanter Einfluss besteht im Zusammenhang mit dem Protein bei Hymowitz et al. (1972), mit einem Korrelationskoeffizienten von $r=-0,38^{**}$, außerdem bei Hartwig et al. (1997) mit $r=-0,78^{**}$, Hou et al. (2009); Miller und Fehr (1979); Openshaw und Hadley (1981); und bei Geater und Fehr (2000) mit $r=-0,73^{**}$, hier allerdings erst nachdem Geater und Fehr (2000) kleinkörnige Genotypen aus den Berechnungen nahmen.

Ein weiteres wichtiges Merkmal ist der Ölgehalt. Einige Versuche zeigten eine signifikante positive Korrelation zwischen Saccharose und Öl, so bei Hymowitz et al. (1972) mit $r=0,42^{**}$ (Öl und Gesamtzucker $r=0,26^{**}$) und Hartwig et al. (1997) mit $r=0,67^{**}$. Openshaw und Hadley (1981) fanden bei einer von zwei untersuchten Populationen eine positive Korrelation von $r=0,21^{**}$ sowie bei einem späteren Versuch (Openshaw und Hadley, 1984) einen Korrelationskoeffizient von $r=0,42^{**}$. Bei Geater and Fehr (2000) korreliert der Gesamtzucker mit dem Ölgehalt positiv ($r=0,23$), aber nicht signifikant (ohne kleinkörnige Sorten). Inklusiv der kleinkörnigen Sojasorten waren bei Geater und Fehr (2000) der Gesamtzucker und das Öl signifikant negativ korreliert ($r=-0,42^*$), bei Kim et al. (2005) zeigte sich ein negativer Zusammenhang mit den Oligosacchariden ($r=-0,554^{**}$) und der Saccharose ($r=-0,473^{**}$). Das negative Ergebnis von Geater and Fehr (2000) ist insofern interessant, da sich bei Hou et al. (2009) eine starke positive Bindung zwischen Gesamtzucker und Saccharose ergab ($r=0,82^{**}$), ebenso bei Hymowitz et al. (1972) mit $r=0,85^{**}$. Das Qualitätsmerkmal Öl+Protein (Ö+P) korreliert mit dem Gesamtzucker signifikant negativ mit $r=-0,81^{**}$ bei Geater und Fehr (2000) und $r=-0,32^{**}$ bzw. $r=-0,39^{**}$ bei Openshaw and Hadley (1984).

Die Zuckerarten Saccharose und Raffinose korrelieren positiv mit $r=0,66^{**}$ (Tabelle 3) in Hou et al. (2009), negativ korrelierten Glucose/Fruktose/Stachyose und Saccharose ($r=-0,68^{**}$). Bei Cisek et al. (2006) korreliert die Raffinose nur an einem von zwei Standorten positiv mit der Saccharose ($r=0,31^{**}$) und die Stachyose an beiden ($r=0,27^{**}$; $r=0,26^{**}$). Ein weiterer negativer Zusammenhang besteht zwischen Öl und Protein; so bei Hymowitz et al. (1972) mit $r=-0,63^{**}$; $r=-0,65^{**}$ sowie $r=-0,80^{**}$ bei Openshaw and Hadley (1984).

Tabelle 3: Positive und negative Korrelationen zwischen den einzelnen Zuckern der Sojabohne (Hou et al., 2009).

	Glukose	Fruktose	Saccharose	Raffinose	Stachyose	Gesamtzucker
Glukose	–	0.99 ^{**}	– 0.68 ^{**}	– 0.59 ^{**}	– 0.63 ^{**}	– 0.27 ^{**}
Fruktose		–	– 0.68 ^{**}	– 0.59 ^{**}	– 0.59 ^{**}	– 0.24 ^{**}
Saccharose			–	0.66 ^{**}	– 0.68 ^{**}	0.82 ^{**}
Raffinose				–	0.68 ^{**}	0.64 ^{**}
Stachyose					–	0.73 ^{**}
Gesamtzucker						–

^{**}Signifikant auf dem Niveau $p<0,001$

Andere Korrelationen beziehen sich auf agronomische Merkmale, wie Wuchshöhe, Reifezeit oder Korngröße. So ermittelten Hou et al. (2009) in den verschiedenen Reifegruppen unterschiedliche Zuckergehalte. In der Reifegruppe III war eine höhere Konzentration an Zucker als in den Gruppen IV und V zu finden. In Cisek et al. (2006) korreliert die Reifezeit am ersten Versuchsstandort mit $r=0,12^*$ signifikant mit dem Gehalt an Saccharose (2. Standort n.s. $r=0,02$) (Tabelle 4).

Die Wuchshöhe ist an beiden Anbauorten von Cisek et al. (2006) signifikant positiv mit dem Saccharosegehalt verbunden $r=0,30^{**}$; $r=0,33^{**}$ genauso wie der Ertrag ($r=0,49^{**}$; $r=0,58^{**}$) und das Korngewicht ($r=0,36^{**}$; $r=0,41^{**}$). Da die Saccharose-Rangreihung der einzelnen Genotypen in den beiden Versuchen stabil ist, schließen Cisek et al. (2006) die Möglichkeit nicht aus, spezielle Genotypen für bestimmte Anbauregionen zu entwickeln. Um den Zuckergehalt indirekt zu erhöhen, empfehlen Cisek et al. (2006) ein höheres Korngewicht zu selektieren, um damit großkörnige Sojasorten für die Tofu- und Sojamilchproduktion zu erhalten.

Der Gehalt an Öl+Protein hat sich in Untersuchungen als korngößenunabhängig mit $r=0,05$ erwiesen und wird von Geater and Fehr (2000) zur indirekten Selektion empfohlen. Miller und Fehr (1979) zielten auf einen höheren Proteingehalt, mit dem Ergebnis, dass sich bei einer direkten Selektion, die Öl- und Kohlenhydratmenge reduzierte und bei einer indirekten Selektion (auf niedrige Ölmenge oder mittlere Reifezeit) sich nur der Ölgehalt verringerte.

Tabelle 4: Korrelationskoeffizient nach Pearson. Population aus der Kreuzung von V71-370 und PI 407162 angebaut in Warsaw (VA, USA) 1999 aus Cisek et al. (2006).

	Wuchshöhe [cm]	Blattlänge [cm]	Blattbreite [cm]	Ertrag [g]	Saccharosegehalt [g/kg]	Raffinosegehalt [g/kg]	Stachyosegehalt [g/kg]	Korngewicht [mg/Korn]
Reifezeit [d]	0.52***	0.08	0.13*	0.32***	0.12*	-0.33***	0.08	0.10
Wuchshöhe [cm]		0.25***	0.28***	0.49***	0.30***	-0,07	0.05	0.36***
Blattlänge [cm]			0.70***	0.20**	0.10	0.08	0.00	0.15**
Blattbreite [cm]				0.19**	0.06	0.05	0.03	0.16**
Ertrag [g]					0.39***	0.01	0.03	0.36***
Saccharoseg. [g/kg]						0.08	0.27***	0.36***
Raffinoseg. [g/kg]							0.02	0.01
Stachyoseg. [g/kg]								0.11

Auch die Umweltbedingungen haben teilweise große Einflüsse auf die Zusammensetzung der Inhaltsstoffe der Sojabohne. Bei Vollmann et al.(2000) förderten die geringen Niederschläge und die hohen Temperaturen während des Versuchszeitraums die Proteinsynthese. Bei einer gleichbleibenden Wasserversorgung und hohen Temperaturen steigt der Protein- sowie der Ölgehalt. Hou et al. (2009) vermuten ebenso auch einen Zusammenhang zwischen Umwelteinflüssen und dem Zuckerertrag, die sie aber in ihrer Studie nicht näher benennen konnten.

2 Material und Methoden

2.1 Versuche

2.1.1 Standort

Die Versuche wurden an der Versuchswirtschaft der Universität für Bodenkultur durchgeführt. Die Versuchswirtschaft liegt am östlichen Rand von Wien, in Großenzersdorf, im Marchfeld. Das pannonische Klima und der Ackerbau sind für das Marchfeld charakteristisch. Die trockenen heißen Sommer sowie die schneearmen kalten Winter sind bezeichnend. Die Jahresmitteltemperatur liegt bei 9,8°C, und der Niederschlag summiert sich im Mittel auf 550mm pro Jahr. Die Landschaft in östlichen Weinviertel ist eben und vom Ackerbau geprägt. Die besten Voraussetzungen haben hier die Premiumweizen- und Feldgemüseproduktion.

Der Boden ist ein sandig-lehmiger Tschernosem mit einer Gründigkeit von 60cm bis 90cm. Tschernosem neigt bei starken Niederschlägen zur Verschlammung und ist der Winderosion stark ausgesetzt. Dieser kalkhaltige Boden hat einen pH von 7 und eine gute Wasserspeicherkapazität. Seit 2007 werden die Versuche in Großenzersdorf auf dem gleichen Versuchsfeld in Monokultur angebaut. 2006 war der Standort im sechs Kilometer entfernten Raasdorf, ebenfalls ein tiefgründiger sL Tschernosem.

Die monatlichen Niederschlagssummen 2010, von April bis September, reichen von 54mm bis 143mm (Abbildung 3) und erreichen bis September 527mm, gefolgt von den Jahren 2008 (509mm)>2007 (434mm) >2006 (328mm)>2009 (309mm). 2009 hat eine große, monatliche Niederschlagsspanne von 0,2mm bis 126mm, mit der Spitze von 109mm in der 25. Kalenderwoche. Im Jahr 2008 sind die Niederschläge zwischen Mai und Ende Juli mit 125mm bis 130mm gleichmäßig hoch. Im Temperaturmittelvergleich ist 2009 das wärmste Jahr mit 17,9°C (2007: 17,6°C, 2006: 17,3°C, 2008: 16,9°C) und 2010 ist das kühlfste mit 16,6°C (Abbildung 4). 2008 steigert sich von April (11°C) bis Juni (20°C) stetig um ca. 4°C und bleibt im Juli (20°C) im Gegensatz zu den anderen Jahren unter 21°C (2006 23°C, 2010 22°C).

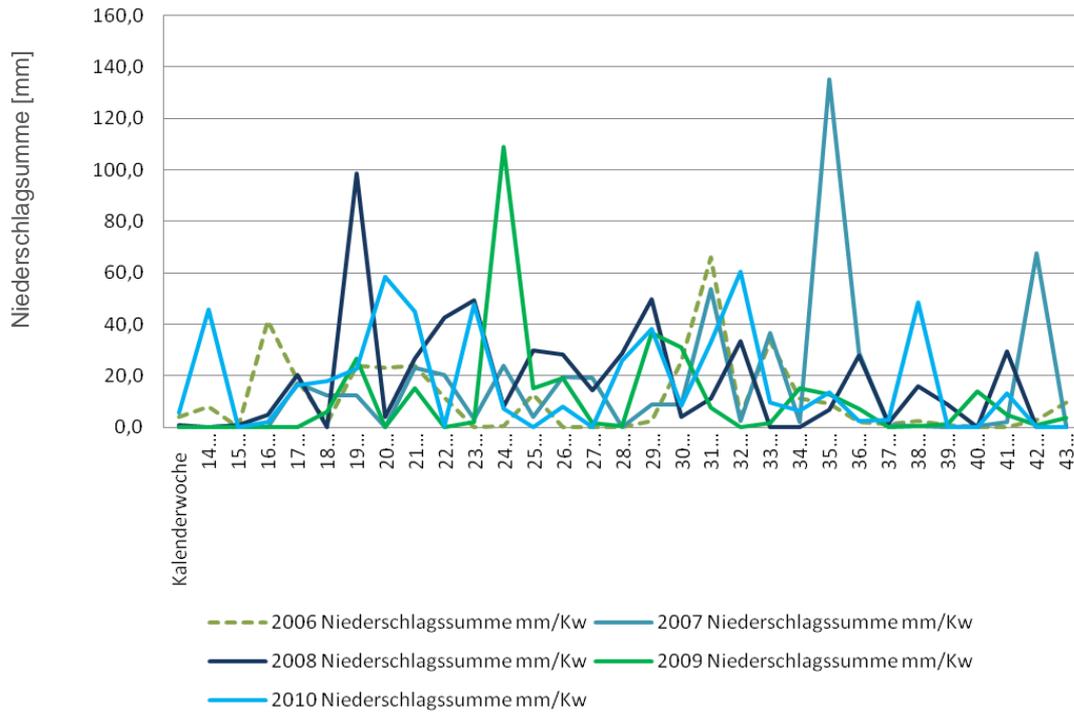


Abbildung 3: Niederschlagssummen von April bis Oktober von 2006 bis 2010.

