

**Optimierung von Wachstum und Ertrag
(Süßstoffbildung) bei *Stevia rebaudiana* Bertoni
unter mitteleuropäischen Standortbedingungen**



Uriel Mora Zabala

INSTITUT FÜR NUTZPFLANZENWISSENSCHAFTEN UND RESSOURCENSCHUTZ

(INRES)

Optimierung von Wachstum und Ertrag (Süßstoffbildung) bei *Stevia rebaudiana*
Bertoni unter mitteleuropäischen Standortbedingungen

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung des Grades

Doktor der Agrarwissenschaften

(Dr. agr)

Der

Hohen Landwirtschaftlichen Fakultät

Der

Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität

Zu Bonn

Vorgelegt am

2011

Von

Uriel Mora Zabala

Aus

Kolumbien

Referent: Prof. Dr. G. Noga

Korreferent: Prof. Dr. R. Pude

Betreuung: Frau Dr. C. Lankes

Tag der mündlichen Prüfung: 02. September 2011

Gedruckt mit Unterstützung des **Deutschen Akademischen Austauschdienstes**

Danksagung

Ich möchte folgenden Institutionen und Personen für ihre Unterstützung und Hilfe bei der Erstellung meiner Arbeit danken:

Al convenio ALECOL (Alemania-Colombia), der folgende Institutionen einschließt: die kolumbianischen Universitäten Universidades colombianas, Colciencias, das Ministerio de Educación Nacional (MEN), das Instituto Colombiano de Crédito y Estudios Técnicos en el Exterior (ICETEX), und den Deutschen Akademischen Austausch-Dienst (DAAD).

Der Universität Los Llanos für die Zustimmung zu meinem Studium in Deutschland.

Ich bedanke mich insbesondere bei meinem Doktorvater, Herrn Prof. Dr. George Noga. Er hat mir die Möglichkeit gegeben, nach Deutschland zu kommen, um meine Doktorarbeit hier durchzuführen und meine Untersuchungen am INRES im Bereich GartenbauwissenschaftInstitut anzustellen.

Ich bedanke mich sehr herzlich bei Frau Dr. Lankes für Ihre Betreuung während meiner gesamten Arbeit, für Ihre Geduld, für ihre wertvolle Zusammenarbeit und ihre zutreffende Orientierung für die Fertigstellung meiner Arbeit.

Ich bedanke mich bei allen Institutskollegen (INRES), die mich während meiner Arbeit in Deutschland unterstützt haben: Herr Dr. M. Hunshe, AR Dr. M. Blanke, Herr Dr. B. Oertel, Frau PD Dr. M. Schmitz-Eiberger, Frau Kitten, Frau Schwager, Frau I. Kurth, Frau B. Albinus, Frau A. Sollik, Frau G. Heimes, Frau K. Olschewski, Herr Harry Berg, Herr Phillip Schüttenhelm, Herr Mathias Engels, Herr Knut Wichterich,

Ich danke meine Kollegen Frau V. Müller, Frau D. Kiewning, Frau Hoffmann A., Frau S.Yusuf, Frau M. Martimez, Herr S. Basi, Herr B. Kautz, Herr Leufen, J. Bourke, E. Rahmani und meine Übersetzerin Dr. S. de Pury.

Meine Danksagung geht auch an meine Freunde und meiner Familie in Kolumbien, die mich über die Ferne für meine Arbeit unterstützt haben; und insbesondere bei meiner Tante Cilia Mora S. und meine Mutter Cándida Zabala.

Eine ganz große Danksagung geht an meine Frau María de los Angeles Gamba Joya und an meine Tochter Himmel Valentina Mora Gamba, für ihre Geduld, Verständnis, und dafür dass sie mir Mut gegeben haben weiterzumachen, um mein Studium fertigzustellen.

Zusammenfassung

Um Wachstum und Süßstofftrag von *Stevia rebaudiana* in den Klimabedingungen der gemäßigten Breiten Mitteleuropas zu verbessern, wurde diese Studie im Bereich Gartenbauwissenschaften an der Universität Bonn (50°43'30" N, 7°22'08" O, 75 Höhenmeter) unternommen. Im Jahr 2009 wurde ein Versuch durchgeführt, in dem die Pflanzen in einem randomisierten Blockversuch unter drei Einstrahlungsvarianten verteilt wurden: ein Folientunnel mit einer Abdeckung aus Norton FEP-Film, FG (Perfluorethylenpropylen-Copolymer); ein Folientunnel mit einer Abdeckung aus PE-Gärtnerfolie FVG Sun 5 pro (Polyethylen 200 µm); und Aufstellung der Pflanzen unter Freilandbedingungen. Dabei wurden die *Stevia*-Genotypen 'Gawi' (lokale, institutseigene Selektion), A, B, C, D, E und F untersucht. Sie wurden nach agronomischen Variablen gewertet: Höhe (cm), Anzahl an Nodien, Anzahl an Seitentrieben, Gehalt an Chlorophyll-a (mg/g TM), Gehalt an Chlorophyll-b (mg/g TM), Verhältnis Chlorophyll-a/b, Gesamtgehalt an Chlorophyll (mg/g TM), Gesamtgehalt an Chlorophyll ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$ Blattfläche), spezifisches Blattgewicht (SLW) (mg/cm^2), SPAD-Wert (502 Minolta), Trockengewicht der Stängel (g/Pflanze), Trockengewicht der Blätter (g/Pflanze), Gesamtgewicht (g/Pflanze), Gesamtgehalt an Süßstoff (%), Gehalt an Steviosid (%), Gehalt an Rebaudiosid A (%). Die besten Reaktionen waren in den Folientunneln zu beobachten, aber es gab keine Unterschiede zwischen dem FEP- und PE-Versuch.

Genotyp 'Gawi' mit 138,3 cm und Genotyp D mit 167,4 cm wiesen das stärkste Wachstum auf. Im Freilandversuch zeigten Genotyp 'Gawi' und Genotyp C den geringsten Gesamtgehalt an Chlorophyll (jeweils 2,2 mg/g TM und 3,7 mg/g TM). Die größte Blattproduktion hatte Genotyp 'Gawi' (134 g TM/Pflanze) im FEP-Versuch und Genotyp C im Freilandversuch (117 g TM/Pflanze). Bezüglich der Steviosid- und Rebaudiosid A-Produktion gab es keine Unterschiede zwischen den Folientunneln-FEP und -PE und der Freilandbedingung. Die Genotypen mit der höchsten Produktion an Rebaudiosid A waren C (10,8%), D (7,1%) und F (9,2%).

Es wurden auch anatomische Untersuchungen der Blätter vorgenommen. Allgemein konnte festgestellt werden, dass die Pflanzen im Freilandversuch eine größere Blattdicke aufwiesen. Genotyp 'Gawi' hatte die dicksten Blätter (493µm). Eine Zunahme in der Anzahl der Palisadenparenchymschichten konnte beobachtet werden, ebenso eine Erhöhung der Dicke des Schwammparenchyms.

Im Jahr 2010 wurde eine zweite Untersuchung vorgenommen, in einem randomisierten Blockversuch unter sechs Einstrahlungsvarianten (FEP ab Mitte April, PE ab Mitte April,

Freiland direkt ab Mitte April; ein Monat unter FEP-Bedingung und dann Freiland ab Mitte Mai; ein Monat unter PE-Bedingung und dann Freiland ab Mitte Mai; Freiland direkt ab Mitte Mai). Außerdem wurde die Hälfte der Versuchspflanzen zweimal beerntet (ein Schnitt und zwei Schnitte). Dabei wurden die Genotypen C, D und F mit Genotyp 'Gawi' (Standard) verglichen.

Aufgrund der ungünstigen klimatischen Bedingungen (Globalstrahlung und Temperatur) fielen die Ergebnisse für alle Parameter schlechter aus als im Jahr 2009. Der Gebrauch von Folientunneln mit den verschiedenen Abdeckungen hatte einen positiven Einfluss auf die untersuchten Parameter. Generell zeigten sich die Erträge bei Kulturbeginn Mitte April höher als die des Freilandversuches ab Mitte Mai.

Der Genotyp mit der besten Anpassung an die lokalen Bedingungen ist Genotyp 'Gawi'. Die Genotypen C, D und F zeigten positive Eigenschaften, so dass sie als Gen-Quellen für die züchterische Verbesserung des Genotyps 'Gawi' angesehen werden können, mit dem Ziel den Gehalt an Rebaudiosid A zu erhöhen.

Zwei Schnitte pro Jahr bringen einen geringeren Ertrag, so dass ein einmaliger Schnitt vorzuziehen ist.

Summary

This study was undertaken at the University of Bonn, Germany (INRES) in order to improve the growth and the sweetening yield of *Stevia rebaudiana* Bertoni under the climatical conditions in Middle Europe.

2009, the plants were exposed to three different radiation possibilities in a randomised trial: a cover sheet in being Norton FEP-Film (FG perfluorethylenpropylene-copolymer); a cover sheet in being PE-foil FVG Sun 5 Pro (polyethylene 200 µm); and the observation of the plants in the field, without cover sheet. The local selection 'Gawi' and the genotypes A, B, C, D, E and F were studied. They were evaluated after agronomical standards: height (cm), number of nodes, number of bastard branches, content of chlorophyll-a (mg/g TM), content of chlorophyll-b (mg/g TM), ratio chlorophyll-a/b (mg/g TM), total content of chlorophyll (mg/g TM), total content of chlorophyll (µg/cm² leave surface), specific leaf weight (mg/cm²), SPAD-value (502 minolta), dry weight of stipe (g/plant), dry weight of leaves (g/plant), total weight (g/plant), total content of stevioside (%), content of stevioside (%), content of rebaudioside-A (%). The best reactions took place under the cover sheets, but without any difference between both covering methods.

The genotype 'Gawi' (138.3 cm) and the genotype D (167.4 cm) showed the best growth potential. In the field experiment, the genotype 'Gawi' and the genotype C had the smallest total content of chlorophyll (respectively 2.2 mg/g TM and 3.7 mg/g TM). The best production of leaves was found in genotype 'Gawi' (134 g TM/plant) in the FEP-experiment and in the genotype C in the field experiment (117 g TM/plant). There was no difference between the production of stevioside and rebaudioside-A between the both cover sheets and the field experiment. The genotypes C (10.8%), D (7.1%) and F (9.2%) had the greatest production of rebaudioside-A.

The leaves were also analysed anatomically. It could be assessed that the plants growing in the field experiment had thicker leaves than the other ones. The genotype 'Gawi' had the thickest leaves with 493 µm. An increase in the number of the palisade parenchyma layers could be observed, as a thickening of the sponge parenchyma.

The second experiment was undertaken 2010 with six radiation possibilities (FEP from middle of April; PE from middle of April; field experiment from middle of April; one month under FEP cover, then field experiment, from middle of May; one month under PE cover, then field from middle of May; field directly from middle of May).

In addition, the half of the plants was harvested twice in a year. In this occasion, the genotypes C, D, and F were compared with the genotype 'Gawi'. Because of the climatic

conditions (global solar radiation and temperature), the results were not as fine as for the year 2009. The use of different cover sheets had a positive influence for the studied parameters. Generally, the yields at the beginning of the culture at the middle of April were higher than those of the field experiment at the middle of May.

The genotype with the best adaptation to the local condition was 'Gawi'. The genotypes C, D, and F had positive properties, so that they can be used for the improvement of 'Gawi'; the focus point is to elevate the content of rebaudioside-A. Two cuts in the year result in a poor yield so that only one cut is recommended.

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis

i

1.	Einleitung	1
2.	Literaturübersicht	4
2.1	Natürliche Süßstoffe.....	4
2.1.1	Die Süßstoffe in <i>Stevia rebaudiana</i> Bertoni.....	4
2.1.2	Bedeutung von <i>Stevia rebaudiana</i> Bertoni auf dem Weltmarkt.....	7
2.1.3	Verwendung von <i>Stevia rebaudiana</i> Bertoni.....	9
2.2	Herkunft und Botanik von <i>Stevia rebaudiana</i> Bertoni.....	9
2.2.1	Botanik.....	10
2.2.2	Morphologie.....	10
2.2.3	Vermehrung.....	12
2.3	Wachstumsfaktoren.....	12
3	Material und Methoden	32
3.1	Versuchsstandort.....	32
3.2	Pflanzenmaterial.....	32
3.3	Anzucht und Pflege der Versuchspflanzen.....	32
3.4	Versuchsaufbau.....	35
3.4.1	Bedachungsmaterialien.....	35
3.4.2	Folientunnel.....	36
3.4.3	Umweltfaktoren.....	36
3.5	Versuchsdesign.....	37
3.5.1	Versuchsjahr 2009.....	37
3.5.2	Versuchsjahr 2010.....	39
3.6	Messungen und Analytik.....	40
3.6.1	Vegetative Entwicklung.....	40
3.6.2	Blattcharakteristika.....	40
3.6.3	Süßstoffanalytik.....	42
3.6.4	Erweiterte Untersuchungen im Versuchsjahr 2010.....	43
3.6.5	Anfertigungen der histologischen Schnitte.....	44
3.7	Statistische Auswertung.....	45

4.	Ergebnisse	46
4.1	Leistungsvergleich der Genotypen.....	46
4.1.1	Wuchsleistung und Ertrag für die Jahre 2009 und 2010.....	46
4.1.1.1	Sprosswachstum.....	46
4.1.1.2	Blatteigenschaften.....	49
4.1.1.3	Ertrag.....	58
4.1.1.4	Süßstoffgehalte.....	59
4.2	Einfluss der Folienbedachung auf ausgewählte Leistungsparameter	60
4.2.1	Hohe natürliche Einstrahlung (2009).....	60
4.2.1.1	Wachstum.....	60
4.2.1.2	Blatteigenschaften.....	64
4.2.1.3	Ertrag (mit einer Ernte/Jahr).....	72
4.2.1.4	Süßstoffgehalte.....	73
4.2.1.5	Zusammenfassung.....	75
4.2.2	Einfluss der Folienbedachung auf ausgewählte Leistungsparameter bei geringer natürlicher Einstrahlung 2010.....	78
4.2.2.1	Klimatische Daten 2009-2010.....	78
4.2.2.2	Wuchs.....	81
4.2.2.3	Blatteigenschaften.....	83
4.2.2.4	Ertrag (mit einer Ernte/Jahr).....	86
4.2.2.5	Süßstoffgehalt (mit einer Ernte/Jahr).....	88
4.2.2.6	Gesamtertrag (mit zwei Ernten/Jahr).....	90
4.2.2.7	Zusammenfassung.....	92
4.3	Einfluss der Folienbedachung auf die Anfangsentwicklung.....	94
4.3.1	Sprosslänge.....	94
4.3.2	Blatteigenschaften.....	96
4.3.3	Ertrag (mit einer Ernte/Jahr).....	100
4.3.4	Süßstoffgehalte.....	103
4.3.5	Ertrag (mit zwei Ernten/Jahr).....	104
4.3.6	Zusammenfassung.....	107
5	Diskussion	109
5.1	Leistungsvergleich der Genotypen.....	109
5.1.1	Wuchsleistung und Ertrag 2009.....	109
5.1.1.1	Sprosswachstum.....	109
5.1.1.2	Blatteigenschaften.....	111
5.1.1.3	Ertrag und Süßstoff.....	113

5.2	Einfluss der Folienbedachung auf ausgewählte Leistungsparameter	116
5.2.1	Sprosswachstum.....	116
5.2.2	Blatteigenschaften.....	117
5.2.3	Ertrag und Süßstoff.....	119
5.3	Leistungsvergleich bei geringer natürlicher Einstrahlung 2010.....	121
5.3.1	Klimatische Daten 2009-2010.....	121
5.3.2	Wuchsleistung und Ertrag 2010 (ab Mitte April).....	122
5.3.2.1	Sprosslänge und Anzahl an Nodien.....	122
5.3.2.2	Blatteigenschaften.....	123
5.3.2.3	Ertrag (mit einer Ernte/Jahr).....	124
5.3.2.4	Süßstoff.....	124
5.3.2.5	Ertrag (mit zwei Ernten/Jahr).....	125
5.3.3	Wuchsleistung und Ertrag 2010 (ab Mitte Mai).....	126
5.3.3.1	Sprosslänge und Anzahl an Nodien.....	126
5.3.3.2	Blatteigenschaften.....	127
5.3.3.3	Ertrag (mit einer Ernte/Jahr).....	127
5.3.3.4	Süßstoff.....	127
5.3.3.5	Ertrag (mit zwei Ernten/Jahr).....	128
6	Schlußfolgerungen	129
7	Literaturverzeichnis	131

Abkürzungsverzeichnis

%	Prozent
°	Grad
°C	Grad Celsius
µg/cm ²	Mikrogramm/Quadratcentimeter
A, B, C, D, E, F	Codierung für einen Genotyp von <i>Stevia rebaudiana</i>
Abb.	Abbildung
ADI	empfohlene tägliche Dosis (Acceptable Daily Intake)
cm ²	Quadratcentimeter
EFSA	Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit (European Food Safety Authority)
PE	PE-Gärtnerfolie-FVG Sun 5 Pro (Polyethylen 200µm)
EGA	erwartete genetische Verbesserung (expected genetic advance)
<i>et al.</i>	und andere (et alii)
FAO	Welternährungsorganisation (Food and Agriculture Organization)
FDA	Arzneimittelzulassungsbehörde der Vereinigten Staaten (Food and Drug Administration)
FEP	Norton FEP-Film, FG (Perfluorethylenpropylen-Copolymer)
g	Gramm
Gawi	Bezeichnung für einen Genotyp von <i>Stevia rebaudiana</i> , der im Bereich Gartenbauwissenschaft selektiert wurde
GCV	genotypischer Variationskoeffizient (genotypic coefficient of variation)
GRAS	Liste der absolut sicheren Lebensmittel

h ²	Heritabilität (heritability)
HPLC	Hochdruck-Flüssigkeits-Chromatographie (High Pressure Liquid Chromatographie)
INRES	Institut für Nutzpflanzenwissenschaften und Ressourcenschutz
JECFA	Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives
kWh	Kilo-Watt-Stunden
mg/cm ²	Milligramm/Quadratcentimeter
PAR	photosynthetisch aktive Strahlung (photosynthetically active radiation)
PCV	phänotypischer Variationskoeffizient (phenotyp coefficient of variation)
pH	potentia Hydrogenii
PP	Palisadenparenchym
REDIEX	Red de Inversiones y Exportaciones (Paraguay) (Netzwerk Investitionen und Exporte-Paraguay)
SLW	Spezifisches Blattgewicht (specific leaf weight)
SP	Schwammparenchym
SPAD	SPAD-502 (Konica Minolta, Langenhagen, Germany)
t	Tonne
Tab.	Tabelle
TM	Trockenmasse
WHO	Weltgesundheitsorganisation (World Health Organization)

1 Einleitung

Stevia rebaudiana Bert. ist eine Pflanze, die im Süd-Osten Paraguays beheimatet ist. Sie ist wahrscheinlich in diesem Land endemisch. Die Pflanze wächst in den Gebirgen des Mbaracayú, in den hohen Weiden der Amambay bis zu dem Monday, in den Zonen von San Pedro, Capitán Bado, Yhú, Bella Vista, San Salvador, Vacá Retá, zwischen den Flüssen Ypané und Ybyraró, in der Nähe von Cerro Cuareporí, in Itacuí und in den Weiden von Cerro Cuatía (Schock, 1982; Soejarto, 2002).

Die Gattung *Stevia* beinhaltet mehr als 240 natürliche Arten (Landázuri und Tigrero, 2009); mehr als 80 davon wachsen in den Vereinigten Staaten, davon kommen alleine schon 70 aus Mexiko (Soejarto *et al.*, 1982). In Südamerika findet man 38 Arten in Bolivien, 23 in Argentinien, 3 in Uruguay, 2 in Venezuela, 4 in Brasilien, 2 in Ecuador und 13 in Paraguay (Jenet, 1996). Jahrhundertlang hat der Stamm der Guaranies in Paraguay und Brasilien verschiedene Arten von *Stevia* verwendet, insbesondere *Stevia rebaudiana*; sie nannten sie Ka'a he'ê, "süßes Gras" (Landázuri und Tigrero, 2009).

Die Besonderheit von *Stevia rebaudiana* besteht in der Produktion eines kalorienarmen Süßstoffes (Brandle *et al.*, 1998) diterpener Natur: Steviosid und Rebaudiosid-A (Amat, 1982). Rebaudiosid-A schmeckt süßer und weniger bitter, daher wird es im Vergleich zu Steviosid als qualitativ hochwertiger bewertet (Brandle *et al.*, 2007).

Das zerkleinerte Blatt ist 30 mal süßer als der Saccharose. Steviosid selbst ist 250 bis 300 mal, Rebaudiosid-A 300 bis 450 mal süßer als Saccharose. Die Glykoside mit geringerer Bedeutung sind zwischen 30 und 80 mal süßer als „normaler“ Haushaltszucker (Midmore, 2002).

Die aktuellen Sorten entstammen einer nativen Sorte, 'Criolla' aus Paraguay. Innerhalb dieser Lokalsorte gibt es ca. 300 „Untersorten“. Aufgrund ihrer breiten genetischen Varianz weist 'Criolla' hohe Resistenzen und Anpassungsfähigkeit an verschiedene agroklimatische Bedingungen auf (Taiariol *et al.*, 2010).

In der Theorie erfolgen Selektion und Verbesserung von *Stevia rebaudiana* bis zu einer Neuzüchtung mit hohem Ertrag, die eine hohe Konzentration an Rebaudiosid-A und einen niedrigeren Gehalt an Steviosid haben muss, um sie als natürliche Süßstoff-Quelle benutzen zu können (Yadav *et al.*, 2011). Die Pflanzen sollten auch eine hohe Resistenz und eine hohe Standorttoleranz aufweisen; es ist wichtig, Pflanzen mit gutem Wachstum, reichem Blattwerk und großen Blättern zu züchten. Mit diesen Charakteristika wurden in China zwei Sorten selektiert, 'Yunri' und 'Yumbin'. Aus diesen beiden wurde eine neue Sorte 'Zhongpin' gezüchtet (Shizhen, 1995).

In Japan wurde die optimale Temperatur für den Wachstum von *Stevia rebaudiana* zwischen 15°-30°C ermittelt (Kinghorn, 2002; Ramesh *et al.*, 2006). Die Pflanze kann kritische Temperaturen von 0° bis -2°C vertragen, bis zu einem Minimalwert von -3°C (Soejarto, 2002; Ramesh *et al.*, 2006). In einer Untersuchung zeigte sich, dass junge Pflanzen von *Stevia rebaudiana* mit 10 Blättern eine Temperatur von -5°C während 70 Minuten aushielten. Dies spricht für mögliche Kulturflächen dieser Pflanze in höheren Lagen (Taiariol, 2005).

Stevia rebaudiana wächst in ihrem Ursprungsland zwischen den Breitengraden 22° 30' bis 25° 30' südlicher Breite und 55° bis 57° westlicher Länge, in einer Höhe von 200 m bis zu 700 m (Soejarto *et al.*, 2002). Aber diese Pflanze wächst auch in anderen Breitengraden, je nachdem wo sie untersucht wird: Spanien, 37°N mit 5,4 t/ha (Kienle, 1993); Kalifornien, 38°N mit 2,6 t/ha (Shock, 1982); Kanada, 42°N mit 3 t/ha (Brandle *et al.*, 1992); Italien, 43°N (Andolfi *et al.*, 2006); Russland, 52°-60°N mit 13,8 t/ha (Kornienko *et al.*, 1995); Deutschland, 51°N mit 9,3-12,3 t/ha (Bürling, 2007).

Die bisherigen Untersuchungen, die in Deutschland durchgeführt wurden, zeigten, dass die Produktion von *Stevia rebaudiana* unter den örtlichen Klimabedingungen möglich ist. Die Pflanzen können auch im Folientunnel nicht den Winter überleben, sind aber als einjährig kultivierte Pflanzen auch in den gemäßigten Zonen Europas im Freiland anbaufähig. Die Mutterpflanzen können im Gewächshaus gehalten und durch Stecklinge vermehrt werden. Die Pflanzen, die in Jiffy-Pots bewurzelt und angezogen wurden, zeigten eine bessere Überlebensrate unter Feldbedingungen als diejenigen, die in Erdpresstöpfen angezogen wurden. Das Substrat beeinflusst die Qualität der Pflanze. Der Bedarf an Boden und Nährstoffe ist gemäßigt, so dass der Ertrag von der Wasserzufuhr abhängig ist. Am Anfang ist das Wachstum langsam, aber die Tage mit einer langen Photoperiode leiten ein schnelles Wachstum ein, so dass ein hoher Ertrag erreicht werden kann (Lankes und Pude, 2008).

Veränderungen der Photoperiode haben einen Einfluss auf das vegetative Wachstum (Ramesh *et al.*, 2006). Der Ertrag der Blätter ist proportional zur Anzahl an Seitentrieben, zu Anzahl an Blättern und zur Höhe der Pflanze (Midmore 2002). Der Gehalt an Steviosid korreliert positiv mit dem Verhältnis Blatt/Trieb (Tateo *et al.*, 1998). In Untersuchungen, die an der Universität Bonn durchgeführt wurden, zeigte die eigene Selektion 'Gawi' einen Gehalt an Steviosid von 7,4 ± 0,2% und einen Gehalt an Rebaudiosid-A von 4,0 ± 0,05% (Lankes und Pude, 2008).

In Fortführung dieser Untersuchungen sollte im Rahmen der vorliegenden Arbeit geprüft werden, ob sich durch Verwendung anderer Genotypen von *Stevia rebaudiana* unter mitteleuropäischen Standortbedingungen (Deutschland) eine Leistungssteigerung in Wachstum, Ertrag und Süßstoffproduktion, insbesondere Rebaudiosid A-Gehalt, im Vergleich zu 'Gawi'

erzielen lässt. Zu diesem Zweck wurden vergleichende Untersuchungen unter Freilandbedingungen angestellt, wobei der im Laufe früherer Arbeiten selektierte Genotyp 'Gawi' als Standard diente. Darüber hinaus sollte geprüft werden, ob durch Kultur im Folientunnel unter Berücksichtigung verschiedener Folienmaterialien mit unterschiedlicher Lichttransparenz, weitere Leistungssteigerungen erzielen lassen oder sich die relativen Abstände der geprüften Genotypen im Vergleich zu 'Gawi' verändern. In einem weiteren Ansatz sollte geklärt werden, ob durch gezielten Einsatz der Folienbedachung bei beginnendem Langtag eine Beschleunigung der Anfangsentwicklung möglich ist und sich auf diese Weise eine Verlängerung der nutzbaren Vegetationszeit sowie Wuchs- und Ertragssteigerungen erreichen lassen.

2 Literaturübersicht

2.1 Natürliche Süßstoffe

Süßstoffe sind synthetische oder natürliche Verbindungen mit intensiv süßem Geschmack. Bezüglich ihres Nährwertes werden die Süßstoffe in zwei Gruppen unterteilt. In der ersten Gruppe werden Süßmittel ohne oder mit nur geringem Nährwert, in der zweiten Gruppe solche mit höherem kalorischen Wert zusammengefasst. In Tabelle 2.1 sind die wichtigsten Pflanzenarten gelistet, aus denen natürliche Süßstoffe für die industrielle Verwertung gewonnen werden (Torres, 2004).

2.1.1 Die Süßstoffe in *Stevia rebaudiana* Bertoni.

Insbesondere die Blätter von *Stevia rebaudiana* Bertoni enthalten einen natürlichen, nicht kalorienhaltigen Süßstoff (Brandle *et al.*, 1998). Verantwortlich hierfür sind glycosidische Diterpenverbindungen, wobei die größte Bedeutung den Verbindungen Steviosid und Rebaudiosid A zukommt (Amat, 1982). In der Pflanze konnten auch andere Glykoside mit einer geringeren Süßkraft nachgewiesen werden: die Rebaudioside C, D, E, F, die Dulcoside A und C, Steviol-Glykoside mit geringerer Bedeutung sowie Flavonoide, Kumarine, Zimtsäure, Phenylpropanoide und einige ätherische Öle (Kinghorn, 1987; Kohda, 1976; Kobayashi, 1977; Starratt *et al.*, 2002). Das zerkleinerte Blatt ist 30 mal süßer als Zucker. Das extrahierte Steviosid süßt 250-300 Mal stärker als Haushaltszucker (Saccharose) während bei Rebaudiosid A sogar eine 300-450 Mal größere Süßkraft als bei Saccharose nachgewiesen werden konnte. Im Vergleich zu Steviosid ist Rebaudiosid A zudem weniger bitter im Geschmack (Brandle *et al.*, 2007). Die größte Konzentration an Steviol-Glycosiden befindet sich in den Blättern und nimmt dann wie folgend ab: Blatt > Blüte > Stängel > Samen > Wurzeln (Bondarev *et al.*, 2003). Die meisten Autoren geben an, dass sich keine Stevioside in den Wurzeln befinden. In Vitro Studien konnten aufzeigen, dass die Steviosidkonzentration in frischen Blättern 12,9 mg/g beträgt, während die Konzentration von Rebaudioside A bei 95 µg/g liegt. In den frischen Stängeln beträgt die Steviosidkonzentration 2,1 mg/g und die des Rebaudiosid A 5 µg/g. Keiner dieser Stoffe konnte in den Wurzeln nachgewiesen werden. Steviolbioside, die Ausgangsstoffe für die Bildung des Steviosids, werden in drei Organen gefunden: in frischen Blättern mit einer durchschnittlichen Konzentration von 275 µg/g, in frischen Stängeln mit einem Gehalt von etwa 265 µg/g und in frischen Wurzeln mit einem Gehalt von 17 µg/g (Yamasaki *et al.*, 1991).

Allerdings muss man anmerken, dass die Gehalte an Süßstoffen in *Stevia rebaudiana* Bertoni insgesamt sehr stark variieren (Tab. 2.2).

Tab. 2.1: Natürliche Süßstoffe aus pflanzlichen Extrakten (aus Torres, 2004) .

Art	verwendeter Teil	Substanz	relative Süßungsintensität im Vergleich zu Saccharose	Vorkommen
<i>Glycyrrhiza glabra</i>	Wurzelstock	Glycyrrhizin	50-fach	Mittelmeergebiet und Westasien
<i>Stevia rebaudiana</i>	Blatt	Steviosid, Rebaudiosid	300-fach; lakritzartiger Nachgeschmack	Hochland von Brasilien und Paraguay
<i>Thaumatococcus daniellii</i>	Samen	Thaumatocin	750-3000-fach;	Regenwaldzone tropisches Afrika
<i>Dioscoreophyllum cumminsii</i>	Frucht	Monellin	1500 -2500-fach; verändert sauren Geschmack	Tropisches Afrika
<i>Synsepalum dulcificum</i>	Frucht	Miraculin	verstärkt die Wahrnehmung für Süßes – auch Saures oder Scharfes schmecken durch Miraculin süß	Tropisches westliches Afrika
<i>Perilla nankinensis</i>	Blatt	Perillartin	2000-fach	Asien
<i>Polypodium vulgare</i>	Wurzelstock	Osladin	200-300-fach; aus toxikologischen Gründen ist Osladin jedoch nicht als Süßstoff geeignet	Halbschattenpflanze , atlantisches Europa
<i>Hydrangea macrophylla</i>	Blatt	Phyllodulcin	150-fach	Ursprünglich gemäßigte Gebiete Süd- und Ostasiens sowie Nord- und Südamerikas
<i>Momordica grosvenori</i> (<i>Siraitia grosvenori</i>)	Frucht	Mogrosid	80-fach	China
<i>Lippia dulcis</i>	Blatt	Hernandulcin		Mittel- und Süßamerika
<i>Myrrhis odorata</i>	Frucht	Neospiridina, Narangina	1000-fach	Ursprünglich Pyrenäen und Balkan, heute vorwiegend in Nordeuropa
<i>Polymnia sonchifolia</i>	Wurzel	Inulin, Fructooligosaccharide		Südamerika

Tab..2.2: Steviol-Glykoside in verschiedenen Pflanzenorganen von *Stevia rebaudiana* (aus: Struyf et al., 2008).

Steviol-Glykosid	relative Süßungsintensität im Vergleich zu Saccharose (Saccharose=1 *)	Molekulargewicht *	Untersuchter Pflanzenteil	Anteil am Trockengewicht (%)	Quelle
Steviosid	250-300	804,38	Blatt	2,18	Kohda et al. 1976
			Blatt	6,88	Zaidan et al. 1980
			Blatt	10,2	Casaccia 2006
			Stängel	0,8	Casaccia 2006
			Blütenstand	2,72	Zaidan et al. 1980
			Blüte	0,92	Darise et al 1983
Steviolbiosid	100-125	642,33	Blatt	0,04	Kohda et al. 1976
Rebaudiosid-A	300-450	966,43	Blatt	1,43	Kohda et al. 1976
			Blatt	8,4	Casaccia 2006
			Stängel	0,9	Casaccia 2006
			Blüte	0,15	Darise et al. 1983
Rebaudiosid-B	300-350	804,38	Blatt	0,44	Kohda et al. 1976
			Blüte	0,21	Darise et al 1983
Rebaudiosid-C	50-120	950,44	Blatt	0,4	Sakamoto et al 1977a
			Blüte	0,18	Darise et al 1983
Rebaudiosid-D	250-400	1128,48	Blatt	0,03	Sakamoto et al 1977b
			Blüte	0,08	Darise et al 1983
Rebaudiosid-E	150-300	966,43	Blatt	0,03	Sakamoto et al 1977b
Rebaudiosid-F		936,42	Blatt	2,7	Starratt et al. 2002
Dulcosid-A	50-120	788,38	Blatt	0,03	Kobayashi et al 1977
			Blatt	0,9	Starratt et al. 2002

Synthese der Süßstoffe in *Stevia rebaudiana* Bertoni

Die Süßstoffe, meistens in den Blättern konzentriert, sind Glykoside die aus Diterpenen synthetisiert werden. Die wenigsten von ihnen sind im primären Zustand; der Syntheseweg (aus der Mevalonsäure) entspricht dem der Gibberellinsäure (Hsieh und Goodman, 2006; Guevara-García *et al.*, 2005). Verschiedene Autoren geben als Hauptunterschied an, dass in *Stevia rebaudiana* das Kauren, Vorboten der genannten Hormone, sich in Steviol im endoplasmatischem

Retikulum umwandelt (Geuns, 2003; Totté *et al.*, 2000; Totté *et al.*, 2003; Brandle *et al.*, 2002). Inzwischen weiß man, dass die Biosynthese des Steviols (aufgrund der Hydroxylierung der Kaurensäure) von der des Gibberellins abweicht. Der Syntheseweg des Kaurens findet in den Plastiden statt, dessen Oxidation im endoplasmatischen Retikulum und dessen Glycolyse im Cytoplasma (Brandle *et al.*, 2007).

Das Verhältnis von Rebaudioside A zu C wird von einem einzigen zusätzlichen und koregrierenden Gen kontrolliert. Dies führt zur Annahme, dass Rebaudioside A und C vom gleichen Enzym synthetisiert werden. Steviosid und Rebaudiosid A weisen eine negative Korrelation auf, während Rebaudiosid A und C positiv korreliert sind (Yadav, 2011; Brandle, 1999).

2.1.2 Bedeutung von *Stevia rebaudiana* Bertoni auf dem Weltmarkt

Zur Zeit wird *Stevia rebaudiana* unter anderem in China, Japan, Paraguay, Australien, Indien, Russland, Indonesien, England, Spanien, Kanada, Brasilien, Argentinien, Korea, Taiwan, Nord-Amerika, Mexiko und Kolumbien kultiviert (Torres, 2004). Nord-Amerika, Japan, Deutschland, Argentinien, Spanien, die Ukraine und Brasilien sind Importeure (Olivera *et al.*, 2010). Exporteure sind China und Indien, die eine sehr reine Raffination für die Industrie liefern; die Exporte von Paraguay und Brasilien sind trockene Extrakte und manche Aufbereitungen wie Getränke, Tees, Süßstoffe für Nahrungsmittel oder pharmazeutische Produkte (Torres, 2004).

Die Vermarktung synthetischer Süßstoffe erbrachte zwischen 07.2007 und 07.2008 um die 47,5 Mrd. USD, die Vermarktung von *Stevia* 5,5 Mrd. USD. Man erhofft, dass im Jahr 2015 ein Umsatz von 8,2 Mrd. USD erreicht wird (Rajagopal, 2009). In Japan sieht man *Stevia* als den Hauptsüßstoff der Zukunft (HerbsAre Special.com.au). Bis 2005 war China der größte Produzent von *Stevia*-Blättern (75% der Weltproduktion); es wird geschätzt, dass 2007 die Produktion in China um die 5000 Tonnen pro Jahr betrug und dass sie 2009 ihre Kapazität auf 11789 Tonnen pro Jahr ausgedehnt hat (Global Market).

Bis Oktober 2010 hatten 35 Länder ihren Platz auf dem Markt der Süßstoffprodukte der *Stevia*. Alleine 2010 haben sich 102 neue Produkte auf dem Markt etabliert, von denen 37 alleine im März. Umfragen zeigen, dass 2012 die *Stevia* den Zucker zu 40% ersetzen wird, das Aspartam zu 57,2%, Sucralose zu 52,4% und andere zu 9,6% (Rajagopal, 2010). Auch die Weltnachfrage nach Blättern dieser Pflanze wird die 6-8 Millionen Tonnen pro Jahr in den nächsten zehn Jahren übertreffen (Global Market).

Die Verwendung von *Stevia*-Extrakten als Additive in der Nahrung wurden in Japan, Korea, China, Taiwan, Australien, Russland, der Ukraine, Kasachstan, Malaysia, Indonesien und in den Ländern von Süd-Amerika anerkannt und reguliert (Rajagopal, 2009).

Die JECFA (Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives) hat die Unbedenklichkeit der Steviol-Glykoside für die Jahre 2000, 2005, 2006, 2007 und 2009 untersucht und einen ADI von 4 mg/kg Körpergewicht pro Tag für diese festgelegt (als Äquivalenten von Steviol) (EFSA 2010).

In der EE.UU. beantragten die Gesellschaften Merisant Company und Cargill die Bewilligung der FDA. Sie präsentierten wissenschaftlichen Studien um zu beweisen, dass es sich um einen sichereren Nährstoff handelt, der dementsprechend auch in der Lebensmittelindustrie verwendet werden kann. Beide Gesellschaften haben bestätigt, dass sie die offizielle Erlaubnis der FDA am 17. Dezember 2008 bekommen haben (Olivera et al., 2010). Die FDA hat den Status GRAS (Generally Recognized As Safe) für Rebaudiosid A anerkannt (95% oder mehr Reinheit), damit es als Süßstoff in Nahrung und Getränken benutzt werden kann. Abschließend gab es keinen Einwand um das Süßstoffderivat des Ka'a He'ê (Reb-A) abzustoßen. Die Gesellschaften, die eine GRAS-Akzeptanz haben sind Cargill, Whole Earth Sweetener, Wisdom Natural Brands, Sunwin International Nutraceuticals Inc., GLG Life Tech, Pure Circle (Boileau et al. 2009, GLG 2011, Pure Circle 2010).

In Europa wurde der Gebrauch von Steviosiden durch das Scientific Committee on Food (SCF) in den Jahren 1984, 1989 und 1999 evaluiert. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass der Gebrauch der Stevioside toxikologisch nicht zu akzeptieren war aufgrund unzureichender Daten zur Bestätigung seiner Unbedenklichkeit (EFSA 2010). Länder wie Frankreich haben im September 2009 die Nutzung der Süßstoffe der *Stevia* hoher Reinheit in Nahrungsmitteln für zwei Jahre bewilligt. Im September 2011 läuft diese Bewilligung ab und man hofft, dass während des Jahres 2011 seine Nutzung durch die Europäische Union (EU) genehmigt wird. Die Schweiz und Frankreich sind die Ausnahmen in der EU, die den Gebrauch Süßstoffe hoher Reinheit bewilligen.

Am 26. Januar 2011 hat die EFSA ein Kommuniqué abgegeben über die beantragte Evaluation des vorgeschlagenen Exposé über den Gebrauch der Steviol-Glycoside als Nahrungsadditive. Der Bericht folgerte, dass die geschätzte tägliche Zufuhr über die Nahrung die empfohlene Tagesdosis überschreiten könnte. Das Internationale *Stevia*-Komitee wird weiterhin daran arbeiten, um die Fragen zu beantworten, die während des regulären Prozesses für die Genehmigung der Steviol-Glycoside in der EU gestellt worden sind, und um die Interessenten weiterhin über die Fortschritte dieser Genehmigung in der EU zu informieren (GSI 2011). Die

größten multinationalen Konzerne, die nach Steviosiden fragen, sind Coca Cola, Pepsicola und Nestlé (Pure Circle 2010).

2.1.3 Verwendung von *Stevia rebaudiana* Bertoni

Stevia wird als kalorienarmer Süßstoff verwendet, der Karies vorbeugt (Matsukubo *et al.*, 2006); es hat antioxidative (Tadhani *et al.*, 2007; Geeraert *et al.*, 2009) und anti-inflammatorische (Boonkaewwan *et al.*, 2006) Eigenschaften. Es kann von Typ-II Diabetikern genutzt werden. Anpassungs- und Handhabungsstudien über diese Pflanze zeigten, dass sie sich nicht im Körper ansammelt und die Zuckerwerte im Blut verringert (Geuns *et al.*, 2007; Brandle und Telmer, 2007). Sie hat antibakterielle Wirkung gegen *Escherichia coli* (Yodyingyuad und Bunyawong, 1991); sie mindert den Bluthochdruck (Ferry *et al.*, 2006), hat virushemmende (Takahashi *et al.*, 2000, 2001) und krebshemmende Eigenschaften (Mizushina *et al.*, 2005).

2.2 Herkunft und Botanik von *Stevia rebaudiana* Bertoni

Die Gattung *Stevia* ist eine von 950 Gattungen, die zu den Asteraceae gehören (Soejarto *et al.*, 1983). Die Gattung wurde 1797 von Cavanilles benannt (Amat, 1982). Ihre Heimat ist Süd-Amerika. Die Gattung *Stevia* beinhaltet mehr als 240 Arten (Landázuri und Tigrero, 2009). Mehr als 80 Arten wachsen in Nord-Amerika, 70 davon in Mexiko (Soejarto, 1982). In Süd-Amerika findet man 38 Arten in Bolivien, 23 in Argentinien, 3 in Uruguay, 2 in Venezuela, 4 in Brasilien, 2 in Ecuador und 13 in Paraguay (Jenet, 1996). Über Jahrhunderte haben die Guaraní-Stämme aus Paraguay und Brasilien verschiedene *Stevia*-Arten benutzt, hauptsächlich *Stevia rebaudiana*. Sie haben sie „ka'a he'ê“ oder „süßes Gras“ genannt (Landázuri und Tigrero, 2009 (Abb.2.1).

Der Schweizer Botaniker Moisés Santiago Bertoni war der erste, der sie beschrieb. 1882 siedelte er sich in Paraguay an und hatte gute Beziehungen zu den Einheimischen Guaraní. 1889 zeigten sie ihm einen Stängel der *Stevia*-Pflanze und fortan interessierte er sich sehr für dessen süßen Geschmack. Es folgte dann eine systematische Untersuchung der Pflanze „*Empatorium rebaudianum*“ Bertoni (Aranda, 1946). 1900 konnte sein paraguayischer Freund Ovidio Rebaudi, Chemiker, zwei Wirkstoffe isolieren: einen bitteren und einen süßen. Im Nachhinein wurden diese beiden Komponenten Steviosid und Rebaudiosid genannt, die 200 bis 300 Mal süßer als Saccharose und hitzebeständig sind, und nicht fermentieren. Bertoni publizierte sie mit *Stevia* als Gattungsname (Bertoni, 1905) und seitdem ist sie als *Stevia rebaudiana* Bertoni bekannt (Soejarto, 2002).



Abb. 2.1 : Ursprungsgebiet von *Stevia rebaudiana* Bertoni

2.2.1 Botanik

Reich:	Plantae
Abteilung:	Tracheobionta
Klasse:	Magnolophyta/ Magnoliopsida
Gruppe:	Monochamydeae
Ordnung:	Asterales
Familie:	Asteraceae
Unterfamilie:	Asteroideae
Tribus:	Eupatorieae
Genus:	<i>Stevia</i>
Art:	<i>rebaudiana</i>

Populäre Namen: Stevia, „süßes Blatt aus Paraguay“, caa él éé, jheéé de kaa, ca un jhei, Kaá Héé un yupi, azucacaa, caa de eira, doce de capim, doce de erva, hierba de dulce, yerba de miel, honeyleaf, waan de yaa, hoja de dulces, Ya Wan (thai) (Eafit, 2004).