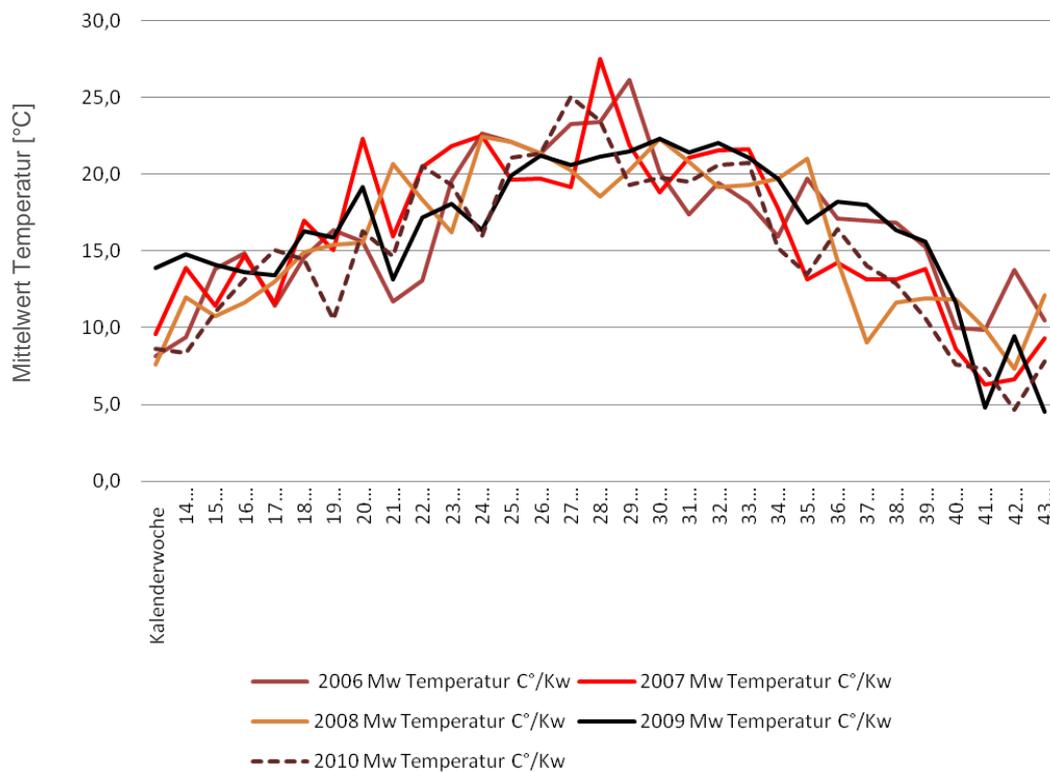


Abbildung 4: Temperaturmittel von April bis Oktober von 2006 bis 2010.

2.1.2 Versuchsanlage

Die drei Versuche ProtScreen_2, LowOil und GG3X_epi wurden von 2006-2010 (Umwelt 1 bis 5) in jeweils balancierten Gitteranlagen mit je zwei Wiederholungen geplant. Diese Gitteranlagen mit ihren Teilblöcken wurden jedes Jahr neu randomisiert, um Nachbareffekte auszuschließen.

2.1.3 Sojasorten

Versuch 1: ProtScreen2 (PS2) ist mit seinen 50 Genotypen der umfangreichste und wurde ursprünglich auf einen hohen Proteingehalt selektiert (Tabelle 5).

Versuch 2: LowOil wurde auf einen geringen Ölgehalt selektiert und beinhaltet nun 36 Genotypen (Tabelle 6).

Der dritte Versuch GG3X_epi wurde auf ein hohes sowie ein niedriges Tausendkorngewicht selektiert und hat als Elterngeneration die Muttersorte Maple Belle und die Vatersorte Proto. GG3X_epi umfasst von 2006 bis 2010 30 Linien (Tabelle7).

Tabelle 5: Versuch ProtScreen_2 mit 50 Genotypen.

Versuch 3 ProtScreen2							
Nummer	Genotyp	Nummer	Genotyp	Nummer	Genotyp	Nummer	Genotyp
1	GE26X-915-2-4	14	GF4X-21-5-4	27	GH3X-15	40	GL10
2	GF2X-24-4-4	15	GH28X-27	28	GG2X-242-1	41	GL11
3	GF2X-9-2-2	16	GH13X-1-4	29	GH12X-891-2	42	GL12
4	GF2X-9-2-3	17	GH17X-23-1	30	Sundance	43	GL13
5	GF4X-21-5-2	18	GH17X-23-3	31	GLS 2	44	GL14
6	GF2X-24-5-2	19	GH17X-23-4	32	GLS 3	45	Gallec
7	GF2X-9-1-3	20	GG2X-45-2	33	GLS 4	46	OAC Erin
8	GF2X-9-1-4	21	GF11X-2-4	34	GLS 7	47	Essor
9	GF2X-9-1-7	22	GG2X-30-2	35	GLS 8	48	Apache
10	GF4X-21-1-1	23	GH12X-928-3	36	GLS 9	49	Cardiff
11	GF4X-21-1-2	24	GH12X-906-3	37	GLS 10	50	Lambton

Tabelle 6: Versuch LowOil mit 36 Linien.

Versuch 2 LowOil					
Nummer	Linie	Nummer	Linie	Nummer	Linie
1	GI8X-70-3-3	13	GH7X-19	25	GG2X-27-5
2	GI8X-76-2-1	14	GH13X-4	26	GH17X-1-5
3	GH22X-31-6-1-3	15	GH30X-18	27	GH17X-22-2
4	GK5X-1-2	16	GG2X-13	28	GH17X-1-1
5	GK5X-3-1	17	GH5X-9	29	GF2X-9-2-2
6	GK5X-3-2	18	GH13X-22	30	GF2X-9-1-7
7	GK5X-3-8	19	GH31X-15	31	GH17X-23-4
8	AC Proteus	20	GH7X-1-2	32	GG2X-30-2
9	GI13X-105	21	GG2X-43-1	33	GH12X-891-2
10	G357	22	GH17X-23-5	34	Proto
11	G355	23	GH17X-1-2	35	Ceresia
12	G384	24	GH12X-891-3	36	M6X-89

Tabelle7: Versuch GG3X_epi mit 30 Linien. Eltern Kreuzung Maple Belle x Proto.

Versuch 1 GG3X_epi					
Nummer	Linie	Nummer	Linie	Nummer	Linie
1	Ma.Belle	11	15-1	21	71-1
2	Proto	12	50-3	22	36-1
3	79-7	13	66-1	23	56-6
4	9-5	14	63-7	24	60-5
5	9-7	15	75-5	25	79-8
6	47-7	16	36-3	26	33-1
7	27-2	17	55-6	27	39-2
8	6-1	18	43-4	28	26-8
9	9-4	19	36-5	29	5-4
10	9-1	20	18-2	30	41-6

2.1.4 Versuchsdurchführung und Kultivierung

Die Versuche wurden Ende April ab einer Temperatur von ca. 10°C im Drillverfahren angebaut. Die Einzelreihen sind je zwei Meter lang und in einem Abstand von 50cm abgelegt (50Körner/m²). Die Versuchsfelder wurden chemisch durch ein Voraufmitttel und mechanisch unkrautfrei gehalten.

Die Ernte erfolgte zur natürlichen Abreife im September/Okttober mit einem Parzellenmähdrescher. Die Sojabohnen wurden anschließend bei Zimmertemperatur nachgetrocknet.

2.2 Analysemethoden und untersuchte Merkmale

2.2.1 Nah-Infrarot-Reflexions-Spektroskopie

Mit der Nah-Infrarot-Reflexions-Spektroskopie (NIRS) werden in einem Wellenbereich von 800nm bis 2600nm die Inhaltsstoffe Öl, Protein und Zucker auf ihre Anteile bestimmt. Bei dieser Wellenlänge wird das Infrarotlicht von organischen Verbindungen absorbiert und reflektiert, so dass für jeden Inhaltsstoff spezifische Spektren an Absorptionsbanden entstehen (Wandl, 2004). Die Öl-, Protein- und Zuckergehalte werden dann mit linearer Regression und dem Inhaltsstoff entsprechender Kalibrierung ermittelt.

Für die NIRS-Analyse müssen die Sojabohnen fein vermahlen werden. Jede Probe wird zweimal gemessen, wobei die Probe nach der ersten Messung um 90° gedreht und erneut analysiert wird, um zufällige Messfehler zu minimieren.

Für die NIRS-Messungen wurden das Spektrometer Bruker Matrix-1 und die Software OPUS/LAB (beides: Bruker Optics, Ettlingen, Deutschland) verwendet. Die Labormühle ist die Cyclotec von Tecator Incorporated.

2.2.2 Öl- und Proteingehalt

Öl- und Proteingehalt sind in g/kg Trockenmasse angegeben und wurden mit NIRS ermittelt.

2.2.3 Saccharosegehalt

Der Saccharosegehalt wird in g/100g im Bezug auf die Trockenmasse angegeben und wurde ebenfalls mit der beschriebenen Nah-Infrarot-Reflexions-Spektroskopie analysiert.

Die Saccharosekalibration für die NIRS-Analyse wird von Vollmann et al. (2011) jedes Jahr mittels Referenzproben und Artificial reference samples (Referenzproben mit Saccharosezusatz) aktualisiert. Vollmann et al. (2011) schätzen die Genauigkeit für Selektionszwecke als ausreichend ein.

2.2.4 Tausendkorngewicht

Als Grundlage für das Tausendkorngewicht (TKG) dient das Gewicht (in g) eines jeden Genotyps von 2x100 Sojabohnen.

2.2.5 Agronomische Merkmale

Äußere Pflanzenmerkmale liefern weitere Daten, die eventuell für eine Selektion auf den Zuckergehalt verwendet werden können.

Tabelle 8: Übersicht der erhobenen Daten.

Versuch	PS_2	LowOil	GG3X_epi
<i>Umwelt</i>			
Reifezeit	1,2,4	1,4	.
Wuchshöhe	1,2,4	4	.
Hülsenplätzen	.	4	.
Hülsenansatz	1,2,4	4	.
	. keine Daten		

- Die Reifezeit bezieht sich auf die Anzahl der Tage [d] nach dem 31.Juli jedes Jahres bis zur Erntereife.

- Die Wuchshöhe ist die Pflanzenhöhe in Zentimeter [cm].

- Hülsenansatz und –plätzen wurden mit einer Skala von 1 bis 5 bonitiert.

2.3 Statistik

Mit der Software Excel 2007 (Microsoft Corporation, USA) wurden die Daten aufgearbeitet und die Statistik mit Hilfe von SPSS 15 (IBM Corporation, USA) und SigmaPlot (Systat Software Incorporation, USA) berechnet. Die Feldversuche wurden mit PLABSTAT (Utz, 2005) in randomisierte Gitteranlagen mit Teilblöcken angelegt.

Die meisten Versuchsergebnisse entsprechen nicht der geforderten Normalverteilung und/oder sind nicht homogen, deshalb wurden für die univariate Auswertung nicht-parametrische Tests mit Rängen verwendet. Diese Ränge basieren auf dem mittleren Rang des H-Tests (Kruskal-Wallis-Test) und damit auf dem Median und die Korrelationen wurde mit Spearman-Rho berechnet.

Die multivariate Faktorenanalyse veranschaulicht Korrelationen, auch wenn diese nicht signifikant ($p < 0,05$) sein sollten. Sie zeigt die möglichen Einflüsse, die zum Beispiel Niederschlag, Temperatur auf den Zuckergehalt haben und verdeutlicht die jährlichen Unterschiede. Alle in der Faktorenanalyse zusammengefassten Komponenten haben einen Eigenwert von > 1 und beschreiben mit mindestens 66% die Daten von GG3X_epi und mit über 80% die beiden anderen Versuche: ProtScreen_2 und LowOil.

3 Ergebnisse

3.1 Experiment ProtScreen_2

3.1.1 Heritabilität

Die Heritabilität des Zuckers in Versuch PS_2 beträgt 85,8% und ist damit sehr hoch. Das Merkmal Öl hat hier die höchste Heritabilität mit 90,2%, das Merkmal Protein hat 85,2% und das Tausendkorngewicht hat 83,1%.