2.2.2 Morphologie

Blätter: Die Blätter sind elliptisch, oval oder lanzettförmig, leicht behaart. Sie sind bei jungen Pflanzen gegenständig in alternierenden Quirlen, wechselständig bei Pflanzen im Reifestadium

vor der Blüte. Sie sind hell bis dunkel grün, die Größe variiert je nach Genotyp und Umwelt. Sie sind 5 - 8 cm lang und 2 – 3 cm breit (Carneiro, 1990; Kienle, 1993; Landázuri et al., 2009), 2 -3 cm breit und 0,6 -1 cm für die subsessilen Blätter mit einem 3 – 4 mm langen Blattstiel (Soejarto, 2002).

Stängel: Es ist eine mehrjährige halbholzige Pflanze, an den Extremitäten geringfügig behaart. Der Stängel ist mit vielen Nodien verzweigt und neigt sich leicht (Eafit, 2004). Während seiner Anfangsentwicklung weist er keine Verzweigungen auf, nach der ersten Vegetation entwickelt sich eine mehr-stängelige Pflanze. Die Pflanze kann innerhalb von drei bis vier Jahren bis zu 20 Stängel anlegen. Sie kann in ihrer natürlichen Umgebung bis zu 90 cm Länge, in den Tropen auch eine Höhe von 100 cm erreichen (Landázuri und Tigrero, 2009); an fruchtbaren Standorten wird sie bis zu 180 cm groß (Jia, 1984).

Wurzel: Sie ist drehbar, filiform und nicht tief-ragend. Sie verzweigt sich unter der Bodenoberfläche (Schmeling, 1967). Die maximale Tiefe, die sie erreicht, ist 25 cm, wobei sich die größte Menge an Wurzelwerk in den ersten 15 cm befindet (Carneiro, 1990; Yamasaky, 1991).

Blüte: Die Blüten sind hermaphrodit, klein und weißlich. Ihre Corolla ist aktinomorph und 4 mm breit, fünf-lappig. Sie sind in terminalen oder axillaren Köpfchen angeordnet, in doldentraubige Rispen gruppiert (Soejarto, 2002). Eine Pflanze braucht einen Monat, um Blüten zu treiben (Tairol, 2005).

Bestäubung: Die Pflanze kann sich selbst nicht befruchten (Protandrie), die Bestäubung erfolgt durch Entomophilie. Man sagt sie sei Sporophyt und klassifiziert als obligatorisch apomiktisch (Monteiro, 1982). Sie kann auch durch den Wind bestäubt werden (Carneiro, 1990).

Frucht: Es handelt sich um eine Achäne, mit Samen einer Länge von 2,5 – 3 mm, die eine helle (steril) oder dunkle (fertil oder infertil) Farbe hat. Sie wird durch den Wind verbreitet (Gattoni, 1945); der Pappus ist uneben strohfarben und 3 mm lang (9-17) (Soejarto, 2002). Die traditionelle Samengewinnung erfolgt bei natürlicher Reife. So bald die Pflanze einen ausreichenden Trocknungsgrad erreicht hat, wird sie vollständig abgeschnitten. So können sich die Früchte von den Stängeln und Blättern trennen lassen. Bei dieser Methode gewinnt man aus 4000 bis 7000 Pflanzen ein Kilo Samen (Casaccia *et al.*, 2006). Bei folgender Samengewinnung beginnt die Ernte sobald 50% der Blüten dunkle Blütenblätter haben und erfolgt in drei bis vier Schritten innerhalb von 7 - 10 Tagen. Die Pflanze wird in einem Beutel plaziert und geschüttelt, bis die Samen sich lösen. Mit dieser Methode braucht man zwischen 30000 bis 45000 Pflanzen für ein Kilo Samen (Cassacacia *et al.*, 2006). Nur 11% der Samen haben einen ausgereiften Embryo, der in 5% der Fälle auch keimt (Carneiro, 1990; Kienle, 1993).

2.2.3 Vermehrung

Sexuelle Vermehrung: Die Samen haben eine sehr niedrige Lebensfähigkeit. Die Keimfähigkeit ist meist sehr gering: sie beträgt zwischen 10 und 40 % nach der Ernte. Bei gereinigtem Saatgut steigt dieser Prozentsatz auf 25 - 39% (Miyazaki *et al.*, 1974; Jenet, 1996).

Vegetative Vermehrung über Stecklinge: Stehen Genotypen oder Sorten mit positiven agronomischen Eigenschaften, die unverändert erhalten bleiben sollen zur Verfügung, so empfiehlt sich die Stecklingsvermehrung. Man kann terminale Stecklinge mit vier bis fünf Nodien verwenden oder auch Wurzelschnittlinge. In diesem Fall wird der Stängel abgeschnitten und drei bis fünf Zentimeter mit fünf oder mehr Wurzelansätze werden gepflanzt (Casaccia *et al.*, 2006). Für Versuchszwecke wurden sie durch Stecklinge mit einem einzigen Blattpaar vermehrt (Lankes und Pude, 2008; Müller, 2009).

Mikrovermehrung: Bei der Kultur von pflanzlichen Geweben haben sich verschiedene Techniken etabliert: Mikropropagation durch Spross-Spitzen (Lankes *et al.*, 2005, mündl. Mitt.; Hwang, 2006), somatische Embryogenese durch Kallogenese (Banerjee *et al.*, 2008) oder somatische Organogenese aus Blatt-Explantaten (Jain, 2009). Auch die Erhaltung und Regeneration über Zellen in Suspensionskulturen sind bekannt (Ferreira *et al.*, 1988). Für Massenvermehrung in Bioreaktoren werden Apikalmeristeme verwendet (Akita *et al.*, 1994).

2.3 Wachstumsfaktoren

Wasser

Am natürlichen Standort gedeiht *Stevia rebaudiana* in den subtropischen semihumiden Gebieten von Südamerika, mit Jahresniederschlägen zwischen 1400 und 1800 mm variieren. Die Evaporation beträgt um 1000 mm bei einer relativen Luftfeuchte zwischen 75% und 86% (Landázuri *et al.*, 2009; Bürling, 2007).

Die Pflanze ist feuchtigkeits- aber nicht trockenresistent. Wenn die jährliche Niederschlagsmenge weniger als 1400 mm beträgt, wird empfohlen Bewässerungssysteme anzulegen. Der Wasserverbrauch der Kulturen beträgt 5 mm täglich, und dies jeden dritten Tag bei sandigem Boden und jeden fünften Tag, wenn der Boden leicht tonhaltig ist. Die Bewässerung sollte 15 Tage vor der Ernte eingestellt werden, um den Glykosid-Gehalt der Blätter nicht zu beeinträchtigen (Casaccia *et al.*, 2006). Es wird auch berichtet, dass für ein optimales Wachstum der Boden zwischen 43% und 47% Feuchtigkeit haben muss; der Bedarf jeder Pflanze liegt bei 2,33 mm pro Tag (Goenadi, 1983).

Eine Untersuchung wurde mittels Mikro-Lysimeter durchgeführt, um den Wasserbedarf der kultivierten Pflanzen während der verschiedenen Wachstumsphasen zu ermitteln. Der

Grundwasserspiegel wurde konstant 35 cm unter dem Substrat gehalten; die Evaporation während der 80 Beobachtungstage betrug 464 mm. Die Ergebnisse zeigten, dass der Koeffizient (Kc) für den Anbau 1,45 mm in den ersten 25 Tagen betrug; 1,14 mm in den nächsten 26-50 Tagen und 1,16 mm während der letzten 51-80 Tagen (Fronza *et al.*, 2003).

Boden und Nährstoffe

Stevia wächst meist auf nährstoffarmen Böden. Sie haben eine sandige Textur, während der pH-Wert bei 4 - 5 liegt. Die Pflanze wächst auch gut mit einem pH-Wert zwischen 6,5 - 7,5. Der Salzgehalt kann niedrig oder null sein, mit wenigen organischen Stoffen, sandig bis normal mit einer guten Permeabilität und Drainage (Landázuri *et al.*, 2009).

Der Bedarf an Nährstoffen für den Anbau ist niedrig bis moderat, denn am natürlichen Standort muss die Pflanze auch mit den nährstoffarmen Böden von Paraguay zurecht kommen (Ramesh *et al.*, 2006). Der Nährstoffbedarf für die Produktion von einer Tonne trockener Blätter ist in Tabelle 2.3 angegeben.

Tabelle 2.3: Extraktion der Nährstoffe des Bodens pro Tonne/Trockenblätter (aus: Filho *et al.*, 1977)

Makronährstoffe (kg)	Anfang der Blüte	Bis Produktion der Samen	Mikronährstoffe (g)	Anfang der Blüte	Bis Produktion der Samen
N	64,6	130	B	89	226
P	7,6	18,8	Cu	26	76
K	56	131,5	Fe	638	2550
Ca	16	43,7	Mn	207	457
Mg	3,6	8,3	Zn	13	33
S	3,6	9,7			

In Montería (Kolumbien) wurde festgestellt, dass für die Produktion von einer Tonne trockener Blätter der Sorte 'Morita' N, P und K in Mengen von 70 kg/ha; 9,2 kg/ha und 32 kg/ha benötigt werden (Jarma 2008).

In *Stevia rebaudiana* zeigen sich Interaktionen zwischen Zink (Zn) und Phosphor (P). In einem Versuch hat man sie in Einzelgaben oder kombiniert über den Boden zugeführt (Zink mit 10

kg/ha und Phosphor (als P_2O_5) mit 30 Kg/ha. Am 15., 30., 45. und 60. Tag hat man die Aufnahme von Phosphor und Zink bestimmt, indem man den durchschnittlichen Gehalt an Zn im Boden und in den Pflanzen gemessen hat. Es ergaben sich folgende Ergebnisse: bei der Zink-Behandlung fand man einen Wert von 1,32 mg Zn/Kg Boden; bei der Phosphat-Behandlung fand man einen Wert von 0,47 mg Zn/Kg Boden. Wenn beide über den Boden gegeben wurden, betrug der Gehalt an Zn 0,81 mg/Kg. In der Pflanze, wenn nur Zink zugegeben wurde, hatte man 4,5 mg Zn/Kg Biomasse; wenn nur Phosphor zugegeben wurde, lag der Gehalt an Zink bei 2,25 mg Zn/Kg Biomasse. Wenn beides zugegeben wurde, lag der Zink-Gehalt bei 2,46 mg Zn/Kg Biomasse. Dies zeigt, dass zwischen Zink und Phosphor ein Antagonismus besteht, der seine Verfügbarkeit im Boden und in der Pflanze betrifft. Auch die Größe der Pflanze wurde untersucht, ebenso wie ihre Triebe und Anzahl an Blättern (Das *et al.*, 2005a, 2005b).

Alle Mängel an N, P, K, Ca, Mg und S verringern die Ca-Absorption und die Verminderung anderer Nutrimente -außer Ca, der nur die Absorption von Ca bestimmt. Mängel an K betreffen nicht die Absorption von Mg und S. Die Nährelemente, die die Menge an Steviosiden verringern, sind K, Ca und S. Ein Mangel an N, K, und Mg verringern die Blattproduktion (Utumi *et al.*, 1999). Pflanzen mit einem Ca-Gehalt von 2 g/kg in den Blättern zeigen ein deutliche Mangelsymptome von diesem Element; es zeigen sich große Mängel an Bor um die 20 mg/kg in den Blättern (Filho *et al.*, 1997). Untersuchungen mit Nährlösungen haben gezeigt, dass hohe Konzentrationen an Steviosiden und Rebaudiosiden entstehen, wenn 5 ppm Bor gegeben werden (Ramesh *et al.*, 2006).

Temperatur

Sehr hohe oder sehr niedrige Temperaturen können reversible oder irreversible Schäden im pflanzlichen Gewebe anrichten. Die meisten Prozesse haben ein Temperaturoptimum zwischen 20°C - 25°C (Alvin *et al.*, 1977). Die Temperatur beeinflusst die Geschwindigkeit der biochemischen Reaktionen, die sich in 10°C-Schritten verdoppeln oder verdreifachen. Oft wird es als Q_{10} ausgedrückt. In Versuchsreihen zwischen 15°C und 25°C (James, 1953), kann die Temperatur die Wachstumsrate und Entwicklung der Pflanze beeinflussen, ebenso wie die Produktion der Blätter und deren Wachstum sowie die Blüte (Sutcliffe, 1978). Die Extremwerte der Temperaturen können das Überleben und die ökologische Verteilung der Pflanzen beeinflussen (Ludlow, 1982). Eine große Variabilität kommt zwischen den optimalen maximalen und minimalen Temperaturen in den verschiedenen Arten vor, wobei bei den meisten C_3 Pflanzen der optimale Temperaturbereich für die Photosynthese zwischen 15°C und 30°C liegt. Aber für Pflanzen, die im Schatten leben oder für diejenigen, deren Blütezeit am Anfang des

Frühlings ist, ist dieser optimaler Bereich zwischen 10°C und 20°C. Für Sonnenpflanzen liegt dieser Bereich zwischen 25°C und 35°C; manche Wüstenbüsche tolerieren bis zu 40°C. Die C₄ Pflanzen erreichen ein Optimum ihrer Photosynthese zwischen 30°C und 40°C (Azcon und Talon, 2000).

Die natürliche Umgebung, in der *Stevia rebaudiana* wächst, ist subtropisch. Sie kommt aus Paraguay und ist wahrscheinlich endemisch in diesem Land (Soejarto, 2002). Die klimatologischen Angaben für die Gegend von Amabay basieren auf meteorologischen Daten der Jahre 1946 bis 1967. Sie haben einen Durchschnittswert von 22,5°C; das Minimum liegt bei 17°C und das Maximum bei 26°C (Soejarto, 2002). Falasca und Ulberich (2004) untersuchten das Klima der natürlichen Umgebung dieser Art; sie beriefen sich auf die Daten aus den Jahren 1961 bis 1990 und bestimmten, dass die maximale Temperatur bei 40-42°C liegt, während die niedrigste bei -3,8°C liegt. In Versuchen mit kontrollierten Bedingungen in Gewächshäusern und Phytotronen in Japan stellte sich heraus, dass der optimale Temperaturbereich für das Wachstum von *Stevia rebaudiana* Bertoni zwischen 15°C und 30°C liegt (Kinghorn, 2002; Ramesh *et al.*, 2006). Die Pflanzen können kritische Temperaturen um die 0°C bis 2°C tolerieren; sie zeigen eine Toleranzgrenze im Minusbereich von -3°C (Soejarto, 2002; Ramesh *et al.*, 2006). In einem Versuch konnten kleine *Stevia*-Pflanzen mit 10 Blättern eine Temperatur von -5°C für 70 Min. ertragen, was dafür spricht, dass die möglichen Anbauregionen dieser Pflanzen sich auf höheren Breitengrad erstrecken könnten (Taiariol, 2005).

Aussaat und Keimung werden von der Temperatur beeinflusst. Die optimale Keimtemperatur der Samen liegt bei 24°C (Ramesh *et al.*, 2006). In der Universität von Córdoba (Argentinien) werden Versuche mit den Samen der *Stevia* durchgeführt: manche werden bei Raumtemperatur in Tüten gelagert, während andere in einem Behälter in dem Kühlschrank bei 4°C während 11 Monate eingelagert werden. Anfangs haben sie eine Keimrate von 63%; die, die bei Raumtemperatur aufbewahrt wurden, hatten eine Keimrate von 51% und diejenigen, die im Kühlschrank gelagert worden waren, eine Keimrate von 61%. Dies zeigt, dass es möglich ist, die Samen bei dieser niedrigen Temperatur nach der Ernte aufzubewahren (Cabanillas *et al.*, 1999). Es wird auch berichtet, dass Samen von *Stevia rebaudiana* sich bei 0°C lagern lassen; dabei verringert sich aber die Keimrate nach drei Jahren um 50% (Madan *et al.*, 2010).

In Tabelle 2.4 werden die Daten des Einflusses der verschiedenen Tag/Nacht-Temperaturen aufgelistet und deren Effekte auf das Trockengewicht an Blättern (g/Pflanze) und deren Gehalt an Steviosid (%). Es wird angenommen, dass die optimale Durchschnittstemperatur für das

Wachstum und den Gehalt an Süßstoffen bei 25°C/20°C Tag/Nacht liegt (Mizukami *et al.*, 1983).

Tabelle 2.4: Blattgewicht , Steviosidgehalt und -ertrag bei unterschiedlichen Tag/Nacht-Temperaturen (aus: Mizukami *et al.*, 1983)

Tag/Nacht-Temperatur (°C)	Blattgewicht (in g TM/Pflanze)	Steviosidgehalt (%)	Steviosidertrag (g/Pflanze)
35/30	6,71	8,5±1,2	0,57±0,09
25/20	10,33	9,2± 0,7	0,95±0,09
15/10	3,79	6,6±0,5	0,25±0,04

Strahlung und Photoperiode

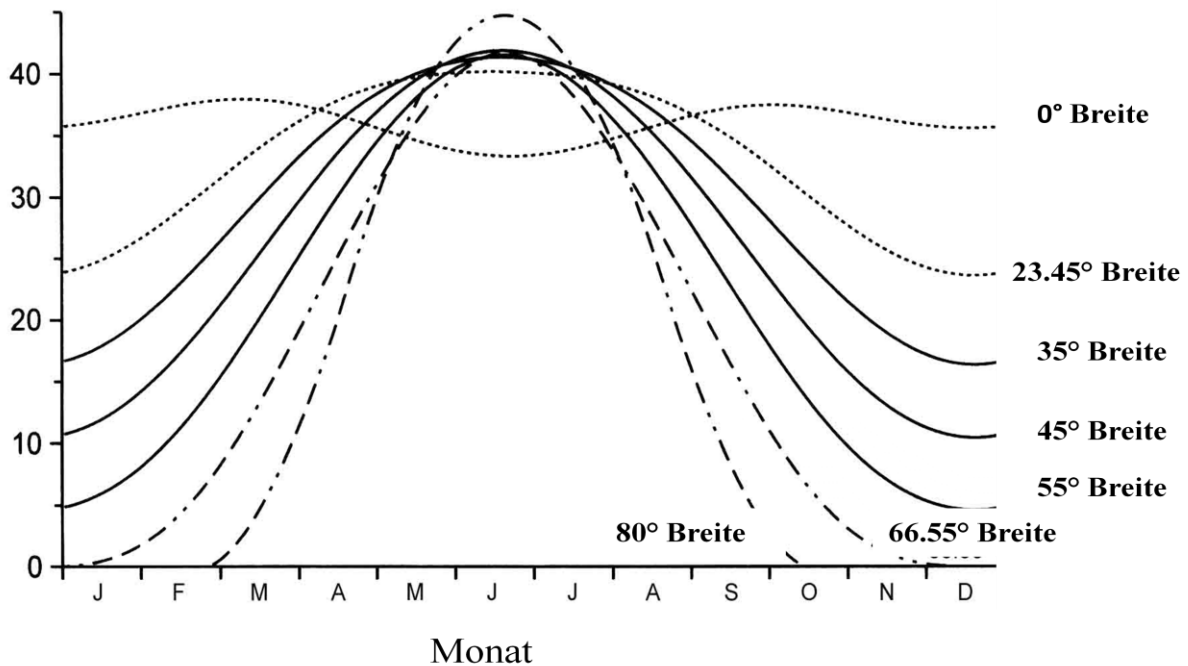


Abb. 2.2: Tägliche Gesamtbeträge der unverminderten Einstrahlung, die auf eine horizontale Oberfläche einfällt, an verschiedenen geographischen Breitengraden. Sie werden als Funktion der Jahreszeit dargestellt auf der Basis von $1353\text{kJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ für die Solarkonstante (aus Campbell, J.W., and Aarup, T., 1989).

Die Strahlungsenergie, die die Erdoberfläche erreicht, wird von den Pflanzen gut für die Photosynthese ausgenutzt, für ihr Wachstum und ihre Entwicklung. Der Mensch benutzt direkt

oder indirekt die Sonnenstrahlung mit der Ausnahme von der atomaren und geothermischen Energie (Gardner *et al.*, 1985).

Die Solarkonstante beträgt 2,00 cal/cm²*min (1395 W/m²); sie ist die Energie, die die Erdoberfläche erreicht, wenn die Sonnenstrahlen mit einem geraden Winkel auf die Erde eintreffen. 44% davon entsprechen der photosynthetisch aktiven Strahlung. Diese wird durch die Breitengrade beeinflusst, weil sie in einem variierenden solaren Winkel einfällt, ebenso wie durch die Höhe des Lichts pro Flächeneinheit, durch die Länge des Tages (Photoperiodismus) je nach Jahreszeit und durch klimatische Bedingungen. Kleinere Faktoren können sie auch beeinflussen, wie die Fluktuation der Sonnenstrahlung, die Distanz zwischen Erde und Sonne und die Reflektion der Erde selbst (Gardner *et al.*, 1985; Coll *et al.*, 2001). Tabelle 2.5 und Abbildung 2.2 zeigen die Beziehung zwischen Breitengrad und Photoperiode während der Jahreszeiten.

Tab. 2.5: Tageslängen (TL) und Gesamtdauer der morgendlichen plus der abendlichen bürgerlichen Dämmerung (D) in verschiedenen geographischen Breiten in Stunden und Minuten (Genauigkeit ± 2 Minuten) (aus: Eimern und Häckel, 1979)

Nördl.Breite		0°	20°	40°	50°	60°	68°	90°
21. März	TL	12.07	12.07	12.09	12.10	12.14	12.18	24.00
	D	0.46	0.48	1.00	1.10	1.32	2.02	1
21. Juni	TL	12.06	13.25	15.01	16.22	18.53	24.00	24.00
	D	0.50	0.54	1.14	1.42	1	1	1
23.sept.	TL	12.07	12.07	12.09	12.10	12.14	12.18	24.00
	D	0.46	0.48	1.00	1.10	1.32	2.02	2.02
22. Dez.	TL	12.06	10.53	9.20	8.04	5.52	0.00	0.00
	D	0.50	0.52	1.08	1.26	2.08	2	0.00

1 Dauernd hell, 2 Polarnacht mit kurzer Mittagsdämmerung.

Die Tageslänge ist am Äquator sowie am 21. März und 23. September wegen der Lichtbrechung der Strahlen durch die Atmosphäre einige Minuten länger als genau 12 Stunden.

Abbildung 2.3 zeigt die Beziehung zwischen Breitengrad, Einstrahlung und Photoperiode während einem Jahr für die Nord- und Süd-Hemisphäre. *Stevia rebaudiana* wächst an seinem Ursprungsort in Paraguay, zwischen 22°30' bis 25°30' südlicher Breite und 55° bis 57° westlicher Länge, in einer Zone zwischen 200 - 700 Höhenmetern (Soejarto *et al.*, 2002). Aber diese Pflanze befindet sich an verschiedenen Breitengraden in Kultur und im Versuchsanbau.

Eine unterschiedliche Länge der Photoperiode hat Einfluss auf das vegetative Wachstum (Ramesh et al., 2006). Die Bildung der Blütenknospe setzt bei einer Photoperiode von 11 Stunden 46 Tage und die Blüte 58 Tage nach der Aussaat ein. Bei einer Photoperiode von 12,5 Stunden findet die Bildung der Blütenknospe nach 56 Tagen statt, und die Blütezeit nach 68 Tagen. Mit einer Photoperiode von 14 Stunden findet die Bildung der Blütenknospe nach 92 Tagen statt und die Blütezeit nach 96 Tagen (Kudo und Koga, 1977).

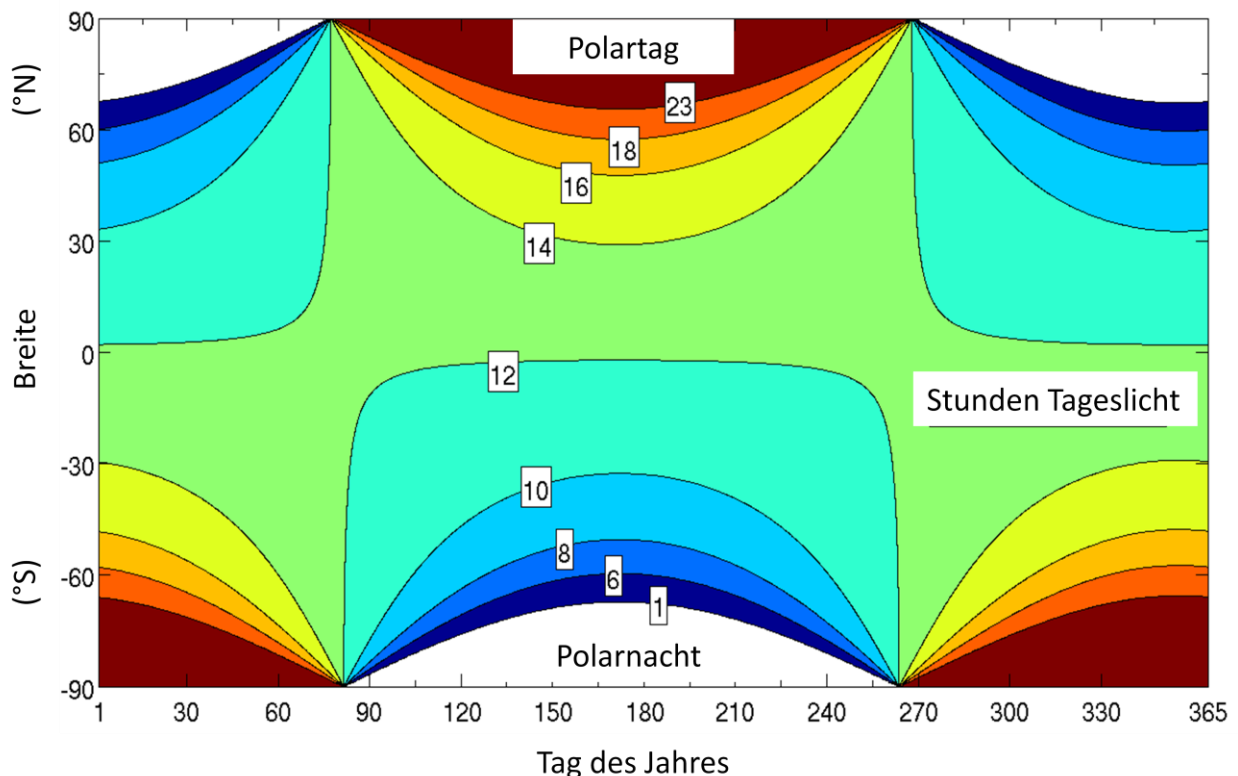


Abb. 2.3: Anzahl der Stunden mit Tageslicht in Abhängigkeit vom Breitengrade (aus: Jalanpalmer, 2010).

Metivier und Viana (1979) beobachteten, dass Pflanzen, die unter Kurztagverhältnissen gewachsen waren, 60 Tage nach der Keimung eine Höhe von 5 cm aufwiesen, während die im Langtag gewachsenen Versuchspflanzen eine Höhe von 10 cm erreichten. Unter Langtagverhältnissen hatten die Pflanzen nach 90 Tagen die 3,6-fache Höhe der Pflanzen im Kurztag erreicht. Am Ende des Experiments, nach 110 Tagen, hatten die Pflanzen im Langtag eine um das 2,6-fache größere Höhe erzielt als die im Kurztag, so dass von einer absoluten Wachstumsrate von 0,88 cm/Tag gesprochen werden kann. Unter Kurztagverhältnissen zeigten die Pflanzen zwei Wachstumsphasen: eine langsame bis zum 90. Tag, mit einer absoluten Wachstumsrate von 0,16 cm/Tag, und eine schnellere, nach dem 90. Tag, mit einer Rate von 0,6

cm/Tag. Das stärkere Wachstum von Pflanzen mit einer Photoperiode von 16 Stunden hat zwei Ursachen: die Länge und die Anzahl der Internodien (Abb. 2.4) (Metivier und Viana, 1979).

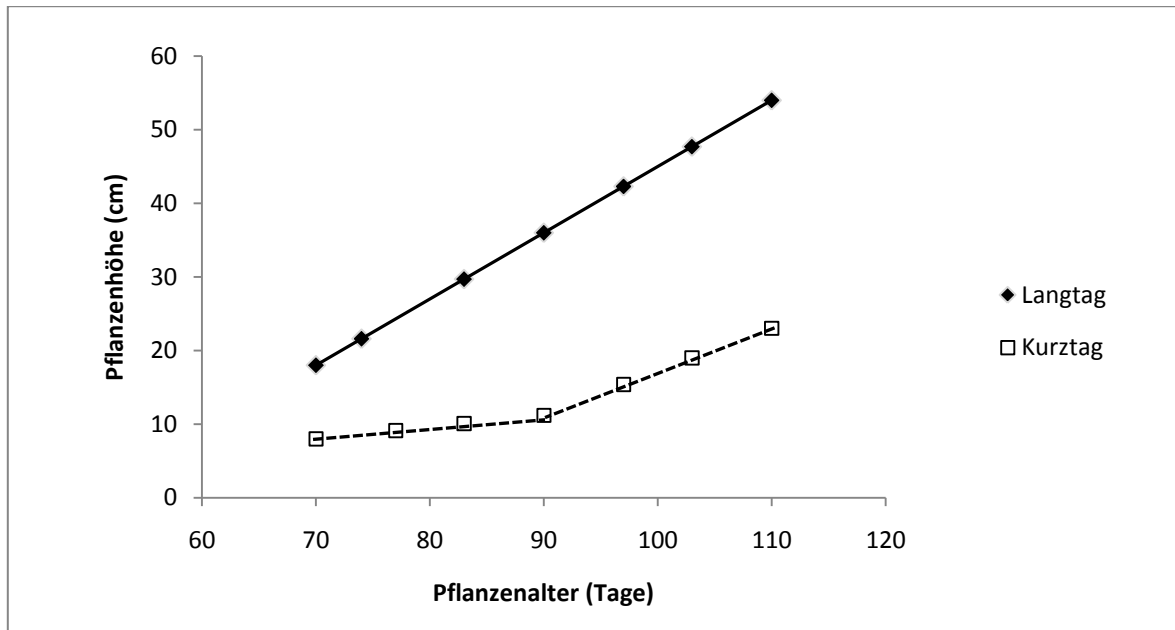


Abb. 2.4: Einfluß von Lang- und Kurztag auf das Wachstum von *Stevia rebaudiana* Bertoni (nach Metivier und Viana, 1979).

In einem anderen Versuch wurde gezeigt, dass die *Stevia rebaudiana* Pflanzen, die unter einer Photoperiode von 11 Stunden wuchsen, 13,5 Nodien hatten; die mit einer Photoperiode von 14 Stunden hatten 34 Nodien. Daraus folgt, dass je länger die Photoperiode, desto höher die Nodienanzahl und desto höher die Pflanzen (Kudo et al., 1977).

Wenn man gleichaltrige Pflanzen vergleicht, stellt sich heraus, dass Pflanzen, die mit einer Photoperiode von 16 Stunden gewachsen sind, mehr Blattpaare hervorbringen, eins alle 4,08 Tage. Die Pflanzen, die mit einer Photoperiode von acht Stunden gewachsen sind, brauchen 4,81 Tage um ein Blattpaar hervorzubringen. Nach 145 Tagen hatten Pflanzen, die mit einer langen Photoperiode wuchsen, 35 Blattpaare und diejenigen, die mit einer kurzen Photoperiode wuchsen, hatten zwischen 26 - 30 Blattpaare. Man fand auch heraus, dass Pflanzen, die unter einer Photoperiode von 8 Stunden gewachsen waren, eine kürzere Länge hatten (3 - 4 cm) als diejenigen, die mit einer Photoperiode von 16 Stunden gewachsen sind (6,8 - 7,4 cm) (Metivier und Viana, 1979).

In einer anderen Studie wurden Pflanzen 40 Tage nachdem sie gesät worden waren, untersucht. Sie hatten 4 - 5 Blattpaare und wurden unter konstantem Licht mit verschiedenen Photoperioden (8, 10, 12, 14 und 16 Stunden) kultiviert. Bei einer Photoperiode von 8 Stunden setzte die Blüte

früher ein. Unter einer Photoperiode von 12 Stunden war die Blüte verzögert und mit einer Photoperiode von 14 - 16 Stunden blieben die Pflanzen in der vegetativen Phase. Ähnliche Versuche wurden mit Pflanzen mit 10 - 12 Blattpaaren (ungefähr 70 Tage nach der Aussaat) und Photoperioden von 12, 13, 14, 15 und 16 Stunden durchgeführt. Nur die Pflanzen mit einer Photoperiode von 12 und 13 Stunden haben geblüht, so dass von *Stevia rebaudiana* gesagt werden kann, dass sie eine Kurztagpflanze ist, mit einer kritischen Photoperiode zwischen 12 und 13 Stunden (Valio *et al.*, 1977).

In Paraguay hat man Versuche mit 14 Genotypen von *Stevia rebaudiana* durchgeführt, wobei die Photoperiode zwischen 8, 10, 12 und 14 Stunden variiert wurde. In Abhängigkeit von der physiologischen Reaktion konnten drei Gruppen definiert werden: (A) die Pflanze kommt nur bei einer Photoperiode von 8, 10 oder 12 Stunden zur Blüte; (B) die Blüte setzt nur bei einer Photoperiode von 10 und 12 Stunden ein; (C) die Pflanze blüht bei einer Photoperiode von 8, 10, 12 und 14 Stunden (Zaidan *et al.*, 1980).

Das Verhalten zweier *Stevia rebaudiana* Sorten (Morita 1 und Morita 2) wurde auch unter verschiedenen Einstrahlungsintensitäten untersucht. Die Pflanzen wurden 100%, 62%, 57% und 20% Einstrahlung ausgesetzt. Es stellte sich heraus, dass der Trockenmasseertrag positiv und im gleichen Verhältnis auf die Steigerung der Einstrahlung reagierte (Jarma *et al.*, 2005).

Man hat herausgefunden, dass Pflanzen von *Stevia rebaudiana*, die mit einer Photoperiode von 16 Stunden wachsen, eine höhere Konzentration an Steviosiden in den Blättern aufweisen (347%) verglichen mit Pflanzen der gleichen Art, die unter einer Photoperiode von 8 Stunden wachsen (50,6%), dabei wurden die Pflanzen, die unter natürlichen Bedingungen wuchsen als Vergleich (100%) herangezogen. Unter diesen natürlichen Bedingungen hat man den Steviosid-Gehalt der Blätter in zwei Entwicklungsstadien untersucht, vor der Blütezeit mit 6,88% Gehalt in der Trockenmasse und in der Blütezeit, mit 6,05% in der Trockenmasse (Zaidan *et al.*, 1980).

Genotypen

Die Gattung *Stevia* (Eupatorieae, Compositae) hat 240 native Arten (Landázuri und Tigrero, 2009), die über den Südosten der Vereinigten Staaten verbreitet sind, bis in den Süden von Mexico und Zentral Amerika. Man findet sie auch in Süd-Amerika ab der nicht-amazonischen Region bis Zentral-Argentinien (King *et al.*, 1987).

Der Genus *Stevia* zeigt Variationen in der Anzahl an Chromosomen; generell gilt $n = 11$ ($2n = 22$), aber es wurden auch Werte von $2n = 24, 33, 34, 44, 48, 66$ und 70 gefunden (Oliveira *et al.*,

2004). In Süd-Amerika sind die Arten hauptsächlich diploid; in den Vereinigten Staaten, Mexiko und Zentral-Amerika gibt es Polyploidie, die mit Aneuploidie und Vermehrung durch Apomixis verbunden ist (King *et al.*, 1976).

Organoleptisch wurden 184 Blattexemplare von botanischen Gärten und vom Naturkunde Museum von Chicago untersucht. Diese Exemplare beinhalteten 110 *Stevia*-Arten und 121 *Stevia*-Taxa; in 18 von ihnen wurde ein süßer Geschmack identifiziert. Die vielversprechenden Taxa waren: *Stevia caracasana*, *S. lemmonii*, *S. micradenia*, *S. nelsonii*, *S. oligocephala*, *S. origanoides*, *S. ovalis*, *S. perfoliata*, *S. phlebophylla*, *S. pilosa*, *S. porphyrea*, *S. puberlua*, *S. quitensis*, *S. rebaudiana*, *S. reticulata*, *S. vaga*, *S. viscida*, *S. wagneri* (Soejarto, 1982).

Für *Stevia rebaudiana* beträgt die Chromosomenzahl $2n = 22$ (Federico *et al.*, 1996; Monteiro, 1982). Sie wurden von Oliveira *et al.*, (2004) untersucht und bestätigt. Mit der Ausnahme von zweien, die $2n = 33$ und $2n = 44$ hatten, öffneten die gewonnenen Ergebnissen neue Möglichkeiten, um die Genetik von *Stevia rebaudiana* zu verbessern, da die polyploiden Pflanzen einen höheren Gehalt an Steviosiden haben können als die diploiden Pflanzen. Die Auswahl der Pflanzen für den Markt könnte die Vermehrung dieser Komponenten erhöhen, trotz männlicher Sterilität, die in manchen *Stevia*-Varietäten vorkommt. Agamospermie könnte eine ausreichende Produktion an Samen garantieren und zur Verbesserung dieser Art beitragen.

Die Art zeigt viele Ökotypen. Mitsuhashi (1975) selektierte 28 verschiedene Ökotypen und charakterisierte sie hauptsächlich anhand ihrer morphologischen Eigenschaften. Der Gehalt an Steviosiden variiert zwischen 2,07 und 18,34%.

Sumida (1980) beschreibt eine Reihe an Arbeiten mit 22 Varietäten von *Stevia rebaudiana* Bertoni. Verschiedene Eigenschaften der Pflanzen wurden untersucht und mit der Heritabilität in Verbindung gebracht. 11 morphologische und 6 Gehalts-Eigenschaften wurden untersucht. Von diesen 17 Eigenschaften zeigte nur das Trockengewicht der Blätter eine niedrige Korrelation mit der Heritabilität; die größten Korrelationen stehen dem Anfang der Blüte, der Blüte, der Höhe der Pflanze, die Anzahl an Knoten pro Zweig und dem Gehalt an Steviosiden zu. Sumida schließt daraus, dass die morphologischen Eigenschaften ebenso wie der Gehalt an Wirkstoffen einen selektierenden Effekt für die Verbesserung der Genotypen haben (Tab. 2.6).

In Studien, die in Kanada durchgeführt wurden (Tab. 2.7), stellte sich heraus, dass es eine hohe Heritabilität für den Blattertrag gibt (75,5), ebenso wie für das Verhältnis Blätter/Zweig (86,5) und den Gehalt an Steviosiden (83,3). Daraus lässt sich schließen, dass diese hohe Heritabilität,

Tabelle 2.6: Heritabilität verschiedener Merkmale von *Stevia rebaudiana* (aus Jenet, 1996). Sumida 1980.

Merkmal	Heritabilitätskoeffizient (h^2)
Anfang der Blüte	0,994
Blühzeit	0,998
Wachstumsrate in der Jugendphase	0,886
Pflanzenhöhe	0,975
Internodienzahl des Stängels	0,958
Anzahl der Verzweigungen 1. Grades	0,881
Anzahl der abgestorbenen Blätter am Stängel	0,937
Verhältnis abgestorbene Blätter/Gesamtblattzahl	0,919
Widerstand gegen Bruch	0,731
Widerstand gegen Lager	0,93
Widerstand gegen Trockenheit	0,926
Blatttrockengewicht	0,620-0,755
Blatt/Stängel-Verhältnis	0,865
Trockengewicht der Stängel und Zweige	0,819
Steviosidgehalt	0,943
Rebaudosid-A-Gehalt	0,774
Steviosidertrag	0,793-0,833
Rebaudosid-A-Ertrag	0,709

in Bezug auf diese drei wirtschaftlichen signifikanten Eigenschaften, die Selektion und eine bessere Genetik erlauben (Brandle, 1992).

Tabelle 2.7: Heritabilität [h^2], Schätzwert für den Selektionserfolg [R], Durchschnitt Intervall (Rang) und Standardfehler [SE] für ökonomisch-signifikante Merkmale, einer Stevie-Landsorte (aus Brandle und Rosa, 1992).

Merkmal	h^2	R	Durchschnitt intervall	Rang	SE
Höhe (cm)	-	-	62,2	56,3-65,9	4,6
Blattertrag kg/ha	75,5	358,9	3690,0	2144-3494	257,0
Blatt/Stängel Verhältnis	86,5	0,2	1,22	1,00-1,42	0,2
Stevioside (mg/g)	83,3	21,3	104,7	85,3-134,1	8,2

Gaurav et al. (2008) publizierten eine Studie über die genetische Variabilität und die Ausbeute für sieben genetische Eigenschaften bei 10 *Stevia rebaudiana* Varietäten. In Tabelle 2.8 werden der Mittelwert und die Variationskoeffizienten für den Phänotyp (PCV), den Genotyp (GCV),

die Heritabilität und die genetische Erwartung für die sieben Eigenschaften angegeben. Die größten PVC- und GCV-Werte waren für die Breite der Blätter mit respektiven Werten von 31,73 und 31,41; die größte Heritabilität war für die Ausbeute der Blätter (h^2 99,00); der größte Wert an E.G.A. war für die Höhe der Pflanzen (20,86) gefolgt von der Anzahl an Blättern pro Pflanze (17,85). Der Gehalt an Steviosid lag bei 13,04%; die anderen zeigten hoch signifikante negative Korrelationen zwischen der Länge des Blattes (-0,79), und der Breite des Blattes (-0,85). In Bezug auf die Ausbeute an Blättern waren die positiven Korrelationen hoch signifikant für die Höhe der Pflanze (0,82) und die Anzahl an Infloreszenzen pro Pflanze (0,82) bezüglich der Anzahl an Blättern pro Pflanze.

Tabelle 2.8: Abschätzung der Durchschnittswerte, phänotypische (PCV) und genotypische Variationskoeffizienten (GCV), Heritabilität (h^2) und erwartete genetische Verbesserung (EGA) für sieben Eigenschaften von *Stevia rebaudiana*.

Eigenschaft	Durchschnitt	PCV	GCV	h^2	EGA
Blattlänge	2,49	24,74	24,06	94,40	1,20
Blattbreite	0,78	31,73	31,41	98,00	0,50
Pflanzenhöhe	69,06	15,12	14,89	97,00	20,86
Anzahl an Blüten/ Pflanzen	15,06	20,31	20,08	97,80	6,49
Blattertrag	19,68	21,70	21,68	99,00	12,46
Anzahl an Blätter/Pflanze	391,90	22,28	21,84	96,10	17,85
Steviosid-Gehalt	11,76	6,11	5,88	92,80	13,4

Die Ausbeute an Blättern ist proportional zur Anzahl an Zweigen, an Blättern und zur Höhe der Pflanze (Midmore, 2002). Der Gehalt an Steviosiden ist positiv mit dem Verhältnis Blatt/Zweig korreliert (Tateo *et al.*, 1998).

Der Gesamtgehalt an Steviosiden in Blättern von kleinen Pflanzen und während der Reife ist nicht korreliert. Der Gesamtgehalt an Rebaudiosiden hängt von einer großen Blattfläche ab, ebenso wie von hohen netto Photosyntheseraten und hohen Gehalten an Chlorophyll und Proteinen (Weng, 1996). Auch der Ertrag an Trockengewicht der Blätter korreliert mit der Größe und Dicke der Blätter. Die Beziehung Rebaudiosid A/ Steviosid korreliert mit der Dicke der Blätter (Shyu *et al.*, 1994).

Theoretisch müsste die Verbesserung von *Stevia*, um eine Sorte mit hoher Rendite zu gewinnen, folgendes berücksichtigen: eine hohe Konzentration an Steviosiden, hohe Resistenzen und eine weitgehende Anpassungsfähigkeit der wirtschaftlich wichtigsten Eigenschaften (Shizen, 1995). Es ist notwendig, die größten Pflanzen auszuwählen, mit üppigem Blattwerk und großen

Blättern. Auf dieser Basis wurden in China zwei Sorten selektiert, 'Yunri' und 'Yumbin', aus denen eine neue kreiert worden ist, 'Zhongpin' (Shizen, 1995).

Die aktuellen Varietäten stammen aus der Criolla (einheimisch in Paraguay). Zwischen ihnen findet man um die 300 „Untersorten“. Aufgrund dieser breiten genetischen Varianz ist sie resistent und anpassungsfähig an verschiedene agroklimatische Bedingungen (Tairiol *et al.*, 2010). Tabelle 2.9 stellt einige Selektionen und Varietäten von *Stevia rebaudiana* dar.