3.1.2 Öl- und Proteingehalt, Tausendkorngewicht und weitere Merkmale

Die Umwelten 1 bis 5 unterscheiden sich signifikant im Öl- und Proteingehalt sowie in Öl+Protein, Tkg, Reifezeit und Wuchshöhe (Tabelle 9 und Tabelle 10) voneinander ($p < 0,001$). Die Genotypen im Versuch PS_2 unterscheiden sich in allen genannten Parametern ($p > 0,01$), außer im Proteingehalt ($p = 0,312$) (Tabelle 12). Umwelt 3 hat mit einem Mittelwert von 233,08 g/kg die höchsten Ölwerte. Protein, Öl+Protein und Tkg sind in Umwelt 5 am stärksten ausgeprägt. Um 10 Tage früher reif wurden die Sojabohnen in Umwelt 2 (Tabelle 10), und ca. 15cm höher gewachsen sind die Pflanzen in Umwelt 1.

Tabelle 9: Rangfolge und Mittelwerte der Hauptparameter sortiert nach Umwelten 1 bis 5 (H-Test).

Umwelt	Ölgehalt**		Protein- gehalt**		Öl+Protein- gehalt**		Tausend- korngewicht**	
	Mw [g/kg]	Rang	Mw [g/kg]	Rang	Mw [g/kg]	Rang	Mw [g]	Rang
1	175,5	4	368,7	3	544,2	4	160	2
2	187,7	3	379,4	2	567,0	2	158	3
3	233,1	1	298,5	5	531,6	5	133	4
4	229,9	2	325,7	4	555,6	3	128	5
5	161,7	5	431,2	1	592,9	1	183	1

** auf dem Niveau $p < 0,001$ signifikant
Gruppenvariable: Umwelt
Mw Mittelwert

Tabelle 10: Rangfolge und Mittelwerte von Reifezeit, Hülsenansatz und Wuchshöhe sortiert nach Umwelten (H-Test).

Umwelt	Reifezeit**		Hülsenansatz		Wuchshöhe**	
	Mw[d]	Rang	Mw	Rang	Mw[cm]	Rang
1	49,0	1	3,0	1	81,4	1
2	40,0	3	2,9	2	66,3	2
3	.	.	.	.	.	.
4	43,7	2	2,8	3	.	.
5	.	.	.	.	.	.

** auf dem Niveau $p < 0,001$ signifikant
 Gruppenvariable: Umwelt
 Mw Mittelwert
 . keine Daten

3.1.3 Saccharosegehalt

Die Tabelle 11 enthält die Genotypen gereiht nach ihrem Saccharosegehalt. Der Genotyp GH12X-906-3 ist an erster Stelle mit einem Mittelwert von 7,17 g/100g, dem gegenüber stehen der 16.Rang im Öl- (Mittelwert 206,0 g/kg) und 47.Rang im Proteingehalt (Mittelwert 336,8) sowie, der 34.Rang des Tkg (Mittelwert 149,9g). Zwischen Rang 9 und 34 befinden sich die Standardsorten Apache, OAC Erin, Essor, Sundance, Cardiff, Lambton und Gallec. Cardiff als Hochproteinsorte liegt mit einem Mittelwert von 356,7gSacc./kg auf dem 20.Rang und beim Protein- bzw. Saccharosegehalt auf Rang 27 (Mittelwert 6,36g/100g). Apache hat einen hohen Zuckergehalt, der sich in einem 9.Rang (Mittelwert 6,66) widerspiegelt. Das Schlusslicht ist GF2X-24-4-4 (Mw 5,31g Zucker/100g), das gleichzeitig den Proteinrang 12 (Mittelwert 381,6g/kg) hat und das zweit niedrigste Tkg (Mittelwert 125,2g) aufweist.

Tabelle 11: Ränge absteigend sortiert nach dem Saccharosegehalt der Genotypen über alle Umwelten (H-Test) sowie Öl-, Protein- und Öl+Proteingehalt sowie Tausendkorngewicht.

Genotyp	Saccharoseg. [g/100g]		Ölgehalt [g/kg]		Proteingehalt [g/kg]		Öl+Proteing. [g/kg]		TKG [g]	
	Rang	Mw	Rang	Mw	Rang	Mw	Rang	Mw	Rang	Mw
GH12X-906-3	1	7,2	16	206,0	47	336,8	41	543,0	34	150
GG2X-276-2	2	7,1	28	193,3	44	342,7	50	536,8	21	157
GG2X-166-4	3	7,1	41	182,4	36	351,4	47	534,9	24	154
GH13X-1-4	4	6,9	25	197,5	34	352,7	37	549,4	14	158
GG2X-30-2	5	6,9	30	189,3	43	347,7	49	535,6	27	155
GH17X-23-3	6	6,9	37	187,0	29	353,6	44	541,3	28	154
GG2X-242-1	7	6,9	23	199,7	46	342,1	46	540,7	5	165
GG2X-45-2	8	6,7	27	191,9	30	353,7	38	546,1	32	151
Apache	9	6,7	17	206,4	32	351,1	30	558,9	7	164
GH17X-23-4	10	6,7	47	180,0	21	361,8	45	541,1	19	157
...					...					
OAC Erin	12	6,6	8	210,0	49	336,0	39	545,7	48	125
Essor	14	6,5	4	219,8	37	348,5	11	568,4	12	160
Sundance	21	6,3	11	209,4	40	349,9	32	559,8	10	166
Cardiff	27	6,4	19	204,2	20	356,7	27	560,4	3	167
Lambton	30	6,3	18	205,6	26	358,0	21	562,6	13	158
Gallec	34	6,2	26	199,6	22	356,2	34	555,5	6	162
...					...					
GF4X-21-1-1	41	5,8	44	181,6	9	384,5	16	564,7	36	150
GF2X-9-2-2	42	5,8	33	189,6	10	385,2	6	575,3	17	156
GF4X-21-5-2	43	5,7	42	183,1	7	385,1	10	568,3	30	152
GF2X-9-2-3	44	5,6	40	182,6	2	393,5	5	575,1	9	161
GF4X-21-1-3	45	5,6	46	182,0	8	384,5	14	567,3	23	155
GF2X-24-5-2	46	5,4	38	186,9	13	375,9	26	562,3	50	122
GF2X-9-1-7	47	5,6	48	178,4	4	392,2	4	571,2	47	134
GL8	48	5,6	24	202,9	16	362,8	13	564,9	31	152
GF2X-9-1-4	49	5,5	49	177,6	1	395,9	3	572,5	42	143
GF2X-24-4-4	50	5,3	34	186,7	12	381,6	15	567,8	49	125

Mw Mittelwert
... Sorten ausgelassen

Tabelle 12: Signifikanzniveau der Genotypen über alle Umwelten im Saccharose-, Öl-, Protein- und Öl+Proteingehalt sowie Tausendkorngewicht, Reifezeit, Hülsenansatz und Wuchshöhe(H-Test).

	Saccharose- gehalt	Öl- gehalt	Protein- gehalt	Öl+ Proteing.	TKG	Reifezeit	Hülsen- ansatz	Wuchs- höhe
Signifikanz [p]	0,000	0,010	0,312	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Gruppenvariable: Genotyp

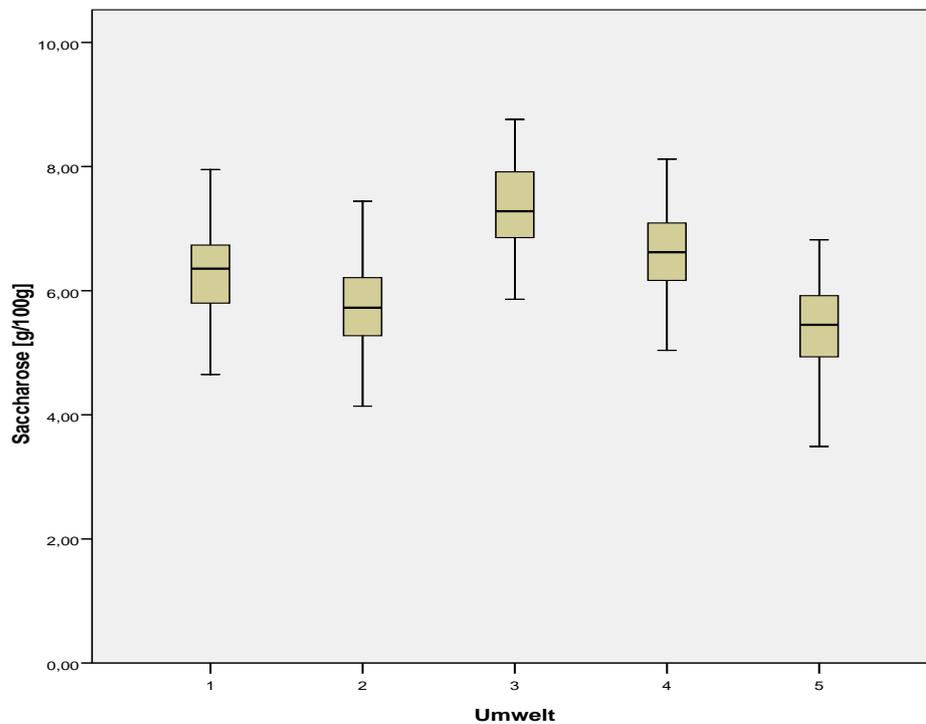


Abbildung 5 Boxplotdarstellung der Saccharosewerte in den fünf Umwelten.

Im Versuch PS_2 unterscheiden sich die fünf Umwelten im Saccharosegehalt eindeutig voneinander und schwanken im Mittel zwischen 5,73 und 7,34g/100g (Abbildung 5). Umwelt 3 weist mit einem Mittelwert von 7,34g/100g den höchsten Wert auf und liegt in der Rangfolge auf Platz 1 gefolgt von U4>U1>U2>U5 (Tabelle 13). Alle Genotypen unterscheiden sich im Saccharosegehalt in den einzelnen Umwelten mindestens mit $p < 0,022$.

Tabelle 13: Rangreihung der Zuckergehalte in den Umwelten 1 bis 5 (H-Test).

Umwelt	Rang	Mittelwert Sacc. [g/100g]
U3	1	7,3
U4	2	6,6
U1	3	6,3
U2	4	5,7
U5	5	5,4

Der Genotyp-Umwelt-Interaktion, der sich durch die unterschiedlichen Saccharosemittelwerte äußert, zeigt sich deutlich ($p > 0,001$) in Abbildung 6, zum Beispiel an Linie GG2X-276-2 (rot), deren Zuckergehalt in Umwelt 1 noch im mittleren Wertebereich liegt und in U3 die meiste Saccharose beinhaltet. Insgesamt liegt GG2X-276-2 damit an zweiter Stelle in der Rangfolge (Tabelle 11). Die signifikant unterschiedlichen Zuckerwerte aus Tabelle 12 können in dieser Abbildung veranschaulicht werden.

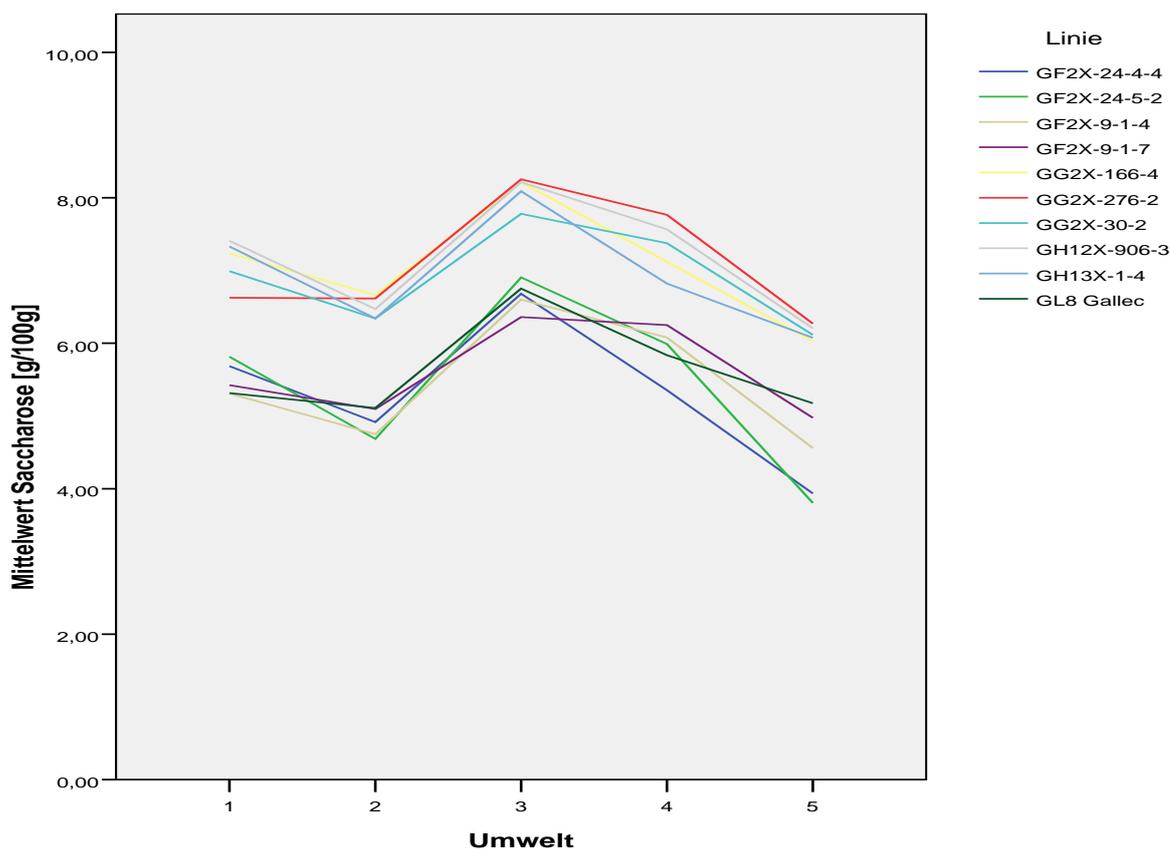


Abbildung 6: Grafische Darstellung des Genotyp-Umwelt-Interaktion an den fünf Linien mit höchstem und niedrigstem Saccharosegehalt.

Saccharose korreliert über alle Umwelten mit dem Proteingehalt stark negativ, der Korrelationskoeffizient reicht von $r = -0,446$ bis $r = -0,755$ (Tabelle 14) und in drei von fünf Umwelten positiv mit dem Ölgehalt ($r = 0,216$ bis $0,425$). Über alle Umwelten korreliert der Zuckergehalt positiv mit dem Ölgehalt ($r = 0,649$), der Reifezeit ($r = 0,361$), der Wuchshöhe ($r = 0,346$) und negativ mit dem Proteingehalt ($r = -0,82$), dem Ö+P ($r = -0,775$) sowie dem Tkg ($r = -0,465$).

Tabelle 14: Korrelation der Saccharose mit den untersuchten Parametern in den fünf einzelnen Umwelten und über alle Umwelten (Spearman-Rho).

	Ölgehalt	Protein- gehalt	Öl+Protein- gehalt	TKG	Reifezeit	Hülsen- ansatz	Wuchs- höhe
Umwelt	<i>Korrelationskoeffizient</i>						
U1	0,399**	-0,671**	-0,545**	0,174	0,306**	0,077	0,141
U2	0,425**	-0,755**	-0,747**	0,177	0,384**	-0,318**	0,153
U3	0,133	-0,446**	-0,596**	0,052	.	.	.
U4	0,182	-0,654**	-0,698**	-0,262**	0,114	-0,113	.
U5	0,216*	-0,513**	-0,514**	0,067	.	.	.
alle U	0,649**	-0,820**	-0,775**	-0,465**	0,361**	-0,104	0,346**

** Die Korrelation ist auf dem 0,01 Niveau signifikant (zweiseitig).

* Die Korrelation ist auf dem 0,05 Niveau signifikant (zweiseitig).

. keine Daten

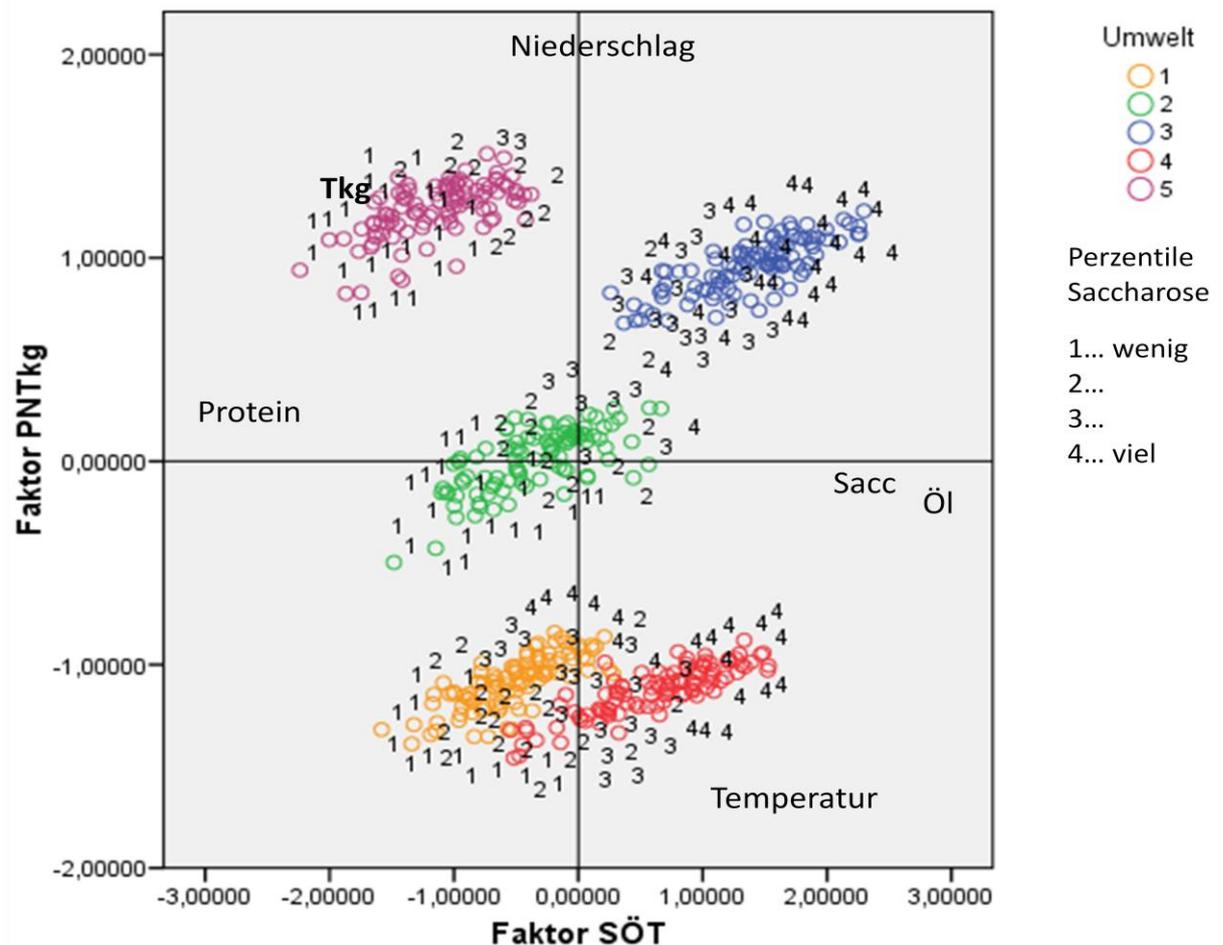


Abbildung 7: Der Saccharosegehalt in Abhängigkeit von zwei Faktoren aufgeteilt in fünf Umwelten. Faktor 1 (SÖT) beinhalten Saccharose-, Ölgehalt und Temperatur. In Faktor 2 (PNTkg) sind Proteingehalt, Tausendkorngewicht und Niederschlag zusammengefasst.

Der Saccharosegehalt in der Faktorenanalyse Abbildung 7 unterscheidet sich durch die Umwelten. Die erste Komponente SÖT umfasst Saccharose-, Ölgehalt und die mittlere Temperatur während der Vegetationszeit. Komponente 2 schließt Proteingehalt, Tausendkorngewicht und die Niederschlagssumme ein. Nach diesem Streudiagramm wirken sich regenreiche Jahre mit 182,6mm und Temperaturmittel unter 16°C negativ auf den Zuckerhalt in der Sojabohne aus. Die Übergänge von Zucker-Perzentil 1 bis 4 zeigen deutlich die Temperatur- und Niederschlagseinflüsse auf. Diese Faktorenanalyse veranschaulicht die Korrelationen der Parameter aus Tabelle 14. Ein Zusammenhang zwischen Temperatur/Niederschlag und Zuckergehalt konnte jedoch nicht eindeutig nachgewiesen werden.

In Abbildung 8 schließt die Faktorenanalyse das Merkmal Reifezeit [d] mit ein. In Umwelt 1 und 2 ist die Reifezeit mit den Zuckerwerten korreliert (Tabelle 14). Umwelt 2 zeigt einen geringeren Saccharosegehalt und nur die Reife-Perzentile 1 bis 3.

In der Faktorenanalyse (Abbildung 9) mit dem Merkmal Wuchshöhe wird augenscheinlich, dass keine Korrelation in den Umwelten 1 und 2 vorliegt. Der signifikanten Korrelation aus Tabelle 14 ($r=0,346$, $p<0,001$) über beide Umwelten kann also nicht vertraut werden.

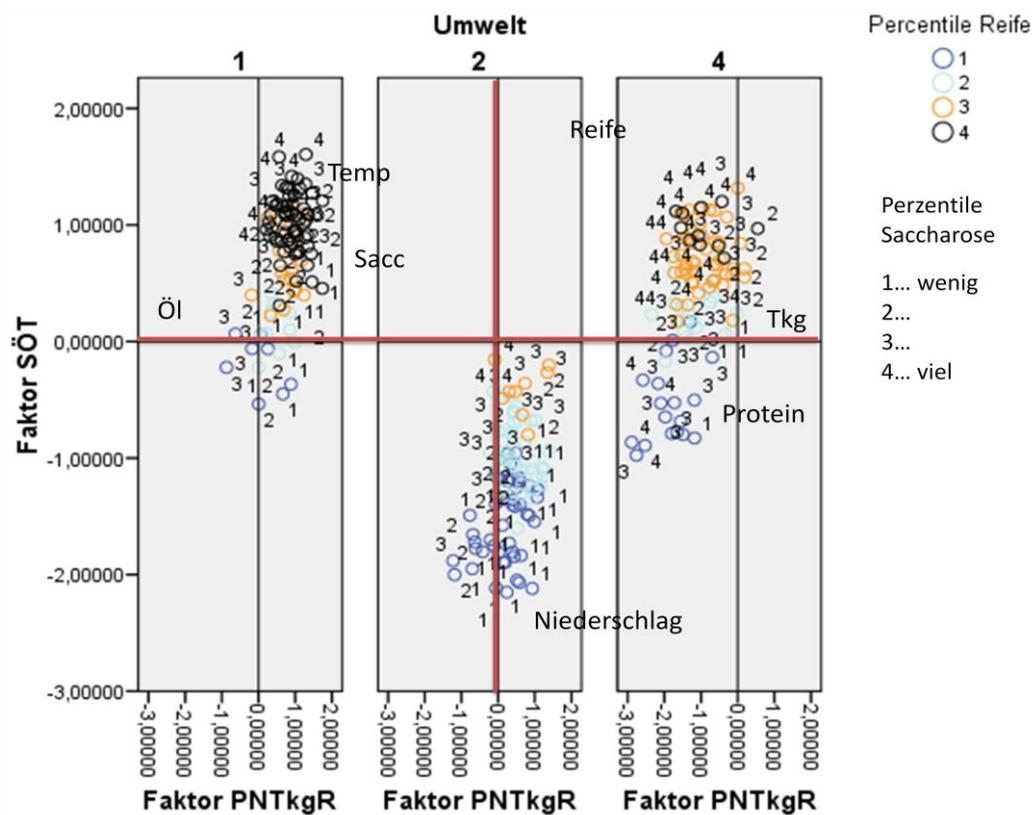


Abbildung 8: Faktorenanalyse mit der Reifezeit in den Umwelten 1,2 und 4. Komponente PNTkgR enthält: Proteingehalt, Niederschlag, Tausendkorngewicht und Reifezeit. Komponente SÖT umfasst: Saccharose-, Ölgehalt und mittlere Temperatur.