Die Varietät, die in Paraguay am häufigsten kultiviert wird, ist die einheimische Criolla. Sie hat den Vorteil, dass sie sich über Samen vermehren lässt. Sie hat eine durchschnittliche Höhe von 60 cm. 2005 hat man einen Klon aus ihr entwickelt, IAN/VC-142 (Eirete), der nur vegetativ vermehrbar ist und 120 cm Höhe erreicht. 2009 hat man eine neue Sorte 'Katupyry' auf den Markt gebracht, die einen hohen Biomassegehalt produziert, bis zu 3000 kg pro Schnitt. Sie kann auf ärmeren Böden gedeihen (Casaccia *et al.*, 2006; REDIEX 2009).

In Argentinien hat man durch Klon-Selektion, *in-vitro* Vermehrung und Kreuzungen eine neue Sorte entwickelt. Sie wurde 2005 registriert und 2010 wurde sie unter dem Namen 'Iguazu' auf den Markt gebracht. Sie hat einen hohen Gehalt an Steviol-Glykosiden, ist gegen Krankheiten und Trockenheit resistent. Sie wird ab 2011 von Cargill vermarktet (CTM 2011).

Auch die Firma Pure Circle agiert auf dem Weltmarkt. Sie hat 2008 fünf Sorten (PC1, 2, 4, 6 und 7) registrieren lassen. 'PC1' lässt sich zweimal im Jahr ernten und ergibt 5000 kg/ha/Ja hr 'PC2' lässt sich viermal schneiden und erbringt 4500 kg/ha/Jahr. 'PC4' bringt 7000 kg/ha/Jahr bei vier Ernten, während 'PC7', mit der auch vier Ernten pro Jahr (6500 kg/ha/Jahr) möglich sind, zusätzlich sehr resistent gegenüber *Septoria*-Pilzen ist. 'PC6' kann viermal im Jahr geschnitten werden (Alvarez *et al.*, 2010).

Die GLM-Gesellschaft hat 2009 die Sorte 'Huinong 1' auf den Markt gebracht und vor kurzem 'Huinong 2' und 3, die einen hohen Gehalt an Rebaudiosid A aufweisen (GLG 2009, 2011).

Die Gesellschaft Sun Fruit hat 2005 die Sorten 'SRB-123' und 'SRB-512' vorgestellt, beide mit einem Gehalt an Steviol-Glykosiden zwischen 9 - 12%. Vor Kurzem stellten sie die Sorte 'SRB-128' vor, die gezielt für einen Anbau in das subtropischem Klima entwickelt wurde. Die Pflanze

Tabelle. 2.9: Varietäten und Selektionen

Jahr	Ort	Sorte	Züchter	Patent-Nr	Lizenzinhaber	Gesamt-Steviosid (%)	Rebaudiosid -A	Glykoside	Referenzen
	Paraguay	Criolla	Javier (Casaccia 2006)			9,3	2,3	7	Casaccia <i>et al.</i> , 2006
1978	Japan	Morita I	Morita; Toyoshige	4082858 US	Morita Kagaku Kogyo Co. , Ltd				
1979	Korea	Suweon 2				22			Lee, j. <i>et al.</i> , 1978
1982	Korea	Suweon 11							Lee, J. <i>et al.</i> 1982
1989	Indonesien	BPP72							Shendi 1989
1993-94	Russland	Ramonskaya Slestena				14,6			Zhuzhzhhalova <i>et al.</i> , 2004
	Russland	Sofia				15,6	Tetraploid		
1994	Taiwan	K1				4,75	0,59	3,87	Shyu <i>et al.</i> , 1994
		K2				7,19	4,34	2,08	
		K3				5,46	4,05	0,88	
1995	China	Yunri,				20,45	6,23	13,08	Shizhen 1995
		Yunbin				18,36	6,26	12,55	
		Minpu,				16,6	5,61	11,17	
		Yuehua				14,3	3,94	11,49	
		Xinshi				14,41	5,29	9,3	
		Xiangru				17,56	5,21	12,39	
		Shujian				16,91	4,77	11,96	
		Zhesheng				18,31	5,13	13,11	
		Suwu				15,57	4,85	10,19	
		Luzi				16,42	3,97	12,16	
		Ji han				11,92	3,97	8,13	
Liaoyang				14,85	2,25	11,27			

Tabelle. 2.9: Varietäten und Selektionen, Fortsetzung

Jahr	Ort	Sorte	Züchter	Patent-Nr	Lizenzinhaber	Gesamt-Steviosid (%)	Rebaudiosid -A	Glykoside	Referenzen
1995	China	Zongping 1						Hochland St%	Shizhen 1995
1995	China	J2			Agricultural Research Institute of Nantong Farm Chinese	14,61	9,1		Ying-Sen <i>et al.</i> , 1995
1996	China	SM4						Ertrag 1,5%, R-A Verhältnis	Weng <i>et al.</i> , 1996
1998	Kanada	RSIT 94-751	Marsolais; Albert Anthony, Brandle; James und Elizabeth Annl	PP10,564 US	Royal-Sweet International Technologies Ltd				
1998	Kanada	RSIT 94-1306		PP10,562 US					
1998	Kanada	RSIT 95-166-13		PP 10,563US					
2000	Japan	Morita II	Morita; Toyoshige	6,031,157 US	Morita Kagaku Kogyo Co. , Ltd			ST:RA mehr als 2,54	
2000	Japan	Morita III	Morita; Toyoshige	6,080,561 US					
2001	Kanada		Brandle; Jim	6,255,557 US	Her Majesty the Queen in right of Canada by the Minister of Agri. and Agri-Food Canada (London, CA)	14 - 18,8			
2005 2005		SRB 123 SRB 512			Sun Fruits LTD.			9-12 9-12	Sun Fruits 2010
2005	Paraguay	Eirete	Javier (Casaccia IAN)		MAG IAN	15,02	6,78	7,26	Casaccia <i>et al.</i> , 2006
2008		SRB 128			Sun Fruits LTD			21	Sun Fruits 2010

Tabelle. 2.9: Varietäten und Selektionen, Fortsetzung

Jahr	Ort	Sorte	Züchter	Patent-Nr	Lizenzinhaber	Gesamt-Steviosid (%)	Rebaudiosid -A	Glykoside	Referenzen
2008		PC1			Pure Circle Süd-Amerika	16,02	13,06	1,84	Alvarez 2010
2008		PC2							
2008		PC4				14,65	9,95	3,5	
2008		PC6							
2008		PC7							
2009	China	Huinong 1			GLG Life Tech Corporation				GLG 2009
2010	Argentinien	Iguazu			CTM				CTM 2011
2010	Paraguay	Katupyry	Javier (Casaccia IAN)		MAG IAN				REDIEX 2010
2011	China	Huinong 3			GLG Life Tech Corporation				GLG 2011

passt sich hervorragend dem Klima des Nordens und Südens Indiens an, mit einem Gesamtgehalt an Steviol-Glykosiden von 21% (Sun Fruits 2010).

Ertrag

Stevia rebaudiana ist eine halbverholzende Pflanze, die zwischen fünf und sechs Jahren ausdauern kann (Ramesh *et al.*, 2010). Wenn man einen Schnitt durchführt wie in Deutschland (Lankes *et al.*, 2008), zwei Schnitte wie in Spanien (Kienle, 1993) oder drei bis vier wie in Paraguay (Casaccia *et al.*, 2006) variieren die Ausbeuten und der Gehalt an Steviosid und Rebaudiosid A. Sie hängen auch vom Standort und den Umweltbedingungen ab, unter denen die Pflanzen kultiviert werden. Tabelle 2.10 zeigt die Ertragsdaten bei verschiedenen Standorten und der Pflanzdichten.

In Deutschland (Pude *et al.*, 2005) wurden Untersuchungen zum Freilandanbau von *Stevia rebaudiana* durchgeführt; verschiedene Pflanzdichten, Einsatz von Folientunneln und Freilandanbau wurden untersucht. In Tabelle 2.11 lässt sich erkennen, dass im Folientunnel eine höhere Ausbeute an Blättern und Blüten erzielt wurde: 4020 kg/ha und 5170 kg/ha bei einer Dichte von 11 Pflanzen/m² bzw. 14 Pflanzen/m². Ab einer Dichte von 8 Pflanzen/m² lassen sich leicht erhöhte Werte an Steviosid (5,68%) und Rebaudiosid A (1,30%) erkennen.

Lankes und Pude (2008) fassen die Ergebnisse aus fünf-jährigen Freilandversuchen (2002-2006) am Versuchsstandort Klein-Altendorf (Universität Bonn) zusammen (Tab. 13). 2003 haben sich die Untersuchungen auf die Düngung bei einer einheitlichen Pflanzdichte von 11 Pflanzen/m² konzentriert unter Anwendung von: Kalkammonnitrat (KAS; 2,7% N; 3,7 dt/ha), Stallmist (3% N; 4% P₂O₅; 6% K₂O 33,3 dt/ha), Agrobiosol (7% N; 2% P₂O₅; 3% K₂O 4,2 dt/ha); Kalimagnesia (KMg, 30% K₂O; 10% MgO 5,6 dt/ha) und die Kombination KAS + KMg (3,7 dt/ha KAS und 5,6 dt/ha KMg). Die Düngebehandlungen hatten keinen nachweisbaren Einfluss auf die Erträge. Tendenziell zeigten sich bei Verwendung von Stallmist die höchsten Blatt/Blütenerträge (44,2 dt/ha), gefolgt von der ungedüngten Kontrolle (41,7 dt/ha) und dem Agrobiosol mit 40,5 dt/ha. Der Gehalt an Steviosid und Rebaudiosid A in den Blättern und Blüten betrug bei der Stallmist-Düngung 4,8% bzw. 1,32%; bei der Agrobiosol-Behandlung ergaben sich jeweils 4,08% bzw. 1,21% (Pude *et al.*, 2005)

2003 waren die klimatischen Bedingungen durch hohe Temperaturen und Trockenperioden charakterisiert. Deswegen wurde der gleiche Versuchsansatz 2004 wiederholt.

Tabelle 2.10: Wachstumshöhe, Ertrag und Anzahl an Ernten für *Stevia rebaudiana* für verschiedene Produktionsländer.

Anbauggebiet	Größe (cm)	Gesamt Trockengewicht	Trockenblätter (t)	TotalStv (%)	Ernte	Pflanzen (m ²)	Breitengrad	Längsgrad
Kalifornien USA (Shock 1982)		2,0-9,2	0,8-3,6	7	1	19	38°N	121°W
Kanada Ontario (Brandle <i>et al.</i> , 1992)	62	2-9,2	0,8-3,6	10,4		11	42° N	80° W
Spanien Sevilla (Kienle 1993)	95	5,4	2,1-4,2	19	2	16	37° N	6° W
China Taiwan (Shyu <i>et al.</i> , 1994) K2	44-47	11,5	7,2	7,19	3	4	24° N	
China Jiangsu (Huang <i>et al.</i> , 1995) J2/23				19,57			31°N	119°E
Russland (Kornienko <i>et al.</i> , 1995)		13,8	5,5	9			52°-60°N	
Bolivien (San Buenaventura) (Valois <i>et al.</i> , 2002)	54-46		1,8-2,6	8,1	2	4-10	15°-16°N	67°-68°W
Bolivien (Palos Blancos) (Valois <i>et al.</i> , 2002)	59-50		2-3,6		2	4-10	14°-15°S	66°-67°W
Italien San Piero (Fronza 2003)			4,3	6,5	2	6,6	43° N	10° E
Indien Palampur (Megeji <i>et al.</i> , 2005)	45	3,5-6,3	1,6-3,2	7-9	2	7,5	32° N	76° E
Indien (Tulasi 2006) SRB 128	50-70	4,16	3,0	21		7,5		
Italien San Piero (Andolfi <i>et al.</i> , 2006)			3,1-6,3		2	4,5	43°N	10°E
Paraguay Vr Eirete (Casaccia <i>et al.</i> , 2006)	120	4,9		18-19	3	10-12	23° S	
Deutschland Borken (Bürling 2007)	79-84	9,3-12,3	4,7-6,4		1	9	51°N	6° W
Deutschland (Lankes 2008)	56-74	3-12,1	1,6-6,7	7,1-6,6	1	8-14	51°N	
Argentinien (Martinez <i>et al.</i> , 2010)	66-73	3,4-3,7	1,9-2,0		2	5	30°S	60°W

Tabelle. 2.11: Blatt-, Stängel- und Krautrockenmasseerträge, Steviosid und Rebaudiosid A Gehalt im Folientunnel und Freiland bei unterschiedlichen Pflanzendichten 2002 (Pude *et al.*, 2005)

	Folientunnel (n=4)			Freiland (n=1)		
Pflanzdichte (Anzahl/ha)	80000	110000	140000	80000	110000	140000
Blatt-/Blütenertrag (kg/ha)	3340 b	4020 b	5170 a	2330	3210	4080
Stängelertrag (kg/ha)	4570 b	5520 b	6640 a	2550	3000	3790
Krautertrag (kg/ha)	7910 b	9540 b	11800 a	4880	6210	7880
Steviosidgehalt in Blatt/Blüten (%)	5,68 a	4,42 a	4,25 a	4,28	3,66	3,14
Rebaudiosid A-Gehalt in Blatt/Blüten (%)	1,3 a	0,71 a	0,72 a	0,59	0,45	0,37

aus Pude et al. 2005

Im Herbst 2004 wurden auf den Versuchsflächen die leistungsfähigsten Pflanzen selektiert (Lankes, 2007; Lankes und Pude, 2008). Sie wurden als Mutterpflanzen für Vermehrungsversuche verwendet. Dazu wurden sie in 2,8 l Container gepflanzt, die mit einer Mischung aus Sand und Vermehrungssubstrat (1:1) gefüllt waren und im Gewächshaus überwintert. Nach drei Monaten wurden die Pflanzen zurückgeschnitten und mit künstlichem Licht beleuchtet (Hochdruck-Natriumdampf-Lampen). So wurde eine Photoperiode von 16 Stunden Licht und 8 Stunden Nacht eingestellt. Sowohl im Frühjahr 2005 als auch 2006 wurden die benötigten Versuchspflanzen über krautige Stecklinge aus diesen Mutterpflanzen abvermehrt. Während der gesamten Anzuchtphase wurden die Langtagbedingungen im Gewächshaus aufrechterhalten. Die Temperatur erreichte am Tag zwischen 23 bis 25°C, in Abhängigkeit von der Sonneneinstrahlung auch bis zu 28°C. Die Nachttemperaturen bewegten sich zwischen 15°C und 18°C. 2006 wurden die Versuchspflanzen sowohl in „Jiffy Pots“ als auch in Erdpresstöpfen bewurzelt und angezogen (Lankes, 2007).

2005 wurden die Versuche mit Pflanzdichten von 5 und 9 Pflanzen/m² angelegt. Wegen der naßkalten Wetterverhältnisse im Frühjahr kam es allerdings zu einem Befall mit dem Pilz *Sclerotinia spp.*. Dadurch waren sowohl Wachstum (56,3 cm) als auch Ertrag (3,3 t/ha) stark beeinträchtigt. Blätter. 2006 wurden die Versuche mit 9 Pflanzen/m² an zwei Standorten (Versuchsstandort, Klein-Altendorf und Gartenbaubetrieb am Niederrhein) durchgeführt. Im Vergleich zum Versuchsstandort der Universität mit sandigem Lehmboden zeichnete sich die Feldfläche am Niederrhein durch lehmigen Sandboden aus. An diesem bezüglich der Bodenqualität ärmeren Standort wurde ein besseres Pflanzenwachstum und eine höhere Biomasseproduktion erzielt (Bürling, 2007; Lankes et al., 2008).

Die Untersuchungen, die bisher an der Universität Bonn durchgeführt wurden, zeigen, dass es möglich ist, auch in den gemäßigten Breiten Mitteleuropas *Stevia rebaudiana* Bertoni im Freiland anzubauen. Auch in Folientunnel sind sie nicht überwinterungsfähig, können aber im einjährigen Anbau genutzt werden. Aus im Gewächshaus überwinterten Mutterpflanze können durch Stecklingsvermehrung jährlich neue Bestände aufgebaut werden. Vermehrung und Anzucht in „Jiffy Pots“ führt im Vergleich zu Erdpresstöpfen zu besseren Überlebensraten im Feldanbau. Die Bodenverhältnisse beeinflussen die Pflanzenentwicklung. Der Bedarf an Nährstoffen ist gering und der Blattertrag hängt von der Menge an verfügbarem Wasser ab. Am Anfang ist die Entwicklung langsam, aber längere Tage befördern ein schnelleres Wachstum und so werden höhere Krauterträge erreicht. Die Variationen dieser Jahre zeigen ein Verbesserungspotential (Lankes und Pude, 2008). Allerdings waren die Erträge (Tab. 2.12), mit Ausnahme des Jahres 2005, im internationalen Vergleich relativ hoch. Sie übertrafen die meisten der in Tabelle 11 angegebenen Trockenmasseerträge.

Tabelle 2.12: Begutachtung von *S.rebaudiana*: Produktivität und Süßegehalt innerhalb von fünf Untersuchungsjahren- Die Daten sind die Durchschnittswerte für jedes Jahr; die Ertragsdaten beruhen auf Trockenmaterial (TM) (Lankes und Pude, 2008).

Merkmal	2002		2003	2004	2005	2006	2006
	Felduntersuchung und Versuchsstation	Folientunnel und Versuchsstation	Felduntersuchung und Versuchsstation				Felduntersuchung und Versuchsstation Ackerboden
Pflanzenhöhe (mm)	640	883	497	738	563	788	839
Gesamtertrag (dm; t ha⁻¹)	6,3	9,8	6,5	12,1	3	9,6	11,3
Stängelertrag (TM; t ha ⁻¹)	3,1	5,6	2,4	5,4	1,4	4,8	5,3
Blattertrag (TM; t ha ⁻¹)	3,2	4,2	4,1	6,7	1,6	4,8	5,9
Gesamtertrag an Blättern (%)	51	43	63	56	54	50	53
Steviosid-Gehalt(%)	3,7	4,8	4,4	4,9	5,6	10	9,7
Rebaudiosid-A-Gehalt (%)	0,5	0,9	1,3	1,7	1,5	4,6	3,9
Verhältnis Stevioside / Rebaudioside-A	7,9	5,3	3,5	2,9	3,8	2,2	2,5

3 Material und Methoden

3.1 Versuchsstandort

Die Versuche wurden während der Jahre 2009 und 2010 auf dem Gelände des Institutes für Nutzpflanzenwissenschaften und Ressourcenschutz, Bereich Pflanzen- und Gartenbauwissenschaften der Universität Bonn durchgeführt. Dieser Standort befindet sich in 51° nördlicher Breite und 7° östlicher Länge. Die Vegetationsperiode erstreckt sich über 165 bis 170 Tage, wobei von der dritten April-Dekade bis zur dritten August-Dekade Langtagbedingungen (Tageslänge > 14 h) vorherrschen.

3.2 Pflanzenmaterial

Die Untersuchungen wurden an ausgewählten Genotypen des Süßkrautes *Stevia rebaudiana* Bertoni durchgeführt. Aus Institutseigenen Selektionsarbeiten stand ein als „Gawi“ bezeichneter Genotyp zur Verfügung, der sich durch besondere Wüchsigkeit und Blattmassebildung auszeichnete (Lankes und Pude, 2008). Im Vergleich dazu wurde ein Genotyp aus Kolumbien, der von der Universität von Monteria bereit gestellt worden war, sowie fünf Genotypen, die Mitglieder der Europäischen Stevia Vereinigung (European Stevia Association, EUSTAS) verfügbar gemacht hatten, in die Untersuchungen aufgenommen.

Als Ausgangsmaterial standen von zwei Genotypen (A und B) Saatgut, von dreien (C, E und F) gut bewurzelte *in vitro* Sprosse und weiteren zweien (D und Gawi) vollständige Pflanzen zur Verfügung. Aus dem vegetativ vermehrbaren Material wurden zunächst Mutterpflanzenbestände aufgebaut, die im Gewächshaus überwintert und zur Förderung der vegetativen Entwicklung unter Langtagbedingungen (Tag/Nacht = 16/8 h) zum Austrieb gebracht wurden (Valio et al., 1977).

3.3 Anzucht und Pflege der Versuchspflanzen

Die generativ zu vermehrenden Genotypen wurden im Gewächshaus satzweise in Saatkisten ausgesät, so dass zu Versuchsbeginn Pflanzen ausgewählt werden konnten, die den vegetativ vermehrten in der Größe entsprachen.

Zur vegetativen Vermehrung wurden Stecklinge von vorgetriebenen, einjährigen Mutterpflanzen gewonnen. Um gleichmäßige Teilstecklinge zu erhalten, wurden nur Stängelstücke mit einem Blattpaar verwendet. Als Substrat für die Stecklingsbewurzelung dienten Torfquelltöpfe mit der Bezeichnung „Jiffy Pots“ (Jiffy-7, Tab. 3.1) mit einem Durchmesser von 4,2 cm, da sie sich erfahrungsgemäß am besten für die Stecklingsvermehrung von *Stevia*-Pflanzen eignen (Lankes

und Pude, 2007). Bis zur Wurzelbildung wurden die Stecklinge mit Lichtdurchlässigen Plastikhauben abgedeckt, um eine relative Luftfeuchtigkeit nahe der Sättigung zu erreichen. Dies war notwendig, da die Stecklinge zunächst ihren Wasserbedarf aus der Luft decken. Mit der Bewurzelung konnten die Pflanzen Wasser aus dem Substrat aufnehmen, so dass die Abdeckung entfernt werden konnte (Abb. 3.1 und 3.2). Alle Versuchspflanzen wurden im Gewächshaus unter Zusatzbelichtung (Hochdruck-Natriumdampf-Lampen, SON-T Agro 400; Fa. Philips) zur Tagverlängerung auf 16 Stunden angezogen. Die Temperatur erreichte am Tag zwischen 23 bis 25°C, in Abhängigkeit von der Sonneneinstrahlung auch bis zu 28°C. Die Nachttemperaturen bewegten sich zwischen 15°C und 18°C (Lankes, 2006 und 2007).

**Tab. 3.1: Zusammensetzung, Inhaltsstoffe und Eigenschaften der Jiffy pots
(Quelle: Jiffy Products International AS).**

Substrat		
Sphagnum- Weißtorf	<u>Sodentorf</u>	65% (\pm 10)
	Frästorf	25% (\pm 10)
Kokosfaser (Coir pith)		10% (\pm 10)
EC-Wert		
Aufdüngung mit Pgmix 12+14+24+2(Hidro-Agri), enthält lösliches Ca, Mikroelemente		
Stickstoff		12,7%
	Ammonium	5,7%
	Nitrat	7,1%
Phosphat		13,9%
Kaliumoxid		24,4%
Magnesiumoxid		2,2%
Bor		0,03%
Kupfer		0,15%
Mangan		0,15 %
Molybän		0,19%
Eisen		0,097%
Zink		0,036%
pH-Wert (gemessen nach H ₂ O-Methode, Wasserextrakt aus gesättigtem Jiffy-7), eingestellt mit wasserlöslichem Kalk		5,5 \pm 0,5
Wassergehalt		22% (\pm 3)

Die Pflanzenanzucht wurde in beiden Versuchsjahren in gleicher Weise durchgeführt. Allerdings wurden 2010 nur die vier Genotypen Gawi, C, D und F verwendet, die ausschließlich über Stecklinge vermehrt wurden.

Zur Vermeidung von Pilzinfektionen wurde wöchentlich eine Sprühbehandlung mit einem Breitbandfungizid durchgeführt. Außerdem wurden Gelbtafeln zur Kontrolle der Weißen Fliege (*Trialeurodes vaporariorum*) eingesetzt.



Abb. 3.1: Frische Stecklinge in Jiffy pots

Abb. 3.2: Stecklinge mit und ohne Abdeckung

Für die Versuchsdurchführung wurden je Genotyp acht gleichmäßige Pflanzen in 10 l Container umgetopft. Als Substrat, das auch für die Mutterpflanzen verwendet worden war, diente eine Mischung aus Torf, Sand und Perlit (3:1:1). Tabelle 3.2 gibt die Zusammensetzung des handelsüblichen Torf-basierten Containersubstrates wieder. Die angegebene Substratmischung wurde mit einem umhüllten NPK-Dauerdünger (Osmocote Exact Standard, Fa. Scott) in einer Dosierung von 20 g/10 Liter Substrat aufgedüngt. Die Zusammensetzung geht aus Tabelle 3.3 hervor.

Tab. 3.2: Zusammensetzung des verwendeten Containersubstrates
(Quelle: www.brill-sustrate.com).

Zusammensetzung:	Schwarztorf	80%
	Weißtorf	20%
	NPK- Dünger /m ³	1100 g
Struktur:	fein	
Chemische Werte: (nach LUFA*)	pH-Wert (CaCl ₂):	5,5-6,0
	Salzgehalt:	0,8-1,3 /l
	Stickstoff, N:	110-190 mg/l
	Phosphor (P ₂ O ₅):	140-230 mg/l
	Kalium (K ₂ O):	170-280 mg/l

Tab. 3.3: Zusammensetzung des Dauerdüngers Osmocote Exact Standard (Quelle: www.scottspprofessional.com).

Inhaltsstoff	Gehalt (%)
Gesamtstickstoff davon 8,4% Ammoniumstickstoff und 7,6% Nitratstickstoff	16
Phosphat neutral-ammoncitrat- und wasserlöslich; 8,6% wasserlöslich	11
Kaliumoxid wasserlöslich	11
Magnesiumoxid 1,5% wasserlöslich	3
Bor wasserlöslich	0,02
Kupfer 0,035% wasserlöslich	0,047
Eisen 0,2% als Chelat von EDTA	0,4
Mangan	0,06
Molybdän 0,016% wasserlöslich	0,02
Zink 0,01% wasserlöslich	0,015

Während der gesamten Versuchsdauer wurden die Containerpflanzen über eine automatische Bewässerungsanlage bewässert. Dosierung und Häufigkeit der Wassergaben erfolgte bedarfsentsprechend. Pflanzenschutzbehandlungen wurden nicht durchgeführt.

3.4 Versuchsaufbau

Die vergleichenden Untersuchungen zur Charakterisierung der Genotypen erfolgten sowohl unter Freilandbedingungen als auch in Folientunneln, um Ertragsleistung und Inhaltsstoffbildung auch unter geschützten Bedingungen bewerten zu können. Dabei wurden auch die Einflüsse verschiedener Bedachungsmaterialien, die sich durch unterschiedliche Lichttransparenz auszeichneten, berücksichtigt.

3.4.1 Bedachungsmaterialien

Die Tunnel wurden mit zwei verschiedenen Folien bedacht. Eine Abdeckung bestand aus einer Perfluorethylenpropylen-Copolymer- (FEP) Folie mit dem Handelsnamen „Norton FEP-Film, FG[®]“ (Lieferant: Saint-Gobain Performance Plastics Corporation). Bei der anderen handelte es sich um handelsübliche Gärtnerfolie aus Polyethylen 200 µm (PE) mit dem Handelsnamen „FVG Sun 5 Pro“ (Lieferant: FVG Folien-Vertriebs GmbH). Die relative Lichttransparenz für

verschiedene Spektralbereiche dieser Folien ist in Tabelle 3.4 für den neuwertigen Zustand zu Versuchsbeginn sowie nach 15-monatigem Gebrauch dargestellt. Die Transparenzmessungen erfolgten an einer speziellen Messstation (Reisinger, 2009 und 2010) der Universität Bonn.

Tab. 3.4: Transparenzeigenschaften der verwendeten Folien, gemessen an Universitatseigener Messstation

Zustand	Behandlung	Folie	Transparenz (%)		
			PAR	UV-A	UV-B
Neu	ohne	FEP	94.2	90.1	81.5
Neu	ohne	PE	81.9	54.4	2.10
15 Monate gebraucht	ohne	FEP	91.3	85.6	78.2
15 Monate gebraucht	ohne	PE	77.3	51.3	9.6

Die Daten zeigen die unterschiedliche Lichttransparenz der Folien. Die FEP-Abdeckung weist eine deutlich höhere Transparenz für die photosynthetisch aktive Strahlung (PAR), UV-A und UV-B-Strahlung auf als die PE-Folie. Nach 15 Monaten Gebrauch zeigen beide Folien eine Abnahme der Lichtdurchlässigkeit in allen drei Spektralbereichen mit Ausnahme der UV-B-Transparenz der PE-Folie, die einen erhöheten Wert zeigte. Hier hat vermutlich der Einfluss der Witterung zu Materialveränderungen geführt.

3.4.2 Folientunnel

Für die Untersuchungen wurden vier Folientunnel errichtet mit 5,8 m Länge, 3,2 m Breite und 2,3 m Höhe. Zur Optimierung des Lichteinfalls wurden sie genau in Nord-Süd-Richtung ausgerichtet. Durch die Eingangstür (1,8 m x 0,60 m) und das gegenüber liegende Giebelfenster (1, m x 0,6 m) sowie durch seitliches Aufrollen der Folien in Längsrichtung konnte eine gute Belüftung gewährleistet werden.

3.4.3 Umweltfaktoren

Die **Lichtverhältnisse** in den Folientunneln im Vergleich zum Freiland wurden an einzelnen Tagen während der Versuchsdauer durch Messungen mit Hilfe eines mobilen Optometers (Gigahertz-Optik) erfasst. Das verwendete Optometer besteht aus dem Messgerät X1₂ und dem Messkopf XD-4501, der für alle drei Spektralbereiche, die photosynthetisch aktive Strahlung (PAR) sowie UV-A und UV-B empfindlich ist. Die Strahlungsmessungen erfolgten über jeweils 12 Stunden (von 7 bis 19 Uhr), je Stunde wurden vier Werte aufgezeichnet.

Die Verläufe von **Lufttemperatur** und **relative Luftfeuchte** wurden im Jahr 2009 durch Thermohygrographen aufgezeichnet und 2010 mit Hilfe von Datenloggern vom Typ TinyTag Ultra 2, TGU-4500 (Fa. Gemini DATA LOGGERS) gemessen und dokumentiert.

Für die Erfassung der Bodentemperatur standen erst ab Mai 2010 zwei entsprechende Sensoren sowie Datenlogger des Typs TinyTag TGP 4020 (Fa. Gemini Data Loggers) zur Verfügung. Eine Datenerfassung erfolgte im PE-Folientunnel im Freiland von Mai bis Oktober des Versuchsjahres 2010.

3.5.1 Versuchsdesign

3.5.1 Versuchsjahr 2009

Im ersten Versuchsjahr 2009 wurden sieben Genotypen unter drei verschiedenen Einstrahlungsvarianten (Freiland, FEP- und PE-Folie) geprüft. Sowohl die Freilandparzellen als auch die Folientunnel waren mit je zwei Wiederholungen in der in Abbildung 3.3 dargestellten Weise angeordnet. In jeder Einstrahlungsvariante waren alle sieben Genotypen mit je 4 Pflanzen randomisiert aufgestellt (Abb. 3.4). Bei sieben Genotypen und drei Versuchsvarianten in zwei Wiederholungen ergab sich so eine Gesamtzahl von 168 Versuchspflanzen.

Die Töpfe wurden in den Folienhäusern und im Freiland in je zwei Doppelreihen aufgestellt. Der Abstand zwischen den Töpfen in den Reihen betrug 50 cm und zwischen den Reihen 15 cm. Die beiden Doppelreihen waren durch einen 1,10 m breiten Versorgungsgang voneinander getrennt (Abb. 3.5).

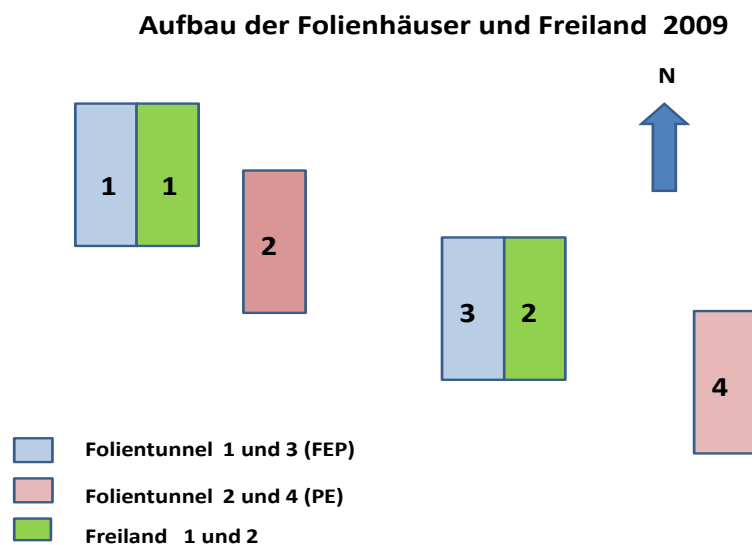


Abb. 3.3: Anordnung der Folientunnel und Freilandparzellen 2009

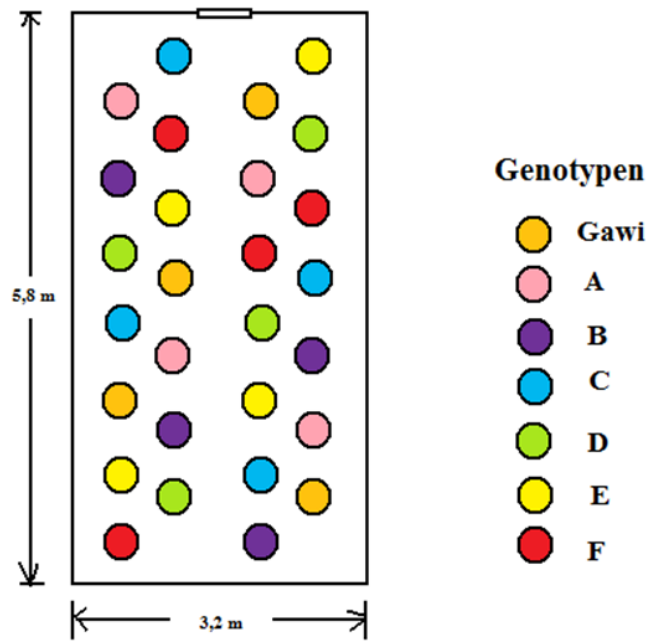


Abb. 3.4: Verteilungsmuster der Versuchspflanzen

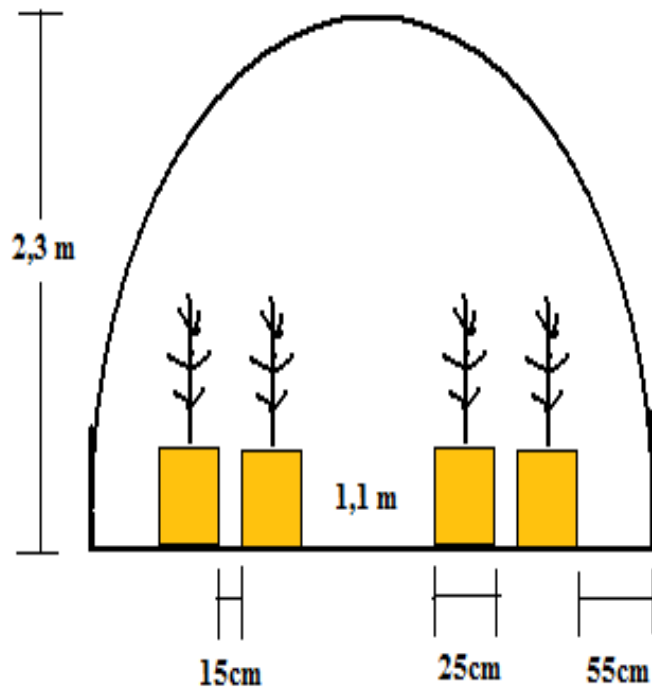


Abb. 3.5: Abstände zwischen den Containern

3.5.2 Versuchsjahr 2010

Im Versuchsjahr 2010 wurde die Anzahl der Genotypen auf vier reduziert, nämlich die Genotypen Gawi, C, D und F, die auf der Basis der Ergebnisse im Versuchsjahr 2009 am besten bewertet worden waren. Die Reduktion erfolgte zugunsten einer weiteren Differenzierung des Versuchsansatzes, mit zwei Schnittvarianten sowie zwei unterschiedlichen Phasen der Einwirkung der Einstrahlungsvarianten wie in Tabelle 3.5 zusammengestellt. Zur Untersuchung, ob ein Rückschnitt in der Hauptwachstumsphase zu einer Steigerung des Gesamtertrages führt, wurde die Hälfte der Pflanzen Ende Juli auf 15 cm Sproßlänge zurückgeschnitten. Bei der anderen Hälfte erfolgte nur ein Schnitt zur Erntezeit Mitte Oktober.

Außerdem sollte die Frage untersucht werden, ob eine um 4 Wochen verfrühte Kultur im Folientunnel Steigerungen in Wachstum, Ertrag und Süßstoffbildung bewirkt. Dazu wurden die Pflanzen bereits Mitte April in allen drei Einstrahlungsvarianten aufgestellt. Mitte Mai wurde die Hälfte der Pflanzen aus den Folientunneln ins Freiland umgestellt, um dadurch möglicherweise eine höhere Süßstoffbildung zu erzielen. Als Vergleich dienten Pflanzen, die nach entsprechend verspäteter Anzucht erst Mitte Mai unter Freilandbedingungen im Versuch aufgestellt wurden.

Von jedem Genotyp wurden pro Versuchsvariante 8 Pflanzen randomisiert aufgestellt. Bei vier Genotypen mit jeweils 8 Wiederholungen, zwei Schnittvarianten, zwei Phasen von drei Einstrahlungsvarianten ergab sich so eine Gesamtzahl von 384 Versuchspflanzen.

Alle anderen Versuchsfaktoren entsprachen denen des Versuchsjahres 2009 (Abb. 3.6).

Tab. 3. 5: Versuchsdesign im Versuchsjahr 2010

M. A p r i l	6 Monate unter Folientunnel					6 Monate Freiland	
	Genotypen	Ein Schnitt (Okt.)		Zwei Schnitte (Juli und Okt.)		Ein Schnitt	Zwei Schnitte
		Folientunnel 1	Folientunnel 2	Folientunnel 3	Folientunnel 4	Freiland	Freiland
		FEP	PE	FEP	PE	Referenz	Referenz
Gawi	8	8	8	8	8	8	
C	8	8	8	8	8	8	
D	8	8	8	8	8	8	
F	8	8	8	8	8	8	
M. M a i	1 Monat unter Folientunnel und danach 5 Monate im Freiland					5 Monate Freiland	
	Gawi	8	8	8	8	8	8
	C	8	8	8	8	8	8
	D	8	8	8	8	8	8
	F	8	8	8	8	8	8



Abb. 3.6: Behandlungen im Versuchsjahr 2010.

3.6 Messungen und Analytik

3.6.1 Vegetative Entwicklung

In regelmäßigen Abständen während der Vegetationszeit sowie zum Erntezeitpunkt wurde die **Trieblänge** der Pflanzen (von der Stängelbasis bis zur Pflanzenspitze) gemessen. Außerdem wurde zu den gleichen Zeiten bei allen Pflanzen die **Anzahl der Nodien** von der Basis bis zum jüngsten Blattpaar gezählt. Zum Zeitpunkt der Ernte wurde außerdem das **Frischgewicht** der Stängel und Blätter erfasst. Für weitere Analysen wurde eine repräsentative Mischprobe des Blattmaterials gefriergetrocknet. Für die übrige Biomasse wurde nach Trocknen bei 60°C bis zur Gewichtskonstanz (ca. 10 Tage) die **Trockenmasse** bestimmt.

3.6.2 Blattcharakteristika

Das spezifische Blattgewicht beschreibt das Verhältnis der Blatttrockenmasse bezogen auf eine definierte Blattfläche ($SLW = TM \text{ (g)}/\text{Fläche (cm}^2\text{)}$) (Gardner et al., 1985). Für die Bestimmung des spezifischen Blattgewichtes wurden in beiden Versuchsjahren an zwei Terminen zehn Blätter pro Pflanze entnommen und das Frischgewicht mit Hilfe einer Analysenwaage bestimmt

(Sartorius BP 2105, Deutschland). Um die Blattfläche zu ermitteln, wurden die Blätter anschließend fotokopiert und eingescannt (Scanner HP Scanjet 5470c). Mit Hilfe der Software Adobe Photoshop Elements 2.0 wurde nun die Anzahl der Pixel der Gesamtfläche der Blätter errechnet. Unter Berücksichtigung der Auflösung konnte man die Blattfläche bestimmen, wie in folgender Gleichung dargestellt: Fläche [cm²] = Anzahl der Pixel/(Anzahl der Pixel cm²). Die durchschnittliche Blattfläche ergab sich aus der Division der errechneten Fläche [cm²] durch zehn. Bis zur Trocknung wurden die Blätter bei -25°C eingefroren. Da die Blätter auch für Chlorophyllanalysen verwendet werden sollten, wurde bei -30°C gefriergetrocknet in einer Gefriertrocknungsanlage (GAMMA 1-16 LSC, Martin Christ, Deutschland). Anschließend wurde das Trockengewicht (g) ermittelt. Abschließend wurde für jeden Genotyp in jeder Variante (FEP-Folienhaus, PE-Folienhaus und Freiland) ein durchschnittliches spezifisches Blattgewicht mithilfe der oben genannten Formel berechnet.

Chlorophyllmessung

Mit dem tragbaren Chlorophyll-Messgerät SPAD-502 (Konica Minolta, Langenhagen, Germany) wurde der **relative Chlorophyllgehalt** der Blätter nicht-destruktiv bestimmt. Basierend auf der Lichttransmission in zwei Wellenlängen (640 nm und 940 nm) wird die Chlorophylldichte optisch bestimmt. Die Messung ergibt einen Pflanzenart- und Gerätspezifischen einheitslosen Wert, den sog. SPAD-Wert. Die Chlorophyllgehaltsbestimmungen wurden am 06.08.2009, am 29.09.2009 und am 19.07.2010 durchgeführt. Bei allen Versuchspflanzen wurden je acht typische Blätter im mittleren Bereich des Haupttriebes gemessen. Für die Chlorophyllmessung wurde zuerst das Messgerät SPAD 502 kalibriert, indem die Messkammer leer zugedrückt wurde. Dann wurde das Blatt in das SPAD-Messgerät eingeklemmt und der SPAD-Wert genommen und gespeichert. Bei der Messung wurde darauf geachtet, die Hauptblattadern bei der Messung auszulassen, da diese kein Chlorophyll enthalten. Später wurde für jeden Genotyp in jeder Variante (FEP-Folienhaus, PE-Folienhaus und Freiland) ein Durchschnittsmesswert berechnet.

Chlorophyllanalytik

Die für die Bestimmung des spezifischen Blattgewichtes verwendeten Blätter wurden nach Gefriertrocknung mit einer Kugel-Mühle gemahlen (Retsch MM 200, Deutschland). Für die Analyse wurden von jeder Probe 0,05 g in Zentrifugenröhrchen (mit rundem Boden) abgewogen. Als Lösungsmittel wurden 5 ml Methanol zur Analyse zugegeben. Die Lösung wurde homogenisiert (Vortex-Genie 2, Modell g-560 E) und anschließend fünf Minuten mit einem Kreisschüttler geschwenkt (Heidolph D-DSG-304, Germany). Danach wurde sie 10 Minuten zentrifugiert (3500 RPM) (Heraus Modell: Varifuge 3. OR). Der Überstand wurde in einen

Messkolben (50 ml) dekantiert. Dies wurde viermal wiederholt. Danach wurde mit Methanol auf 50 ml aufgefüllt. Die Lösung wurde in einem Photometer (Perkin-Elmer Lambda 35, USA) bei Wellenlängen von 650 und 665 nm gemessen. Für die Bestimmung der Konzentration des Chlorophylls-a, -b und des Gesamtgehalts wurden folgende Formeln verwendet:

- Gesamt-Chlorophyll (in $\mu\text{g/g TM}$): $\frac{(25,5 \times E_{650}) + (4,0 \times E_{665})}{\text{Einwaage (g)}} \times 50 \text{ ml}$
- Chlorophyll a (in $\mu\text{g/g TM}$): $\frac{(16,5 \times E_{665}) - (8,3 \times E_{650})}{\text{Einwaage (g)}} \times 50 \text{ ml}$
- Chlorophyll b (in $\mu\text{g/g TM}$): $\frac{(33,8 \times E_{650}) - (12,5 \times E_{665})}{\text{Einwaage (g)}} \times 50 \text{ ml}$

Aus den ermittelten Werten wurde auch das Verhältnis Chlorophyll-a/-b berechnet und das Gesamtchlorophyll unter Verwendung des spezifischen Blattgewichtes auf die Blattfläche bezogen (Gehalt $\mu\text{g/cm}^2$ Blattfläche).

3.6.3 Süßstoffanalytik

Für die Bestimmung des Gehaltes an Steviosid und Rebaudiosid A wurden bei der Ernte 100 g Blattmaterial pro Pflanze entnommen und bei -25°C eingefroren. Anschließend wurden die Blätter bei -30°C gefriergetrocknet (Gefriertrocknungsanlage GAMMA 1-16 LSC, Martin Christ, Deutschland) bis sie ein konstantes Gewicht erreichten. Danach wurde das Trockengewicht (g) mit Hilfe einer Analysenwaage (Sartorius BP 2105, Deutschland) ermittelt und die Blätter mit einer Kugel-Mühle (Retsch MM 200, Deutschland) gemahlen (Korngröße: 0,25 mm).

Unmittelbar vor der Extraktion wurden die Proben bei $+60^\circ\text{C}$ erneut bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Von jeder Probe wurden 0,25 g in Acetonitril/Wasser (8:2 v/v) gelöst und wiederholt extrahiert. Die Extrakte wurden durch Membranfiltration (PHENEX RC Membran, Phenomenex LTD) bei einer Maschenweite von 0,2 μm aufgereinigt und die Eluate durch Hochdruckflüssigkeitschromatographie (HPLC) aufgetrennt nach der von Wölwer-Rieck et al. (2010) beschriebenen Methode. Jede Probe wurde mindestens zwei Mal analysiert und die Ergebnisse gemittelt.

3.6.4 Erweiterte Untersuchungen im Versuchsjahr 2010

Im Versuchsjahr 2010 wurden die gleichen Parameter erfasst bereits 2009. Zusätzlich wurde die Blattanatomie der vier Genotypen (Gawi, C, D und F) untersucht und die Blattfarbe sowie der Anteil an trockenen Blättern bonitiert.

Blattanatomie

Zur Untersuchung der Blattanatomie wurden von jedem der vier Genotypen am im Juli 2010 Blätter von acht Pflanzen je Versuchsvariante (FEP-Folienhaus, PE-Folienhaus und Freiland) entnommen. Ausgewählt wurde jeweils das Blattpaar am achten Nodium, von der Triebspitze aus gezählt. Diese Blattpaare wurden bis zur Weiterverarbeitung im Labor gekühlt aufbewahrt. Das methodische Vorgehen folgte Institutseigenen Arbeitsanleitungen (Oertel, 2010: mündl. Mitt.), die zeitlich parallel in einer Diplomarbeit angewendet wurden (Hoffmann, 2010: mündl. Mitt.).

Zur **Fixierung und Einbettung** wurde im ersten Schritt von jedem Blatt ein Blattstück mit einer Größe von 1 cm mal 0,5 cm aus der Blattspreite entnommen (Abb. 3.7).

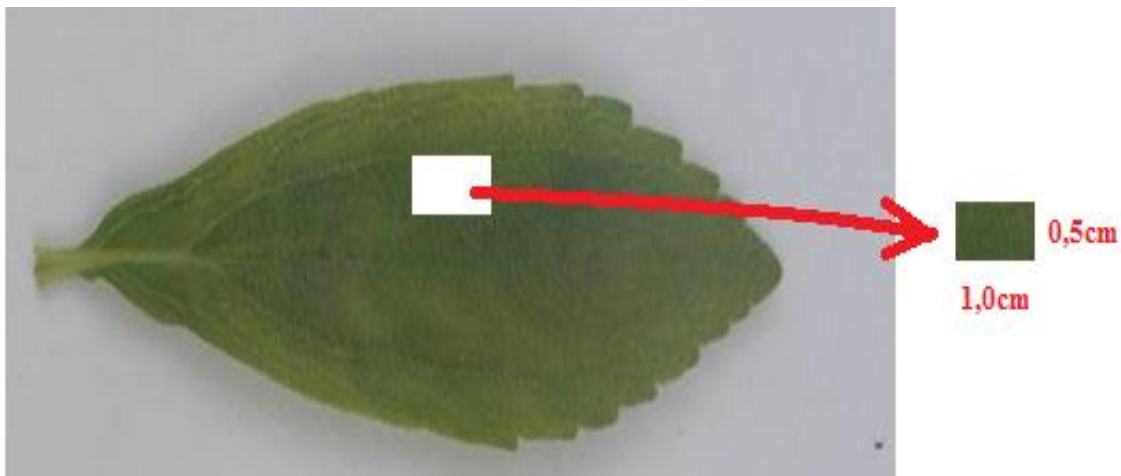


Abb. 3.7: Probenahme für die Untersuchungen zur Blattanatomie.

Die entnommenen Blattstücke wurden in einem Gemisch aus Formaldehyd, Eisessig, und Ethanol (Fixierlösung: 90% Ethanol (70%ig), 5 % Formaldehyd (37%ig), 5 % Essigsäure (99%ig)) für sieben Tage fixiert. Anschließend wurde das Gewebe dehydriert. Dazu wurden die Präparate zunächst für zwei Stunden mit 75%igem Ethanol, dann für zwei Stunden mit 96%igem Ethanol und abschließend für eine Stunde mit 100%igem Ethanol infiltriert.

Zur Einbettung der Proben wurde Technovit 7100 (Heraeus Kulzer GmbH&Co, Wehrheim, Deutschland) verwendet. Dabei handelt es sich um ein Kunststoffeinbettungssystem auf Basis von HEMA (2-Hydroxyethylmethacrylat). Laut Hersteller erlaubt die Anwendung dieses

Kunststoffes Schnittanfertigungen ab 1 µm. Die verwendeten Lösungen wurden unmittelbar vor Gebrauch angesetzt. Als erstes wurden die Präparate für vier Stunden bei Raumtemperatur in einer Mischung aus einem Teil T 7100 (Technovit Basislösung) und einem Teil Ethanol (100%ig) infiltriert. Um etwaige Luftblasen zu vermeiden, wurden die offenen Gefäße anschließend für 15 Minuten in eine Vakuumkammer verbracht. Darauf folgte eine zwölfstündige Infiltrationsphase bei Zimmertemperatur, hierzu wurde eine Lösung aus je 1 g Technovit 7100 Härter 1 (Dibenzoylperoxid) auf 100 ml T 7100 hergestellt. Anschließend wurden die Proben erneut für 30 Minuten in eine Vakuumkammer verbracht. Das Einbringen in die Infiltrationslösung führte zur vollständigen Durchtränkung des Gewebes mit Kunststoff. Für die Herstellung des Einbettmediums wurden je 15 ml der Infiltrationslösung mit 1 ml Technovit 7100 Härter 2 gemischt. Die Einbettformen wurden zur Hälfte mit der Lösung gefüllt und nach einer Wartezeit von 30 Minuten konnten die Blattproben in diese vorbereiteten Formen gelegt werden. Abschließend wurden die Einbettformen mit dem Polymerisationsgemisch vollständig aufgefüllt (Abb. 3.8). Die Aushärtung erfolgte sieben Tage bei Zimmertemperatur. Nach der Polymerisation wurden die Blöcke aus den Formen entnommen.

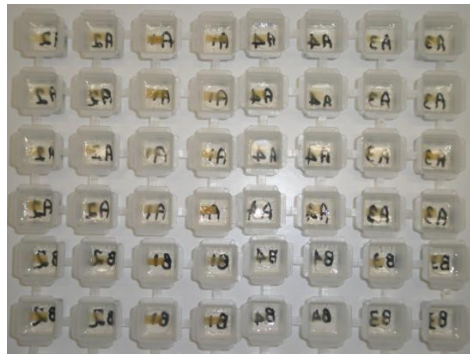


Abb. 3.8: Einbettung der Blattproben.

3.6.5 Anfertigungen der histologischen Schnitte

Der Histoblock wurde in den Objekthalter eines Mikrotoms (Rotationsmikrotom HM 360, der Firma Microm) eingespannt. Durch gleichmäßige Bewegungen wurden Schnitte von 8 - 10 µm erstellt. Die Sektionen wurden mit einer Pinzette auf einen Objektträger übertragen und mit einem Deckgläschen bedeckt. Abschließend wurden die Schnitte mit dem Lichtmikroskop (Axioscop, ZEISS) betrachtet. Hierzu wurden verschiedene Vergrößerungen verwendet (2584 x; 1936 x). Zur Dokumentation wurden mit einer an das Mikroskop angeschlossenen Digitalkamera

(Axiocam MRC5, ZEISS) Bilder aufgenommen. Eine Auswertung der Bilder erfolgte mit dem Programm ImageJ.

Der Bildausschnitt des Blattquerschnittes wurde mit einem Längenmaß von 100 µm fotografiert. Mit dem Programm ImageJ konnten dann folgende Maße des Blattquerschnittes ermittelt werden: Dicke des Blattes; Dicke und Struktur des Palisadenparenchyms; Dicke und Struktur des Schwammparenchyms; Dicke der oberen und unteren Epidermis (Abb. 3.9).

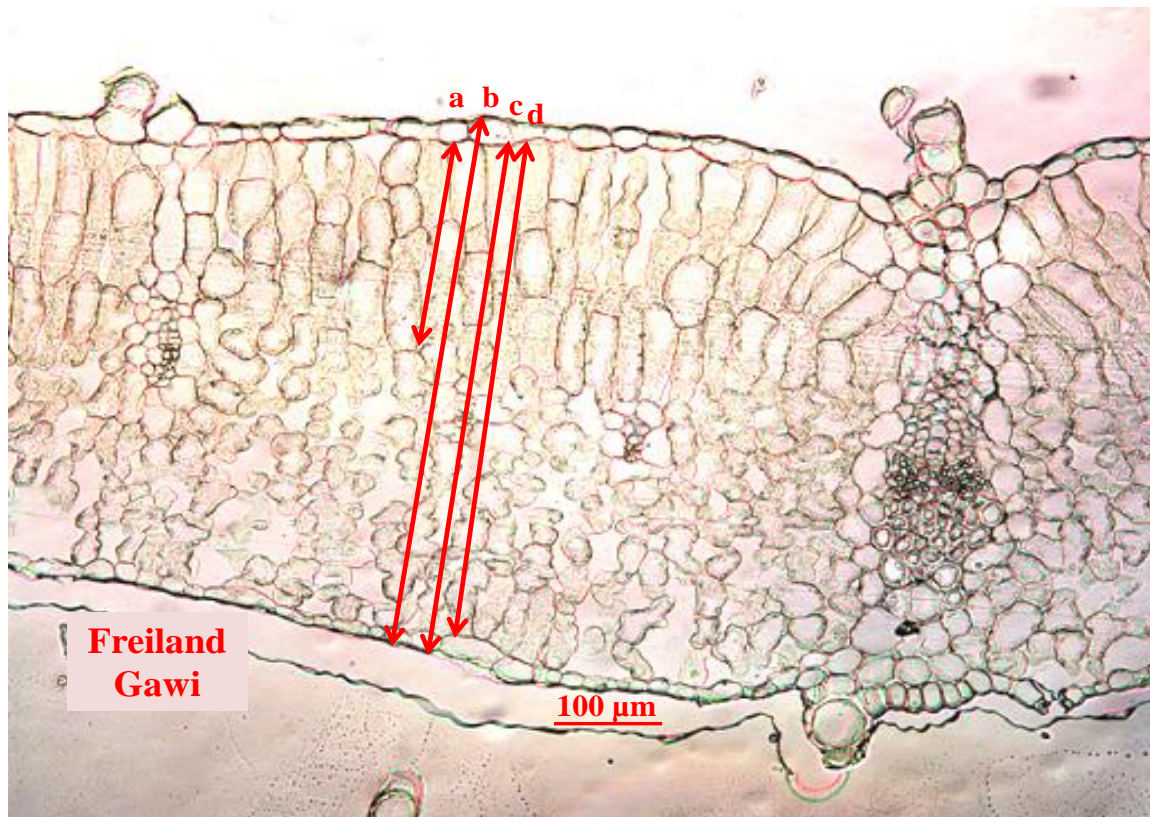


Abb. 3.9: Beispiel für die Aufnahme eines Blattquerschnittes von *Stevia rebaudiana* Bertoni (Genotyp: Gawi), Dicke = b, obere Epidermis = b-c, Palisadenparenchym = a, Schwammparenchym = d-a und untere Epidermis = c-d.

3.7 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung der Daten erfolgte mit SPSS Statistics 17.0. für Windows. Die erhobenen Daten wurden zunächst auf Normalverteilung und Varianzhomogenität überprüft. Waren diese Voraussetzungen erfüllt, wurde eine einfaktorische Varianzanalyse (ANOVA) durchgeführt und mit Hilfe eines Tukey-Testes (Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha \leq 0,05$) ermittelt, ob sich signifikante Unterschiede zwischen den Behandlungen bzw. geprüften Faktoren nachweisen ließen. Für die grafischen Darstellungen der Ergebnisse wurde das Programm Microsoft Excel 2007 verwendet.

4 Ergebnisse

4.1 Leistungsvergleich der Genotypen

4.1.1 Wuchsleistung und Ertrag für die Jahre 2009 und 2010

4.1.1.1 Sprosswachstum

Sprosslänge

Die Varianzanalyse der Wuchshöhe der Genotypen, die unter den natürlichen Strahlungsverhältnissen des Freilandversuches kultiviert worden waren, wurde für jede Periode ausgewertet. Die Ergebnisse zeigten keinen signifikanten Unterschied weder zwischen den Blöcken, noch in der Interaktion Block*Genotyp während der Untersuchungszeiten. Die Genotypen zeigten immer untereinander hoch-signifikante Unterschiede bei jeder Auswertung.

Tab. 4.1: Längenwachstum (cm) von sieben Genotypen von *Stevia rebaudiana* unter Freilandbedingungen im Jahr 2009.

Datum	18.05.	02.06.	16.06.	02.07.	16.07.	15.08.	18.09.	15.10.
Gawi	26,0 ab	34,6 a	40,9 a	49,8 a	56,1 ab	75,5 ab	96,4 a	113,1 ab
A	16,6 cd	24,3 bc	29,8 bc	40,1 ab	48,1 ab	67,0 ab	89,9 ab	102,6 b
B	20,1 bc	30,8 ab	38,1 ab	49,5 a	57,3 a	75,4 ab	95,8 a	99,9 bc
C	32,4 a	38,3 a	41,9 a	48,8 a	52,8 ab	65,3 ab	73,3 bc	75,5 d
D	31,0 a	35,9 a	40,0 ab	50,4 a	57,7 a	81,1 a	106,0 a	126,8 a
E	10,1 e	17,9 c	26,0 c	37,8 ab	42,9 c	58,4 b	71,0 bc	80,1 cd
F	11,9 de	17,4 c	23,6 c	35,8 b	42,9 c	57,4 b	65,8 c	72,9 d

ANOVA zwischen den Genotypen zu den einzelnen Meßterminen; unterschiedliche Buchstaben geben signifikante Unterschiede an (Tukey-Test; $\alpha \leq 0,05$)

Die Durchschnittswerte für die Wuchshöhe der Genotypen im Freiland in verschiedenen Entwicklungsstadien und der Tukey-Test ($\alpha \leq 0,05$) werden in Tabelle 4.1 dargestellt. Am Anfang (drei Tage nach Versuchsbeginn) war die höchste Wuchshöhe die des Genotyps C (32,4 cm). Jedoch zeigte er keine signifikanten Unterschiede mit der Länge des Genotyps D (31,0 cm) und mit der des Genotyps Gawi (26 cm). Die kleinste Wuchshöhe erreichte Genotyp E mit 10,1 cm. Diese Wachstumstendenz war bis zum 48. Tag (02.07.) sichtbar, an dem Genotyp D (50,4 cm) Genotyp C (48,8 cm) überragte; Genotyp Gawi mit 49,8 cm überragte Genotyp B um einige Millimeter (49,5 cm). Es stellte sich heraus, dass die höchste Wuchshöhe von 126,8 cm von

Genotyp D erreicht wurde, gefolgt von Genotyp Gawi (113,1 cm). Das geringste Wachstum wurde bei Genotyp F gemessen (72,9 cm) (Abb. 4.1).

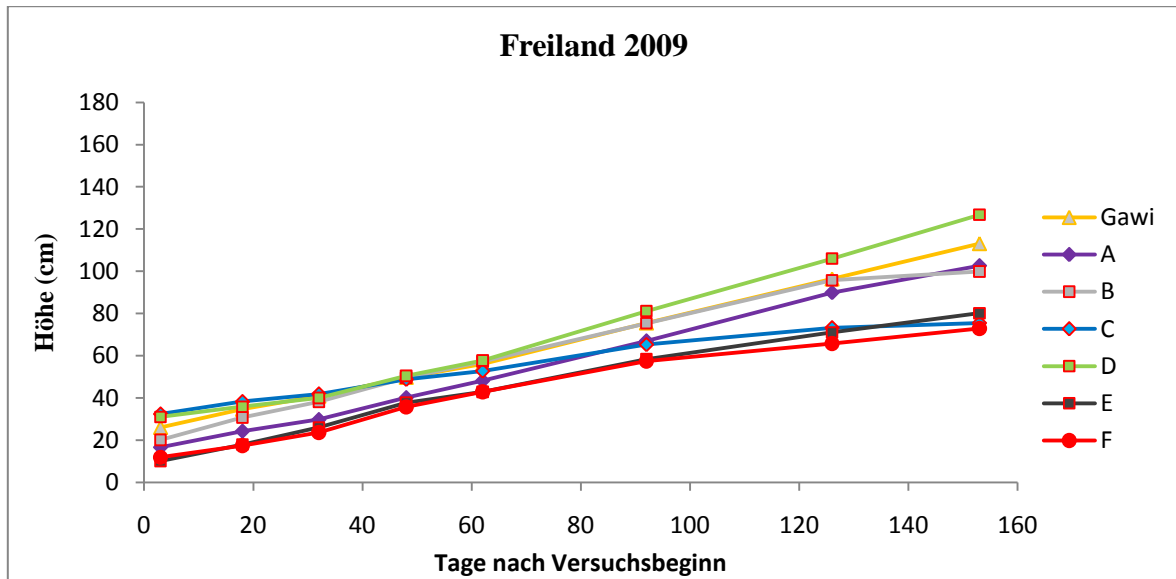


Abb.: 4.1 Wuchshöhe von sieben Genotypen von *Stevia rebaudiana* unter Freilandbedingungen im Jahr 2009.

Anzahl der Nodien

Die Varianzanalyse der Nodienanzahl im Freiland zeigte, dass signifikante Unterschiede zwischen den Blöcken am 18. Tag (02.05.) vorhanden waren. Für jede Periode gab es hochsignifikante Unterschiede zwischen den Genotypen; für die Interaktion Block*Genotyp ergaben sich während der Untersuchungszeit keine signifikanten Unterschiede.

Tab. 4.2: Anzahl der Nodien und Seitentriebe von *Stevia rebaudiana* unter Freilandbedingungen 2009.

Datum	Haupttrieb								Anzahl Seitentriebe
	18.05.	02.06.	16.06.	02.07.	16.07.	15.08.	18.09.	15.10.	15.10.
Gawi	12,4 b	17,1 ab	19,4 ab	21,5 ab	24,0 ab	34,5 ab	44,5 a	46,9 a	48,3 a
A	9,9 c	13,6 c	15,6 c	17,5 cd	20,5 bc	29,1 cd	36,1 cd	39,3 bc	37,3 abc
B	10,6 bc	14,6 bc	16,5 bc	19,9 bc	22,4 b	30,5 bc	38,0 bc	38,5 bc	46,1 a
C	14,6 a	18,3 a	20,6 a	23,1 a	26,5 a	35,8 a	41,4 ab	43,3 ab	39,9 ab
D	10,4 c	12,4 cd	15,0 c	16,3 de	18,4 cd	25,1 ef	32,0 de	35,8 c	28,6 bcd
E	6,4 d	9,5 de	10,9 d	13,1 ef	14,9 de	21,1 f	24,8 e	27,8 d	23,8 cd
F	6,4 d	8,6 e	10,3 d	12,3 f	14,1 e	20,8 f	24,8 e	27,1 d	19,0 d

ANOVA zwischen den Genotypen zu den einzelnen Meßterminen; unterschiedliche Buchstaben geben signifikante Unterschiede an (Tukey-Test; $\alpha \leq 0,05$)

Der Durchschnittswert der Anzahl an Nodien für jede Evaluationsperiode und der Tukey-Test ($\alpha \leq 0,05$) zeigten, dass am Anfang die größte Anzahl bei Genotyp C vorhanden war (14,6 Nodien), gefolgt von Genotyp Gawi (12,4 Nodien). Die kleinste Anzahl an Nodien fand sich bei den Genotypen E und F, beide mit einem Durchschnittswert von 6,4 (Tab. 4.2).

Diese Tendenz hielt während des gesamten Untersuchungszeitraumes an. Nach 92 Tagen (15.08.) konnten bei Genotyp Gawi 34,5 Nodien gezählt werden, während der Genotyp C 35,8 Nodien aufwies. Die Genotypen E und F zeigten eine geringere Anzahl an Nodien mit jeweils 21,1 und 20,8 Nodien.

Am Ende der Untersuchung, nach 153 Tagen, hatte der Genotyp Gawi die höchste Anzahl an Nodien (46,9) gefolgt von dem Genotyp C (43,3 Nodien). Der Genotyp F zeigte die geringste Anzahl an Nodien mit einem Endwert von 27,1 Nodien im Durchschnitt (Abb. 4.2).

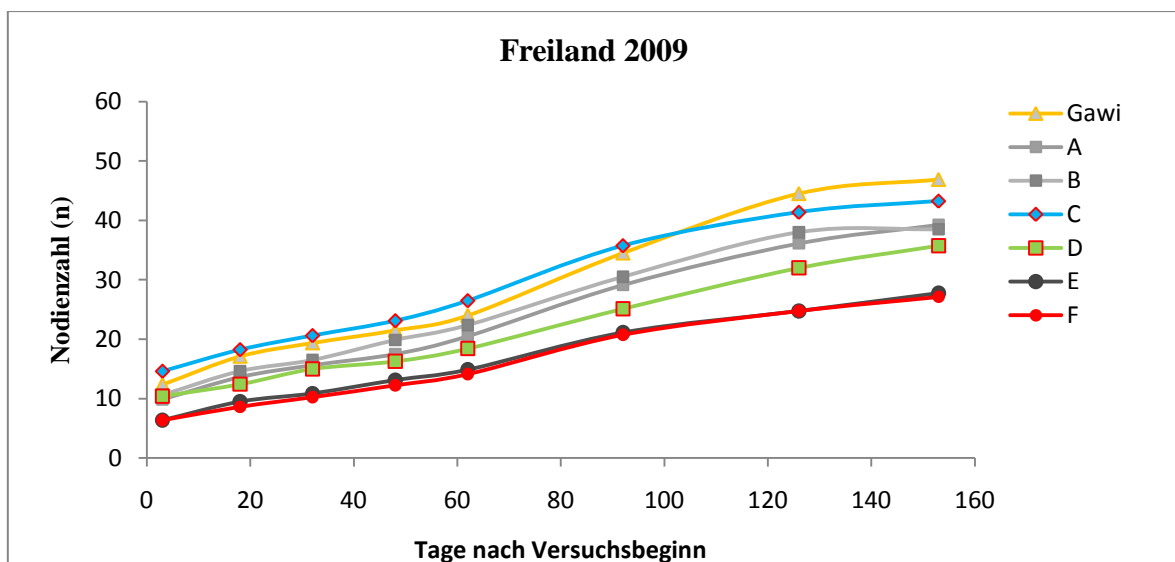


Abb. 4.2: Nodienzahl von sieben Genotypen von *Stevia rebaudiana* unter Freilandbedingungen im Jahr 2009.

Anzahl der Seitentriebe

Die Varianzanalyse der Seitentriebe nach 153 Tage in der Freilanduntersuchung zeigte keinen Unterschied zwischen den Blöcken. Nur die Interaktion Block*Genotyp erwies sich als signifikant unterschiedlich. Hoch-signifikante Unterschiede für die Anzahl an Seitentrieben zwischen den Genotypen konnten gemessen werden (Tab. 4.2).

Die größte Anzahl an Seitentrieben zeigte sich bei Genotyp Gawi mit einem Durchschnittswert von 48,3, ohne dass es zu einem Unterschied zu den Genotypen B (46,1) und C (39,9) kam. Den

kleinsten Wert erreichte der Genotyp F mit einem Durchschnittswert von 19. Dieser Genotyp zeigte wiederum keinen Unterschied zu den Genotypen E (23,8) und D (28,6) (Tab. 4.2 und Abb. 4.3).

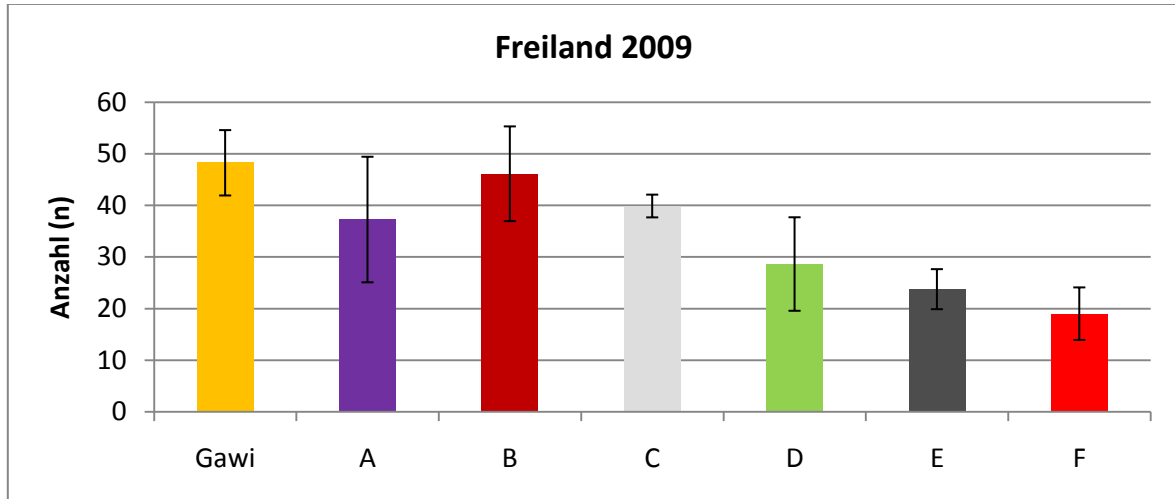


Abb. 4.3: Anzahl der Seitentriebe von sieben Genotypen von *Stevia rebaudiana* unter Freilandbedingungen am 15.10.2009 (\pm SD).

4.1.1.2 Blatteigenschaften

Blattfarbe nach SPAD-Werten

Die Varianzanalyse der SPAD-Werte zeigte, dass es zwischen den Blöcken ebenso wie in der Interaktion Block*Genotyp keine Unterschiede gab. Die Genotypen untereinander wiesen jedoch einen hoch-signifikanten Unterschied auf.

Tab. 4.3: Blattfarbe der *Stevia*-Genotypen unter Freilandbedingungen, gemessen als SPAD-Werte im Oktober 2009 (Einzelpflanzenwerte von je 8 Blättern).

Pflanze	Gawi	A	B	C	D	E	F
1	38,9	34,9	45,8	36,2	42,7	46,5	43,4
2	37,9	46,8	45,5	36,5	46,1	46,6	44,1
3	38,6	49,6	48,4	36,9	43,7	42,1	43,0
4	35,1	49,7	43,0	36,7	46,6	42,5	47,0
5	37,9	45,3	39,4	37,8	52,7	42,1	43,5
6	42,3	47,8	43,4	35,2	40,0	47,0	43,0
7	43,2	44,2	40,7	38,1	36,3	40,4	47,4
8	37,6	43,9	35,9	39,6	41,8	50,9	43,1

Die Werte der gemessenen Pflanzen jeden Genotyps zeigten, dass der Genotyp A im Allgemeinen die höchsten, und der Genotyp C die kleinsten Werte aufwies (Tab. 4.3).

Die Durchschnittswerte des Genotyps A betragen 45,27 und die des Genotyp C 37,13; der Genotyp Gawi hatte einen Durchschnittswert von 38,94 (Abb. 4.4).

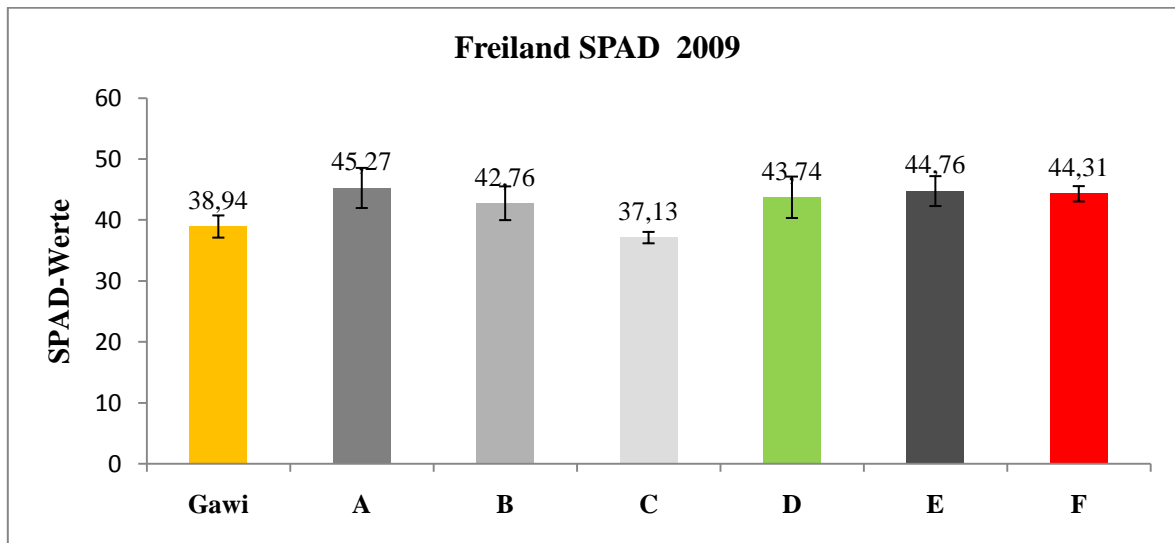


Abb. 4.4: Mittelwerte der Blattfarbe (SPAD-Werte) von sieben Genotypen von *Stevia rebaudiana* unter Freilandbedingungen im Oktober 2009 (n = 8; \pm SD).

Chlorophyllgehalt

Chlorophyll-a

Die Varianzanalyse des Chlorophyll-A Gehaltes der *Stevia*-Genotypen in den Freilanduntersuchungen zeigte keinen signifikanten Unterschied, weder zwischen den Blöcken, noch in der Interaktion Block*Genotyp. Zwischen den Genotypen konnte aber ein hoch-signifikanter Unterschied festgestellt werden.

Die Durchschnittswerte für jeden Genotyp und der Tukey-Test ($\alpha \leq 0,05$) zeigten die niedrigsten Werte für den Genotyp Gawi (1,72 mg/g TM), ohne dass dieser jedoch Unterschiede zu dem Genotyp C (1,83 mg/g TM) aufwies. Die Genotypen A, B, D, E und F zeigten keine Unterschiede untereinander. Den höchsten Wert erreichte der Genotyp E mit 3,86 mg/g TM (Tab. 4.4).

Chlorophyll-b

Die Varianzanalysen des Chlorophyll-b Gehaltes der Genotypen in den Freilanduntersuchungen zeigten signifikante Unterschiede zwischen den Blöcken und hoch-signifikante Unterschiede zwischen den Genotypen.

Die Durchschnittswerte für jeden Genotypen und den Tukey-Test ($\alpha \leq 0,05$) zeigten, dass die kleinsten Werte bei den Genotypen Gawi und C auftraten (jeweils 0,50 und 0,54 mg/g TM), ohne dass sie einen Unterschied untereinander aufwiesen. Die anderen Genotypen zeigten auch keine Unterschiede untereinander; die Werte lagen zwischen 1,07 mg/g TM (Genotyp E) und 0,93 mg/g TM (Genotyp D) (Tab. 4.4).

Verhältnis Chlorophyll-a/b

Die Varianzanalyse zeigte keinen Unterschied zwischen den Blöcken und keinen signifikanten Unterschied zwischen den Genotypen für das Verhältnis Chlorophyll-a/b.

Die Durchschnittswerte für das Verhältnis Chlorophyll-a/b zeigten keinen signifikanten Unterschied (Tukey-Test mit $\alpha \leq 0,05$). Die Werte lagen zwischen 3,39 für den Genotyp F, und 4,06 für den Genotyp D. Das Verhältnis für den Genotyp Gawi lag bei 3,52 (Tab. 4.4).

Gesamtchlorophyll bezogen auf die Blatt-Trockenmasse

Die Varianzanalyse zeigte signifikante Unterschiede zwischen den Genotypen für den Gesamtchlorophyllgehalt (mg/g TM). Es gab keine Unterschiede zwischen den Blöcken; die Interaktion Block*Genotyp war ebenso nicht signifikant.

Die Durchschnittswerte des Gesamtgehalts an Chlorophyll für jeden Genotyp und der Tukey-Test ($\alpha \leq 0,05$) zeigten, dass der Genotyp Gawi (2,22 mg/g TM) und der Genotyp C (2,37 mg/g TM) die geringsten Gehalte aufwiesen. Sie zeigten untereinander keinen Unterschied. Die übrigen Genotypen zeigten keinen Unterschied zueinander, mit Werten zwischen 4,93 mg/g TM (Genotyp E) und 4,33 mg/g TM (Genotyp A) (Tab. 4.4).

Tab. 4.4: Gehalte an verschiedenen Chlorophyll-Fraktionen im Freiland, Oktober 2009.

Genotyp	Chlorophyll-a (mg/g TM)	Chlorophyll-b (mg/g TM)	Verhältnis Chlorophyll- a/b	Gesamtchlorophyll (mg/g TM)	Gesamtchlorophyll ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$ Blattfläche)
Gawi	1,72 b	0,50 b	3,52 a	2,22 b	26,90 cb
A	3,36 a	0,97 a	3,48 a	4,33 a	36,50 a
B	3,41 a	0,98 a	3,50 a	4,39 a	34,15 ab
C	1,83 b	0,54 b	3,48 a	2,37 b	23,47 c
D	3,73 a	0,93 a	4,06 a	4,66 a	34,65 a
E	3,86 a	1,07 a	3,64 a	4,93 a	39,20 a
F	3,50 a	1,04 a	3,39 a	4,54 a	33,05 ab

ANOVA zwischen den Genotypen; unterschiedliche Buchstaben geben signifikante Unterschiede an (Tukey-Test; $\alpha \leq 0,05$).

Gesamtchlorophyll bezogen auf die Blatt-Fläche

Die Varianzanalyse zeigte keinen Unterschied weder zwischen den Blöcken, noch in der Interaktion Block*Genotyp. Hoch-signifikante Unterschiede wurden zwischen den Genotypen für den Gesamtgehalt an Chlorophyll in $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ Blattfläche gemessen.

Die Durchschnittswerte für den Gesamtgehalt an Chlorophyll und den Tukey-Test ($\alpha \leq 0,05$) zeigten, dass der niedrigste Wert für den Genotyp C gemessen wurde ($23,47 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ Blattfläche); dieser Genotyp zeigte weder einen Unterschied zu dem Genotyp Gawi ($26,90 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ Blattfläche), noch zu den Genotypen B und F ($34,15 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ und $33,05 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ Blattfläche). Der höchste Gesamtgehalt-Wert konnte für den Genotyp E gemessen werden ($39,20 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ Blattfläche) (Tab. 4.4).

Korrelation zwischen SPAD-Werten und Gesamtchlorophyll

Für die Berechnung der Korrelation zwischen den SPAD-Werten und dem Gesamtgehalt an Chlorophyll wurde der auf die Blattfläche bezogene und Mitte Oktober 2009 ermittelte Chlorophyllgehalt herangezogen. Eine Korrelation von $r = 0,839$ und ein Bestimmtheitsmaß von $0,70$ für die lineare Regression wurden berechnet (Abb. 4.5).

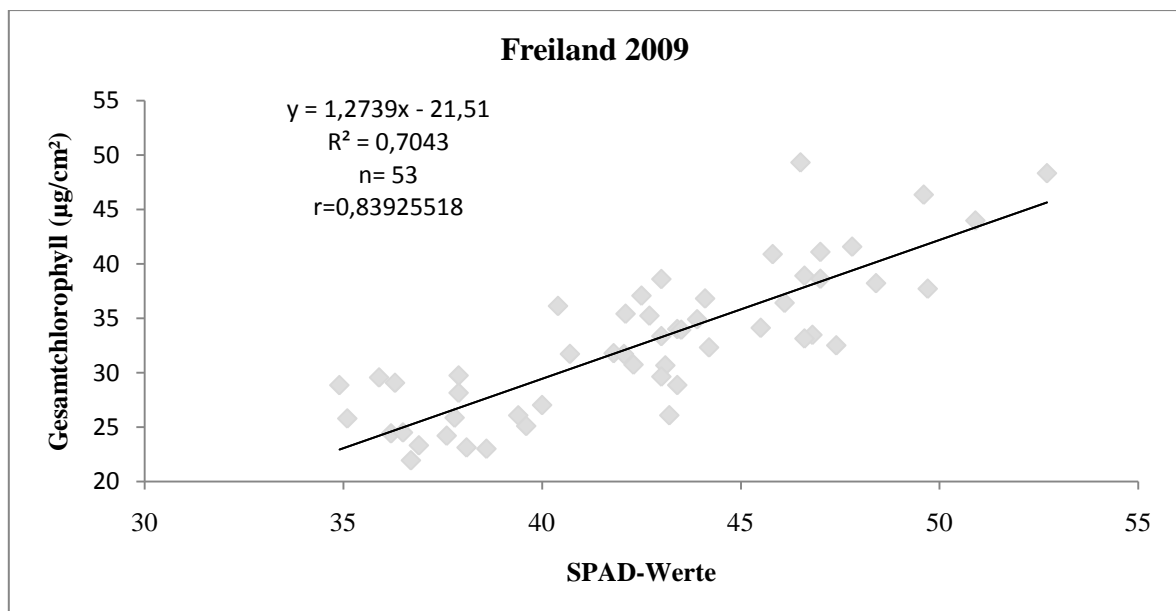


Abb. 4.5: Korrelation zwischen den SPAD-Werten und dem Gesamtchlorophyllgehalt bezogen auf die Blattfläche, ermittelt unter Freilandbedingungen im Oktober 2009.

Spezifisches Blattgewicht

Die Varianzanalyse des spezifischen Blattgewichtes (SLW) zeigte keinen Unterschied zwischen den Blöcken. Die Interaktion Block*Genotyp war nicht signifikant unterschiedlich. Für diese Variable zeigten sich hoch-signifikante Unterschiede zwischen den Genotypen.

Der höchste Wert für das spezifische Blattgewicht wurde bei Genotyp Gawi gemessen (12,35 mg/cm²), der signifikante Unterschiede zu den anderen Genotypen aufwies. Der kleinste Wert wurde für Genotyp F gemessen (7,39 mg/cm²). Er zeigte keinen Unterschied zu den Genotypen A, B, D und E (Abb. 4.6).

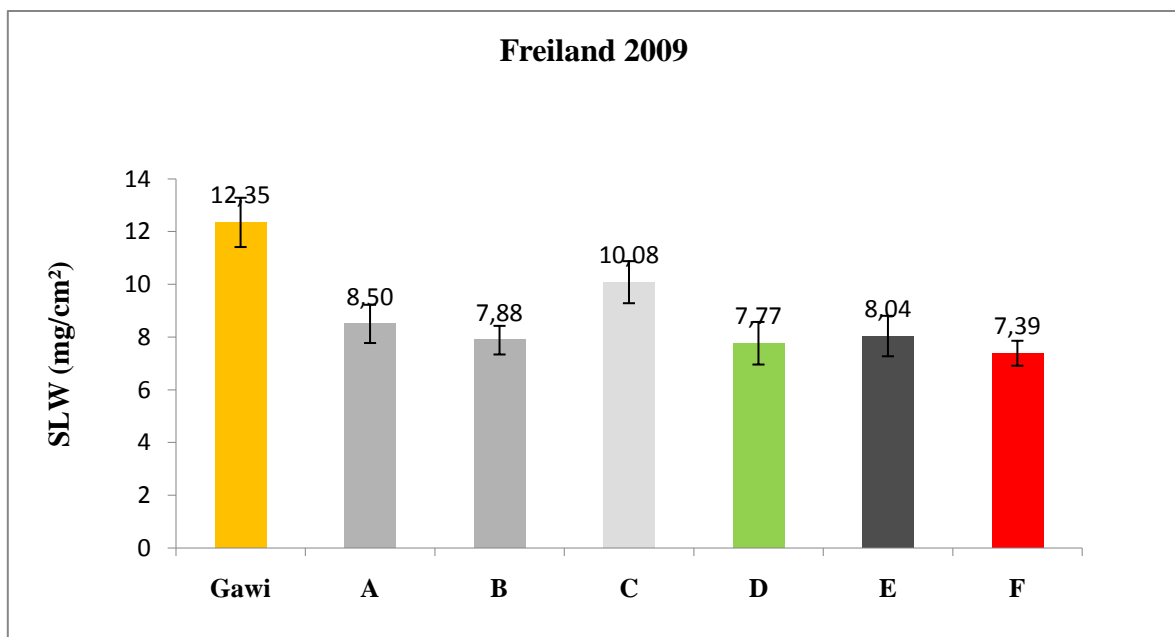


Abb. 4.6: Spezifisches Blattgewicht von sieben *Stevia*-Genotypen, gemessen unter Freilandbedingungen im Oktober 2009 (n ~ 8; ±SD).

Blattanatomie

Die Varianzanalyse der Blätter der Freilanduntersuchungen zeigten hoch-signifikante Unterschiede zwischen den Genotypen für die Dicke der Blätter, für die Dicke des Palisadenparenchyms und für die Anzahl der Schichten des Palisadenparenchyms. Gemessen wurden auch signifikante Unterschiede für die Dicke der oberen und unteren Epidermis.

Die höchsten Werte wurden für Genotyp Gawi gemessen (493,47 µm) und die geringsten für Genotyp F (358,03 µm). Genotyp C zeigte eine dicke obere und untere Epidermis (23,15 µm und 18,22 µm); sein Schwammparenchym hatte eine Dicke von 273,38 µm. Genotyp Gawi zeigte das dickste Palisadenparenchym (208,98 µm). Dieser Genotyp wies auch die größte Anzahl an Zellschichten des Palisadenparenchyms auf (2,63) (Tab. 4.5).

Tab. 4.5: Mittelwertvergleiche für verschiedene Komponenten der Blattanatomie von *Stevia rebaudiana*; alle Messungen am Blattquerschnitt (μm) von vier Genotypen der Freilanduntersuchungen 2010.

Genotyp	Gesamtdicke des Blattes	Epidermis		Parenchym		Anzahl an Palisadengewebschichten
		obere	untere	Palisaden	Schwamm	
Gawi	493,47 a	19,56 ab	14,24 b	208,98 a	250,70 a	2,63 a
C	446,83 ab	23,15 a	18,22 a	132,08 b	273,38 a	1,25 b
D	375,91 bc	21,67 ab	13,93 b	125,21 b	215,10 a	1,75 b
F	358,03 c	17,17 b	13,84 b	113,13 b	213,90 a	1,25 b

ANOVA zwischen den Genotypen innerhalb der Komponenten; unterschiedliche Buchstaben geben signifikante Unterschiede an (Tukey-Test; $\alpha \leq 0,05$).

Auf den Abbildungen 4.7-9 werden die Schnitte der Genotypen dargestellt unter der FEP-Bedingung (Abb. 4.7), PE-Bedingung (Abb. 4.8) und Freilandbedingung (Abb. 4.9). Es lassen sich die oberste Epidermis, das Palisadenparenchym, das Schwammparenchym und die unterste Epidermis erkennen.