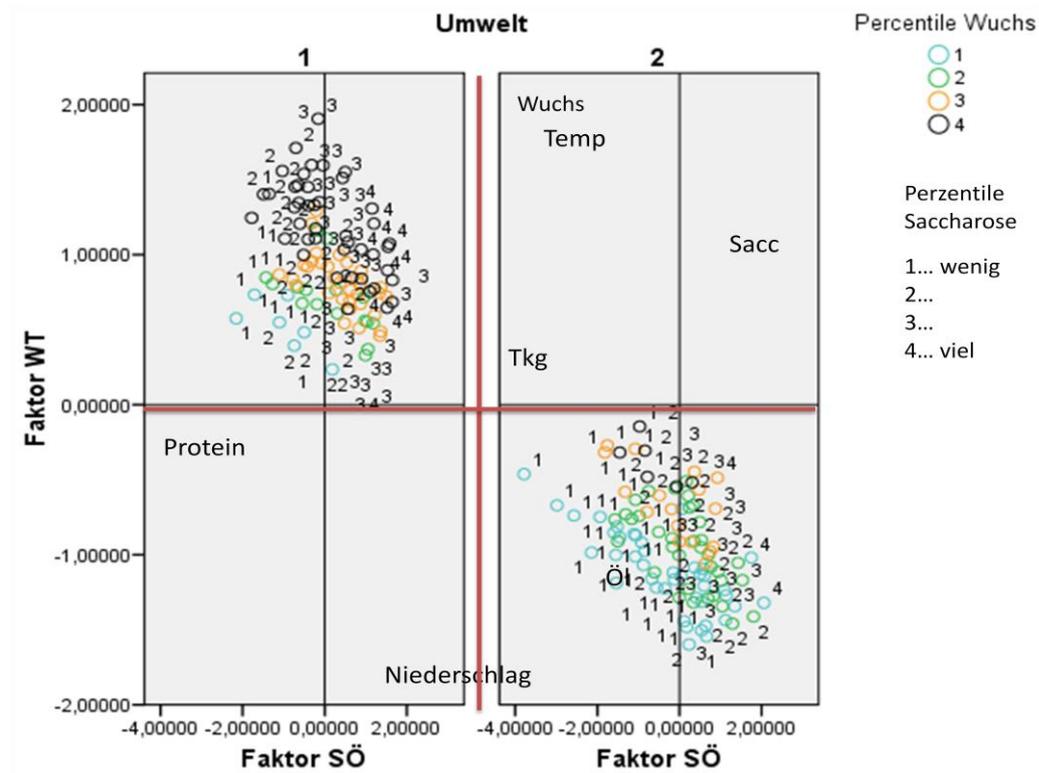


Abbildung 9: Faktorenanalyse mit dem Merkmal Wuchshöhe [cm]. Komponente WT enthält: Temperatur und Wuchshöhe. Komponente SÖ umfasst: Saccharose- und Ölgehalt.

3.2 Experiment LowOil

3.2.1 Heritabilität

Der Saccharosegehalt hat in diesem Experiment eine hohe Heritabilität mit 87,9%, ebenso die Parameter Öl- und Proteingehalt mit jeweils 89,9% und das Tausendkorngewicht mit 83,1%.

3.2.2 Öl- und Proteingehalt, Tausendkorngewicht und weitere Merkmale

In Umwelt 4 ist der Ölgehalt mit einem Mittelwert von 211,34g/kg am höchsten (Tabelle 15), der Proteingehalt hingegen in Umwelt 5 (Mittelwert 425,69g/kg) sowie das Tkg (Mittelwert 181g). Alle Merkmale unterscheiden sich in den jeweiligen Umwelten mit $p < 0,001$. Die Genotypen differieren in den Parametern Öl-, Öl+Proteingehalt und Tausendkorngewicht mindestens mit $p < 0,05$ (Tabelle 16). Die Proteinmengen unterscheiden sich von Genotyp zu Genotyp hingegen nicht ($p = 0,188$). Ebenso gibt es keinen Unterschied bei den Merkmalen Reifezeit, Wuchshöhe, Hülsenansatz und –platzen (Tabelle 17).

Tabelle 15: Ränge der Parameter sortiert nach den fünf Umwelten (H-Test).

Umwelt	Ölgehalt [g/kg]**		Proteingehalt [g/kg]**		Öl+Proteingehalt [g/kg]**		Tausendkorngewicht [g]**	
	Rang	Mw	Rang	Mw	Rang	Mw	Rang	Mw
1	5	153,0	3	384,7	3	537,7	2	176
2	3	176,9	2	392,9	2	569,8	3	158
3	2	199,1	4	318,7	5	517,8	4	141
4	1	211,3	5	307,2	4	518,5	5	128
5	4	153,8	1	425,7	1	579,5	1	181

** signifikant auf dem Niveau $p < 0,001$
 Gruppenvariable: Umwelt
 Mw Mittelwert

Tabelle 16: Signifikanzniveau der Genotypen im Saccharose-, Öl-, Protein-, Öl+Proteingehalt und Tausendkorngewicht (über alle Umwelten, H-Test).

	Saccharosegehalt	Ölgehalt	Proteingehalt	Öl+Proteingehalt	TKG
Signifikanz [p]	0,000	0,005	0,188	0,028	0,000

Gruppenvariable: Genotyp

Tabelle 17: Signifikanzniveau der Genotypen in den Merkmalen Reifezeit, Wuchshöhe, Hülsenansatz und –platzen (über alle Umwelten, H-Test).

	Reifezeit	Wuchshöhe	Hülsenansatz	Hülsenplatzen
Signifikanz [p]	0,166	0,468	0,468	0,468

Gruppenvariable: Genotyp

3.2.3 Saccharosegehalt

Die 36 Genotypen unterschieden sich im Saccharosegehalt mit $p < 0,001$ über alle Umwelten (Tabelle 15), so wie sich auch die Umwelten im Merkmal Zucker mit $p < 0,001$ voneinander unterscheiden.

GH13X-4 führt die Tabelle mit Rang 1 und einem mittleren Saccharosewert von 7,4g/100g an. Weiterhin hat dieser Genotyp einen Öl-Mittelwert von 166,5g/kg (Rang 32) und einen mittleren Proteingehalt von 359,6g/kg (Rang 19). Die Standartsorten Proto, Ceresia und AC Proteus liegen im Merkmal Zucker auf Rang 7 (Mittelwert 6,8g/100g), 34 (5,6g/100g) und 36 (4,1g/100g).

Tabelle 18: Ränge aufsteigend sortiert nach dem Saccharosegehalt der Genotypen über alle Umwelten sowie die Rangfolge im Öl-, Protein-, Öl+Proteingehalt und im Tausendkorngewicht (H-Test).

Genotyp	Saccharoseg. [g/100g]		Ölgehalt [g/kg]		Proteingehalt [g/kg]		Öl+Proteing. [g/kg]		TKG [g]	
	Rang	Mw	Rang	Mw	Rang	Mw	Rang	Mw	Rang	Mw
GH13X-4	1	7,4	32	166,5	19	359,6	34	525,2	9	163
GH17X-23-5	2	7,0	13	181,8	34	350,6	32	532,3	21	156
GG2X-13	3	6,9	23	174,0	12	366,8	24	540,2	16	156
GH17X-22-2	4	6,8	28	171,6	24	354,1	35	525,7	15	159
GH5X-9	5	6,8	20	176,3	30	351,6	36	527,6	25	154
GH17X-23-4	6	6,9	25	172,5	16	363,0	27	535,5	22	154
Proto	7	6,8	11	183,1	26	357,0	21	540,5	3	179
GK5X-3-8	8	6,7	6	194,3	32	346,7	22	541,0	4	176
GH17X-1-1	9	6,6	21	176,7	18	360,1	26	537,2	18	157
GI8X-70-3-3	10	6,6	12	181,8	20	360,2	20	541,8	20	158
...					...					
G357	27	6,1	16	180,9	9	374,9	6	555,8	1	179
GH12X-891-3	28	6,0	17	178,9	13	366,6	16	545,9	7	168
GH22X-31-6-1-3	29	6,0	8	186,1	22	358,8	17	545,3	19	157
GH31X-15	30	5,8	36	146,9	4	398,3	18	545,6	33	139
GI13X-105	31	5,8	30	170,0	1	414,3	1	584,7	36	131
GF2X-9-2-2	32	5,8	26	173,6	6	380,4	8	553,5	28	151
G355	33	5,6	9	188,6	15	366,0	7	554,3	11	161
Ceresia	34	5,6	2	202,5	28	354,5	5	556,7	14	160
GH30X-18	35	5,3	33	163,5	3	401,1	4	564,5	23	154
AC Proteus	36	4,1	35	150,2	2	418,2	2	568,1	29	146

Mw Mittelwert
... Sorten ausgelassen

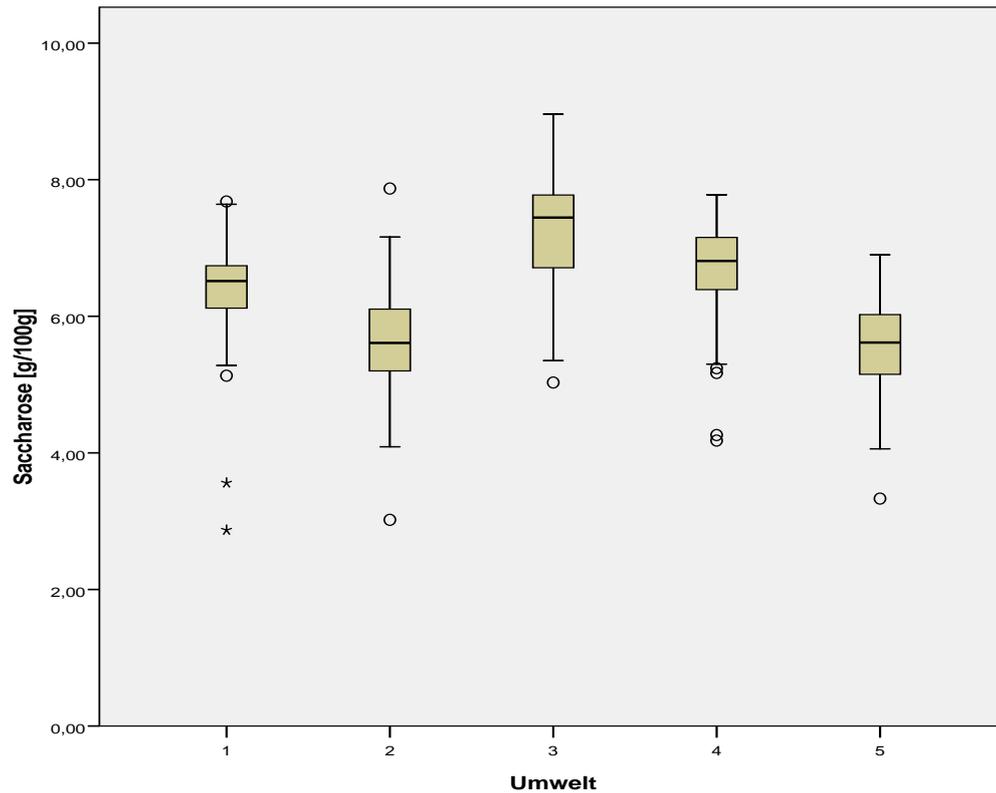


Abbildung 10: Saccharosegehalt (im Boxplot) aller 36 Genotypen in fünf verschiedenen Umwelten.

Die Umwelten charakterisieren sich durch unterschiedliche mittlere Saccharosedaten ($p < 0,001$) (Abbildung 10), in der Reihenfolge des Zuckergehalts $U3 > U4 > U1 > U2 > U5$ (Tabelle 20). Zusätzlich differieren sie auch in den Parametern Öl-, Protein-, Öl+Proteingehalt und Tausendkorngewicht ($p < 0,001$). Die 36 Genotypen unterscheiden sich im Saccharosegehalt ($p < 0,05$) (Tabelle 19).

Tabelle 19: Signifikanzniveau der Genotypen in den jeweiligen Umwelten (H-Test).

Umwelt	Saccharose Signifikanz [p]
1	0,020
2	0,038
3	0,003
4	0,005
5	0,055

Gruppenvariable: Genotyp

Protein und Saccharose korrelieren stark negativ miteinander ($r=-0,376$ bis $r=-0,702$) sowie Öl+Protein $r=-0,476$ bis $r=-0,782$. Der Ölgehalt ist in den jeweiligen Umwelten nur schwach mit dem Zuckergehalt verbunden (Tabelle 21), über alle Umwelten hingegen positiv mit einem Korrelationskoeffizienten von $r=0,471$. Das Tausendkorngewicht ist ebenso nur über die Umwelten signifikant negativ mit dem Zucker korreliert ($r=-0,32$). Die Merkmale Reifezeit, Wuchshöhe, Hülsenansatz und –platzen stehen nicht im Zusammenhang mit den Zuckerwerten (Tabelle 21).