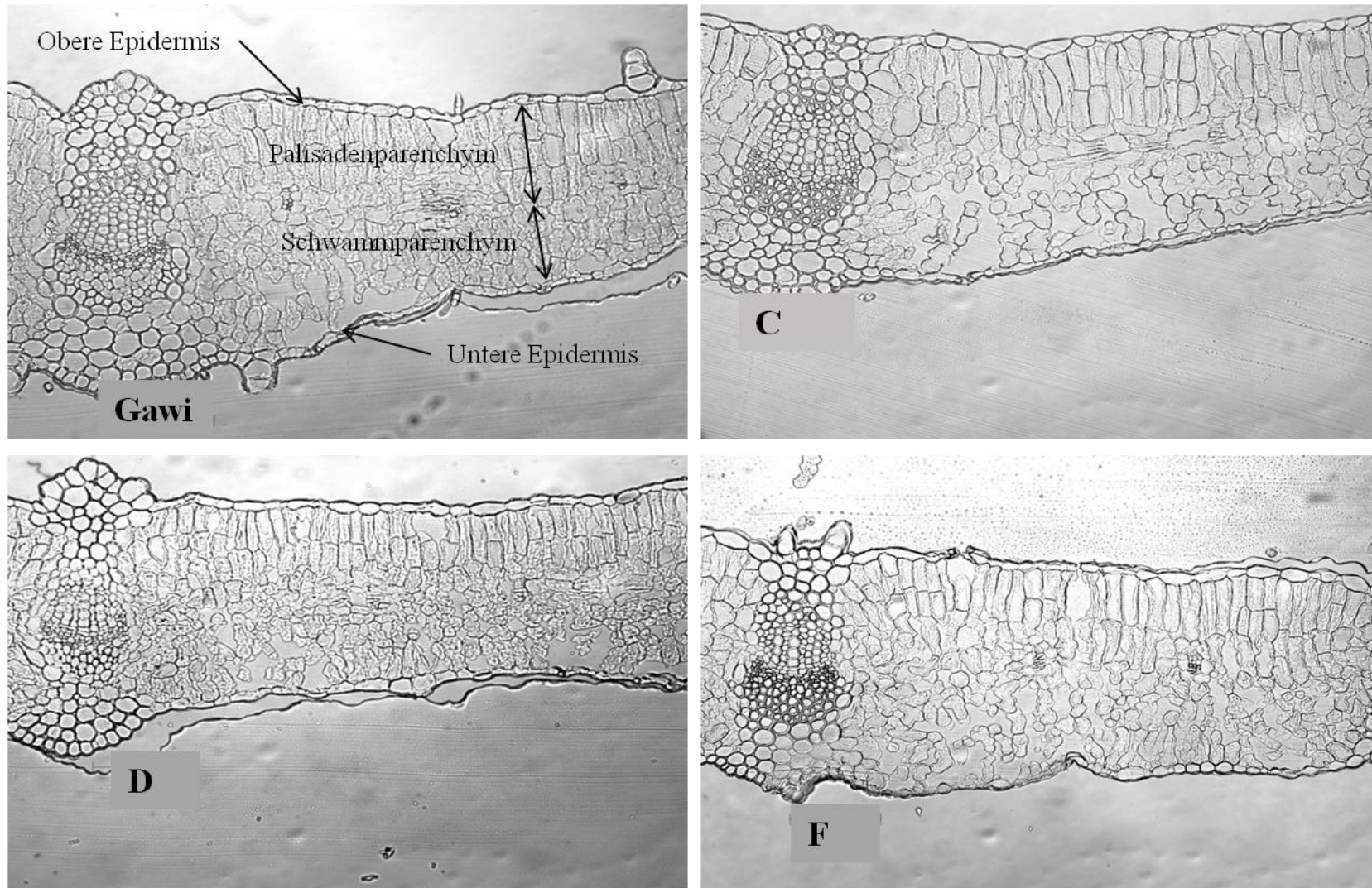


Abb. 4.7: Blattquerschnitte von vier Genotypen (C, D, F, und Gawi) von *Stevia rebaudiana* aus Kultivierung im FEP-Folientunnel 2010.

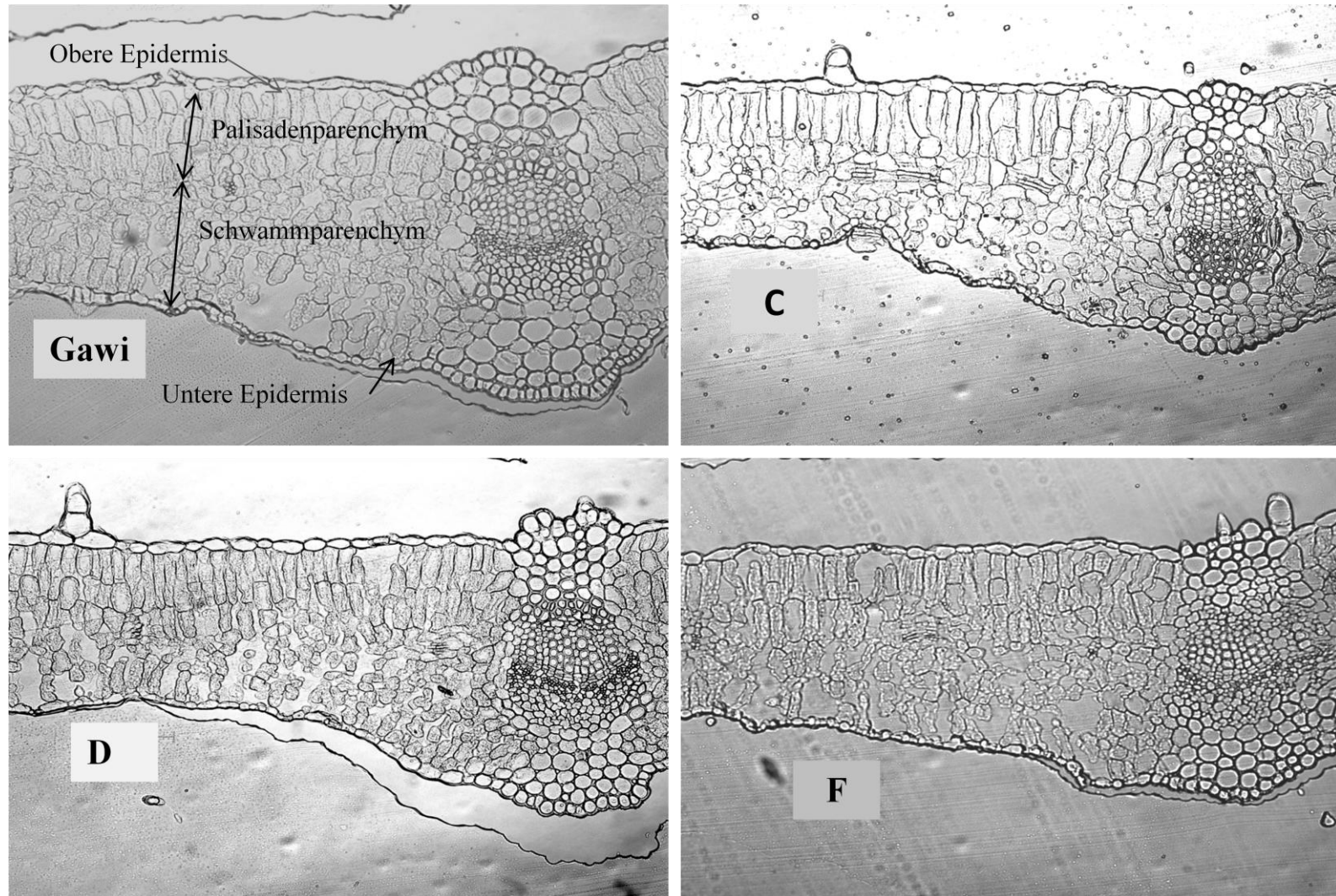


Abb. 4.8: Blattquerschnitte von vier Genotypen von *Stevia rebaudiana* aus Kultivierung im PE-Folientunnel 2010.

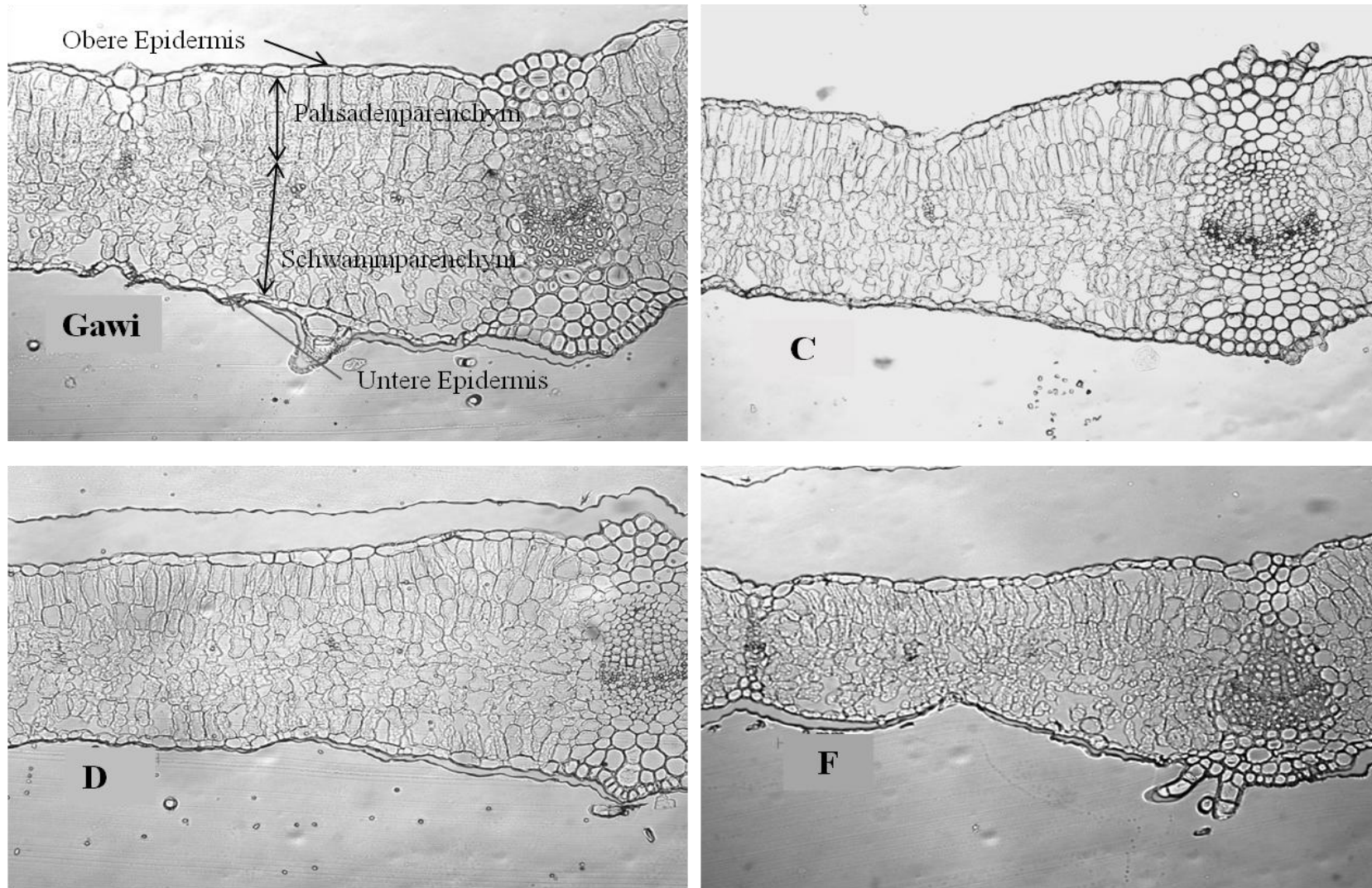


Abb. 4.9: Blattquerschnitte von vier Genotypen von *Stevia rebaudiana* aus Kultivierung im Freiland 2010

4.1.1.3 Ertrag

Gesamtertrag

Die Varianzanalyse der Freilandernte zeigte hoch-signifikante Unterschiede zwischen den Genotypen und signifikante Unterschiede zwischen den Blöcken. Die Interaktion Block*Genotyp war nicht signifikant unterschiedlich.

Den besten Ertrag ergab Genotyp Gawi (256,99 g TM/Pflanze). Der geringste Ertrag wurde bei Genotyp A (138,99 g TM/Pflanze) festgestellt (Tab. 4.6).

Tab. 4.6: Ertrag von sieben Genotypen von *Stevia rebaudiana* im Freiland 2009.

Genotyp	Stängeltrag (g TM/Pflanze)		Blättertrag (g TM/Pflanze)		Gesamtertrag (g TM/Pflanze)	
Gawi	151,65	a	105,35	a	256,99	a
A	90,70	ab	48,30	c	138,99	b
B	112,55	ab	60,64	bc	173,18	ab
C	79,67	b	117,36	a	197,03	ab
D	140,01	ab	57,84	c	197,85	ab
E	126,17	ab	88,78	ab	214,94	ab
F	113,42	ab	70,62	bc	184,04	ab

ANOVA zwischen den Genotypen; unterschiedliche Buchstaben geben signifikante Unterschiede an (Tukey-Test; $\alpha \leq 0,05$).

Stängeltrag

Die Varianzanalyse für das Trockengewicht der Stängel zeigte signifikante Unterschiede zwischen den Blöcken und hoch-signifikante Unterschiede zwischen den Genotypen. Die Interaktion Block*Genotyp war nicht signifikant unterschiedlich.

Die höchste Stängelmasse lieferten Genotyp Gawi (151,65 g TM/Pflanze) und Genotyp D (140,01 g TM/Pflanze). Den geringsten Stängeltrag zeigte Genotyp C (79,67 g TM/Pflanze) (Tab. 4.6).

Blättertrag

Die Varianzanalyse der Blätter zeigte keine Unterschiede zwischen den Blöcken und hoch-signifikante Unterschiede zwischen den Genotypen. Die Interaktion Block*Genotyp war nicht signifikant unterschiedlich.

Den höchsten Ertrag an Blatt-Trockenmasse ergab Genotyp C (117,36 g TM/Pflanze), gefolgt von Genotyp Gawi (105,35 g TM/Pflanze). Der geringste Ertrag war bei Genotyp B zu verzeichnen (60,64 g TM/Pflanze) (Tab. 4.6).

4.1.1.4 Süßstoffgehalte

Gesamtsüßstoff

Die Varianzanalyse zeigte hoch-signifikante Unterschiede zwischen den Blöcken, signifikante Unterschiede zwischen den Genotypen. Die Interaktion Block*Genotyp blieb nicht signifikant unterschiedlich.

Genotyp Gawi wies mit 14,0% den höchsten Gesamtgehalt an Süßstoffen auf. Er zeigte nur zu Genotyp A (10,2% Gesamtsüßstoff) einen signifikanten Unterschied. Genotyp C hatte einen Gesamtgehalt von 12,75 (Tab. 4.7).

Tab. 4.7: Süßstoffgehalte von sieben Genotypen von *Stevia rebaudiana* im Freiland 2009.

Genotyp	Steviosidgehalt (%)		Rebaudiosid-A-Gehalt (%)		Süßstoffgehalt (%)	
Gawi	9,5	a	4,5	de	14,0	a
A	6,4	b	3,8	e	10,2	b
B	9,2	a	3,2	e	12,4	ab
C	1,8	c	10,8	a	12,7	ab
D	5,3	b	6,2	c	11,7	ab
E	6,6	b	5,8	cd	12,4	ab
F	3,0	c	9,2	b	12,2	ab

ANOVA zwischen den Genotypen; unterschiedliche Buchstaben geben signifikante Unterschiede an (Tukey-Test; $\alpha \leq 0,05$).

Steviosid

Die Varianzanalyse zeigte hoch-signifikante Unterschiede zwischen den Blöcken und zwischen den Genotypen; die Interaktion Block*Genotyp blieb nicht signifikant unterschiedlich.

Der höchste Steviosid-Gehalt fand sich bei Genotyp Gawi (9,5%) und bei Genotyp B (9,2%). Sie zeigten keinen Unterschied zueinander. Der geringste Steviosid-Gehalt wurde bei Genotyp C (1,8%) und bei Genotyp F (3,1%) gemessen; sie zeigten auch keinen Unterschied zueinander (Tab. 4.7).

Rebaudiosid-A

Die Varianzanalyse des Rebaudiosid-A Gehaltes zeigte hoch-signifikante Unterschiede zwischen den Blöcken und zwischen den Genotypen. Die Interaktion Block*Genotyp blieb nicht signifikant unterschiedlich.

Den höchsten Rebaudiosid-A Gehalt zeigte Genotyp C mit 10,8%; er zeigte auch einen signifikanten Unterschied zu den weiteren Genotypen. Der geringste Gehalt fand sich in Genotyp B (3,2%); der Gehalt des Genotyps Gawi befand sich bei 4,5% (Tab. 4.7).

4.2 Einfluss der Folienbedachung auf ausgewählte Leistungsparameter

4.2.1 Bei hoher natürlicher Einstrahlung (2009)

4.2.1.1 Wachstum

Sprosslänge

Die verschiedenen Messtermine des Jahres 2009 wurden aufgeteilt wie folgt: 18.05. (3 Tage nach Versuchsbeginn), 02.06. (18 Tage), 16.06. (32 Tage), 02.07. (48 Tage) 16.07. (62 Tage), 15.08. (92 Tage), 10.09. (126 Tage) und 15.10. (153 Tage).

Tab. 4.9: Längenwachstum (cm) von vier Genotypen von *Stevia rebaudiana* unter Freilandbedingungen sowie im FEP- und PE-Folientunnel 2009.

Datum	18.05.	02.06.	16.06.	02.07.	16.07.	15.08.	18.09.	15.10.
Genotyp	FEP							
Gawi	27,5 b	38,6 a	45,5 a	57,4 ab	68,6 a	88,9 ab	113,3 ab	138,3 b
C	34,3 a	44,5 a	50,3 a	62,3 a	70,5 a	83,4 b	95,6 bc	99,4 c
D	32,6 ab	40,4 a	46,1 a	60,1 a	72,5 a	97,4 a	132,0 a	167,4 a
F	12,0 c	21,1 b	31,6 b	47,5 b	56,0 b	68,1 c	80,8 c	96,1 c
	PE							
Gawi	27,0 b	38,0 a	44,0 a	55,5 a	67,1 a	87,0 ab	114,8 ab	136,1 b
C	36,5 a	46,4 a	50,4 a	62,9 a	71,5 a	91,5 a	106,5 bc	112,8 c
D	31,9 ab	39,4 a	45,6 a	58,8 a	71,8 a	96,5 a	133,1 a	164,1 a
F	13,0 c	22,4 b	31,8 b	50,5 a	58,6 a	72,4 b	91,6 c	102,8 c
	Freiland							
Gawi	26,0 b	34,6 a	40,9 a	49,8 a	56,1 a	75,5 a	96,4 a	113,1 a
C	32,4 a	38,3 a	41,9 a	48,8 a	52,8 ab	65,3 ab	73,3 b	75,5 b
D	31,0 ab	35,9 a	40,0 a	50,4 a	57,7 a	81,1 a	106,0 a	126,8 a
F	11,9 c	17,4 b	23,6 b	35,8 b	42,9 b	57,4 b	65,8 b	72,9 b

ANOVA zwischen den Genotypen zu den einzelnen Meßterminen; unterschiedliche Buchstaben geben signifikante Unterschiede an (Tukey-Test; $\alpha \leq 0,05$)

Die Varianzanalyse dieser Abschnitte zeigte, dass während der ersten drei Versuchstage keine signifikanten Unterschiede für das Wachstum der Pflanzen unter den verschiedenen Einstrahlungsverhältnissen vorhanden waren. Von der zweiten Begutachtung bis zur Ernte, zeigten sich für jeden Zeitabschnitt hoch-signifikante Unterschiede im Wachstum der Genotypen für die verschiedenen Einstrahlungsverhältnisse.

Am Anfang des Versuches zeigten die Blöcke keinen signifikanten Unterschied, während sie am Tag 126 und 153, am Ende des Versuches, einen zeigten. Die Interaktion Block*Genotyp war nur am 153. Tag signifikant. In den weiteren Untersuchungsabschnitten zeigten sich keine Unterschiede. Die Interaktion Strahlung*Genotyp war nur am 126. Tag signifikant, nicht in den weiteren Zeitabschnitten.

Die Genotypen zeigten einen hoch-signifikanten Unterschied während jedes untersuchten Zeitabschnitts (Tab. 4.9). Die Interaktion Strahlung*Block*Genotyp war in keiner der untersuchten Zeitabschnitten signifikant.

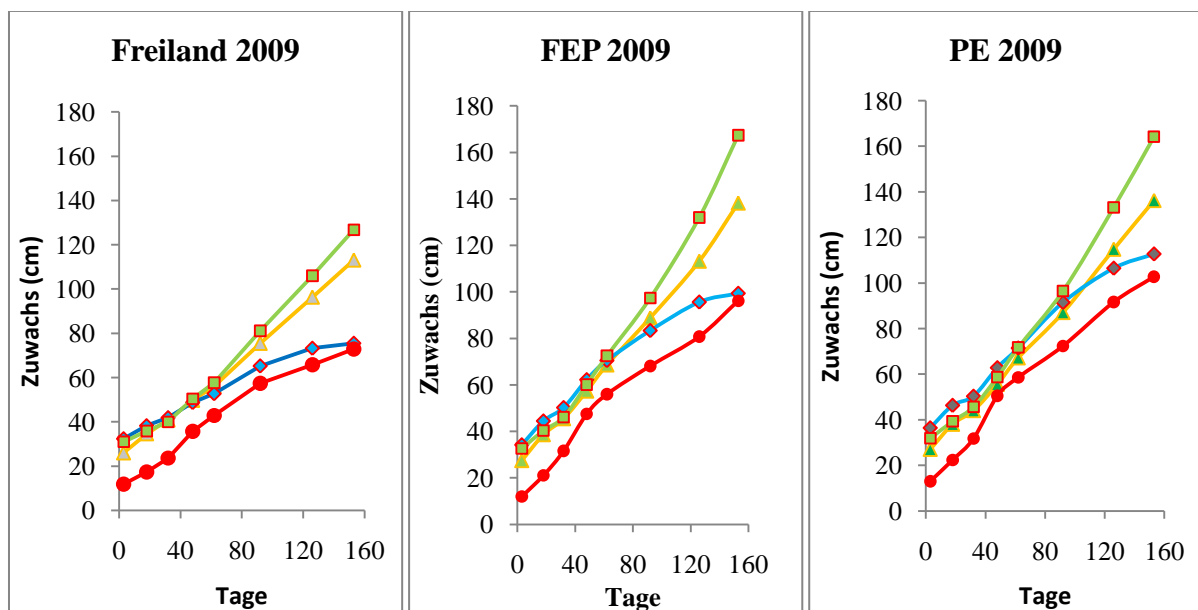


Abb. 4.10: Zuwachs von sieben Genotypen von *Stevia rebaudiana* unter Freilandbedingungen sowie im PE- und FEP-Folientunnel 2009

—●— C —■— D —●— F —▲— Gawi

Die allgemeinen Durchschnittswerte für die Höhe der Pflanze unter den verschiedenen Einstrahlungsverhältnissen für jeden Zeitabschnitt und der Tukey-Test (0,05) zeigten, dass für alle untersuchten Zeitabschnitte die Reihenfolge der Höhe der Pflanzen FEP->PE->Freilandversuch war. Des Weiteren zeigte sich, dass während keinem Zeitabschnitt signifikante Unterschiede in dem Wachstum der Pflanzen zwischen FEP- und PE-Versuch vorhanden waren. Jedoch zeigten sich signifikante Unterschiede im Wachstum der Pflanzen zwischen dem Freilandversuch, FEP- und PE-Versuch.

Die Durchschnittswerte der Höhe für die Genotypen für jede Einstrahlungsvariante, für jeden gewerteten Zeitabschnitt und die Ergebnisse des Tukey-Test ($\alpha \leq 0,05$) zeigten, dass die größte Höhe am Anfang von Genotyp C erreicht wurde, und dies unter den drei

Einstrahlungsvarianten (FEP-: 34,3 cm; PE-: 36,5 cm; Freilandversuch: 32,4 cm), dicht von den Werten von Genotyp D gefolgt. Genotyp Gawi zeigte Wachstumshöhen von 27,5 cm (FEP-Versuch), 27,0 cm (PE-Versuch) und 26,0 cm für den Freilandversuch. Am Ende der Untersuchung (153. Tag), zeigte Genotyp D die größte Wachstumshöhe (167,4 cm, FEP-Versuch). Er zeigte keinen signifikanten Unterschied zu Genotyp Gawi (138,3 cm). Die kleinste Wachstumshöhe wurde von Genotyp F im Freiland erreicht (72,9 cm). Er zeigte keinen Unterschied zu den Genotypen C und E (Tab. 4.9 und Abb. 4.10).

Anzahl an Nodien

Tab. 4.10: Anzahl der Nodien von vier Genotypen von *Stevia rebaudiana* 2009.

Haupttrieb									Anzahl Seitentriebe
Datum	18.05.	02.06.	16.06.	02.07.	16.07.	15.08.	18.09.	15.10.	15.10.
Genotyp	FEP								
Gawi	13,1 ab	17,6 a	20 a	23,5 a	26,5 b	35,5 a	45,5 a	50,9 a	44,1 ab
C	14,9 a	19,6 a	22,8 a	25,9 a	30,4 a	40,3 a	46,9 a	50,4 a	48,1 a
D	11,3 b	13,9 b	16,6 b	18,8 b	21,5 c	28,8 b	36,1 b	41 b	28,5 bc
F	6,3 c	9 c	11 c	13,1 c	15,3 d	18,8 c	24,4 c	28,5 c	24,4 c
	PE								
Gawi	13,4 b	17,3 b	20 a	23,5 a	26,1 b	35,5 b	42,9 a	47 ab	46 a
C	15,4 a	19,9 a	22 a	26,4 a	30,9 a	41,5 a	48,8 a	49,4 a	53 a
D	11,1 c	13,6 c	16,1 b	18,6 b	21,4 c	28 c	35,4 b	39,3 b	31,9 b
F	7,1 d	9,5 d	10,3 c	12,9 c	14,8 d	19,4 d	23,3 c	25,5 c	16,9 c
	Freiland								
Gawi	12,4 b	17,1 a	19,4 a	21,5 a	24 a	34,5 a	44,5 a	46,9 a	48,3 a
C	14,6 a	18,3 a	20,6 a	23,1 a	26,5 a	35,8 a	41,4 a	43,3 b	39,9 ab
D	10,4 c	12,4 b	15 b	16,3 b	18,4 b	25,1 b	32 b	35,8 c	28,6 bc
F	6,4 d	8,6 c	10,3 c	12,3 c	14,1 c	20,8 c	24,8 c	27,1 d	19 c

ANOVA zwischen den Genotypen zu den einzelnen Meßterminen; unterschiedliche Buchstaben geben signifikante Unterschiede an (Tukey-Test; $\alpha \leq 0,05$)

Die allgemeine Varianzanalyse für jeden Zeitabschnitt zeigte signifikante Unterschiede unter den verschiedenen Lichtintensitäten am 62. Tag (06.05.), ebenso wie zwischen den Blöcken am 92. Tag (15.08.), für die Interaktion Strahlung*Genotyp am 48. Tag (02.07.) und für die Interaktion Block*Genotyp am 126. Tag (18.09.). Es zeigten sich hoch-signifikante Unterschiede zwischen den Genotypen für alle untersuchten Zeitabschnitte, ebenso wie für die Interaktion Strahlung*Genotyp am 92. und 126. Tag, und für die Interaktion Block*Genotyp am 153. Tag (15.10). Die Interaktion Strahlung*Block war in den untersuchten Zeitabschnitten nicht signifikant unterschiedlich.

Die Durchschnittswerte der Anzahl an Nodien und der Tukey-Test (0,05) für die Lichtintensitäten zeigten keinen signifikanten Unterschied in der Anzahl an Nodien für den FEP-, PE- und Freilandversuch.

Von der ersten Begutachtung bis zur Ernte zeigte sich die gleiche Tendenz für alle Genotypen bezüglich der Anzahl an Nodien: die Anzahl an Nodien nahm wie folgt ab: C > Gawi > D > F für den FEP- und PE-Versuch.

Am 126. und 153. Tag des Freilandversuches wies der Genotyp Gawi einen Wert von 46,9 Nodien, ohne einen signifikanten Unterschied zum Genotyp C zu zeigen. Die kleinste Anzahl an Nodien wurde für Genotyp F gemessen (27,1) (Tab. 4.10 und Abb. 4.11).

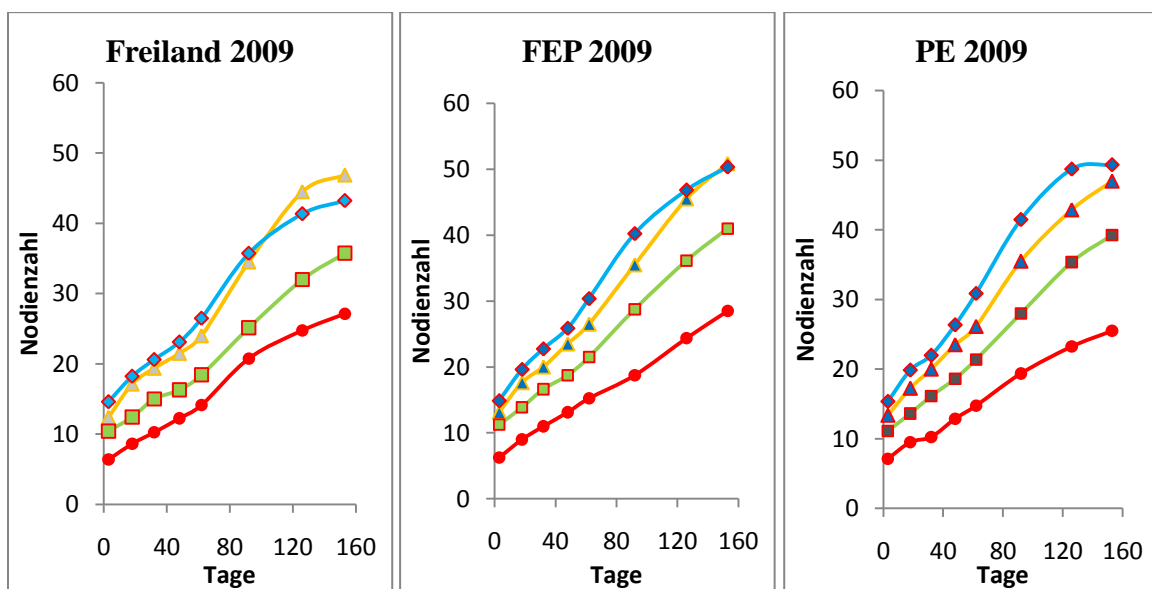


Abb. 4.11: Anzahl an Nodien von vier Genotypen von *Stevia rebaudiana* unter Freilandbedingungen sowie im FEP- und PE-Folientunnel 2009

—●— C —■— D —●— F —▲— Gawi

Im FEP-Versuch zeigte der Genotyp C die höchste Anzahl an Nodien. In dem PE-Versuch betrug der Wert 14,9, während die Anzahl der Nodien des Genotyps Gawi 13,1 war. Zum Zeitpunkt der Ernte zeigte der Genotyp Gawi die höchste Anzahl an Nodien (50,9/Pflanze). Der Genotyp F zeigte die geringste Anzahl an Nodien (28,5/Pflanze). Am Anfang der PE-Untersuchung zeigte der Genotyp C die höchste (15,4) und der Genotyp F die geringste (7,1) Anzahl an Nodien. Bei dem Gawi-Genotyp betrug sie 13,4 zum Zeitpunkt der Ernte. Der Genotyp C zeigte die höchste Anzahl an Nodien (49,4); die kleinste Anzahl ergab der Genotyp F (25,5). Der Genotyp Gawi zeigte einen Wert von 49,4, ohne einen signifikanten Unterschied zum Genotyp C aufzuweisen (Tab. 4.10 und Abb. 4.11).

Seitentriebe

Die Varianzanalyse zeigte keinen signifikanten Unterschied für die Einstrahlungsverhältnisse (FEP-, PE- und Freilandversuch) für die Produktion von Seitentriebe. Es gab keinen Unterschied zwischen den Blöcken. Die Interaktion Block*Genotyp war nur im Freiland signifikant unterschiedlich. Es zeigten sich hoch-signifikante Unterschiede zwischen den Genotypen in den FEP-, PE- und Freilandversuche.

Genotyp Gawi hatte mehr Seitentriebe im Freiland (48,3); im PE-Versuch hatte Genotyp C die höchste Seitentriebanzahl (53). Genotyp F zeigte die geringste Anzahl an Seitentrieben (24,4 FEP-; 16,9 PE-; und 19 im Freiland-Versuch) (Tab. 4.10).

4.2.1.2 Blatteigenschaften

Blattfarbe mit SPAD für FEP, PE und Freiland

Die Varianzanalysen zeigten, dass es signifikante Unterschiede zwischen den Lichtintensitäten gab. Es gab keinen signifikanten Unterschied zwischen den Blöcken. Zwischen den Genotypen gab es hoch-signifikante Unterschiede.

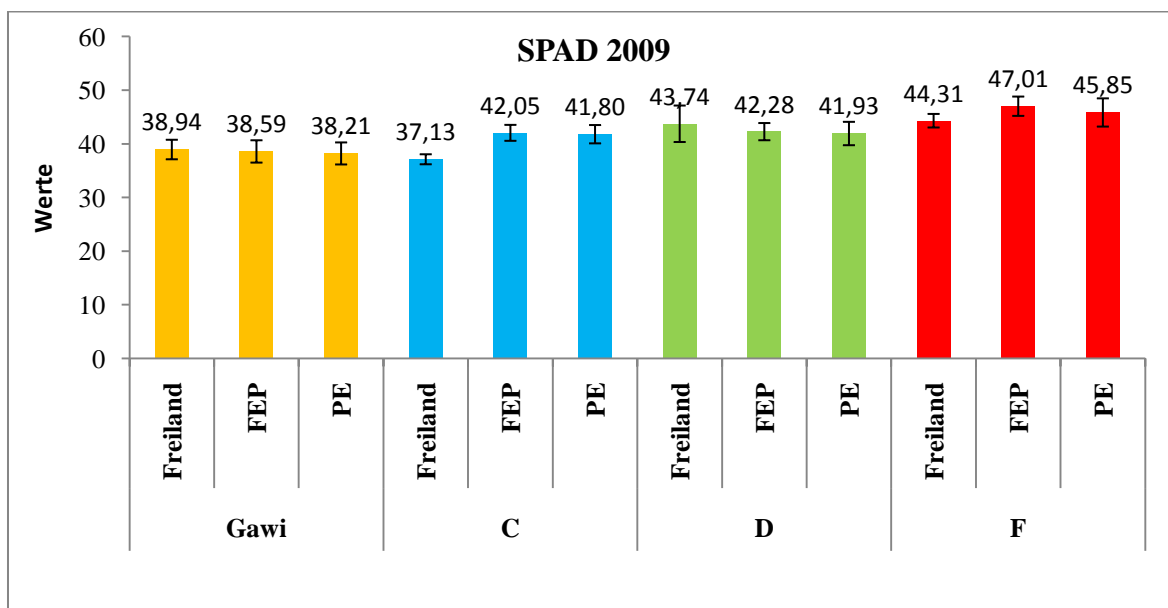


Abb. 4.12: Mittelwerte der Blattfarbe (SPAD-Werte) von vier Genotypen von *Stevia rebaudiana* unter Freilandbedingungen sowie im FEP- und PE-Tunnel im Oktober 2009 (n = 8; \pm SD).

Die allgemeinen Durchschnittswerte und der Tukey-Test (0,05) zeigten einen signifikanten Unterschied für die FEP-, PE-Werte, aber nicht für die Werte des Freilandversuches verglichen mit denen des FEP- und PE-Versuches.

Die Durchschnittswerte der SPAD-Untersuchung für jeden Genotyp für jede Einstrahlungsvariante zeigten, dass im FEP-Versuch der höchste Wert von Genotyp F erreicht wurde (47,01). Der kleinste Wert im PE-Versuch wurde von Genotypen erreicht (37,13). Für Genotyp Gawi war der niedrigste Wert im PE-Versuch (38,21), der höchste im Freilandversuch (38,94) (Abb. 4.12).

Chlorophyllgehalte

Chlorophyll-a (mg/g TM)

Die Varianzanalyse zeigte, dass die Variable "Chlorophyll-a" signifikante Unterschiede zwischen den Blöcken, für die Interaktion Block*Genotyp und für die Interaktion Block*Strahlung*Genotyp zeigte. Hoch-signifikante Unterschiede wurden zwischen den Lichtintensitäten ermittelt, ebenso wie für die Genotypen. Die Interaktion Radiation*Genotyp war nicht signifikant unterschiedlich.

Die Durchschnittswerte und der Tukey-Test (0,05) für die Strahlung zeigten, dass unter der Freilandbedingung der Gehalt an Chlorophyll-a am geringsten war. Im FEP-Versuch war er am höchsten. Es gab keinen signifikanten Unterschied zwischen dem FEP- und PE-Versuch.

Die Varianzanalyse für jede Einstrahlungsvariante zeigte signifikante Unterschiede zwischen den Blöcken unter den PE- und Freilandversuchen. Hoch-signifikante Unterschiede gab es bei den Genotypen unter den drei Einstrahlungsvarianten.

Die Durchschnittswerte von jedem Genotyp für den Gehalt an Chlorophyll-a und der Tukey-Test ($\alpha \leq 0,05$), für jede Einstrahlungsvariante zeigten, dass der höchste Wert von Genotyp A erreicht wurde (4,5 mg/g TM) im FEP-Versuch. Der kleinste Wert wurde von Genotypen Gawi im Freilandversuch erreicht (1,72 mg/g TM). Der höchste Wert wurde von Genotyp Gawi im FEP-Versuch aufgezeichnet (1,96 mg/g TM) (Tab. 4.11).

Chlorophyll-b (mg/g TM)

Die Varianzanalyse für Chlorophyll-b zeigte signifikante Unterschiede zwischen den Blöcken, für die Einstrahlungsvariante, für die Interaktion Block*Strahlung und Block*Genotyp. Hoch-signifikante Differenzen zeigten sich zwischen den Genotypen. Die Interaktion Block*Strahlung*Genotyp zeigte keinen signifikanten Unterschied (Anhang 26).

Die Durchschnittswerte zeigten, dass es einen signifikanten Effekt für die Genotypen zwischen der Einstrahlungsvariante unter der FEP- und der Freiland-Bedingung gab, bezüglich des Gehalts an Chlorophyll-b. Die Genotypen untereinander und mit dem PE-Versuch zeigten jedoch keinen Unterschied.

Die Varianzanalyse für jede Einstrahlungsvariante zeigte, dass die Unterschiede zwischen den Blöcken im PE- und Freilandversuch auftreten.

Der Durchschnittswert von jedem Genotypen für jede Einstrahlungsvariante und der Tukey-Test ($\alpha \leq 0,05$) zeigten, dass der höchste Gehalt an Chlorophyll-b im FEP-Versuch bei Genotyp F anzutreffen war (1,23 mg/g TM); der niedrigste Wert wurde für Genotyp Gawi berechnet (0,49 mg/g TM). Der höchste Gehalt an Chlorophyll-b im PE-Versuch war auch wieder bei Genotyp F anzutreffen (1,19 mg/g TM); der kleinste wurde für Genotypen Gawi gemessen (0,47 mg/g TM). Im Freiland-Versuch wurde der höchste Gehalt an Chlorophyll-b bei Genotyp F gemessen (1,04 mg/g TM) und der geringste bei Genotyp Gawi (0,50 mg/g TM). (Tab. 4.11).

Tabelle 4.11: Gehalt an Chlorophyll-a, Chlorophyll-b, Verhältnis Chlorophyll a/b, Gesamchlorophyll mg/g TM und $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ im Oktober 2009.

Genotyp	a	b	a/b	mg/g TM	$\mu\text{g}/\text{cm}^2$
FEP					
Gawi	1,96 c	0,49 c	4,21 a	2,45 c	29,38 b
C	2,74 b	0,85 b	3,25 b	3,59 b	25,25 b
D	3,79 a	1,04 ab	3,69 ab	4,83 a	34,48 a
F	4,27 a	1,23 a	3,55 ab	5,50 a	36,64 a
PE					
Gawi	1,81 b	0,47 b	4,01 a	2,27 b	28,35 bc
C	2,45 b	0,68 b	3,69 a	3,12 b	23,19 c
D	4,10 a	1,07 a	3,85 a	5,17 a	34,87 ab
F	4,07 a	1,19 a	3,42 a	5,27 a	36,86 a
Freiland					
Gawi	1,72 b	0,50 b	3,52 a	2,22 b	26,90 b
C	1,83 b	0,54 b	3,48 a	2,37 b	23,47 b
D	3,73 a	0,93 a	4,06 a	4,66 a	34,65 a
F	3,50 a	1,04 a	3,39 a	4,54 a	33,05 a

ANOVA zwischen den Genotypen zu den einzelnen Meßterminen; unterschiedliche Buchstaben geben signifikante Unterschiede an (Tukey-Test; $\alpha \leq 0,05$)

Verhältnis Chlorophyll-a/b

Die Varianzanalyse zeigte keine signifikanten Unterschiede zwischen den FEP- und PE-Bedingungen für das Verhältnis Chlorophyll-a/b. Es gab kein Unterschied zwischen den Blöcken. Signifikante Unterschiede gab es nur für das Verhältnis Chlorophyll-a/b in dem FEP-Versuch.

Die Durchschnittswerte und der Tukey-Test (0,05) zeigten, dass es keinen Unterschied in diesem Verhältnis für die Einstrahlungsvarianten (FEP-, PE- und Freilandversuch) gab.

Die Durchschnittswerte für dieses Verhältnis und der Tukey-Test (0,05) zeigten, dass im FEP-Versuch der höchste Wert von Genotyp Gawi erreicht wurde (4,21) und der kleinste Wert von Genotypen C (3,25). Im PE-Versuch zeigte der Genotyp Gawi 4,01; der kleinste Wert zeigte sich bei Genotyp F (3,42) (Tab. 4.11).

Gesamtchlorophyll (mg/g TM)

Die Varianzanalyse für den Gehalt an Chlorophyll zeigte signifikante Unterschiede zwischen den Blöcken und hoch-signifikante Unterschiede zwischen den verschiedenen Lichtintensitäten. Zwischen den Genotypen waren die Interaktionen nicht signifikant.

Die Durchschnittswerte und der Tukey-Test (0,05) zeigten, dass es keine Unterschiede für den Gesamtgehalt an Chlorophyll in mg/g TM zwischen dem FEP- und PE-Versuch gab. Es gab jedoch Unterschiede zu dem Freiland-Versuch.

Die ANOVA-Tests für die Einstrahlungsvarianten zeigten, dass signifikante Unterschiede zwischen den Blöcken unter der PE-Bedingung auftraten, und dass es hoch-signifikante Unterschiede zwischen den Genotypen für jede Lichtintensität gab.

Die Durchschnittswerte für den Gesamtgehalt an Chlorophyll in mg/g TM für jede Einstrahlungsvariante zeigten, dass im FEP-Versuch der höchste Gehalt Genotyp F zuzuordnen war (5,50 mg/g TM); der geringste gehörte zu Genotyp Gawi (2,45 mg/g TM). In dem PE-Versuch wurde der höchste Gehalt für Genotyp F gemessen (5,27 mg/g TM) und der kleinste wiederum für Genotyp Gawi (2,27 mg/g TM) (Tab. 4.11).

Gesamtchlorophyll ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$ Blattfläche)

Die Varianzanalyse für den Gehalt an Chlorophyll in $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ Blattfläche zeigte hoch-signifikante Unterschiede zwischen den Blöcken, innerhalb der Genotypen, ebenso wie signifikante Unterschiede zwischen den drei Einstrahlungsvarianten. Keine der Interaktionen zeigte sich signifikant unterschiedlich.

Die Durchschnittswerte und der Vergleich mittels des Tukey-Tests ($\alpha \leq 0,05$) für die drei Einstrahlungsvarianten zeigten, dass es Unterschiede zwischen dem FEP- und PE-Versuch gab, aber nicht mit dem Freilandversuch. Der höchste Wert an Chlorophyll war im FEP-Versuch ($34,43 \mu\text{g}/\text{cm}^2$) und der kleinste im PE-Versuch ($32,06 \mu\text{g}/\text{cm}^2$).

Die Varianzanalyse für jede Einstrahlungsvariante zeigte, dass es signifikante Unterschiede nur zwischen den Blöcken unter der PE-Bedingung gab. Hoch-signifikante Unterschiede konnten zwischen den Genotypen unter jeder Einstrahlungsvariante gemessen werden.

Der Vergleich der Durchschnittswerte anhand des Tukey-Tests ($\alpha \leq 0,05$) für alle Genotypen zeigte, dass Genotyp A den höchsten Gesamtgehalt an Chlorophyll hatte ($39,99 \mu\text{m}/\text{cm}^2$) unter der FEP-Bedingung; der kleinste Gesamtgehalt wurde bei Genotyp C gemessen ($23,19 \mu\text{m}/\text{cm}^2$). Genotyp Gawi zeigte den höchsten Wert unter der FEP-Bedingung ($29,38 \mu\text{m}/\text{cm}^2$) und den kleinsten unter der Freilandbedingung ($26,90 \mu\text{m}/\text{cm}^2$) (Tab. 4.11).