Tabelle 20 Der mittlere Zuckergehalt in den einzelnen Umwelten sortiert nach dessen Rang im Kruskal-Wallis-Test.

Umwelt	Rang	Mittelwert (Sacc. g/100g)
U3	1	7,3
U4	2	6,7
U1	3	6,4
U2	4	5,6
U5	5	5,6

Tabelle 21 Korrelationskoeffizienten zwischen dem Zuckergehalt der einzelnen Umwelten sowie über alle Umwelten und dem Gehalt an Öl, Protein und Öl+Protein sowie dem Tausendkorngewicht, der Reifezeit, der Wuchshöhe, dem Hülsenansatz und dem –platzen (Spearman-Rho).

Umwelt	Öl- gehalt	Protein- gehalt	Öl+ Proteing.	TKG	Reife- zeit	Wuchs- höhe	Hülsen- ansatz	Hülsen- platzen
	<i>Korrelationskoeffizient</i>							
U1	0,175	-,702**	-,782**	0,175	0,05	.	.	.
U2	0,327	-,586**	-,639**	0,142	.	.	.	.
U3	0,045	-,552**	-,623**	-0,13	.	.	.	.
U4	-0,02	-,376*	-,476**	0,161	0,269	0,197	-0,069	-0,154
U5	0,221	-,484**	-,592**	0,244	.	.	.	.
<i>alle</i>	<i>0,471**</i>	<i>-0,738**</i>	<i>-0,809**</i>	<i>-0,320**</i>	<i>-0,190</i>	<i>0,197</i>	<i>-0,690</i>	<i>-0,154</i>

** Die Korrelation ist auf dem 0,01 Niveau signifikant (zweiseitig).

* Die Korrelation ist auf dem 0,05 Niveau signifikant (zweiseitig).

. keine Daten

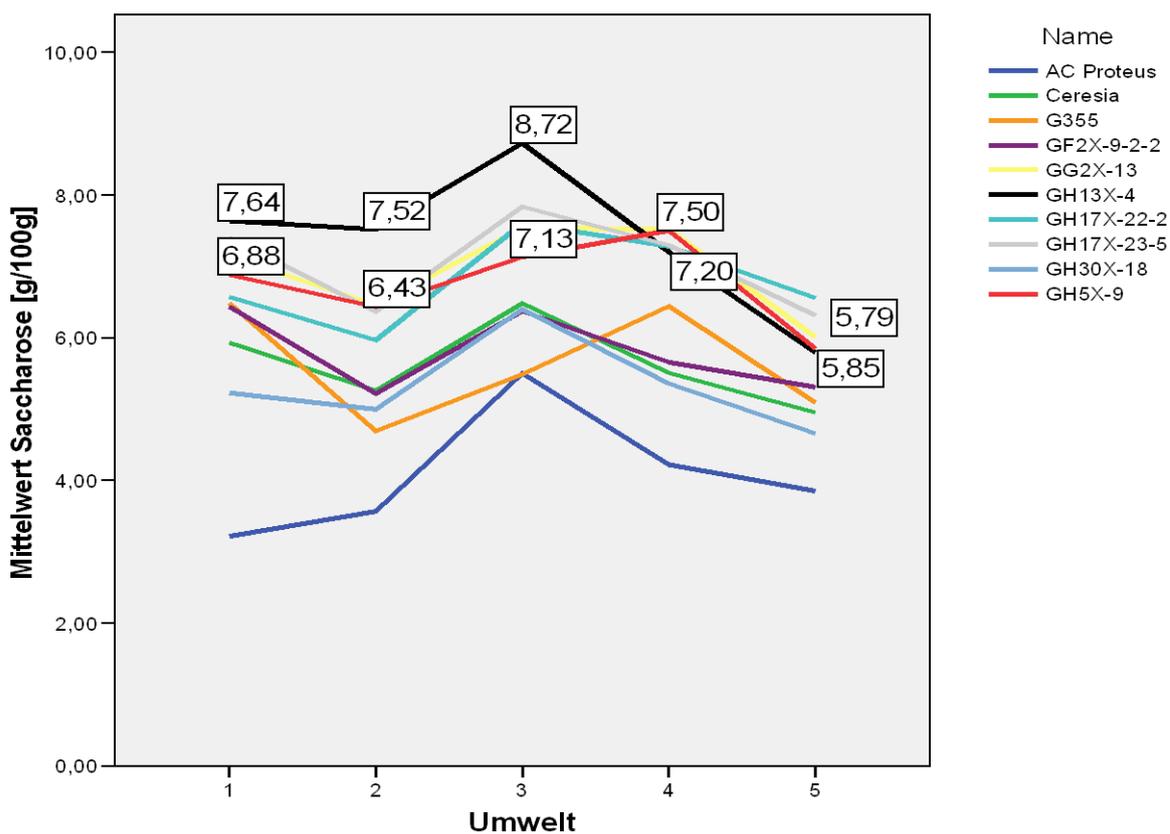


Abbildung 11: Interaktion zwischen Genotyp und Umwelt. Dargestellt sind die fünf Genotypen mit höchstem und niedrigstem Zuckergehalt in fünf Umwelten.

Auch in diesem Versuch zeigt sich der Genotyp-Umwelt-Interaktion signifikant mit $p < 0,001$ (Abbildung 11). Als Beispiel dienen die Genotypen GH5X-9 (rot) und GH13X-4 (schwarz). GH5X-9 hat den höchsten Zuckergehalt in Umwelt 4 (Mittelwert 7,5g/100g) und nicht wie die Mehrzahl der Genotypen in Umwelt 3, insgesamt liegt er auf Rang 5 (Tabelle 18). GH13X-4 liegt im Zuckerrang auf Platz 1 und hat einen um 0,3g/100g geringeren Mittelwert in U4, als GH5X-9.

3.3 Experiment GG3X_epi

3.3.1 Heritabilität

Die Heritabilität für den Zuckergehalt im Versuch GG3X_epi ist sehr niedrig mit 9,7%, nicht so für die anderen Merkmale: Ölgehalt 77,5%, Proteingehalt 72,2% und das Tausendkorngewicht 91,4%.

3.3.1 Öl- und Proteingehalt und Tausendkorngewicht

Die Parameter Öl-, Protein-, Öl+Proteingehalt und Tausendkorngewicht unterscheiden sich in den vier Umwelten 1, 2, 4 und 5 ($p > 0,001$). Die Ölwerte sind in U4 am höchsten (Mittelwert 229,4g/kg), und das Protein ist in der 5.Umwelt am stärksten (Mittelwert 431,2g/kg) ausgeprägt (Tabelle 22).

Tabelle 22: Ränge (H-Test) und Mittelwerte der Merkmale Öl-, Protein-, Öl+Proteingehalt und Tausendkorngewicht sortiert nach den Umwelten 1,2,4 und 5.

Umwelt	Ölgehalt g/kg]		Proteingehalt [g/kg]		Öl+Proteing. [g/kg]		TKG [g]	
	Rang	Mw	Rang	Mw	Rang	Mw	Rang	Mw
1	2	170,5	3	375,1	2	545,6	2	176
2	4	139,1	2	388,6	4	527,7	3	174
4	1	229,4	4	312,1	3	541,4	4	139
5	3	154,7	1	431,2	1	586,0	1	197

3.3.2 Saccharosegehalt

Der Genotyp 56-6 führt die Rangfolge (Tabelle 23) mit einem mittleren Saccharosewert von 6,6g/100g und im Ölgehalt an (Mittelwert 195,7g/kg). Weiterhin hat dieser Genotyp den 29. Proteinrang (Mittelwert 351,5g/kg) und ein mittleres Tausendkorngewicht von 178,5g (Rang 12). Die Elternsorten Proto und Maple Belle liegen auf Rang 3 bzw. 19 (Mittelwert 6,5g/100g bzw. 6,0g/100g). Insgesamt weisen die Saccharosewerte eine geringe Spannweite von 1g/100g auf und unterscheiden sich nicht im H-Test (Tabelle 24). Auch in den anderen Merkmalen unterscheiden sich die Genotypen nicht.

Tabelle 23: Rangfolge der Genotypen sortiert nach dem Saccharosegehalt (über alle Umwelten) mit Mittelwert sowie die Ränge und Mittelwerte des Öl-, des Protein-, des Öl+Proteingehalts und des Tausendkorngewichts.

Genotyp	Saccharoseg. [g/100g]		Ölgehalt [g/kg]		Proteingehalt [g/kg]		Öl+Proteing. [g/kg]		TKG [g]	
	Rang	Mw	Rang	Mw	Rang	Mw	Rang	Mw	Rang	Mw
56-6	1	6,6	1	196,0	29	351,5	22	546,4	12	179
33-1	2	6,4	14	170,4	25	370,4	30	539,6	25	150
Proto	3	6,5	21	170,4	18	373,0	28	542,4	14	172
79-7	4	6,4	2	192,9	30	345,0	29	537,6	27	144
55-6	5	6,4	13	173,7	19	373,5	21	547,6	3	206
18-2	6	6,4	5	180,8	26	363,6	26	544,6	9	185
36-1	7	6,3	10	180,9	24	372,7	10	551,7	6	193
9-4	8	6,4	26	162,2	9	386,9	23	546,5	21	154
75-5	9	6,3	19	169,6	12	380,4	15	550,6	8	189
9-7	10	6,2	18	168,8	17	373,8	25	543,6	30	132
...					...					
Ma.Belle	19	6,0	11	179,3	23	368,0	27	546,8	15	172
...					...					
27-2	21	6,0	6	180,8	10	381,3	5	561,1	26	146
71-1	22	6,0	16	171,4	22	373,9	20	546,2	10	184
63-7	23	5,8	22	164,2	8	385,7	14	549,9	5	199
47-7	24	5,8	9	181,7	13	374,9	6	557,6	28	143
5-4	25	6,0	24	163,4	16	382,0	24	546,4	18	167
36-3	26	5,9	20	168,9	11	380,1	11	550,9	2	213
50-3	27	5,9	8	178,4	15	378,9	3	559,1	29	139
39-2	28	5,8	28	159,5	1	403,0	2	562,7	7	188
26-8	29	5,8	23	164,6	5	390,3	7	555,0	16	170
66-1	30	5,6	25	162,1	3	397,8	1	559,7	1	212

Mw Mittelwert
... Sorten ausgelassen

Tabelle 24: Das Signifikanzniveau der Genotypen über alle Umwelten in den Parametern Saccharose-, Öl-, Protein-, Öl+Proteingehalt und Tausendkorngewicht (H-Test).

	Saccharose- gehalt	Ölgehalt	Protein- gehalt	Öl+Protein- gehalt	TKG
Signifikanz [p]	0,653	0,654	0,928	0,891	0,000

Gruppenvariable: Genotyp

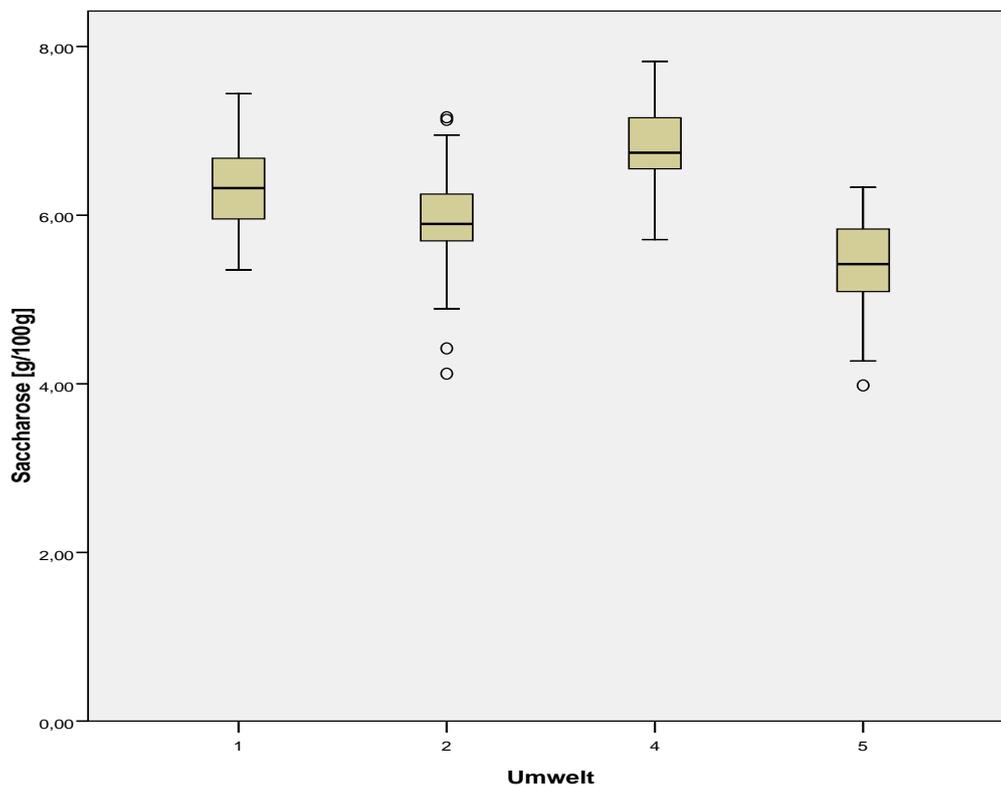


Abbildung 12: Boxplotdarstellung des Saccharosegehalts in den vier Umwelten (1, 2, 4, 5).