Spezifisches Blattgewicht (SLW mg/cm^2)

Die Varianzanalysen zeigten hoch-signifikante Unterschiede zwischen den SLW-Werten unter den Einstrahlungsvarianten; die Interaktion Strahlung*Genotyp ist signifikant. Nur unter der FEP-Bedingung gab es signifikante Unterschiede zwischen den Blöcken. Die Genotypen zeigten Differenzen untereinander unter allen untersuchten Lichtintensitäten.

Die Durchschnittswerte und der Tukey-Test ($\alpha \leq 0,05$) zeigten keine Unterschiede zwischen den SLW-Werten der FEP- und PE-Bedingung. Die Freilandbedingung war signifikant unterschiedlich verglichen zu denen der FEP- und PE-Versuche.

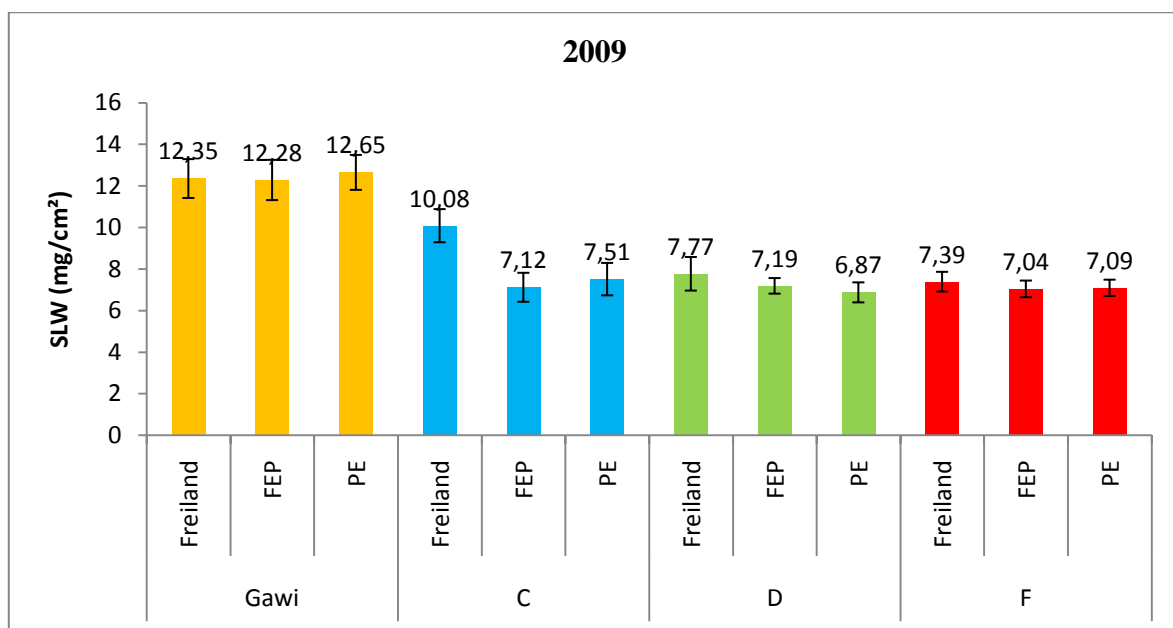


Abb. 4.13: Spezifisches Blattgewicht (mg/cm^2) von vier Genotypen von *Stevia rebaudiana* unter Freilandbedingungen sowie im FEP- und PE-Folientunnel im Oktober 2009 ($n = 8$; $\pm\text{SD}$).

Die Durchschnittswerte von jedem Genotypen für alle Einstrahlungsvarianten zeigten, dass im PE-Versuch der höchste SLW-Wert für Genotyp Gawi gemessen werden konnte ($12,65 \text{ mg}/\text{cm}^2$). Der kleinste wurde für Genotyp F gemessen ($7,04 \text{ mg}/\text{cm}^2$). Im FEP-Versuch hatte Genotyp Gawi den kleinsten Wert ($12,28 \text{ mg}/\text{cm}^2$). Den höchsten Wert erreichte Genotyp C

im Freilandversuch (10,08 mg/cm²). Der kleinste wurde für Genotyp C im FEP-Versuch gemessen (7,12 mg/cm²) (Abb.4.13).

Blattanatomie

Dicke

Die Analyse zeigte hoch-signifikante Unterschiede für die Dicke der Blätter von *Stevia rebaudiana* für die verschiedenen Einstrahlungsvarianten und auch zwischen den Genotypen. Die Interaktion Strahlung*Genotyp war signifikant.

Die Durchschnittswerte der Strahlungsintensität und der Tukey-Test ($\alpha \leq 0,05$) zeigten keine Unterschiede zwischen den FEP- und PE-Versuchen. Die größte Dicke der Blätter wurde im Freilandversuch erreicht, mit einem Durchschnittswert von 418,6 μm . Dieser Wert war unterschiedlich zu den Werten, die im FEP- und PE-Versuch gemessen wurden. Die kleinste Dicke wurde im FEP-Versuch gemessen (351,25 μm); die Dicke im PE-Versuch erreichte 364,86 μm .

Die Durchschnittswerte für die Genotypen und der Tukey-Test ($\alpha \leq 0,05$) zeigten, dass Genotyp Gawi die Blätter mit der größten Dicke hatte (458,50 μm) und Genotyp D die kleinste Dicke aufwies (341 μm).

Die Varianzanalyse für jede Blattdicke für jede Einstrahlungsvariante zeigte hoch-signifikante Unterschiede in der Dicke der Blätter innerhalb der Genotypen im PE- und Freilandversuch und signifikante Unterschiede unter der FEP-Bedingung.

Die Durchschnittswerte für jeden Genotyp für jede Einstrahlungsvariante zeigten, dass die größte Dicke von Genotyp Gawi unter der Freiland-Bedingung erreicht wurde (493,47 μm); die kleinste Dicke wurde bei Genotyp D im FEP-Versuch gemessen (318,1 μm) (Tab.4.12).

Obere Epidermis

Die Varianzanalyse für die oberste Epidermis zeigte signifikante Unterschiede in der Dicke je nach Einstrahlungsvariante. Die Unterschiede befinden sich unter den FEP- und Freilandbedingungen.

Die Durchschnittswerte für die Dicke der obersten Epidermis von jedem Genotyp für jede Einstrahlungsvariante und der Tukey-Test ($\alpha \leq 0,05$) zeigten, dass die größte Dicke bei Genotyp C gemessen wurde (23,15 μm) und die kleinste bei Genotyp D (16,61 μm). Der höchste Wert von Genotyp Gawi wurde unter der PE-Bedingung (20,13 μm), und der kleinste Wert (18,20 μm) unter der FEP-Bedingung gemessen (Tab. 4.12).

Palisadenparenchym

Die Varianzanalyse für das Palisadenparenchym zeigte hoch-signifikante Unterschiede zwischen den Einstrahlungsvarianten, Genotypen und für die Interaktion Strahlung*Genotyp.

Die Durchschnittswerte für die Einstrahlungsvarianten und der Tukey-Test ($\alpha \leq 0,05$) zeigten Unterschiede zwischen der FEP- und Freilandbedingung. Die PE-Bedingung zeigte keine Unterschiede zum FEP- und Freiland-Versuch.

Tab. 4.12: Mittelwertvergleiche für verschiedene Variablen des Blattquerschnitts (μm) von vier Genotypen von *Stevia rebaudiana* unter Freilandbedingungen sowie im FEP- und PE-Folientunnel im Oktober 2009 (n = 8; \pm SD).

Genotype	Dicke		Epidermis		Parenchym		Anzahl an Palissadengew					
			obere	untere	Palisaden	Schwamm						
FEP												
Gawi	390,20	a	18,20	ab	16,10	a	144,85	a	211,06	a	2,13	a
C	349,64	ab	16,40	b	11,13	b	111,88	a	210,22	a	1,13	b
D	318,10	b	16,61	b	12,90	ab	116,07	a	172,52	a	1,88	a
F	347,06	ab	20,10	a	16,02	a	129,37	a	181,57	a	1,63	ab
PE												
Gawi	431,83	a	20,13	a	17,51	a	160,11	a	234,08	a	2,38	a
C	343,72	b	19,23	a	14,08	a	123,16	b	187,24	b	1,13	c
D	328,98	b	18,01	a	15,03	a	122,17	b	173,77	b	1,88	ab
F	354,91	b	17,78	a	14,45	a	122,09	b	200,59	ab	1,50	bc
Freiland												
Gawi	493,47	a	19,56	ab	14,24	b	208,98	a	250,70	a	2,63	a
C	446,83	ab	23,15	a	18,22	a	132,08	b	273,38	a	1,25	b
D	375,91	bc	21,67	ab	13,93	b	125,21	b	215,10	a	1,75	b
F	358,03	c	17,17	b	13,84	b	113,13	b	213,90	a	1,25	b

ANOVA zwischen den Genotypen; unterschiedliche Buchstaben geben signifikante Unterschiede an (Tukey-Test; $\alpha \leq 0,05$)

Die Varianzanalyse für jede Einstrahlungsvariante zeigte hoch-signifikante Unterschiede für die Dicke des Palisadenparenchyms im PE- und Freilandversuch aber nicht für den FEP-Versuch.

Die Durchschnittswerte für die Dicke des Palisadenparenchyms für jeden Genotyp unter jeder Einstrahlungsvariante und der Tukey-Test ($\alpha \leq 0,05$) zeigten den höchsten Wert für Genotyp Gawi im Freilandversuch (208,98 μm), und den kleinsten Wert für Genotyp C (111,88 μm) (Tab.4.12).

Schwammparenchym

Die Varianzanalysen der Dicke des Schwammparenchyms zeigten hoch-signifikante Unterschiede zwischen den verschiedenen Lichtintensitäten und zwischen den Genotypen unter der PE-Bedingung und signifikante Unterschiede unter der Freiland-Bedingung.

Die Durchschnittswerte und der Tukey-Test ($\alpha \leq 0,05$) zeigten keine Unterschiede für die Dicke dieses Parenchyms für die FEP- und PE-Bedingungen. Die Dicke, die im Freilandversuch gemessen wurde, unterschied sich von denen des FEP- und PE-Versuches.

Die Durchschnittswerte der Dicke des Parenchyms für die Strahlungsintensität und der Tukey-Test ($\alpha \leq 0,05$) zeigten die größte Dicke für den Freiland-Versuch (238,27 μm), die kleinste für den FEP-Versuch (193,94 μm). Sie zeigten keinen Unterschied zum PE-Wert (198,92 μm).

Die Durchschnittswerte für die Genotypen für jede Lichtintensität und der Tukey-Test ($\alpha \leq 0,05$) zeigten, dass Genotyp C die größte Dicke des Schwammparenchyms unter der Freilandbedingung aufwies (273,38 μm) gefolgt von Genotyp Gawi (250,70 μm) ohne Unterschiede zwischen den Genotypen aufzuweisen. Den kleinste Wert erreichte die Dicke des Parenchyms von Genotyp D unter der FEP-Bedingung (172,52 μm), auch ohne sich von den anderen Genotypen zu differenzieren (Tab. 4.12).

Untere Epidermis

Die Varianzanalyse der Dicke der untersten Epidermis zeigte einen hoch-signifikanten Unterschied für die Interaktion Strahlung*Genotyp, hoch-signifikante Unterschiede innerhalb der FEP-Bedingung und signifikante Unterschiede unter der Freilandbedingung.

Die Durchschnittswerte für die Dicke der untersten Epidermis und der Tukey-Test ($\alpha \leq 0,05$) zeigten keinen Unterschied für die drei Versuchsbedingungen.

Die Durchschnittswerte für die Dicke der untersten Epidermis für jeden Genotyp für jede Einstrahlungsvariante und der Tukey-Test ($\alpha \leq 0,05$) zeigten die größte Dicke bei Genotyp C (18,22 μm) im Freilandversuch, gefolgt von Genotyp Gawi (17,51 μm) im PE-Versuch. Der kleinste Wert wurde für Genotyp C im Freilandversuch gemessen (11,13 μm) (Tab. 4.12).

Anzahl der Schichten an Palisadenparenchym

Die Varianzanalyse zeigte keine Unterschiede zwischen den Einstrahlungsvarianten und hoch-signifikante Unterschiede zwischen den Genotypen.

Die Durchschnittswerte für die Strahlung und der Tukey-Test ($\alpha \leq 0,05$) zeigten keinen Unterschied für die Anzahl an Schichten des Palisadenparenchyms für die drei Versuchsbedingungen.

Die Durchschnittswerte von jedem Genotyp für jede Einstrahlungsvariante und der Tukey-Test (0,05) zeigten, dass die größte Anzahl an Schichten bei Genotyp Gawi vorhanden war

(2,63) und die kleinste für Genotyp C (1,13) unter den FEP- und PE-Bedingungen (Tab. 4.12).

4.2.1.3 Ertrag

Gesamtertrag

Die Varianzanalyse der Ernte zeigte hoch-signifikante Unterschiede zwischen den Genotypen und signifikante Unterschiede für die Interaktion Strahlung*Genotyp für alle Einstrahlungsvarianten; die Blöcke zeigten signifikante Unterschiede für die Freilandbedingung.4+

Die Durchschnittswerte der Genotypen und der Tukey-Test ($\alpha \leq 0,05$) zeigten, dass es keinen signifikanten Unterschied für den Ertrag unter den verschiedenen Versuchsbedingungen gibt.

Die Durchschnittswerte für die Genotypen und der Tukey-Test ($\alpha \leq 0,05$) zeigten, dass Genotyp Gawi derjenige mit dem höchsten Ertrag unter der FEP-Bedingung war (365,63 g TM /Pflanze); den geringsten Ertrag erreichte dieser Genotyp unter der Freilandbedingung (256,99 g TM /Pflanze). Genotyp C zeigte den besten Ertrag mit 148,93 g TM/Pflanze unter der FEP-Bedingung, ohne Unterschiede zu Genotyp F aufzuweisen (170,12 g TM/Pflanze) (Tab.4.13).

Tab. 4.13: Gesamtertrag (g TM/Pflanze) von vier Genotypen von *Stevia rebaudiana* unter Freilandbedingungen sowie im FEP- und PE-Folientunnel im Oktober 2009 (n = 8; \pm SD).

Genotyp	Stängel Trockengewicht	Blätter Trockengewicht	Erntetrocknengewicht
FEP			
Gawi	231,16 a	134,48 a	365,63 a
C	63,14 b	85,79 b	148,93 c
D	180,08 a	89,00 b	269,08 b
F	103,79 b	66,34 b	170,12 c
PE			
Gawi	203,50 a	134,19 a	337,69 a
C	69,82 c	93,54 b	163,36 b
D	149,21 b	74,28 b	223,49 b
F	99,00 c	67,57 b	166,57 b
Freiland			
Gawi	151,65 a	105,35 a	256,99 a
C	79,67 b	117,36 a	197,03 ab
D	140,01 a	57,84 b	197,85 ab
F	113,42 ab	70,62 b	184,04 b

ANOVA zwischen den Genotypen zu den einzelnen Meßterminen; unterschiedliche Buchstaben geben signifikante Unterschiede an (Tukey-Test; $\alpha \leq 0,05$).

Trockengewicht der Stängel

Die Varianzanalyse der Produktion des Trockengewichts der Stängel zeigte hoch-signifikante Unterschiede zwischen den Genotypen für jede Einstrahlungsvariante und signifikante Unterschiede zwischen den Blöcken und im Freilandversuch.

Die Durchschnittswerte und der Tukey-Test ($\alpha \leq 0,05$) zeigten, dass es keinen signifikanten Unterschied zwischen den Einstrahlungsvarianten der FEP- und PE-Versuche gab. Signifikante Unterschiede gab es zwischen dem Freiland- und den FEP- und PE-Versuchen.

Die Durchschnittswerte für jeden Genotyp für jede Lichtintensität und der Tukey-Test ($\alpha \leq 0,05$) zeigten, dass die größte Produktion bei Genotyp Gawi- für alle Einstrahlungsvarianten zu finden war (231 g TM/Pflanze im FEP-; 203,5 g TM/Pflanze im PE-; und 151,65 g TM/Pflanze im Freilandversuch). Die geringste Produktion fand sich bei Genotyp C (63,14 g TM/Pflanze) unter der FEP-Bedingung. Unter der PE-Bedingung zeigte er 69,82 g TM/Pflanze und 79,67 g TM/Pflanze im Freilandversuch (Tab. 4.13).

Trockengewicht der Blätter

Die Varianzanalyse zeigte hoch-signifikante Unterschiede zwischen den Genotypen für jede Einstrahlungsvariante; die Interaktion Strahlung*Genotyp war hoch-signifikant unterschiedlich.

Die Durchschnittswerte der Produktion unter der verschiedenen Einstrahlungsvarianten und der Tukey-Test ($\alpha \leq 0,05$) zeigten keine Unterschiede innerhalb der drei Versuchsbedingungen für die Produktion des Trockengewichts an Blättern.

Die Durchschnittswerte des Blattgewichts von jedem Genotyp unter jeder Einstrahlungsvariante und der Tukey-Test ($\alpha \leq 0,05$) zeigten die höchste Produktion für Genotyp Gawi unter der FEP-Bedingung (134,18 g TM/Pflanze) und unter der PE-Bedingung (134,19 g TM/Pflanze) und zeigte somit einen signifikanten Unterschied zu den anderen Genotypen. Im Freilandversuch zeigte der Genotyp Gawi 105,35 g Blatt-TM/Pflanze und zeigte keinen signifikanten Unterschied zum Genotyp C (117,36 g TM/Pflanze). Der kleinste Wert wurde bei Genotyp D im Freilandversuch gemessen (57,84 g TM/Pflanze) (Tab.4.13).

4.2.1.4 Süßstoffgehalte

Gesamtsüßstoff

Die Varianzanalyse zeigte signifikante Effekte in der Interaktion Strahlung*Genotyp und hoch-signifikante Differenzen zwischen den Genotypen und die Interaktion Block*Strahlung. Hoch-signifikante Unterschiede zeigten sich auch für die Blöcke im Freiland.

Die Durchschnittswerte für den Gesamtgehalt an Süßstoffen und der Tukey-Test ($\alpha \leq 0,05$) zeigten keine Unterschiede für die verschiedenen Lichtintensitäten (FEP-, PE- und Freilandversuch) für den Gesamtgehalt an Süßstoff.

Der Durchschnittswert für alle Genotypen für alle Einstrahlungsvarianten und der Tukey-Test ($\alpha \leq 0,05$) zeigten, dass Genotyp Gawi den höchsten Süßstoffgehalt unter allen Einstrahlungsvarianten zeigte (15,5% im FEP-; 15,4% im PE-; und 14,0% im Freilandversuch). Genotyp D zeigte den geringsten Gehalt im Freilandversuch (11,7%) (Tab. 4.14).

Steviosid

Die Varianzanalyse zeigten hoch-signifikante Unterschiede zwischen den Genotypen für den Steviosid-Gehalt für alle Lichtintensitäten. Die Interaktion Strahlung*Genotyp war auch hoch-signifikant; signifikante Unterschied befanden sich zwischen den Blöcken nur im Freilandversuch.

Die Durchschnittswerte für den Gehalt für die verschiedenen Lichtintensitäten und der Tukey-Test (0,05) zeigten keinen signifikanten Unterschied in dem Steviosid-Gehalt unter den drei Versuchsbedingungen.

Tab. 4.14: Gesamtsüßstoff (%) von vier Genotypen von *Stevia rebaudiana* unter Freilandbedingungen sowie im FEP- und PE-Folientunnel im Oktober 2009 (n = 8; \pm SD).

Genotyp	Steviosid	Rebaudiosid-A	Süßstoffgehalt
	FEP		
Gawi	10,5 a	5,0 c	15,5 a
C	2,2 c	9,5 a	11,6 b
D	5,6 b	7,1 b	12,7 b
F	3,0 c	9,2 a	12,2 b
PE			
Gawi	10,5 a	4,9 c	15,4 a
C	2,2 c	9,6 a	11,8 b
D	5,5 b	7,0 b	12,5 b
F	2,8 c	8,6 a	11,4 b
Freiland			
Gawi	9,5 a	4,5 d	14,0 a
C	1,8 d	10,8 a	12,7 ab
D	5,3 b	6,2 c	11,7 b
F	3,1 c	9,1 b	12,2 ab

ANOVA zwischen den Genotypen zu den einzelnen Meßterminen; unterschiedliche Buchstaben geben signifikante Unterschiede an (Tukey-Test; $\alpha \leq 0,05$)

Die Durchschnittswerte des Steviosid-Gehalts von jedem Genotyp für alle Einstrahlungsvarianten und der Tukey-Test ($\alpha \leq 0,05$) zeigten den höchsten Wert für Genotyp

Gawi (10,5% unter FEP- und PE-Bedingungen); der kleinste Wert wurde für Genotyp C gemessen (2,2% unter FEP- und PE-Bedingungen) und 1,8% im Freilandversuch (Tab. 4.14).

Rebaudiosid-A

Die Varianzanalyse zeigte, dass die Interaktion Strahlung*Genotyp signifikant, und dass die Interaktion Block*Genotyp hoch-signifikant war. Hoch-signifikante Unterschiede für den Rebaudiosid-A-Gehalt waren ebenfalls bei den Genotypen für alle Lichtintensitäten anzutreffen. Es gab Unterschiede zwischen den Blöcken und dem Freilandversuch.

Die Durchschnittswerte für die Einstrahlungsvarianten und der Tukey-Test ($\alpha \leq 0,05$) zeigten keinen Effekt der Einstrahlungsvariante auf den Rebaudiosid-A-Gehalt.

Die Durchschnittswerte von jedem Genotyp, für alle Einstrahlungsvarianten und der Tukey-Test ($\alpha \leq 0,05$) zeigten, dass Genotyp C den höchsten Rebaudiosid-A-Gehalt im Freilandversuch erreichte (10,8%), im PE-Versuch 9,6% ohne Unterschiede zum Genotyp F zu zeigen (8,6%). Genotyp Gawi zeigte seinen höchsten Rebaudiosid-A-Gehalt im FEP-Versuch (5%) (Tab. 4.14).

4.2.1.5 Zusammenfassung

Tab. 4.15: Höchste Werte für jede Variable im Jahr 2009.

Variable	Genotyp	Wert	%	Einstrahlungsvariante
Spross	Gawi	138,3	100	FEP
Nodienanzahl	Gawi	50,9	100	FEP
Seitentriebe	Gawi	48,3	100	Freiland
Chlorophyll-a mg/g TM	F	4,27	217,91	FEP
Chlorophyll-b mg/g TM	F	1,23	250,48	FEP
Verhältnis Chlorophyll-a/b	Gawi	4,21	100	FEP
Gesamtchlorophyll (mg/g TM)	F	5,5	224,42	FEP
Gesamtchlorophyll ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	F	36,86	130	PE
Gesamtertrag g/Pflanze TM	Gawi	365,63	100	FEP
Stängel g/Pflanze TM	Gawi	231,1	100	FEP
Blätter g/Pflanze TM	Gawi	134,48	100	FEP
Gesamtsüßstoff %	Gawi	15,50%	100	FEP
Steviosid %	Gawi	10,5	100	FEP und PE
Rebaudiosid-A %	C	10,80%	240,65	Freiland
SPAD-Werte	Gawi	12,65	100	FEP
SLW mg/cm^2	Gawi	12,65	100	PE

Die Ergebnisse werden in Prozent angezeigt; die Werte des Genotyps Gawi dienten hierfür als Referenzwerte. Die höchsten Werte für die verschiedenen Lichtintensitäten sind in Tabelle 4.15 (2009) zusammengefasst.

Für den PE-Versuch wurde die höchste Anzahl an Seitentriebe für Genotyp C (53) (115,22 %) gemessen. Der höchste Gesamtgehalt an Chlorophyll für Genotyp F (36,86 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$) (130%). Der höchste SLW-Wert für Genotyp Gawi 12,65 (100%).

Der höchste Steviosid-Gehalt wurde für den Genotyp Gawi gemessen (10,5% entspricht 100%).

Im Freilandversuch wurde der beste Rebaudiosid-A-Gehalt für Genotyp C gemessen (10,8%) (240,65%) (Abb. 4.14, Abb. 4.15, Abb. 4.16).

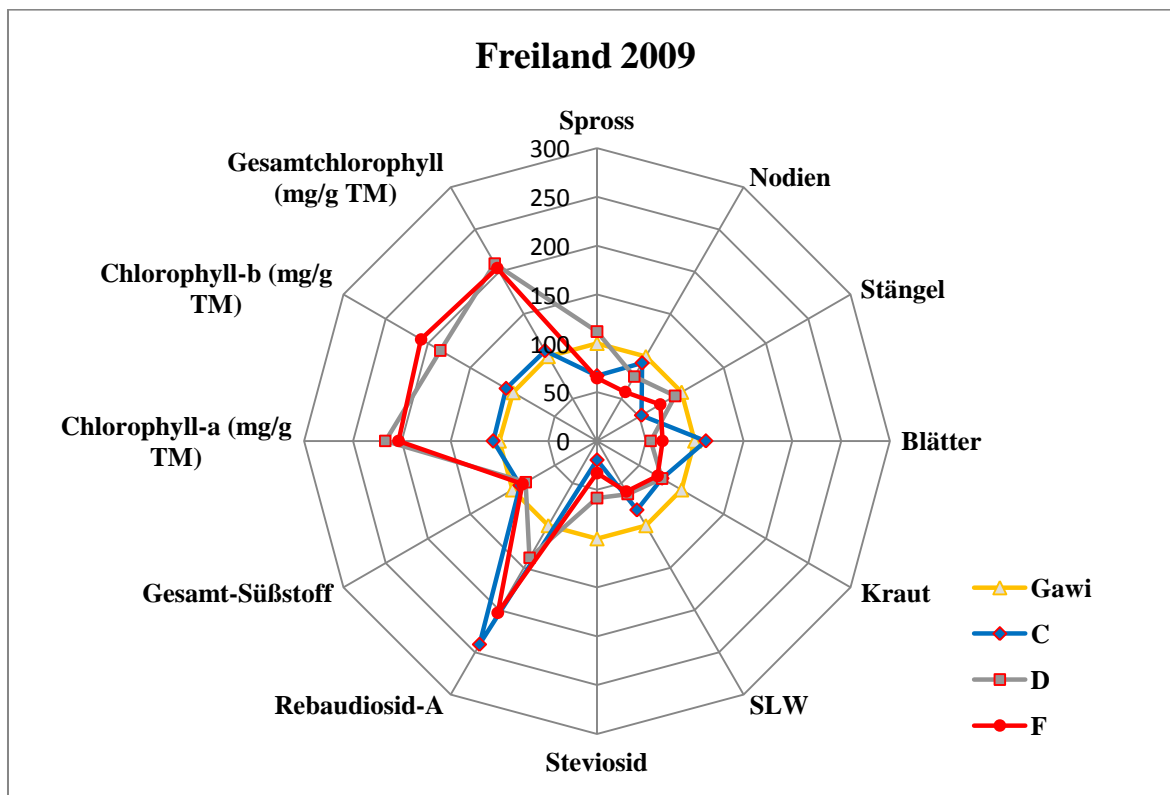


Abb. 4.14: Profile der drei *stevia rebaudiana* Genotypen im Vergleich zu Gawi (100%) für 12 Variablen im Freiland ab Mitte Mai 2009.

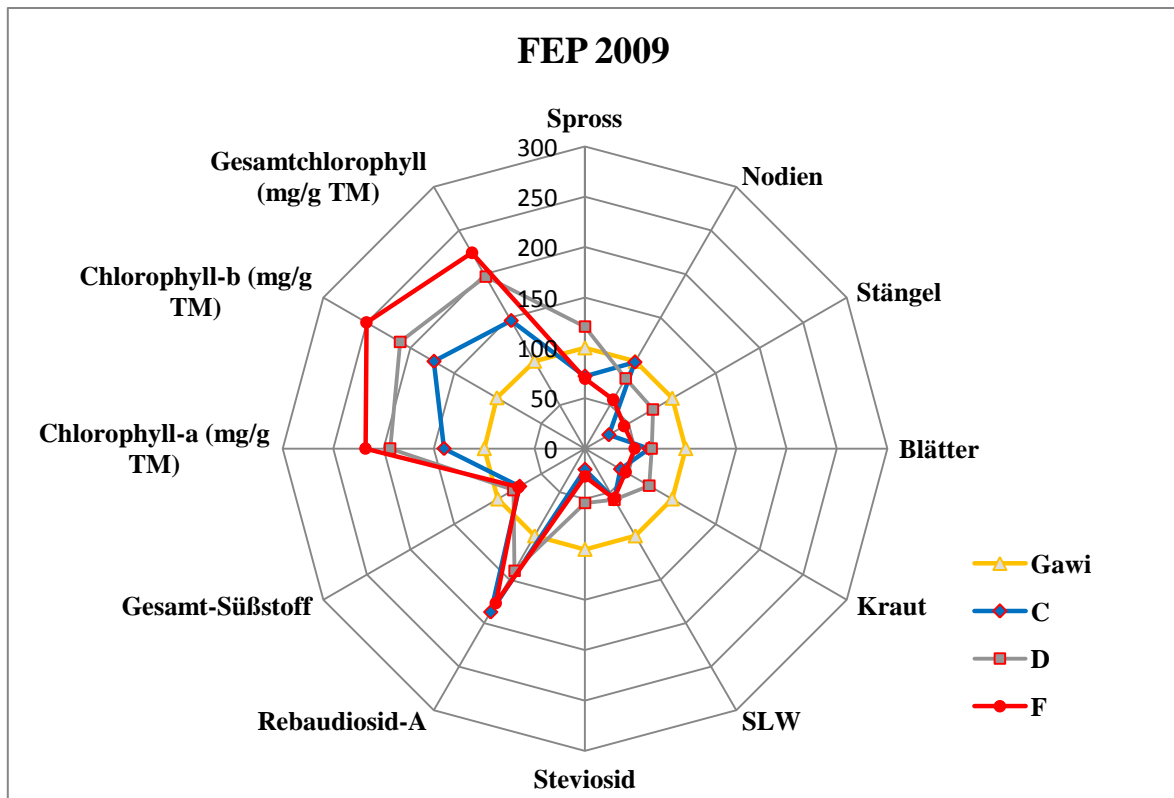


Abb. 4.15: Profile der drei *stevia rebaudiana* Genotypen im Vergleich zu Gawi (100%) für 12 Variablen im FEP ab Mitte Mai 2009.

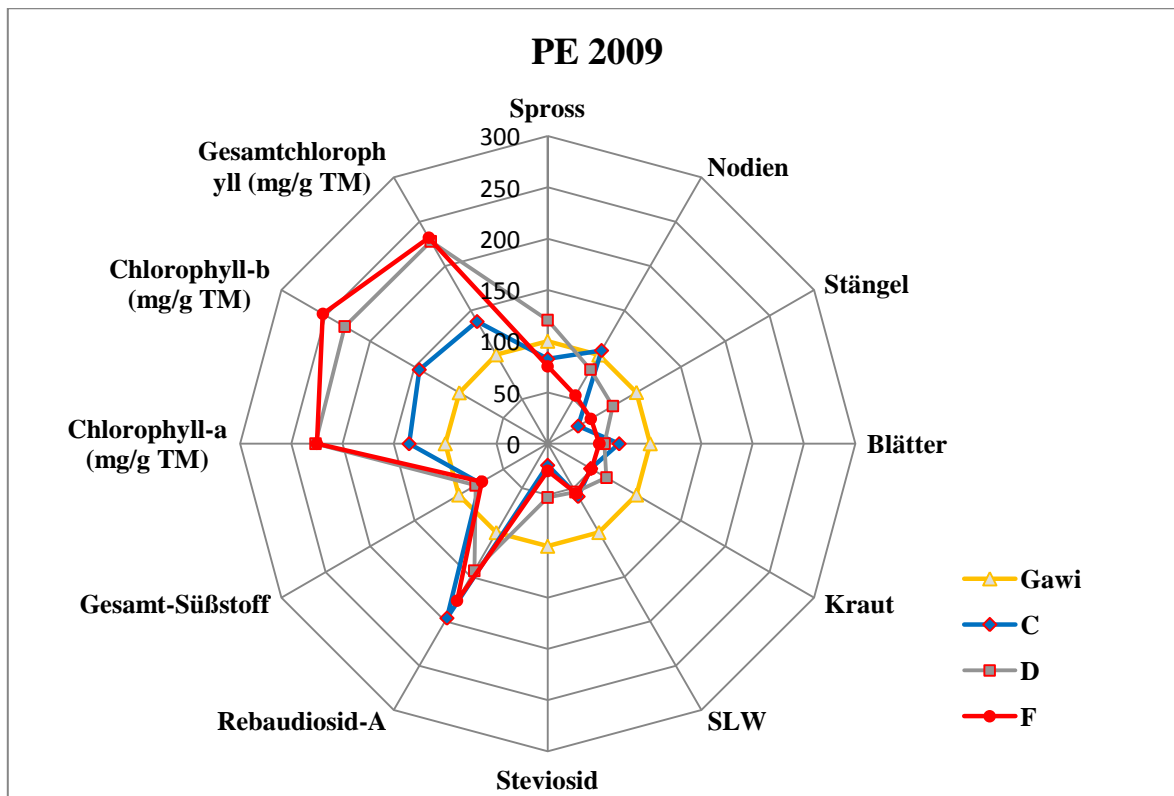


Abb. 4.16: Profile der drei *stevia rebaudiana* Genotypen im Vergleich zu Gawi (100%) für 12 Variablen im PE ab Mitte Mai 2009.

4.2.2 Einfluss der Folienbedachung auf ausgewählte Leistungsparameter bei geringer natürlicher Einstrahlung 2010.

4.2.2.1 Klimatische Daten 2009-2010

Hier werden die Daten für folgende Faktoren berücksichtigt: Globalstrahlung, Temperatur und relative Luftfeuchte.

Globalstrahlung

Die Daten der Globalstrahlung (Tab. 4.16) wurden freundlicherweise von der meteorologischen Station am Campus Klein-Altendorf der Universität Bonn zur Verfügung gestellt. Die Mess-Station befindet sich in der Nähe des Versuchsstandortes.

Die Summe der Globalstrahlung während des Jahres 2009 betrug 1069735,62 Wh/m² und 1045965,57 Wh/m² im Jahre 2010. Zwischen den beiden Jahren ergibt sich kein großer Unterschied. Jedoch findet man eine größere Strahlung im August 2009, mit einer Strahlung von 149756,16 Wh/m² verglichen mit der Strahlung von 119384,14 Wh/m² von August 2010.

Tabelle 4.16: Globalstrahlung 2009 und 2010 (Quelle: Campus Klein-Altendorf, Universität Bonn).

Monat	Globalstrahlung* (Wh/m ²)	
	Jahr 2009	Jahr 2010
Jan	28474,82	21545,86
Feb	32177,30	39954,68
Mrz	71056,41	78715,20
Apr	124775,56	127735,00
Mai	152832,42	122059,20
Jun	158468,10	176517,38
Jul	159734,24	165218,88
Aug	149756,16	119384,14
Sep	92369,00	94040,57
Okt	51592,79	59553,66
Nov	29119,33	22186,60
Dez	19379,49	19054,40
Summe	1069735,62	1045965,57

Temperatur

Unter allen Einstrahlungsverhältnissen, unter denen die Pflanzen wuchsen, wurde die Temperatur gemessen. Im Jahre 2009 wurde sie mittels eines Thermographen registriert und 2010 mit einem TinyTag Ultra2, TGU-4500 (Fa. Gemini Data Loggers). Die durchschnittliche Temperatur für jeden Monat ist in der Tabelle 18 angegeben. Die Maxima und Minima für die unabhängigen Variablen (FEP, PE und Freiland) lassen sich anhand des Wertes der Amplitude berechnen (\pm).

Tabelle 4.17: Monatliche Durchschnittswerte der Temperatur 2009-2010.

Monat	2009			2010		
	FEP	PE	Freiland	FEP	PE	Freiland
April				22.4 \pm 13.4	22.2 \pm 13.6	17.1 \pm 10.1
Mai	25.0 \pm 12.4	23.1 \pm 10.1	21.9 \pm 9.1	19.267 \pm 11.5	18.7 \pm 11.1	12.5 \pm 7.0
Juni	22.0 \pm 8.5	23.0 \pm 8.6	21.0 \pm 7.7	24.969 \pm 13.6	24.0 \pm 12.9	19.9 \pm 11.6
Juli	28.2 \pm 10.8	26.5 \pm 9.0	25.1 \pm 7.6	28.311 \pm 13.5	27.5 \pm 13.2	23.3 \pm 13.1
August	26.5 \pm 11.7	26.2 \pm 10.0	25.2 \pm 9.2	24.463 \pm 11.0	24.0 \pm 10.7	18.6 \pm 10.2
September	22.0 \pm 9.1	23.3 \pm 8.8	20.5 \pm 7.6	19.952 \pm 10.6	19.5 \pm 10.3	14.6 \pm 8.4
Oktober	15.3 \pm 9.1	16.1 \pm 9.8	13.1 \pm 8.3	16.986 \pm 9.0	16.8 \pm 9.0	11.7 \pm 6.4

Im Allgemeinen lässt sich feststellen, dass die höchsten Durchschnittstemperaturen wie folgt auftreten: FEP > PE > Freiland. Zum Beispiel im August 2009 lagen die Durchschnittstemperaturen bei 26,5°C > 26,2°C > 25,2°C während sie im August 2010 24,5°C > 24°C > 18,6°C betragen.

Die Amplituden der Maxima und Minima haben die gleiche Tendenz. Hervorstechend sind die erhöhten Temperaturen von FEP und PE, die keinen großen Unterschied untereinander aufweisen. Die Temperaturen im Freiland zeigen einen größeren Unterschied im Vergleich mit den Temperaturen von FEP und PE.

Der Durchschnitt der monatlichen Temperaturdaten zeigt, dass das Jahr 2009 wärmer war als das Jahr 2010: Die höchsten Durchschnittstemperaturen wurden im Juli gemessen, mit Werten von 28,31°C (FEP), 27,5°C (PE) und 23,3°C im Freiland (Tab. 4.17)

Relative Luftfeuchte

Wie die Temperatur wurde sie mit dem Thermographen im Jahre 2009 und mit einem TinyTag Ultra 2, TGU-4500 (Fa. Gemini Data Loggers) im Jahr 2010 gemessen. Die

durchschnittlichen Werte für 2010 der unabhängigen Variablen (FEP, PE und Freiland) befinden sich in der Tabelle 19. Die durchschnittlichen Maxima und Minima werden mittels der Amplitude gemessen (\pm).

Die Daten zeigen, dass in den Jahren 2009 und 2010 die niedrigste relative Luftfeuchte im Freiland war: 65% (FEP) und 57,5% im Freiland im August 2009. Im Jahr darauf wurden 70,1% (FEP) und 53,7% im Freiland gemessen.

Tabelle 4.18: Monatliche Durchschnittswerte für die relative Luftfeuchte für die verschiedenen Lichtintensitäten (2009-2010).

Monat	2009		2010		
	FEP	Freiland	FEP	PE	Freiland
April			62.6 \pm 36.2	61.3 \pm 35.7	60.1 \pm 38.1
Mai	63.4 \pm 31.9	49.1 \pm 12.9	68.9 \pm 30.8	69.6 \pm 29.5	56.2 \pm 50.0
Juni	66.2 \pm 28.7	55.4 \pm 10.2	64.0 \pm 33.4	63.8 \pm 32.5	57.7 \pm 49.1
Juli	65.1 \pm 30.6	49.5 \pm 10.0	62.2 \pm 33.0	61.7 \pm 32.3	55.6 \pm 45.6
August	65.0 \pm 30.1	47.5 \pm 11.8	70.1 \pm 29.0	69.0 \pm 28.6	53.7 \pm 48.7
September	71.1 \pm 28.0	53.0 \pm 8.9	70.4 \pm 29.4	71.3 \pm 27.2	51.9 \pm 49.3
Oktober	74.0 \pm 25.8	60.0 \pm 11.3	71.6 \pm 28.1	74.5 \pm 24.3	71.8 \pm 47.4

Im Vergleich zeigten die Werte der relativen Luftfeuchte unter den Einstrahlungsverhältnissen im FEP- und PE-Tunnel 2010 keine großen Unterschiede, wie zum Beispiel in den Monaten Juni, Juli und August (für FEP jeweils 64%, 62,2% und 70,1% und für PE jeweils 63,8%, 61,7% und 69%) (Tab. 4.18).

Bodentemperatur

Die Bodentemperatur konnte aus versuchstechnischen Gründen nur im Jahr 2010 gemessen werden, innerhalb der PE- und Freiland-Versuche mit niedriger Strahlung (Abb.4.17). Die Daten wurden mit einem TinyTag TGP 4020 (Fa. Gemini Data Loggers) ermittelt.

Die höchsten Bodentemperaturen wurden im Juli gemessen, mit Werten von 23,64°C (PE) und 25,7°C im Freiland.

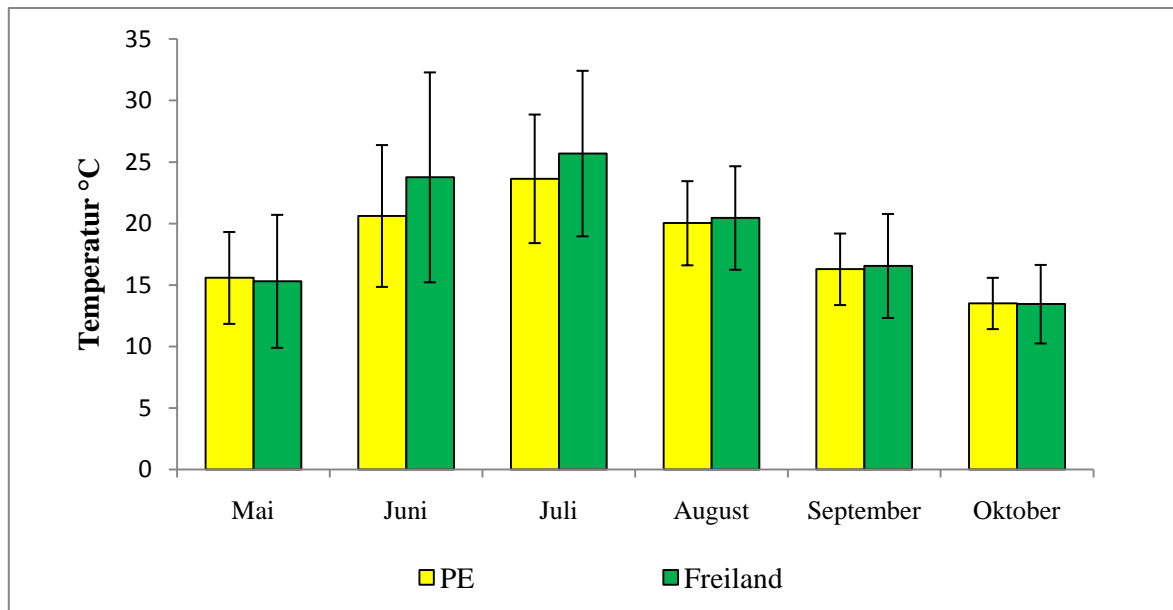


Abb. 4.17: Bodentemperatur in Pflanzencontainern im PE-Tunnel und im Freiland im Jahr 2010.

4.2.2.2 Wuchs

Wachstum

Sprosslänge

Die Varianzanalysen zeigten hoch-signifikante Unterschiede unter den Einstrahlungsverhältnissen der zweiten Untersuchung. Es zeigten sich hoch-signifikante Unterschiede zwischen den Genotypen ebenso wie für die Interaktion Strahlung*Genotyp.

Alle folgenden Messwerte gelten für den Versuchsbeginn Mitte April. Die Durchschnittswerte und der Tukey-Test ($\alpha \leq 0,05$) zeigten nur Unterschiede zwischen dem FEP- und den PE-Versuch am 37. Untersuchungstag; es zeigten sich immer signifikante Unterschiede mit dem Freilandversuch für alle gemessenen Zeitabschnitte.

Seit dem Anfang der Untersuchungen waren die kleinsten Pflanzen die des Genotyps C für alle Einstrahlungsvarianten, mit einem Durchschnittswert von 9,1 cm (FEP-Versuch), 9,8 cm (PE-Versuch) und 8,9 cm (Freilandversuch).

Genotyp Gawi zeigte nach den ersten zehn Tagen eine Höhe von 11,8 cm (FEP-Versuch), 11,1 cm (PE-Versuch) und 10,6 cm im Freilandversuch.

Genotyp D zeigte eine Höhe von 13,2 cm im FEP-Versuch, 12,9 cm im PE-Versuch und 14,2 cm im Freilandversuch. Diese Tendenz wurde bis zur Ernte beibehalten, wobei Genotyp D die höchsten Pflanzen unter den FEP- (122,5 cm) und PE-Bedingungen (115 cm) zeigte. Genotyp Gawi- folgte mit Werten von 109,8 cm (FEP-Versuch) und 105,5 cm (PE-Versuch).

Tab. 4.19. Längenwachstum (cm) und Nodienzahl von vier Genotypen von *Stevia rebaudiana* 2010.

Datum	06.05.	02.06.	02.07.	26.07.	30.08.	18.10.	Nodienzahl
Genotyp	FEP ab Mitte April						
Gawi	11,8 ab	18,8 a	38,7 a	52,8 a	74,3 a	109,8 a	42,0 a
C	9,1 b	13,6 b	26,8 b	36,3 b	46,0 b	56,0 c	40,3 a
D	13,2 a	18,9 a	40,3 a	56,7 a	75,5 a	122,5 a	38,4 a
F	11,8 ab	19,2 a	27,6 b	33,1 b	48,1 b	79,8 b	27,5 b
	PE ab Mitte April						
Gawi	11,1 ab	18,1 a	40,1 a	55,4 a	72,9 a	105,5 ab	39,5 a
C	9,8 b	14,4 b	27,0 c	34,4 b	46,0 b	57,0 c	38,5 a
D	12,9 a	18,3 a	38,1 ab	55,9 a	76,4 a	115,8 a	37,3 a
F	12,3 b	20,8 a	32,6 bc	40,3 b	56,9 b	93,3 b	28,8 b
	Freiland Direkt ab Mitte April						
Gawi	10,6 b	14,3 b	28,4 a	39,2 a	52,5 a	70,3 a	32,6 a
C	8,9 c	11,4 c	18,8 b	22,0 c	27,4 b	34,9 b	29,7 ab
D	14,2 a	17,5 a	26,2 a	30,0 b	45,4 a	61,0 a	26,1 bc
F	12,6 a	18,3 a	27,0 a	31,3 b	44,1 a	55,5 a	22,6 c

ANOVA zwischen den Genotypen zu den einzelnen Meßterminen; unterschiedliche Buchstaben geben signifikante Unterschiede an (Tukey-Test; $\alpha \leq 0,05$)

Genotyp Gawi erreichte die größte Höhe im Freiland (70,3 cm), gefolgt von Genotyp D (61 cm). Für alle Einstrahlungsvarianten zeigte Genotyp C das geringste Wachstum zum Zeitpunkt der Ernte (56,9 cm im FEP-; 57 cm im PE-; und 34,9 cm im Freilandversuch) (Tab. 4.19 und Abb. 4.18).

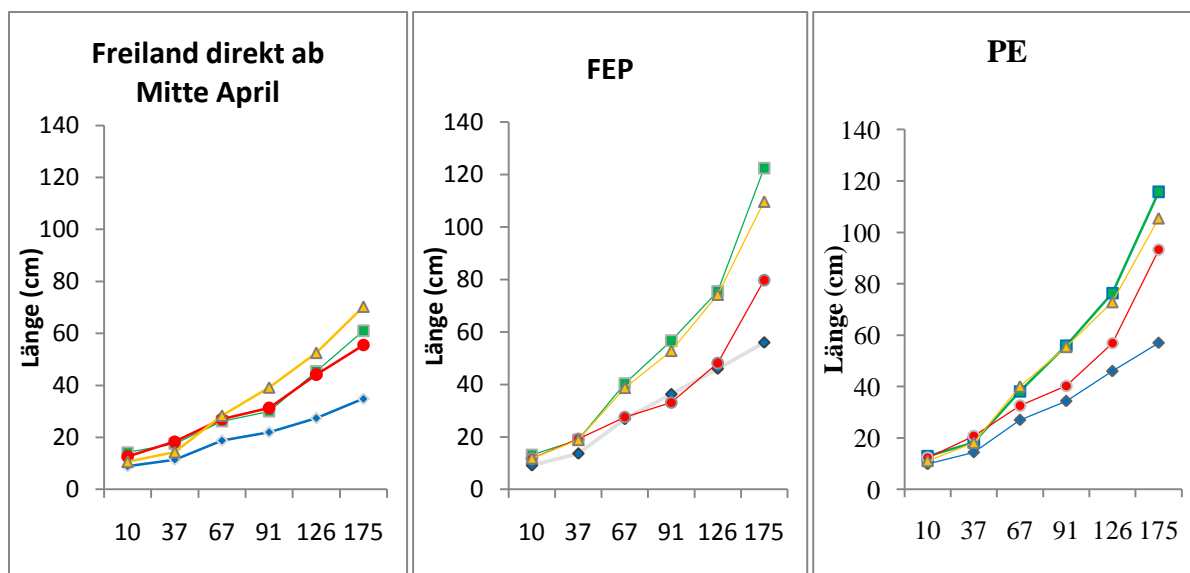


Abb. 4.18: Zuwachs von vier Genotypen von *Stevia rebaudiana* unter Freilandbedingungen sowie im PE- und FEP-Folientunnel 2010, gemessen an sechs Terminen

(Tage nach Versuchsbeginn);. —◆— C —■— D —●— F —▲— Gawi

Anzahl an Nodien

Die Varianzanalyse zeigte hoch-signifikante Unterschiede zwischen den Einstrahlungsvarianten und zwischen den Genotypen (für jede Einstrahlungsvariante); die Interaktion Strahlung*Genotyp war hoch-signifikant unterschiedlich.

Die Durchschnittswerte und der Tukey-Test ($\alpha \leq 0,05$) zeigten keinen signifikanten Unterschied zwischen der Anzahl an Nodien für die FEP- und PE-Versuche. Sie zeigten signifikante Unterschiede zu der Anzahl an Nodien im Freilandversuch.

Genotyp Gawi- hatte die höchste Anzahl an Nodien im FEP- (42), im PE- (39,5) und im Freilandversuch (32,6) und zeigte keinen Unterschied zu Genotyp C für alle drei Einstrahlungsvarianten. Er zeigte signifikante Unterschiede zum Genotyp D im Freilandversuch. Genotyp F zeigte die geringste Anzahl an Nodien (27,5 im FEP-; 28,8 im PE-; und 26,6 im Freilandversuch) (Tab. 4.19).

4.2.2.3 Blatteigenschaften

Chlorophyllgehalte

Chlorophyll-a (mg/g TM)

Die Varianzanalyse für den Chlorophyllgehalt zeigte hoch-signifikante Unterschiede zwischen den Genotypen unter den verschiedenen Einstrahlungsvarianten.

Die Durchschnittswerte und der Tukey-Test ($\alpha \leq 0,05$) zeigten keinen Unterschied für die Einstrahlungsvarianten (alle Mitte April gemessen, s.o.).

Die Durchschnittswerte für alle Genotypen, für alle Einstrahlungsvarianten und der Tukey-Test ($\alpha \leq 0,05$) zeigten, dass der höchste Gehalt an Chlorophyll-a für alle Einstrahlungsvarianten bei Genotyp D vorhanden waren (3,89 mg/g TM im FEP-; 3,79 mg/g TM im PE-; 4,18 mg/g TM im Freilandversuch). Der geringste Gehalt an Chlorophyll-a für alle Einstrahlungsvarianten wurde für Genotyp C gemessen (1,84 mg/g TM im FEP-; 1,76 mg/g TM im PE-; 2,17 mg/g TM im Freilandversuch). Genotyp Gawi zeigte Werte von 2,36 mg/g TM (FEP-Versuch), 2,16 mg/g TM (PE-Versuch), 2,62 mg/g TM (Freilandversuch) (Tab. 4.20).

Chlorophyll-b (mg/g TM)

Die Varianzanalyse zeigte hoch-signifikante Unterschiede zwischen den Genotypen für alle Einstrahlungsvarianten.

Die Durchschnittswerte und der Tukey-Test ($\alpha \leq 0,05$) zeigten keinen signifikanten Unterschied zwischen dem FEP-, PE- und Freilandversuch (Mitte April).

Die Durchschnittswerte für alle Genotypen für jede Einstrahlungsvariante und der Tukey-Test ($\alpha \leq 0,05$) zeigten, dass Genotyp D im Freilandversuch den höchsten Chlorophyll-b Gehalt aufwies (1,04 mg/g TM). Genotyp Gawi zeigte den höchsten Gehalt im FEP-Versuch (0,65 mg/g TM). Den geringsten Gehalt an Chlorophyll-b zeigte Genotyp C (0,53 mg/g TM) (Tab. 4.20).

Tab. 4.20: Chlorophyllgehalte (mg/g TM) und Gesamtchlorophyll ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$ Blattfläche) von vier Genotypen von *Stevia rebaudiana*, gemessen am 27.09.2010.

Genotyp	a mg/g TM	b mg/g TM	a/b	mg/g TM	$\mu\text{g}/\text{cm}^2$
FEP ab Mitte April					
Gawi	2,36 b	0,65 b	3,60 ba	3,02 b	32,52 a
C	1,84 b	0,55 b	3,36 c	2,39 b	19,02 c
D	3,89 a	1,03 a	3,78 a	4,92 a	34,50 a
F	3,67 a	1,07 a	3,42 bc	4,74 a	25,11 b
PE ab Mitte April					
Gawi	2,16 b	0,60 b	3,61 ab	2,77 b	29,94 ab
C	1,76 b	0,53 b	3,27 b	2,29 b	19,36 c
D	3,79 a	0,99 a	3,83 a	4,78 a	32,70 a
F	3,43 a	1,01 a	3,40 b	4,44 a	25,07 bc
Freiland direkt ab Mitte April					
Gawi	2,62 cb	0,66 bc	3,97 ab	3,28 bc	29,21 ab
C	2,17 c	0,59 c	3,66 b	2,76 c	21,44 c
D	4,18 a	1,04 a	4,04 a	5,22 a	32,96 a
F	3,13 b	0,88 ab	3,61 b	4,01 b	23,78 bc

ANOVA zwischen den Genotypen; unterschiedliche Buchstaben geben signifikante Unterschiede an (Tukey-Test; $\alpha \leq 0,05$)

Verhältnis Chlorophyll a/b

Die Varianzanalyse für das Verhältnis Chlorophyll-a/b zeigte Unterschiede zwischen den Einstrahlungsvarianten und hoch-signifikante Unterschiede zwischen den Genotypen für die verschiedenen Einstrahlungsvarianten.

Die Durchschnittswerte von diesem Verhältnis zeigten anhand des Tukey-Tests ($\alpha \leq 0,05$), dass es keine Unterschiede zwischen dem FEP- und PE- Versuch mit Beginn ab Mitte April gibt; der zu diesem Zeitpunkt begonnene Freilandversuch wies signifikante Unterschiede zu den beiden anderen Versuchen auf.

Die Durchschnittswerte des Verhältnisses für alle Genotypen, für alle Einstrahlungsvarianten und der Tukey-Test ($\alpha \leq 0,05$) zeigten, dass der höchste Wert bei Genotyp D vorhanden war (4,04 im Freilandversuch); der kleinste Wert wurde für Genotyp C gemessen (3,27 im PE-Versuch). Der höchste Wert für Genotyp Gawi war 3,97 im Freiland, und sein kleinster Wert 3,6 im FEP-Versuch (Tab. 4.20).

Gesamtchlorophyll (mg/g TM)

Die Varianzanalyse für den Gesamtgehalt an Chlorophyll, angegeben in mg/g TM, zeigten hoch-signifikante Differenzen für alle Einstrahlungsvarianten.

Die Durchschnittswerte für den Gehalt an Chlorophyll für die Einstrahlungsvarianten und der Tukey-Test ($\alpha \leq 0,05$) zeigten keine signifikanten Unterschiede zwischen den drei Versuchsbedingungen.

Die Durchschnittswerte für jeden Genotyp für alle Versuchsbedingungen und der Tukey-Test ($\alpha \leq 0,05$) zeigten, dass der höchste Gehalt bei Genotyp D zu finden war (4,78 mg/g TM, PE-Versuch); der kleinste Gehalt war bei Genotyp C zu finden (2,29 mg/g TM im PE-Versuch). Den höchsten Gehalt zeigte Genotyp Gawi mit 3,28 mg/g TM im Freilandversuch; sein kleinster Wert war 2,77 mg/g TM im PE-Versuch (Tab. 4.20).

Gesamtchlorophyll ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$ Blattfläche)

Die Varianzanalyse für den Gesamtgehalt an Chlorophyll, ausgedrückt in $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ Blattfläche, zeigte hoch-signifikante Unterschiede zwischen den Genotypen für die drei Versuchsbedingungen.

Die Durchschnittswerte für den Gehalt an Chlorophyll und der Tukey-Test ($\alpha \leq 0,05$) zeigten keinen Unterschied zwischen den drei Versuchsbedingungen.

Die Durchschnittswerte für den Gesamtgehalt an Chlorophyll für alle Genotypen unter allen Versuchsbedingungen und der Tukey-Test ($\alpha \leq 0,05$) zeigten, dass Genotyp D den höchsten Gehalt hatte ($34,50 \mu\text{g}/\text{cm}^2$) und er zeigte keinen Unterschied zu Genotyp Gawi ($32,52 \mu\text{g}/\text{cm}^2$) im Freilandversuch. Der kleinste Gehalt wurde für Genotyp C im Freilandversuch gemessen ($19,02 \mu\text{g}/\text{cm}^2$). Der kleinste Wert von Genotyp Gawi war $29,21 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ im Freilandversuch und er zeigte keinen Unterschied zu Genotyp F ($23,78 \mu\text{g}/\text{cm}^2$) und zu Genotyp D ($32,96 \mu\text{g}/\text{cm}^2$) (Tab. 4.20).

Spezifisches Blattgewicht (SLW mg/cm^2)

Die Varianzanalyse zeigte hoch-signifikante Unterschiede zwischen den Genotypen für alle drei Versuchsbedingungen.

Die Durchschnittswerte für den SLW-Wert und der Tukey-Test ($\alpha \leq 0,05$) zeigten keinen signifikanten Effekt für die verschiedenen Einstrahlungsvarianten.

Die Durchschnittswerte von jedem Genotyp, für alle Versuchsbedingungen und der Tukey-Test ($\alpha \leq 0,05$) zeigten, dass Genotyp Gawi den höchsten SLW-Wert für alle drei Versuchsbedingungen aufwies ($10,96 \text{ mg}/\text{cm}^2$ im FEP-; $10,85 \text{ mg}/\text{cm}^2$ im PE-; und $8,98$

mg/cm² im Freilandversuch). Genotyp F zeigte die geringsten Werte (5,32 mg/cm² im FEP-; 5,72 mg/cm² im PE-; und 5,94 mg/cm² im Freilandversuch). Die Reihenfolge der Genotypen für die SLW-Werte war Gawi > C > D > F (Abb. 4.19).

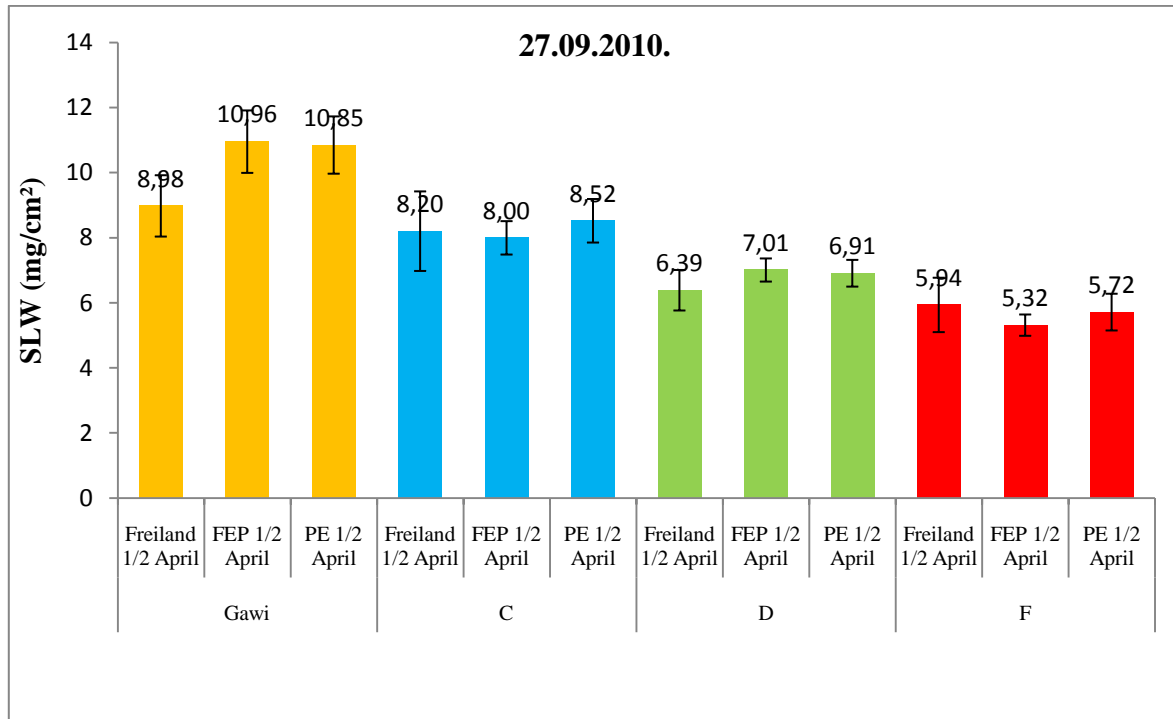


Abbildung 4.19: SLW für die Genotypen Gawi, C, D und F im September 2010 unter den verschiedenen Versuchsbedingungen (Freiland, FEP, und PE) ab Mitte April.

4.2.2.4 Ertrag (mit einer Ernte/Jahr)

Gesamtertrag mit einer Ernte

Die Varianzanalyse für den Ertrag zeigte hoch-signifikante Ergebnisse für die Einstrahlungsvariante, zwischen den Genotypen für alle Versuchsbedingungen. Die Interaktion Strahlung*Genotyp war hoch-signifikant unterschiedlich.

Die Durchschnittswerte für den Ertrag und der Tukey-Test ($\alpha \leq 0,05$) zeigten, dass der Ertrag der FEP- und PE-Versuche keinen Unterschied untereinander zeigten. Sie zeigten einen Unterschied zu dem Ertrag des Freilandversuches.

Die Durchschnittswerte für jeden Genotypen und der Tukey-Test ($\alpha \leq 0,05$) zeigten, dass der beste Ertrag mit Genotyp Gawi unter allen Versuchsbedingungen erreicht wurde (183 g TM/Pflanze im FEP-; 161,56 g TM/Pflanze im PE-; und 73,84 g TM/Pflanze im Freilandversuch). Den geringsten Ertrag erreichte Genotyp C mit 31,21 g TM/Pflanze. Er zeigte keinen Unterschied zu Genotyp D (41,95 g TM/Pflanze), und zu Genotyp F (60,56 g TM/Pflanze) im Freilandversuch (Tab. 4.21).

Trockengewicht der Stängel (eine Ernte)

Die Varianzanalyse für das Trockengewicht zeigte hoch-signifikante Unterschiede zwischen den Einstrahlungsvarianten. Die Interaktion Strahlung*Genotyp war hoch-signifikant unterschiedlich und zwischen den Genotypen hatte man signifikante Unterschiede im Freilandversuch. Hoch-signifikante Unterschiede waren auch zwischen den Genotypen in den FEP- und PE-Versuchen zu sehen.

Die Durchschnittswerte und der Tukey-Test ($\alpha \leq 0,05$) zeigten, dass der Ertrag des FEP- und der des PE-Versuchs untereinander nicht-signifikant unterschiedlich waren. Sie zeigten sich unterschiedlich zu dem Ertrag des Freilandversuches.

Die Durchschnittswerte aller Genotypen für alle Versuchsbedingungen und der Tukey-Test ($\alpha \leq 0,05$) zeigten, dass Genotyp Gawi den größten Stängelertrag für alle Versuchsbedingungen zeigte (87,81 g TM/Pflanze im FEP-; 75,89 g TM/Pflanze im PE-; 29,87 g TM/Pflanze im Freilandversuch). Das geringste Gewicht wurde für Genotyp C unter allen Bedingungen gemessen (25,3 g TM/Pflanze im FEP-; 22,58 g TM/Pflanze im PE-; 79,97 g TM/Pflanze im Freilandversuch) (Tab. 4.21).

Tab. 4.21: Ernteertrag mit einem Schnitt im Jahr 2010.

Genotype	Stängel		Blätter		Ertrag		n
FEP ab Mitte April							
Gawi	87,81	a	95,67	a	183,48	a	8
C	25,30	b	68,91	ab	94,21	bc	7
D	73,07	a	51,30	bc	124,37	ab	8
F	29,16	b	31,31	c	60,47	c	8
PE ab Mitte April							
Gawi	75,89	ab	85,67	a	161,56	a	8
C	22,58	c	63,35	ab	85,92	b	8
D	55,22	ab	40,92	b	96,14	b	8
F	35,23	bc	34,26	b	69,49	b	8
Freiland direkt ab Mitte April							
Gawi	29,87	a	43,97	a	73,84	a	8
C	7,97	b	23,23	a	31,21	b	7
D	20,54	ab	21,41	a	41,95	ab	7
F	27,81	a	32,75	a	60,56	ab	8

ANOVA zwischen den Genotypen; unterschiedliche Buchstaben geben signifikante Unterschiede an (Tukey-Test; $\alpha \leq 0,05$)

Blattproduktion (eine Ernte/Jahr)

Die Varianzanalyse für das Trockengewicht der Blätter zeigte hoch-signifikante Unterschiede zwischen den Einstrahlungsvarianten; die Interaktion Strahlung*Genotyp war hoch-signifikant. Signifikante Unterschiede gab es zwischen den Genotypen im Freiland und hoch-

signifikante Unterschiede gab es zwischen den Genotypen im FEP-Versuch und PE-Versuch zu sehen.

Die allgemeinen Durchschnittswerte für das Trockengewicht an Blättern und der Tukey-Test ($\alpha \leq 0,05$) zeigten, dass der Ertrag des FEP- und PE-Versuches keine signifikanten Unterschiede untereinander aufwies. Sie zeigten beide einen signifikanten Unterschied zu dem Ertrag des Freilandversuches.

Die Durchschnittswerte des Trockengewichts aller Genotypen für alle Einstrahlungsvarianten der Tukey-Test ($\alpha \leq 0,05$) zeigten, dass Genotyp Gawi derjenige mit der höchsten Blattproduktion für alle Einstrahlungsvarianten war (95,67 g TM/Pflanze, FEP-Versuch). Er zeigte keinen Unterschied zu Genotyp C (68,91 g TM/Pflanze). Im PE-Versuch erreichte Genotyp Gawi einen Wert von 85,67 g TM/Pflanze, wiederum ohne einen Unterschied zu Genotyp C aufzuweisen (63,35 g TM/Pflanze). Im Freiland zeigte die Blattproduktion von Genotyp Gawi 43,97 g TM/Pflanze, ohne signifikanten Unterschied zu den Genotypen C, D und F (Tab.4.21).

4.2.2.5 Süßstoffgehalt (mit einer Ernte/Jahr)

Gesamtsüßstoff

Die Varianzanalyse des Gesamtsüßstoffes zeigte hoch-signifikante Unterschiede für die Einstrahlungsvarianten und für die Genotypen im FEP-, PE- und Freilandversuch.

Die Durchschnittswerte und der Tukey-Test ($\alpha \leq 0,05$) zeigten keinen Unterschied zwischen dem FEP- und PE-Versuch; sie wiesen jedoch einen Unterschied zum Freilandversuch auf.

Die Durchschnittswerte für jeden Genotyp unter den Versuchsbedingungen und der Tukey-Test ($\alpha \leq 0,05$) zeigten, dass Genotyp Gawi den höchsten Gehalt aufwies (12,12%) im FEP-Versuch, ohne einen Unterschied zu Genotyp D aufzuweisen (10,52%). Genotyp Gawi hatte einen Gehalt an Gesamtsüßstoff von 11,33% im PE-Versuch und von 10,76% im Freilandversuch. Er zeigte signifikante Unterschiede zu den Genotypen C, D und F (Tab.4.22).

Steviosid

Die Varianzanalyse des Gehalts an Steviosid zeigte hoch-signifikante Unterschiede in der Interaktion Strahlung*Genotyp ebenso wie für die Genotypen unter allen drei Versuchsbedingungen.

Die Durchschnittswerte für den Steviosid-Gehalt und der Tukey-Test ($\alpha \leq 0,05$) geben an, dass die Gehalte sich zwischen dem FEP- und dem PE-Versuch nicht unterscheiden ließen, während beide sich vom Freilandversuch unterschieden.

Die Durchschnittswerte von jedem Genotyp für alle Versuchsbedingungen und der Tukey-Test ($\alpha \leq 0,05$) zeigten, dass der höchste Gehalt bei Genotyp Gawi vorhanden war (8,29% im FEP-; 7,8% im PE-; und 6,42% im Freilandversuch), was zu einem signifikanten Unterschied zu den Genotypen C, D und F führte. Genotyp C zeigte den geringsten Gehalt im PE-Versuch (1,81%) (Tab.4.22).

Tab. 4.22: Süßstoffgehalt; Ein Schnitt 2010.

Genotype	Steviosid	Rebaudiosid-A	Süßstoff	n
FEP ab Mitte April				
Gawi	8,29 a	3,83 b	12,12 a	8
C	1,91 d	6,56 a	8,47 c	7
D	5,31 b	5,21 ab	10,52 ab	8
F	3,61 c	5,23 ab	8,83 c	8
PE ab Mitte April				
Gawi	7,80 a	3,53 b	11,33 a	8
C	1,85 d	6,20 a	8,05 b	8
D	4,91 b	4,37 b	9,28 b	8
F	3,39 c	5,81 a	9,20 b	8
Freiland direkt ab Mitte April				
Gawi	6,42 a	4,34 a	10,76 a	8
C	2,07 c	4,55 a	6,63 b	7
D	3,17 b	4,65 a	7,82 b	7
F	2,93 bc	4,25 a	7,18 b	8

ANOVA zwischen den Genotypen zu den einzelnen Meßterminen; unterschiedliche Buchstaben geben signifikante Unterschiede an (Tukey-Test; $\alpha \leq 0,05$).

Rebaudiosid-A

Die Varianzanalyse zeigte hoch-signifikante Unterschiede für den Gehalt an Rebaudiosid-A für den FEP- und PE-Versuch. Im Freilandversuch gab es keinen Unterschied zwischen den Genotypen.

Die Durchschnittswerte und der Tukey-Test ($\alpha \leq 0,05$) zeigten keinen signifikanten Effekt der Einstrahlungsvarianten auf den Gehalt an Rebaudiosid-A in den Genotypen.

Die Durchschnittswerte des Gehalts an Rebaudiosid-A von jedem Genotyp, für alle Einstrahlungsvarianten und der Tukey-Test ($\alpha \leq 0,05$) zeigten, dass Genotyp C den höchsten Gehalt im FEP-Versuch aufwies (6,56%); er zeigte keinen Unterschied zu den Genotypen D und F. Im PE-Versuch, mit 6,62% unterschied er sich auch nicht signifikant von den

Genotypen D und F. Im Freilandversuch gab es keinen Unterschied zwischen den Gehalten an Rebaudiosid-A der untersuchten Genotypen und Genotyp Gawi (Tab. 4.22).

4.2.2.6 Ertrag (mit zwei Ernten/Jahr)

Die Varianzanalyse für den Ertrag zeigte, dass die Interaktion Strahlung*Genotyp hoch-signifikant war; die Genotypen zeigten auch hoch-signifikante Unterschiede für den Ertrag, für alle Einstrahlungsvarianten.

Die Durchschnittswerte des Ertrags und der Tukey-Test ($\alpha \leq 0,05$) zeigten keine Unterschiede zwischen den Werten der FEP- und PE-Versuche; sie erwiesen jedoch einen Unterschied zu dem Wert des Freilandversuches.

Die Durchschnittswerte des Ertrags für die Einstrahlungsvarianten und der Tukey-Test ($\alpha \leq 0,05$) zeigten, dass Genotyp Gawi den höchsten Ertrag für alle Einstrahlungsvarianten hatte (133,56 g TM/Pflanze im FEP-; 114,59 g TM/Pflanze im PE-; 40,73 g TM/Pflanze im Freilandversuch).

Den geringsten Ertrag erzielte Genotyp F (50,24 g TM/Pflanze im FEP- und 48,92 g TM/Pflanze); er zeigte keinen Unterschied zu den Genotypen C und D für diese Einstrahlungsvarianten. Der Genotyp mit dem geringsten Ertrag im Freiland war Genotyp C (11,89 g TM/Pflanze) und zeigte keinen Unterschied zu Genotyp D (Tab. 4.23).

Stängel

Die Varianzanalyse zeigten, dass die Interaktion Strahlung*Genotyp hoch-signifikant war; die Genotypen zeigten hoch-signifikante Unterschiede für das Trockengewicht der Stängel für alle Versuchsbedingungen.

Die Durchschnittswerte des Trockengewichtes und der Tukey-Test ($\alpha \leq 0,05$) zeigten, dass es zwischen dem FEP- und dem PE-Versuch (ab Mitte April) keine Unterschiede gab, sie jedoch einen Unterschied zum Freilandversuch aufwiesen.

Die Durchschnittswerte und der Tukey-Test ($\alpha \leq 0,05$) zeigten, dass Genotyp Gawi das höchste Gewicht im FEP- (56,36 g TM/Pflanze) und im PE-Versuch (44,65 g TM/Pflanze) hatte.

Im Freiland erreicht Genotyp F das höchste Gewicht (16,79 g TM/Pflanze), zeigte aber keinen Unterschied zu Genotyp Gawi (15,94 g TM/Pflanze).

Das geringste Gewicht wurde bei Genotyp C gewogen für alle Einstrahlungsvarianten. Im Freilandversuch wurden 3,26 g TM/Pflanze gewogen, und er zeigte keinen Unterschied zu Genotyp D. Im PE-Versuch wurden 12,60 g TM/Pflanze gewogen, ohne Unterschied zu

Genotyp F. Im FEP-Versuch wurden 12,85 g TM/Pflanze gewogen, ohne Unterschied zu Genotyp F (Tab. 4.23).

Blattproduktion

Die Varianzanalyse des Trockengewichts der Blättern zeigte, dass die Interaktion Strahlung*Genotyp hoch-signifikant war; die Genotypen zeigten ebenfalls hoch-signifikante Unterschiede für alle Versuchsbedingungen.

Tab. 4.23: Gesamtertrag (zwei Schnitte, 2010).

Genotype	Stängel		Blätter		Ertrag	n
FEP ab Mitte April						
Gawi	55,36	a	78,20	a	133,56 a	8
C	12,85	b	38,36	b	51,21 b	7
D	30,28	b	28,43	b	58,71 b	8
F	23,90	b	26,34	b	50,24 b	8
PE ab Mitte April						
Gawi	44,55	a	70,04	a	114,59 a	8
C	12,60	c	38,08	b	50,68 b	6
D	36,37	ab	34,27	b	70,64 b	8
F	21,86	bc	27,06	b	48,92 b	8
Freiland direkt ab Mitte April						
Gawi	15,94	a	24,79	a	40,73 a	8
C	3,26	b	8,63	b	11,89 c	7
D	8,56	ab	11,07	b	19,63 bc	7
F	16,79	a	19,73	ab	36,52 ab	8

ANOVA zwischen den Genotypen; unterschiedliche Buchstaben geben signifikante Unterschiede

Die Durchschnittswerte des Trockengewichts für die verschiedenen Versuche und der Tukey-Test ($\alpha \leq 0,05$) zeigten, dass es keine Unterschiede zwischen dem FEP- und dem PE-Versuch beim Versuchsbeginn ab Mitte April gab. Jedoch wiesen sie einen Unterschied zu dem Freilandversuch auf.

Die Durchschnittswerte für das Trockengewicht der Blätter für jeden Genotyp für jede Versuchsbedingung und der Tukey-Test ($\alpha \leq 0,05$) zeigten, dass Genotyp Gawi die beste Produktion hatte. Im FEP-Versuch betrug sie 78,20 g TM/Pflanze, im PE-Versuch 70,04 g TM/Pflanze und im Freilandversuch 24,79 g TM/Pflanze, ohne einen Unterschied zum Genotyp F aufzuweisen (19,73 g TM/Pflanze).

Das geringste Gewicht wurde für Genotyp C im Freilandversuch gemessen (8,63 g TM/Pflanze) ohne Unterschied zu den Genotypen D und F (Tab. 4.23).

4.2.2.6 Zusammenfassung

Die Ergebnisse werden in Prozent angezeigt; die Werte des Genotyps Gawi dienten hierfür als Referenzwerte. Die höchsten Werte für die verschiedenen Einstrahlungsvarianten sind in Tabelle 4.24 (2010) zusammengefasst (und s. Abb. 4.20, Abb. 4.21, Abb. 4.22).

Tab. 4.24: Höchste Werte für jede Variable im Jahr 2010.

Variable	Genotyp	Wert	%	Lichtintensität
Spross (cm)	D	122,5	111,62	FEP ab Mitte April
Nodienanzahl	Gawi	42	100	FEP ab Mitte April
Chlorophyll-a mg/g TM	D	4,18	159,65	Freiland direkt ab Mitte April
Chlorophyll-b mg/g TM	F	1,07	165,13	FEP ab Mitte April
Verhältnis Chlorophyll-a/b	D	4,04	101,68	Freiland direkt ab Mitte April
Gesamtchlorophyll (mg/g TM)	D	5,22	159,09	Freiland direkt ab Mitte April
Gesamtchlorophyll ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	D	34,5	106,08	FEP ab Mitte April
Gesamtertrag g/Pflanze TM	Gawi	183,48	100	FEP ab Mitte April
Stängel g/Pflanze TM	Gawi	95,67	100	FEP ab Mitte April
Blätter g/Pflanze TM	Gawi	87,81	100	FEP ab Mitte April
Gesamtsüßstoff %	Gawi	12,12%	100	FEP ab Mitte April
Steviosid %	Gawi	8,29	100	FEP ab Mitte April
Rebaudiosid-A %	C	6,56	171,3	FEP ab Mitte April
SPAD-Werte	D	47,18	100,82	FEP ab Mitte April
SLW mg/cm^2	Gawi	10,96	100	FEP ab Mitte April

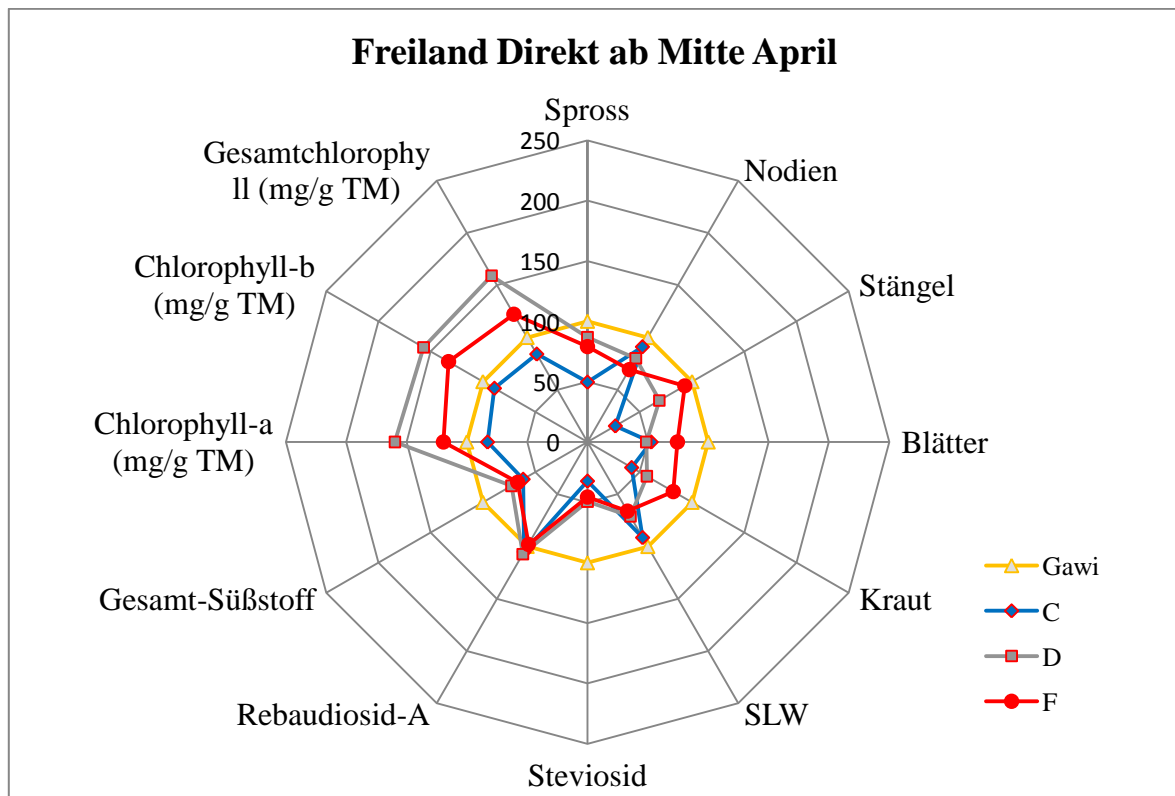


Abb. 4.20: Profile der drei *stevia rebaudiana* Genotypen im Vergleich zu Gawi (100%) für 12 Variablen im Freiland ab Mitte April 2010

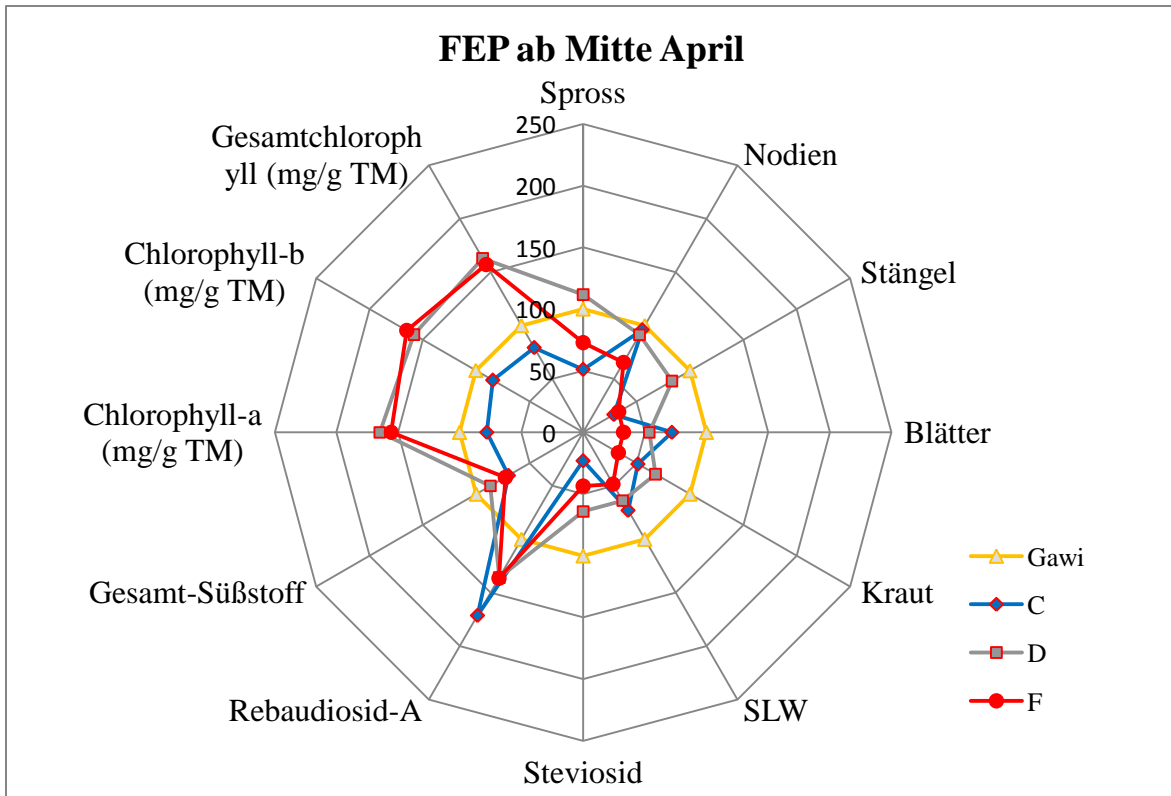


Abb. 4.21: Profile der drei *stevia rebaudiana* Genotypen im Vergleich zu Gawi (100%) für 12 Variablen im FEP ab Mitte Mai 2010.

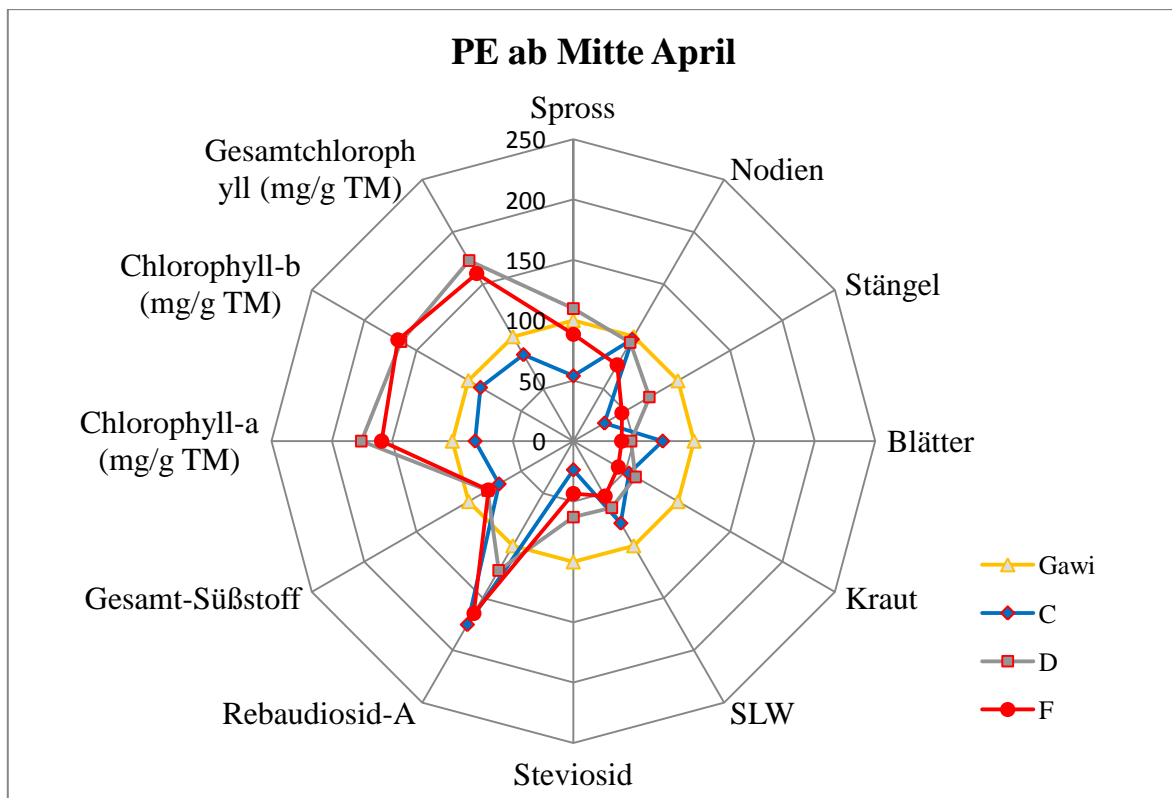


Abb. 4.22: Profile der drei *stevia rebaudiana* Genotypen im Vergleich zu Gawi (100%) für 12 Variablen im PE ab Mitte April 2010

4.3 Einfluss der Folienbedachung auf die Anfangsentwicklung

4.3.1 Sprosslänge

Die Varianzanalysen der Zeitabschnitte des Jahres 2010, d.h. am 06.05. (10 Tage), 02.06. (37 Tage), 02.07. (67 Tage), 26.07. (91 Tage), 30.08. (126 Tage) und 18.10. (175 Tage) zeigten hoch-signifikante Unterschiede zwischen den Genotypen in allen Zeitabschnitten. Von der Evaluierung des 37. Tages und in den nachfolgenden Untersuchungsperioden zeigten sich hoch-signifikante Unterschiede für die Einstrahlungsvarianten und für die Interaktion Strahlung*Genotyp. In der Interaktion Strahlung*Genotyp gab es signifikante Unterschiede zwischen den Blöcken am 91. Tag. Die Interaktionen Block*Genotyp und Block*Strahlung*Genotyp waren nicht signifikant unterschiedlich in den untersuchten Zeitabschnitten.