Die Umwelten differieren in ihren Saccharosewerten (Abbildung 12) auf dem Niveau $p < 0,001$, in der Reihenfolge $U_4 > U_1 > U_2 > U_5$ (Tabelle 25).

Tabelle 25: Rang und Mittelwert des Saccharosegehalts in den vier Umwelten (H-Test).

Umwelt	Rang	Mittelwert (Sacc. g/100g)
U4	1	6,8
U1	2	6,3
U2	3	6,0
U5	4	5,4

Der Zucker korreliert über alle Umwelten negativ mit dem Protein ($r=-0,446$ bis $r=-0,639$), Öl+Protein ($r=-0,337$ bis $r=-0,645$) und in U4 mit dem Tausendkorngewicht ($r=-0,41$). Die Ölmenge ist mit dem Zuckergehalt positiv verbunden in den Umwelten 2 ($r=0,471$) und 5 ($r=0,584$) sowie über alle Umwelten mit einem Korrelationskoeffizienten von $r=0,635$.

Tabelle 26: Korrelationskoeffizienten zwischen dem Saccharosegehalt und dem Öl-/ Protein-/ Öl+Proteingehalt/ Tausendkorngewicht in den einzelnen Umwelten und über alle Umwelten (Spearman-Rho).

Umwelt	Ölgehalt	Protein- gehalt	Öl+ Protein- gehalt	TKG
	Korrelationskoeffizient			
1	0,242	-0,574**	-0,484**	-0,103
2	0,471**	-0,639**	-0,549**	-0,035
4	0,169	-0,446**	-0,645**	-0,410**
5	0,584**	-0,673**	-0,337**	-0,108
<i>Alle</i>	<i>0,635**</i>	<i>-0,814**</i>	<i>-0,538**</i>	<i>-0,486**</i>

** Die Korrelation ist auf dem 0,01 Niveau signifikant (zweiseitig).

* Die Korrelation ist auf dem 0,05 Niveau signifikant (zweiseitig).

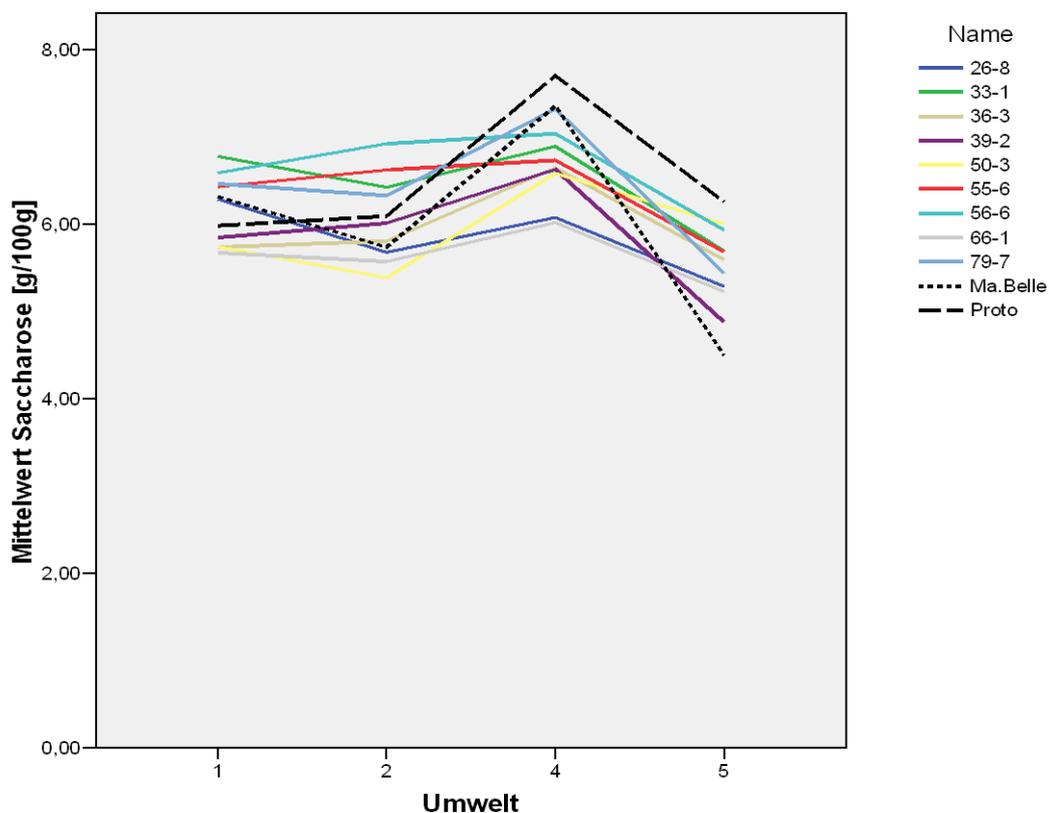


Abbildung 13: Genotyp-Umwelt-Interaktion im Bezug auf die mittleren Saccharosedaten in den Umwelten 1,2,4, und 5. Ausgewählt sind die fünf Genotypen mit dem höchsten und niedrigsten Zuckergehalt.

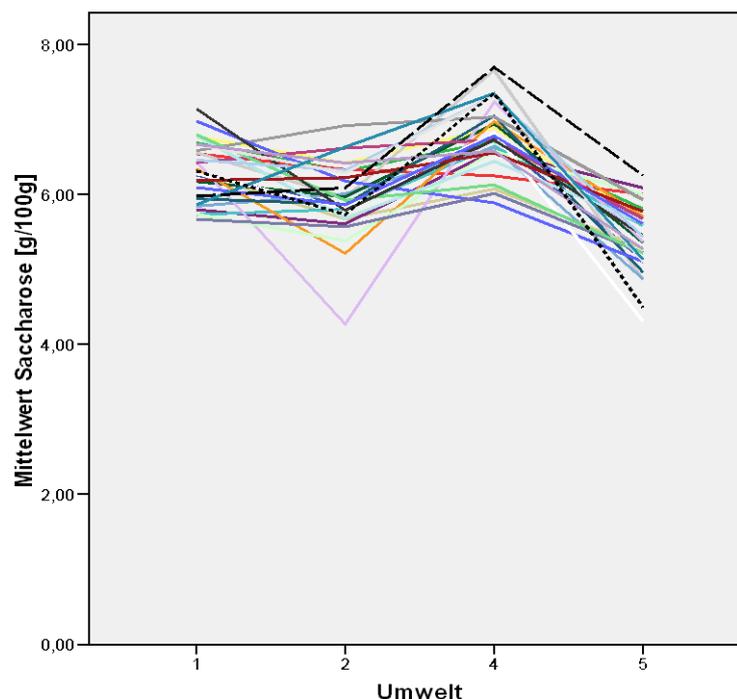


Abbildung 14: Genotyp-Umwelt-Effekt der mittleren Saccharosegehalte mit allen Genotypen in allen Umwelten.

Die Genotyp-Umwelt-Interaktion hat ein $p < 0,001$, doch die Saccharosewerte der Genotypen in Abbildung 13 liegen dicht zusammen und unterscheiden sich nicht signifikant, dabei handelt es sich um die fünf Genotypen mit dem höchsten und niedrigsten Rang sowie die Eltern Proto und Maple Belle. In dieser Population (Abbildung 14) hat die Umwelt den größten Einfluss auf den Saccharosegehalt ($p > 0,001$).

Die multivariate Faktorenanalyse in Abbildung 15 zeigt den großen Einfluss der Komponente NT, den die Umwelteffekte Niederschlag und Temperatur auf den Saccharosegehalt haben. Die Temperatur steht dem Niederschlag direkt gegenüber und hat einen positiven Einfluss auf den Zuckergehalt. In Umwelt 4, der wärmsten, sind hauptsächlich 3. und 4. Zuckerperzentile zu finden, wohingegen in der kältesten Umwelt 5 überwiegend 1. Perzentile vorhanden sind.

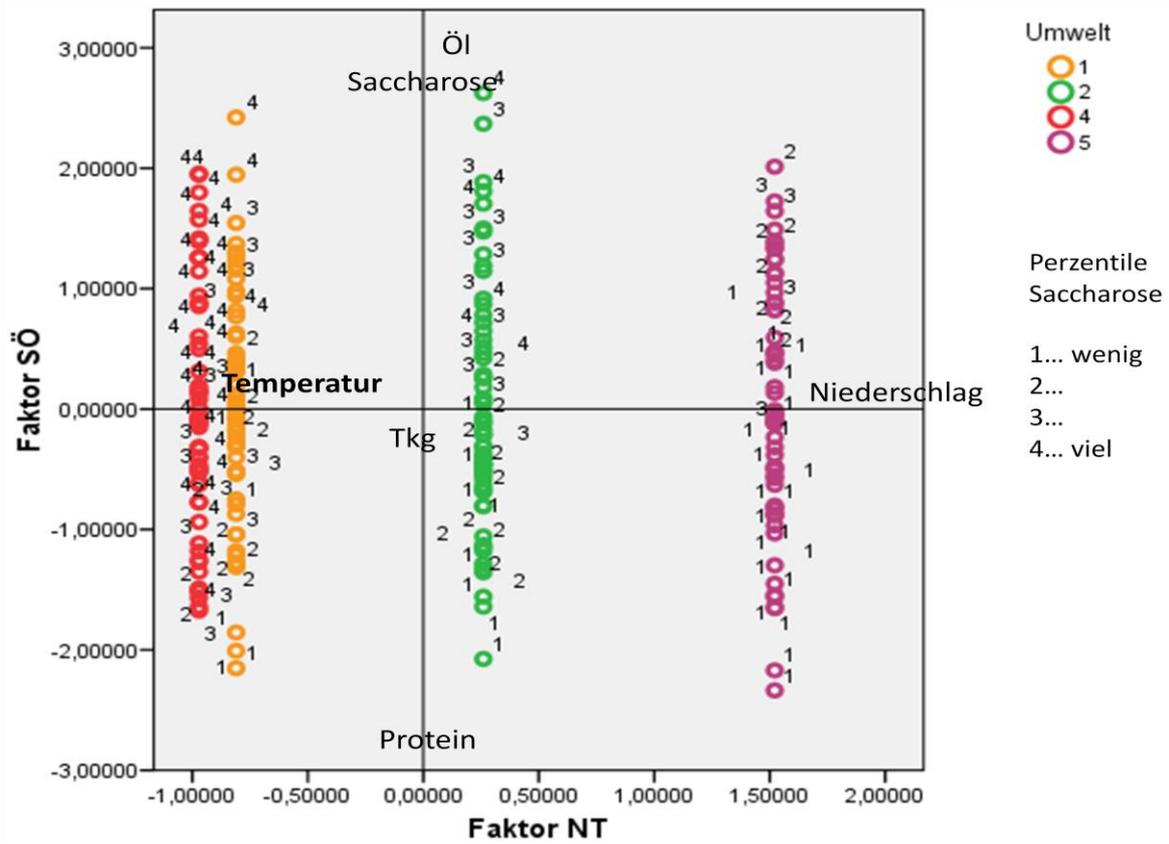


Abbildung 15: Faktorenanalyse mit den Faktoren NT (Niederschlag und Temperatur) und Faktor SÖ (Saccharose- und Ölgehalt) in den vier Umwelten.

4 Diskussion

Die hohe Heritabilität des Zuckers in den Versuchen LowOil und PS_2 mit 87,9% und 85,8% macht einen positiven Selektionserfolg für diese Populationen wahrscheinlich. Solche Werte sind vergleichbar mit Cisek et al. (2006), die eine Heritabilität von 87% errechneten. Dagegen weist der Versuch GG3x_epi nur eine Heritabilität von 9,7% auf und wird deshalb auf Grund fehlender genetischer Variabilität hier nicht weiter diskutiert.

Wie bei Hymowitz et al. (1972) (ebenso: Hartwig et al. (1997), Hou et al. (2009), Miller und Fehr (1979), Openshaw und Hadley (1981); Geater und Fehr (2000)) ist auch bei LowOil und PS_2 die Proteinmenge in jeder Umwelt negativ mit dem Saccharosegehalt korreliert ($r=-0,738^{**}$ und $r=-0,82^{**}$). Bei einer direkten Selektion von Saccharose sinkt damit der Proteingehalt. Dies wirkt sich negativ auf die Lebensmittelproduktion (Sojadrink, Tofu) aus und ist deshalb nicht zielführend.

Der Ölgehalt korreliert mit dem Zuckergehalt über alle Umwelten zusammengefasst positiv mit $r=0,649^{**}$ (PS_2) und $r=0,471^{**}$ (LowOil) wie auch bei Hymowitz et al. (1972), Hartwig et al. (1997), Openshaw und Hadley (1981 und 1984). Die Lebensmittelproduktion (Sojadrink, Tofu) benötigt keinen hohen Ölgehalt, vor allem da dieser negativ mit dem Proteingehalt korreliert ist (Hymowitz et al., 1972; Openshaw and Hadley, 1984). Eine direkte Selektion auf eine hohe Ölmenge muss deshalb ausgeschlossen werden. Bei Miller und Fehr (1979) zeigte sich, dass eine indirekte Selektion auf einem niedrigen Ölgehalt einen höheren Proteinanteil erzielte und dabei die Kohlenhydratmenge stabil blieb. In dieser Arbeit können die Aussagen von Miller und Fehr (1979) in soweit bestätigt werden, als dass im Versuch LowOil der Genotyp auf Rang 1 einen Zuckergehalt von 7,4g/100g, einen Ölgehalt von 166,5g/kg und einen Proteingehalt von 359,6g/kg hat und im Versuch PS_2 einen kleineren Zuckeranteil von 7,2g/100g, einen höheren Ölgehalt von 206,0 g/kg und eine kleinere Proteinmenge von 336,8g/kg aufweist. Diese Daten zeigen, auch Genotypen mit einem niedrigen Ölgehalt (166,5g/kg), wie in LowOil, können einen hohen Zuckergehalt (7,4g/100g) hervorbringen und dass von einem hohen Ölgehalt nicht auf einen hohen Zuckergehalt zu schließen ist.

Öl+Protein- und Saccharosegehalt sind in allen 5 Umwelten negativ miteinander verbunden ($r=-0,809^{**}$ LO und $r=-0,465^{**}$ PS_2) und dies kann als indirektes Selektionsmerkmal dienen (vgl. Geater und Fehr (2000); Openshaw und Hadley (1984)).

Anders als bei Hou et al. (2009) (Reifegruppe III bis V) zeigten die späterreifenden Sojapflanzen in PS_2 einen höheren Zuckergehalt auf ($r=0,361^{**}$ über alle Umwelten). Keine signifikante Korrelation

zwischen Reifezeit und Zuckergehalt gab es bei LowOil (n.s. $r=-0,19$). Die Daten beziehen sich aber nur auf 2 bzw. 3 Anbaujahre, und es sollte zukünftig noch näher betrachtet werden, ob sich die Reifezeit als indirektes Selektionsmerkmal eignet.

Die Wuchshöhe ist bei PS_2 signifikant positiv mit dem Saccharosegehalt verbunden ($r=0,346^{**}$), wie auch bei Cisek et al. (2006). LowOil hat keine signifikante, aber eine positive Korrelation von $r=0,19$. Auch hier werden weitere Daten benötigt, um eine Aussage treffen zu können.

Cisek et al. (2006) schließen aus ihren Daten, dass von einem höheren Korngewicht auf einen höheren Zuckergehalt selektiert werden kann. Die Werte von LowOil zeigen eine leichte, nicht signifikante Korrelation (zwischen Zuckergehalt und TKG) in den einzelnen Jahren (Ausnahme U3) mit $r=0,142$ bis $r=0,244$. Ähnlich verhält es sich auch bei PS_2, erst mit zukünftigen Daten ist es möglich das Merkmal Tausendkorngewicht zu bewerten.

Wie die gezeigten Faktorenanalysen verdeutlichen, haben die einzelnen Umwelten mit ihrer jeweiligen Witterung großen Einfluss auf den Zuckergehalt (vgl. Hou et al. 2009). In beiden Versuchen ist der Zuckergehalt in Umwelt3 (Jahr: 2008) am höchsten. In diesem Jahr stieg die Monatsmitteltemperatur ab April stetig um 4°C bis in den Juni (20°C) und blieb im Juli bei mäßigen 20°C stabil. Eine signifikante Korrelation konnte allerdings nicht gefunden werden. Bei Vollmann et al. (2000) förderten die geringen Niederschläge und eine hohe Temperatur die Proteinsynthese. Vergleichend mit LowOil und PS_2, könnten der trocken-heiße Juli 2007 und ein regenreicher August 2007 (und 2010) die Proteinsynthese gesteigert haben (Proteingehalt nach Jahren gereiht $2010 > 2007 > 2006 > 2009 > 2008$). Auf den Zuckergehalt bezogen (Zuckerrang nach Jahren $2008 > 2009 > 2006 > 2007 > 2010$), könnten gemäßigte Temperaturen im Juli (wie 2008 ($< 21^{\circ}\text{C}$) und Juni) und eine ausreichende Wasserversorgung (wie 2008 (im Juli) und 2009 (mit den höchsten Niederschlägen im Juni)) für eine höhere Zuckersynthese verantwortlich sein. Da die Rangreihung im Saccharosegehalt über die 5 Umwelten gleich bleibend ist sollte es möglich sein, spezielle Genotypen für bestimmte Anbauregionen zu züchten, wie es auch Cisek et al. (2006) einschätzen.

Abschließend ist zu sagen, dass eine Selektion auf einen niedrigen Ölgehalt -mit Blick auf das Protein- für einen stabilen Saccharoseanteil sinnvoll erscheint. Weiterhin kann auch das Merkmal Öl+Protein für eine indirekte negative Selektion herangezogen werden. Um die Einflüsse der Witterung besser beurteilen zu können, sollte die Pflanzenentwicklung der einzelnen Genotypen und die jeweilige Witterung genauer beobachtet werden. Ebenso ist es interessant, die angedeuteten Zusammenhänge zwischen Zuckergehalt, Reifezeit und Wuchshöhe näher zu betrachten.

5 Literaturverzeichnis

- Agrarmarkt Austria (Aug 2011): Marktinformationen- Getreide und Ölsaaten.
Abgerufen am 07. Sep 2011 von
http://www.ama.at/Portal.Node/ama/public?genetics.rm=PCP&genetics.pm=gti_full&p.contentid=10008.92897&250_Getreide_Oelsaaten.pdf
- Agramarkt Austria (Mär 2011): Marktinformationen- Getreide und Ölsaaten.
Abgerufen am 14. Apr 2011 von
http://www.ama.at/Portal.Node/ama/public?genetics.rm=PCP&genetics.pm=gti_full&p.contentid=10008.86973&Marktbericht_Getreide_Oelsaaten.pdf
- Agrarmarkt Austria (Jul 2010): Marktinformationen- Getreide und Ölsaaten.
Abgerufen am 14. Apr 2011 von
http://www.ama.at/Portal.Node/ama/public?genetics.rm=PCP&genetics.pm=gti_full&p.contentid=10008.79086&210_Versorgbil_Oelsaaten.pdf
- Cisek, M., Chen, P., Maroof, S. and Buss, G. (2006): Interrelationship among Agronomic and Seed Quality Traits in an Interspecific Soybean Recombination Inbred Population. *Crop Science*, 46, 1253-1259.
- Endres, J. (2001). *Soy Protein Products-characteristics, nutritional aspects, and utilization*. Champaign, Ill: AOCS Press.
- Geater, C. and Fehr, W. (2000): Association between Total Sugar Content with Other Seed Traits of Diverse Soybean Cultivars. *Crops Science* , 40, 1552-1555.
- Hartwig, E., Kuo, T.M. and Kenty, M. (1997): Seed Protein and its Relationship to Soluble Sugars in Soybean. *Crop Science* , 37, 770- 773.
- Hou, A., Chen, P., Shi, A., Zhang, B. and Wang, Y-J. (2009): Genetic Variability of Seed Sugar Content in Worldwide Soybean Germplasm Collection. *Crop Science* , 49, 903-912.
- Hymowitz, T., Collins, F., Panzner, J. and Walker, M. (1972): Relationship Between the Content of Oil, Protein, and Sugar in Soybean Seed. *Agronomy Journal*, 64, 613- 616.
- Hymowitz, T. and Collins, F. (1974): Variability of Sugar Content in Seed of *Glycine max* (L.) Merrill and *G. soja* Sieb. and Zucc. *Agronomy Journal* , 66, 239-240.
- Kim, H., Kang, S. and Suh, D. (2005): Quantitative Trait Loci Associated with Oligosaccharide and Sucrose Contents in Soybean (*Glycine max* L.). *Journal of Plant Biology*, 48, 106-112.
- Miller, J. and Fehr, W. (1979): Direct and Indirect Recurrent Selection for Protein in Soybeans. *Crop Science*, 19, 101-106.
- Openshaw, S. and Hadley, H. (1981): Selection to Modify Sugar Content of Soybean Seeds. *Crop Science*, 21, 805-808.
- Openshaw, S. and Hadley, H. (1984): Selection Indexes to Modify Protein Concentration of Soybean Seeds. *Crops Science*, 24, 2-4.

- Reichel, A. (2002). Zucker. (G. Schwerhoff, Hrsg.): Essen und Trinken in der Frühen Neuzeit. Abgerufen am 28. Nov 2010 von <http://rcswww.urz.tu-dresden.de/~frnz/trinken/index.htm>
- Shurtleff, W. und Aoyagi, A. (1990): Tofu and Soymilk Production- The Book Of Tofu Volume II. Lafayette, CA: The Soyfoods Center.
- Statistik Austria (23. Feb 2011): Versorgungsbilanz für Ölsaaten 2008/09. Abgerufen am 14. Apr 2011 von http://www.statistik.at/web_de/statistiken/land_und_forstwirtschaft/preise_bilanzen/versorgungsbilanzen/index.html#index1
- Statistik Austria (2009): 2008 Statistik der Landwirtschaft. Wien: Statistik Austria.
- Statistik Austria (01. Sep 2010): Ackerfläche: Hackfrüchte, Ölfrüchte und Körnerleguminosen 2010 nach Gemeinden und Bezirken. Abgerufen am 14. Apr 2011 von http://www.statistik.at/web_de/statistiken/land_und_forstwirtschaft/agrarstruktur_flaechen_ertraege/feldfruechte/041139.html
- Südzucker AG (2008): Zahlen zum Zucker 2007/08. Abgerufen am 28. Nov 2010 von <http://www.suedzucker.de/de/Zucker/Zahlen-zum-Zucker/Welt/>
- Utz, H. (2005) (Institut für Pflanzenzüchtung, Hrsg.): Plant Breeding Statistical Program-Version3A. Stuttgart: Universität Hohenheim.
- Vollmann, J., Fitz, C., Wagentristl, H. and Ruckenbauer, P. (2000): Environmental and genetic variation of soybean. *Journal of the Science of Food and Agriculture* , 80, 1300-1306.
- Vollmann, J., Euteneuer, P., Sato, T., Zahlner, V., Berghofer, E. und Wagentristl, H. (2011): Strategien zur Entwicklung von Sojabohnen für den Lebensmittelbereich. 61. Tagung der Vereinigung der Pflanzenzüchter und Saatgutkaufleute Österreichs 2010, 91-94. Raumberg-Gumpenstein: Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein.
- Wandl, G. (2004): Züchtung auf hohen Proteingehalt bei Sojabohne. Wien: Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur.
- Wirtschaftliche Vereinigung Zucker e.V. (2010): Weltzuckererzeugung und -verbrauch. Abgerufen am 28. Nov 2010 von http://www.zuckerverbaende.de/2_3_2.html