Der F-Test zeigte, dass es am 10. Tag keine Unterschiede in der Höhe der Pflanzen gab. Nach der zweiten Auswertung am 37. Tag und bis zur Ernte zeigten sich hoch-signifikante Unterschiede zwischen dem Wachstum der Pflanzen (zwischen Mitte April und Mitte Mai).

Die Varianzanalyse der Höhe der Pflanzen für alle untersuchten Zeitabschnitte zeigten nur signifikante Unterschiede zwischen den Blöcken am 67. Untersuchungstag (PE-Versuch) ebenso wie hoch-signifikante Unterschiede im Freiland aus dem FEP-Versuch (ab Mitte Mai) am 37. Versuchstag, und im PE-Versuch am 91. Untersuchungstag.

Die Genotypen zeigten hoch-signifikante Unterschiede für alle Einstrahlungsvarianten für alle Untersuchungsperioden; die Interaktion Block*Genotyp war in allen untersuchten Zeiträumen nicht signifikant unterschiedlich.

Der Durchschnittswert der Höhe für jeden Genotyp für alle Einstrahlungsvarianten und der Tukey-Test ($\alpha \leq 0,05$) zeigten, dass ab der ersten Untersuchung (nach 10 Tagen) die Pflanzen Differenzen in ihren Wachstumshöhen zeigten. Die kleinsten Werte gehörten zum Genotyp C (Freilandversuch, ab Mitte Mai gemessen) mit einer Höhe von 8,4 cm; er erreichte eine Höhe von 8,7 cm im Freiland aus dem PE-Versuch (ab Mitte Mai). Die höchste Wachstumshöhe erreichte der Genotyp D (14,2 cm, Freilandversuch, ab Mitte April). Die Wachstumshöhe des Genotyps 'Gawi'- erreichte am Anfang 11,8 cm (FEP-Versuch, **Mitte April**) und 10,6 cm im Freilandversuch (**ab Mitte April**).

In der ersten Untersuchung des Freilandversuches (ab Mitte Mai) zeigten Genotyp 'Gawi' (14,2 cm) und Genotyp F (17,7 cm) die höchste Wachstumshöhe. Am Ende der Untersuchungen waren die Genotypen 'Gawi' und D diejenigen mit der höchsten Wachstumshöhe. Im FEP- und PE-Versuch erreichte der Genotyp D Höhen von 122,5 cm und

115,8 cm; der Genotyp 'Gawi' erreichte unter diesen Versuchsbedingungen Wachstumshöhen von 109,8 cm und 105 cm.

Für die anderen Einstrahlungsvarianten (Freilandversuch ab Mitte April; Freiland aus FEP-Versuch, ab Mitte Mai; Freiland aus PE-Versuch, ab Mitte Mai; Freilandversuch ab Mitte Mai) zeigte Genotyp 'Gawi' immer die höchsten Werte (70,3 cm; 68,0 cm; 74,0 cm und 78,8 cm) (Tab. 4.25).

Anzahl an Nodien

Die Varianzanalyse der Anzahl an Nodien zeigte, dass zum Zeitpunkt der Ernte (175. Tag), eine hoch-signifikante Differenz zwischen den Einstrahlungsvarianten, Genotypen und der Interaktion Strahlung*Genotyp vorhanden war.

Der F-Test zeigte Unterschiede zwischen der Anzahl an Nodien von Mitte April und der von Mitte Mai.

Die Durchschnittswerte und der Tukey-Test ($\alpha \leq 0,05$) für alle Einstrahlungsvarianten zeigten, dass die höchste Anzahl an Nodien unter der PE-Bedingung **ab Mitte April** und der FEP- Bedingung **ab Mitte April** vorhanden war; sie zeigten keinen Unterschied untereinander. Die kleinsten Werte wurden im Freiland aus dem FEP-Versuch (ab Mitte Mai) und im Freiland aus dem PE-Versuch (ab Mitte Mai) erreicht.

Der Durchschnittswert für jeden Genotypen für jede Einstrahlungsvariante und der Tukey-Test ($\alpha \leq 0,05$) zeigten, dass die höchste Anzahl an Nodien bei Genotyp 'Gawi' zu finden war (42) ohne einen Unterschied zu den Genotypen C (40,3) und D (38,4) zu zeigen (FEP-Versuch, ab Mitte April). Im Freiland aus dem FEP-Versuch (ab Mitte Mai) war die Anzahl an Nodien des Genotyps 'Gawi' 36,2 und somit signifikant unterschiedlich zu den Genotypen C, D, und F.

In dem PE-Versuch (ab Mitte April) hatte der 'Gawi'-Genotyp die höchste Anzahl an Nodien (39,5); er zeigte keinen Unterschied zu den Genotypen C und D. Im Freiland aus dem PE-Versuch ab Mitte Mai zeigte der Genotyp 'Gawi' 35 Nodien, unterschiedlich zu der Anzahl an Nodien der Genotypen C, D und F.

Im Freilandversuch ab Mitte April zeigte Genotyp 'Gawi' den höchsten Wert (32,6) ohne einen signifikanten Unterschied zu Genotyp C aufzuweisen (29,7). Im Freilandversuch (ab Mitte Mai) war die Anzahl an Nodien für den Genotyp 'Gawi' 33,5 ohne Unterschied zu den Werten der Genotypen C, D und F (Tab. 4.25).

Tab. 4.25: Längenwachstum (cm) und Nodienzahl von *Stevia rebaudiana* 2010

Datum	06.05.	02.06.	02.07.	26.07.	30.08.	18.10.	Nodienzahl
Genotyp	FEP ab Mitte April						
Gawi	11,8 ab	18,8 a	38,7 a	52,8 a	74,3 a	109,8 a	42,0 a
C	9,1 b	13,6 b	26,8 b	36,3 b	46,0 b	56,0 c	40,3 a
D	13,2 a	18,9 a	40,3 a	56,7 a	75,5 a	122,5 a	38,4 a
F	11,8 ab	19,2 a	27,6 b	33,1 b	48,1 b	79,8 b	27,5 b
	PE ab Mitte April						
Gawi	11,1 ab	18,1 a	40,1 a	55,4 a	72,9 a	105,5 ab	39,5 a
C	9,8 b	14,4 b	27,0 c	34,4 b	46,0 b	57,0 c	38,5 a
D	12,9 a	18,3 a	38,1 ab	55,9 a	76,4 a	115,8 a	37,3 a
F	12,3 b	20,8 a	32,6 bc	40,3 b	56,9 b	93,3 b	28,8 b
	Freiland direkt ab Mitte April						
Gawi	10,6 b	14,3 b	28,4 a	39,2 a	52,5 a	70,3 a	32,6 a
C	8,9 c	11,4 c	18,8 b	22,0 c	27,4 b	34,9 b	29,7 ab
D	14,2 a	17,5 a	26,2 a	30,0 b	45,4 a	61,0 a	26,1 bc
F	12,6 a	18,3 a	27,0 a	31,3 b	44,1 a	55,5 a	22,6 c
	Freiland ab Mitte Mai aus FEP						
Gawi	11,0 ab	17,3 a	34,5 a	40,9 a	50,1 a	68,0 a	32,6 a
C	9,8 b	13,7 b	24,6 b	28,6 b	30,7 b	31,2 b	22,3 b
D	12,6 a	17,1 a	24,3 b	31,4 b	40,4 ab	54,0 ab	23,0 b
F	12,8 a	18,5 a	25,1 b	28,4 b	36,7 ab	45,3 ab	19,3 b
	Freiland ab Mitte Mai aus PE						
Gawi	11,0 ab	16,8 ab	33,2 a	40,9 a	52,6 a	74,0 a	35,0 a
C	8,7 b	12,0 c	20,6 c	24,6 b	27,2 c	31,0 c	25,5 b
D	12,2 a	16,1 b	22,7 bc	29,1 b	37,7 b	49,0 b	20,3 bc
F	13,1 a	19,3 a	25,5 b	27,6 b	32,0 bc	42,0 bc	18,6 c
	Freiland direkt ab Mitte Mai						
Gawi		14,2 b	27,5 b	43,6 a	57,6 a	78,8 a	33,5 a
C		8,4 c	17,5 a	25,6 c	33,3 b	40,1 b	33,4 a
D		8,1 c	20,8 a	35,4 b	51,8 a	71,3 a	26,5 a
F		17,7 a	32,0 a	39,6 b	56,1 a	70,3 a	26,9 a

ANOVA zwischen den Genotypen zu den einzelnen Meßterminen; unterschiedliche Buchstaben geben signifikante Unterschiede an (Tukey-Test; $\alpha \leq 0,05$).

4.3.2 Blatteigenschaften

Chlorophyllgehalte

Chlorophyll-a (mg/g TM)

Die Varianzanalysen zeigten hoch-signifikante Unterschiede zwischen den Einstrahlungsvarianten, zwischen den Genotypen und für die Interaktion Strahlung*Genotyp.

Der F-Test zeigte Unterschiede für April und Mai.

Die Durchschnittswerte und der Tukey-Test ($\alpha \leq 0,05$) für die Einstrahlungsvarianten zeigten, dass der höchste Chlorophyll-a-Gehalt im Freilandversuch ab Mitte Mai zu messen war, und der geringste im Freilandversuch ab Mitte April.

Die Durchschnittswerte für jeden Genotyp für jede Einstrahlungsvarianten und der Tukey-Test ($\alpha \leq 0,05$) zeigten, dass der höchste Chlorophyll-a-Gehalt im Genotyp D vorhanden war (6,16 mg/g TM; Freilandversuch ab Mitte Mai). Der kleinste Werte wurde im Genotyp C gemessen (1,76 mg/g TM; PE-Versuch Mitte April). Der höchste Chlorophyll-a-Wert für Genotyp 'Gawi' erreichte 2,79 mg/g TM (Freilandversuch ab Mitte Mai). Sein kleinster Wert wurde im PE-Versuch ab Mitte April gemessen (2,16 mg/g TM) (Tab. 4.26).

Chlorophyll-b (mg/g TM)

Die Varianzanalyse zeigten hoch-signifikante Unterschiede zwischen den Einstrahlungsvarianten, für die Interaktion Strahlung*Genotyp, ebenso wie zwischen den Genotypen für jede Einstrahlungsvariante.

Der F-Test zeigte hoch-signifikante Unterschiede zwischen Mitte April und Mitte Mai.

Die Durchschnittswerte und der Tukey-Test ($\alpha \leq 0,05$) für die Einstrahlungsvarianten zeigten, dass der höchste Chlorophyll-b-Gehalt im Freilandversuch vorhanden war (ab Mitte Mai); der kleinste Wert wurde im PE-Versuch gemessen (ab Mitte April), ohne Unterschiede zum Freiland- und FEP-Versuch (ab Mitte April) und zum Freiland aus dem FEP-Versuch ab Mitte Mai aufzuweisen.

Tab. 4.26: Chlorophyllgehalt a, b (mg/g TM) und Chlorophyll a/b Verhältnis von *Stevia rebaudiana* Genotypen unter verschiedenen Einstrahlungsvarianten am 27.09.2010.

Genotyp	a			b			a/b					
	FEP ab Mitte April			Mitte Mai aus FEP - Folie								
Gawi	2,36	b	0,65	b	3,60	ba	2,50	b	0,70	b	3,57	ab
C	1,84	b	0,55	b	3,36	c	3,04	ab	0,90	ab	3,36	b
D	3,89	a	1,03	a	3,78	a	4,05	a	1,08	a	3,77	a
F	3,67	a	1,07	a	3,42	bc	3,29	ab	0,97	ab	3,39	b
Genotyp	PE ab Mitte April			Mitte Mai aus PE - Folie								
	Gawi	2,16	b	0,60	b	3,61	ab	2,29	c	0,60	c	3,79
C	1,76	b	0,53	b	3,27	b	3,04	bc	0,87	b	3,50	b
D	3,79	a	0,99	a	3,83	a	5,02	a	1,33	a	3,78	a
F	3,43	a	1,01	a	3,40	b	3,87	b	1,13	ab	3,44	b
Genotyp	Freiland direkt ab Mitte April			Freiland direkt ab Mitte Mai								
	Gawi	2,62	cb	0,66	bc	3,97	ab	2,79	b	0,76	bc	3,69
C	2,17	c	0,59	c	3,66	b	2,04	b	0,60	c	3,39	b
D	4,18	a	1,04	a	4,04	a	6,16	a	1,63	a	3,78	a
F	3,13	b	0,88	ab	3,61	b	3,60	b	1,08	b	3,31	b

ANOVA zwischen den Genotypen; unterschiedliche Buchstaben geben signifikante Unterschiede an (Tukey-Test; $\alpha \leq 0,05$).

Der Durchschnittswert für jeden Genotyp für jede Einstrahlungsvarianten und der Tukey-Test ($\alpha \leq 0,05$) zeigten, dass der höchste Chlorophyll-b-Gehalt Genotyp D zuzuordnen war (1,63

mg/g TM; Freilandversuch ab Mitte Mai); der kleinste Wert wurde für Genotyp C gemessen (0,53 mg/g TM). Der höchste Wert des Genotyps 'Gawi' war 0,76 mg/g TM (Freilandversuch, ab Mitte Mai); sein kleinster Wert lag bei 0,60 mg/g TM (Freiland aus dem PE-Versuch ab Mitte Mai und PE-Versuch, ab Mitte April) (Tab. 4.26).

Verhältnis Chlorophyll-a/b-Gehalt

Die Varianzanalysen zeigten hoch-signifikante Unterschiede zwischen den Einstrahlungsvarianten und zwischen den Genotypen unter allen Versuchsbedingungen.

Der F-Test zeigte signifikante Unterschiede zwischen Mitte April und Mitte Mai.

Die Durchschnittswerte für dieses Verhältnis von jedem Genotyp für alle Versuchsbedingungen und der Tukey-Test ($\alpha \leq 0,05$) zeigten, dass der Genotyp mit dem besten Verhältnis Genotyp D war (4,04; Freilandversuch, ab Mitte April); den kleinsten Wert erreichte Genotyp C (3,27). Für Genotyp 'Gawi' lag der höchste Wert bei 3,97 (Freilandversuch, ab Mitte Mai) und sein kleinster Wert bei 3,57 (Freiland aus FEP-Versuch, Mitte Mai) (Tab. 4.26).

Gesamtgehalt an Chlorophyll (mg/g TM)

Die Varianzanalysen des Gesamtgehaltes an Chlorophyll zeigten hoch-signifikante Unterschiede zwischen den Einstrahlungsvarianten und zwischen der Interaktion Strahlung*Genotyp; zwischen den Genotypen selbst war der Unterschied auch hoch-signifikant, für jede Einstrahlungsvariante.

Der F-Test zeigte hoch-signifikante Unterschiede zwischen Mitte April und Mitte Mai.

Die Durchschnittswerte für jeden Genotyp für jede Einstrahlungsvariante und der Tukey-Test ($\alpha \leq 0,05$) zeigten, dass der höchste Gesamtgehalt an Chlorophyll bei Genotyp D gemessen wurde (7,79 mg/g TM; Freilandversuch ab Mitte Mai); der kleinste Gehalt wurde bei Genotyp C gemessen (2,39 mg/g TM, FEP-Versuch ab Mitte April). Der höchste Wert für Genotyp 'Gawi' lag bei 3,55 mg/g TM (Freilandversuch ab Mitte Mai); sein kleinster Gehalt lag bei 2,77 mg/g TM (PE-Versuch ab Mitte April) (Tab. 4.27).

Gesamtgehalt an Chlorophyll ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$) (gemessen am 27.09.2010)

Die Varianzanalysen zeigten signifikante Unterschiede für die Einstrahlungsvarianten und hoch-signifikante Unterschiede zwischen den Genotypen für jede Einstrahlungsvariante.

Der F-Test zeigte hoch-signifikante Unterschiede im Gesamtgehalt an Chlorophyll zwischen Mitte April und Mitte Mai.

Tab. 4.27: Gesamtchlorophyllgehalt ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$ Blattfläche) und Gesamtchlorophyllgehalt (mg/g TM) von *Stevia rebaudiana* Genotypen unter verschiedenen Einstrahlungsvarianten am 27.09.2010

Genotyp	mg/g TM		$\mu\text{g}/\text{cm}^2$		mg/g TM		$\mu\text{g}/\text{cm}^2$	
	FEP ab Mitte April				Freiland ab Mitte Mai aus FEP			
Gawi	3,02	b	32,52	a	3,20	b	30,43	a
C	2,39	b	19,02	c	3,94	ab	20,07	c
D	4,92	a	34,50	a	5,13	a	28,48	ab
F	4,74	a	25,11	b	4,26	ab	21,12	bc
PE Mitte ab April				Freiland ab Mitte Mai aus PE				
Gawi	2,77	b	29,94	ab	2,90	c	29,09	ab
C	2,29	b	19,36	c	3,91	bc	21,94	bc
D	4,78	a	32,70	a	6,34	a	31,80	a
F	4,44	a	25,07	bc	4,99	b	26,14	ab
Freiland direkt ab Mitte April				Freiland direkt ab Mitte Mai				
Gawi	3,28	bc	29,21	ab	3,55	bc	32,82	a
C	2,76	c	21,44	c	2,63	c	21,15	bc
D	5,22	a	32,96	a	7,79	a	33,00	a
F	4,01	b	23,78	bc	4,68	b	29,54	a

ANOVA zwischen den Genotypen; unterschiedliche Buchstaben geben signifikante Unterschiede an (Tukey-Test; $\alpha \leq 0,05$)

Die Durchschnittswerte für die Einstrahlungsvarianten und der Tukey-Test ($\alpha \leq 0,05$) zeigten, dass der höchste Gesamtgehalt an Chlorophyll im Freiland gemessen wurde (ab Mitte Mai); der kleinste Wert des Gesamtgehaltes wurde im Freiland aus dem FEP-Versuch gemessen (ab Mitte Mai).

Die Durchschnittswerte für jeden Genotyp für alle Einstrahlungsvarianten und der Tukey-Test ($\alpha \leq 0,05$) zeigten, dass Genotyp D den höchsten Gesamtgehalt an Chlorophyll aufwies (34,50 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$, FEP-Versuch ab Mitte April); der geringste Gehalt war bei Genotyp C zu finden (19,02 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ FEP-Versuch ab Mitte April). Der höchste Wert des Genotyps 'Gawi' lag bei 32,82 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ (Freilandversuch, ab Mitte Mai); sein kleinster Wert lag bei 29,09 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ (Freiland aus PE-Versuch ab Mitte Mai) (Tab. 4.27).

Spezifisches Blattgewicht (SLW mg/cm^2)

Die Varianzanalyse zeigte hoch-signifikante Unterschiede zwischen den Einstrahlungsvarianten ebenso wie für die Interaktion Strahlung*Genotyp und Zeitabschnitt*Genotyp. Zwischen den Genotypen selbst für jede Einstrahlungsvariante war der Unterschied auch hoch-signifikant.

Der F-Test zeigte hoch-signifikante Unterschiede zwischen Mitte April und Mitte Mai.

Die Durchschnittswerte für jeden Genotyp für jede Einstrahlungsvarianten und der Tukey-Test ($\alpha \leq 0,05$) zeigten den höchsten SLW-Wert für Genotyp 'Gawi' (10,96 mg/cm^2 , FEP-

Versuch ab Mitte April). Der kleinste Wert wurde für Genotyp D gemessen (4,59 mg/cm², Freilandversuch ab Mitte Mai). Genotyp 'Gawi'- zeigte einen Wert von 9,89 mg/cm² im Freiland aus dem FEP-Versuch (ab Mitte Mai). Der kleinste Wert des Genotyps 'Gawi' lag bei 8,98 mg/cm² (Freiland, ab Mitte April). Der kleinste Wert des Genotyps F lag bei 6,47 mg/cm² (Freiland ab Mitte Mai); sein kleinster Wert lag bei 4,98 mg/cm² im Freiland aus FEP-Versuch (ab Mitte Mai). Der höchste SLW-Wert des Genotyps C lag bei 8,52 mg/cm² (PE-Versuch, ab Mitte April); der kleinste Wert des Genotyps C lag bei 5,11 mg/cm² (Freiland aus dem FEP-Versuch ab Mitte Mai) (Tab. 4.28).

Tab. 4.28: Spezifisches Blattgewicht von vier Genotypen von *Stevia rebaudiana* unter verschiedenen Einstrahlungsvarianten, gemessen am 27.09. 2010.

Genotyp	ab Mitte April						ab Mitte Mai					
	FEP		PE		Freiland direkt		Freiland aus FEP		Freiland aus PE		Freiland direkt	
Gawi	10,96	a	10,85	a	8,98	a	9,89	a	10,08	a	9,28	a
C	8,00	b	8,52	b	8,20	ab	5,11	b	5,68	bc	8,17	ab
D	7,01	b	6,91	c	6,39	bc	5,59	b	5,02	bc	4,59	c
F	5,32	c	5,72	c	5,94	c	4,98	b	5,26	bc	6,47	bc

ANOVA zwischen den Genotypen; unterschiedliche Buchstaben geben signifikante Unterschiede an (Tukey-Test; $\alpha \leq 0,05$)

4.3.3 Ertrag mit einer Ernte/Jahr

Gesamtertrag -eine Ernte

Die Varianzanalysen zeigten hoch-signifikante Unterschiede zwischen den Einstrahlungsvarianten und dass eine Interaktion Strahlung*Genotyp vorhanden ist. Hoch-signifikante Unterschiede befanden sich auch zwischen den Genotypen für alle Einstrahlungsvarianten.

Der F-Test zeigte Unterschiede zwischen Mitte April und Mitte Mai; es gab eine Interaktion zwischen den Zeitabschnitten und den Genotypen.

Der Durchschnittswert des Gesamtertrags (Trockengewicht) der Einstrahlungsvarianten und der Tukey-Test ($\alpha \leq 0,05$) zeigten den höchsten Ertrag für den FEP-, gefolgt von dem PE-Versuch; sie zeigten keinen signifikanten Unterschied zueinander. Die geringste Produktion fand im Freilandversuch ab Mitte Mai statt, ohne Unterschiede zu dem Freilandversuch ab Mitte April zu zeigen.

Der Durchschnittswert für die Produktion an Trockengewicht von Stängeln und Blättern von jedem Genotyp, für alle Einstrahlungsvarianten und der Tukey-Test ($\alpha \leq 0,05$) zeigten, dass die besten Produktionen im Genotyp 'Gawi' zu finden waren (183,48 g/Pflanze) ohne einen Unterschied zu Genotyp D aufzuweisen (124,37 g/Pflanze, FEP-Versuch ab Mitte April);

161,56 g/Pflanze wurden im PE-Versuch ab Mitte Mai gemessen. Der geringste Ertrag wurde für Genotyp C gemessen (21,13 g/Pflanze) ohne Unterschiede zu den Genotypen D und F im Freiland aus dem PE-Versuch ab Mitte Mai zu zeigen. Der höchste Ertrag wurde bei Genotyp F gemessen (105,52 g/Pflanze) ohne Unterschiede zu Genotyp 'Gawi'- aufzuweisen (85,9 g/Pflanze, Freilandversuch ab Mitte Mai) (Tab. 4.29).

Stängel-Trockengewicht bei einer Ernte

Die Varianzanalysen zeigten hoch-signifikante Unterschiede zwischen den Einstrahlungsvarianten ebenso wie für die Interaktion Strahlung*Genotyp. Hoch-signifikante Unterschiede waren auch zwischen den Genotypen vorhanden für alle Einstrahlungsvarianten. Der F-Test zeigte Unterschiede zwischen Mitte April und Mitte Mai für das Stängel-Trockengewicht und dass es Interaktionen zwischen Zeitabschnitte und Genotypen gab.

Tab. 4.29: Gesamtertrag in g TM/Pflanze bei einem Schnitt 2010.

Genotyp	Stängel		Blätter		Ertrag		n
FEP							
Gawi	87,81	a	95,67	a	183,48	a	8
C	25,30	b	68,91	ab	94,21	bc	7
D	73,07	a	51,30	bc	124,37	ab	8
F	29,16	b	31,31	c	60,47	c	8
PE							
Gawi	75,89	ab	85,67	a	161,56	a	8
C	22,58	c	63,35	ab	85,92	b	8
D	55,22	ab	40,92	b	96,14	b	8
F	35,23	bc	34,26	b	69,49	b	8
Freiland direkt ab Mitte April							
Gawi	29,87	a	43,97	a	73,84	a	8
C	7,97	b	23,23	a	31,21	b	7
D	20,54	ab	21,41	a	41,95	ab	7
F	27,81	a	32,75	a	60,56	ab	8
Mitte Mai aus FEP							
Gawi	46,73	a	64,89	a	111,62	a	8
C	11,74	b	23,22	b	34,96	b	6
D	13,53	b	13,52	b	27,05	b	5
F	19,27	b	22,55	b	41,82	b	6
Mitte Mai aus PE							
Gawi	55,08	a	65,71	a	120,79	a	8
C	6,83	b	14,30	b	21,13	b	6
D	10,17	b	8,86	b	19,02	b	3
F	15,64	b	17,79	b	33,43	b	7
Freiland direkt ab Mitte Mai							
Gawi	35,54	ab	50,36	a	85,90	ab	8
C	11,33	c	33,70	ab	45,03	b	7
D	23,03	c	18,57	b	41,60	b	4
F	54,67	a	50,85	a	105,52	a	8

ANOVA zwischen den Genotypen; unterschiedliche Buchstaben geben signifikante Unterschiede Die Durchschnittswerte der Strahlungen und der Tukey-Test ($\alpha \leq 0,05$) zeigten, dass das größte Trockengewicht unter den FEP- und PE-Bedingungen von Mitte April erreicht wurden.

Sie zeigten keinen Unterschied untereinander. Der kleinste Wert wurde im Freilandversuch ab Mitte April erreicht, ohne einen Unterschied zu den anderen Einstrahlungsvarianten aufzuweisen.

Die Durchschnittswerte und der Tukey-Test ($\alpha \leq 0,05$) zeigten, dass Genotyp 'Gawi' das höchste Gewicht hatte (87,81 g TM/Pflanze, FEP-Versuch; 75,89 g TM/Pflanze, PE-Versuch). Das kleinste Gewicht wurde für Genotyp C gemessen (6,83 g/Pflanze, Freilandversuch ab Mitte Mai). Das kleinste Trockengewicht des Genotyps 'Gawi' wurde im Freiland ab Mitte April gemessen (29,87 g TM/Pflanze). Für den Genotyp F lag das höchste Gewicht bei 54,67 g TM/Pflanze (Freilandversuch, ab Mitte Mai); sein kleinstes Gewicht lag bei 19,27 g TM/Pflanze (Freiland aus FEP-Versuch ab Mitte Mai) (Tab. 4.29).

Blätter

Die Varianzanalyse zeigte nur signifikante Unterschiede im Freiland zwischen den Genotypen. Für die anderen Einstrahlungsvarianten waren die Unterschiede zwischen den Genotypen hoch-signifikant ebenso wie die Interaktion Strahlung*Genotyp.

Der F-Test zeigte Unterschiede im Blatt-Trockengewicht zwischen Mitte April und Mitte Mai; die Interaktion Zeitabschnitt*Genotyp war signifikant unterschiedlich.

Die Durchschnittswerte für die Einstrahlungsvarianten und der Tukey-Test ($\alpha \leq 0,05$) zeigten keinen signifikanten Unterschied zwischen den Produktionen an Trockenblättern für den FEP- und PE-Versuch ab Mitte April. Es gab Unterschiede zwischen diesen beiden erwähnten Versuchen und folgenden Einstrahlungsvarianten: Freilandversuch ab Mitte April; Freiland aus FEP-Versuch ab Mitte Mai; Freiland aus PE-Versuch ab Mitte Mai; Freilandversuch ab Mitte Mai.

Die Durchschnittswerte für jeden Genotyp für jede Einstrahlungsvariante und der Tukey-Test ($\alpha \leq 0,05$) zeigten, dass Genotyp 'Gawi' die größte Produktion an Trockenblättern hatte (95,67 g TM/Pflanze) ohne einen Unterschied zu Genotyp C aufzuweisen (68,91 g TM/Pflanze), beide im FEP-Versuch ab Mitte April. Die geringste Produktion des Genotyps 'Gawi' lag bei 43,97 g TM/Pflanze ohne signifikante Unterschiede zu den anderen Genotypen aufzuweisen (Freilandversuch ab Mitte April). Genotyp D hatte die geringste Produktion (8,86 g TM/Pflanze, Freiland aus PE-Versuch, ab Mitte Mai); seine größte Produktion war im FEP-Versuch ab Mitte April (51,30 g TM/Pflanze). Die größte Produktion des Genotyps F lag bei 50,85 g/Pflanze, ohne signifikante Unterschiede zu den Genotypen Gawi und C im Freilandversuch (ab Mitte Mai) aufzuweisen (Tab. 4.29).

4.3.4 Süßstoffgehalte

Gesamtsüßstoff

Die Varianzanalyse zeigte hoch-signifikante Unterschiede zwischen den Einstrahlungsvarianten; die Interaktion Strahlung*Genotyp war signifikant unterschiedlich. Hoch-signifikante Unterschiede gab es zwischen den Genotypen für alle Einstrahlungsvarianten.

Tab. 4.30: Gesamtsüßstoff (%) bei einem Schnitt 2010.

Ein Schnitt				
Genotyp	n	Steviosid	Rebaudiosid-A	Süßstoff
FEP - Folie				
Gawi	8	8,29 a	3,83 b	12,12 a
C	7	1,91 d	6,56 a	8,47 c
D	8	5,31 b	5,21 ab	10,52 ab
F	8	3,61 c	5,23 ab	8,83 c
PE - Folie				
Gawi	8	7,80 a	3,53 b	11,33 a
C	8	1,85 d	6,20 a	8,05 b
D	8	4,91 b	4,37 b	9,28 b
F	8	3,39 c	5,81 a	9,20 b
Freiland direkt ab Mitte April				
Gawi	8	6,42 a	4,34 a	10,76 a
C	7	2,07 c	4,55 a	6,63 b
D	7	3,17 b	4,65 a	7,82 b
F	8	2,93 bc	4,25 a	7,18 b
Mittel Mai aus FEP - Folie				
Gawi	8	6,97 a	2,97 b	9,94 a
C	6	1,97 b	3,74 ab	5,71 b
D	5	3,25 b	3,05 b	6,30 b
F	6	2,86 b	4,57 a	7,42 ab
Mitte Mai aus PE - Folie				
Gawi	8	6,96 a	2,98 b	9,94 a
C	6	1,71 a	3,68 ab	5,39 b
D	3	2,58 a	2,38 b	4,96 b
F	7	2,84 a	4,50 a	7,34 ab
Freiland direkt ab Mitte Mai				
Gawi	8	6,20 a	2,89 b	9,09 ab
C	7	1,66 c	4,46 ab	6,12 c
D	4	3,31 b	3,12 b	6,43 bc
F	8	3,18 b	6,05 a	9,23 a

ANOVA zwischen den Genotypen; unterschiedliche Buchstaben geben signifikante Unterschiede an (Tukey-Test; $\alpha \leq 0,05$).

Der F-Test zeigte Unterschiede zwischen Mitte April und Mitte Mai und signifikante Interaktionen zwischen den Genotypen und den Zeitabschnitten.

Die Durchschnittswerte für die Einstrahlungsvarianten und der Tukey-Test ($\alpha \leq 0,05$) zeigten, dass die höchsten Süßstoffgehalte im FEP- (Mitte April) und PE-Versuch (ab Mitte April) gemessen wurden; sie zeigten keinen Unterschied untereinander. Die anderen Einstrahlungsvarianten zeigten keine signifikanten Unterschiede untereinander; sie zeigten jedoch welche mit dem FEP- und PE-Versuch ab Mitte April.

Die Durchschnittswerte für jeden Genotyp für alle Einstrahlungsvarianten und der Tukey-Test ($\alpha \leq 0,05$) zeigten, dass der höchste Gehalt an Süßstoff in Genotyp 'Gawi' vorhanden war (12,12%) ohne Unterschiede zu Genotyp D aufzuweisen (10,52%), beide im FEP-Versuch gemessen, ab Mitte April.

Im Freilandversuch ab Mitte Mai wurde der kleinste Gehalt des Genotyps 'Gawi'- gemessen (9,09%); er zeigte keinen Unterschied zu dem des Genotyps F (9,23%). Im FEP-Versuch ab Mitte April lag der höchste Gehalt des Genotyps C bei 8,47% ohne Unterschiede mit dem des Genotyps F aufzuweisen (8,83%). Im Freiland aus dem PE-Versuch (ab Mitte Mai) lag der kleinste Wert des Genotyps C bei 5,39%, ohne einen signifikanten Unterschied zu dem Wert der Genotypen D und F aufzuweisen (Tab. 4.30).

4.3.5 Ertrag mit zwei Ernten/Jahr

Gesamtertrag zwei Ernten

Die Varianzanalysen zeigten hoch-signifikante Unterschiede für alle Einstrahlungsvarianten und für alle Genotypen ebenso wie für die Interaktion Strahlung*Genotyp.

Der F-Test zeigte hoch-signifikante Unterschiede zwischen April und Mai. Die Interaktion Zeitabschnitt*Genotyp war auch hoch-signifikant unterschiedlich.

Die Durchschnittswerte für die Einstrahlungsvarianten und der Tukey-Test ($\alpha \leq 0,05$) zeigten, dass die größte Produktion und den FEP- und PE-Bedingungen ab Mitte April erreicht wurden. Sie zeigten keinen Unterschied untereinander. Die geringsten Produktionen wurden im Freiland gemessen (ab Mitte April und ab Mitte Mai) ohne signifikante Unterschiede untereinander aufzuweisen.

Die Durchschnittswerte von jedem Genotyp von dem Gesamtertrag an Trockengewicht und der Tukey-Test ($\alpha \leq 0,05$) zeigten, dass die größte Produktion von Genotyp 'Gawi' erreicht wurde (133,56 g/Pflanze, FEP-Versuch; 114,59 g/Pflanze PE-Versuch, ab Mitte April). Die geringste Produktion wurde für Genotyp C im Freiland gemessen (11,89 g/Pflanze, ab Mitte April); er zeigte keinen Unterschied zu Genotyp D (19,63 g/Pflanze). Die höchste Produktion des Genotyps F erreichte 50,24 g/Pflanze, ohne Unterschiede zu den Genotypen C und D aufzuweisen (FEP-Versuch ab Mitte April). Die geringste Produktion des Genotyps F lag bei

20,92 g/Pflanze, ohne Unterschiede zu den Genotypen 'Gawi', C und D (Freilandversuch ab Mitte Mai) aufzuweisen (Tab. 4.31).

Tab. 4.31: Gesamtertrag (g TM/Pflanze) bei zwei Schnitten 2010.

Genotype	Stängel		Blätter		Ertrag	n
FEP ab Mitte April						
Gawi	55,36	a	78,20	a	133,56	8
C	12,85	b	38,36	b	51,21	7
D	30,28	b	28,43	b	58,71	8
F	23,90	b	26,34	b	50,24	8
PE ab Mitte April						
Gawi	44,55	a	70,04	a	114,59	8
C	12,60	c	38,08	b	50,68	6
D	36,37	ab	34,27	b	70,64	8
F	21,86	bc	27,06	b	48,92	8
Freiland direkt ab Mitte April						
Gawi	15,94	a	24,79	a	40,73	8
C	3,26	b	8,63	b	11,89	7
D	8,56	ab	11,07	b	19,63	7
F	16,79	a	19,73	ab	36,52	8
Mitte Mai aus FEP - Folie						
Gawi	34,45	a	54,16	a	88,61	8
C	8,52	b	21,64	b	30,17	8
D	7,55	b	8,87	c	16,42	3
F	8,91	b	13,91	bc	22,82	8
Mitte Mai aus PE - Folie						
Gawi	28,72	a	46,47	a	75,18	7
C	7,89	b	18,64	b	26,52	7
D	7,56	b	8,79	b	16,35	7
F	12,85	b	18,69	b	31,55	8
Freiland direkt ab Mitte Mai						
Gawi	11,24	a	22,42	a	33,65	7
C	4,78	b	11,82	b	16,61	8
D	9,16	ab	11,15	b	20,31	7
F	7,88	ab	13,03	b	20,92	6

ANOVA zwischen den Genotypen; unterschiedliche Buchstaben geben signifikante Unterschiede an (Tukey-Test; $\alpha \leq 0,05$)

Stängel-Trockengewicht bei zwei Ernten

Die Varianzanalysen zeigten hoch-signifikante Unterschiede zwischen den Einstrahlungsvarianten, für die Interaktion Strahlung*Genotyp und für die Genotypen selbst. Der F-Test zeigte hoch-signifikante Unterschiede zwischen Mitte April und Mitte Mai; die Interaktion Zeitabschnitt und Genotyp war signifikant.

Die Durchschnittswerte der Strahlung und der Tukey-Test ($\alpha \leq 0,05$) zeigten, dass das höchste Trockengewicht der Stängel unter den FEP- und PE-Bedingungen von Mitte April lag. Sie

zeigten keinen Unterschied zueinander aber mit folgenden Einstrahlungsvarianten: Freilandversuch ab Mitte April; Freiland aus dem FEP-Versuch ab Mitte Mai; Freiland aus dem PE-Versuch ab Mitte Mai; Freilandversuch ab Mitte Mai. Alle zeigten keinen signifikanten Unterschied untereinander.

Die Durchschnittswerte des Trockengewichts und der Tukey-Test ($\alpha \leq 0,05$) zeigten das höchste Gewicht für Genotyp 'Gawi'- (55,36 g/Pflanze, FEP-Versuch und 44,55 g/Pflanze, PE-Versuch, beide ab Mitte April). Er zeigte keinen Unterschied zu dem Genotyp D (36,37 g/Pflanze). Der kleinste Wert wurde bei Genotyp C gemessen (3,26 g/Pflanze, Freilandversuch ab Mitte April); er zeigte keinen Unterschied zu Genotyp D (8,56 g/Pflanze, Freilandversuch ab Mitte April). Den höchsten Wert erreichte Genotyp F (23,90 g/Pflanze, FEP-Versuch ab Mitte April) ohne Unterschiede zu den Genotypen C und D zu zeigen (Tab.4.31).

Blätter (g TM/Pflanze)

Die Varianzanalyse der Blattproduktion zeigte hoch-signifikante Unterschiede zwischen den Einstrahlungsvarianten, zwischen den Genotypen für alle Einstrahlungsvarianten, ebenso wie für die Interaktion Strahlung*Genotyp.

Der F-Test zeigte hoch-signifikante Unterschiede zwischen Mitte April und Mitte Mai.

Die Durchschnittswerte zeigten, dass die höchste Blattproduktion unter den FEP- und PE-Bedingungen von Mitte April stattfanden; die kleinsten fanden im Freilandversuch, ab Mitte Mai statt.

Die Durchschnittswerte von jedem Genotyp für jede Einstrahlungsvarianten und der Tukey-Test ($\alpha \leq 0,05$) zeigten, dass Genotyp 'Gawi'- die höchste Blattproduktion hatte (78,20 g TM/Pflanze, FEP-Versuch ab Mitte April und 70,04 g TM/Pflanze im PE-Versuch ab Mitte Mai). Er zeigte signifikante Unterschiede zu allen anderen Genotypen. Die geringste Produktion erzielte Genotyp C (8,63 g TM/Pflanze, Freilandversuch ab Mitte April) und zeigte keinen Unterschied zu den Genotypen D und F. Der höchste Wert des Genotyps C lag bei 38,36 g TM/Pflanze , ohne Unterschiede zu den Genotypen D und F zu zeigen. Der höchste Wert des Genotyps D lag bei 34,27 g TM/Pflanze ohne Unterschiede zu den Genotypen C (38,08 g TM/Pflanze) und F (27,06 g TM/Pflanze) im PE-Versuch ab Mitte April zu zeigen.

4.3.6 Zusammenfassung

Die Ergebnisse werden in Prozent angezeigt; die Werte des Genotyps Gawi dienten hierfür als Referenzwerte. Die höchsten Werte für die verschiedenen Einstrahlungsvarianten sind in Tabelle 4.32 (2010) zusammengefasst (und s. Abb. 4.23, Abb. 4.24, Abb. 4.25).

Tab. 4.32: Höchste Werte für jede Variable im Freiland ab Mitte Mai im Jahr

Variable	Genotyp	Wert	%	Lichtintensität
Spross (cm)	Gawi	78,8	100	direkt
Nodienanzahl	Gawi	35	100	PE
Chlorophyll-a mg/g TM	D	6,16	220,86	direkt
Chlorophyll-b mg/g TM	D	1,63	214,03	direkt
Verhältnis Chlorophyll-a/b	Gawi	3,79	100	PE
Gesamtchlorophyll (mg/g TM)	D	7,79	219,4	direkt
Gesamtchlorophyll ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	D	33	100,56	direkt
Gesamtertrag g/Pflanze TM	Gawi	120,79	100	PE
Stängel g/Pflanze TM	Gawi	55,08	100	PE
Blätter g/Pflanze TM	Gawi	65,71	100	PE
Gesamtsüßstoff %	Gawi	9,94	100	FEP und PE
Steviosid %	Gawi	6,97	100	FEP
Rebaudiosid-A %	F	2,98	100	PE
SLW mg/cm^2	Gawi	10,08	100	PE

FEP und PE ein Monat

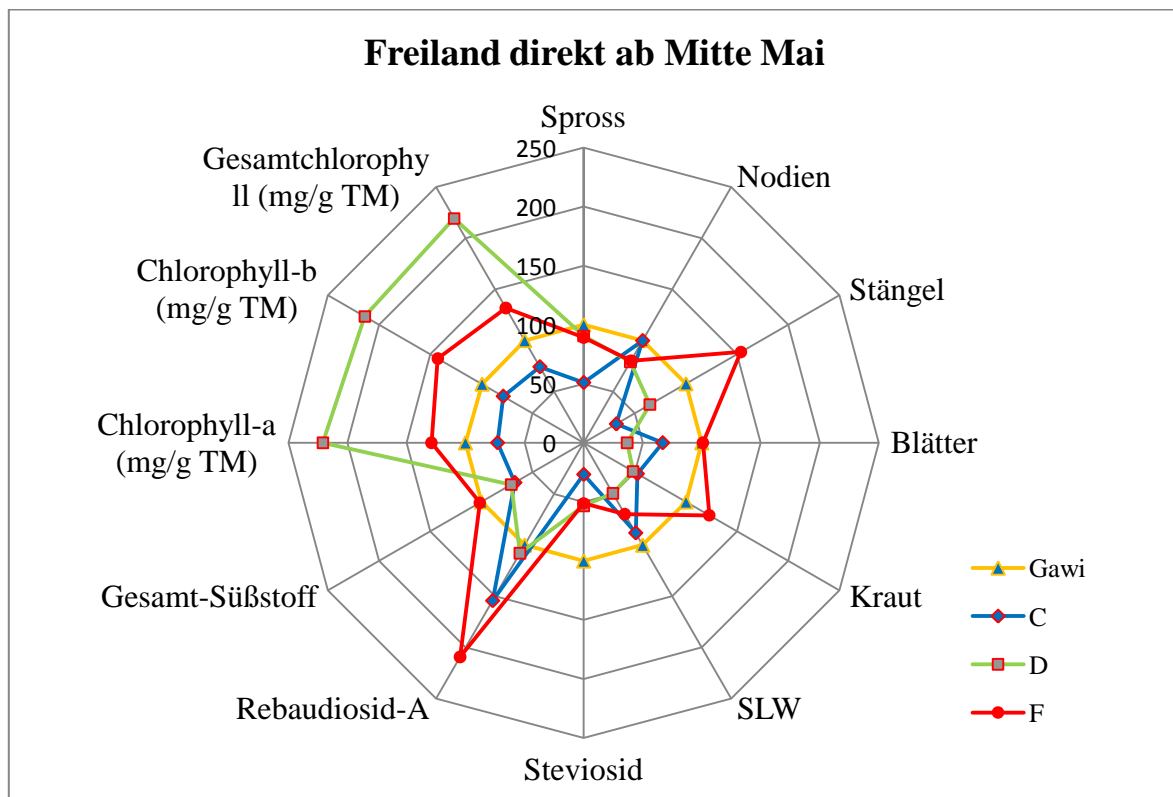


Abb. 4.23: Profile der drei *stevia rebaudiana* Genotypen im Vergleich zu Gawi (100%) für 12 Variablen im Freiland direkt ab Mitte Mai 2010

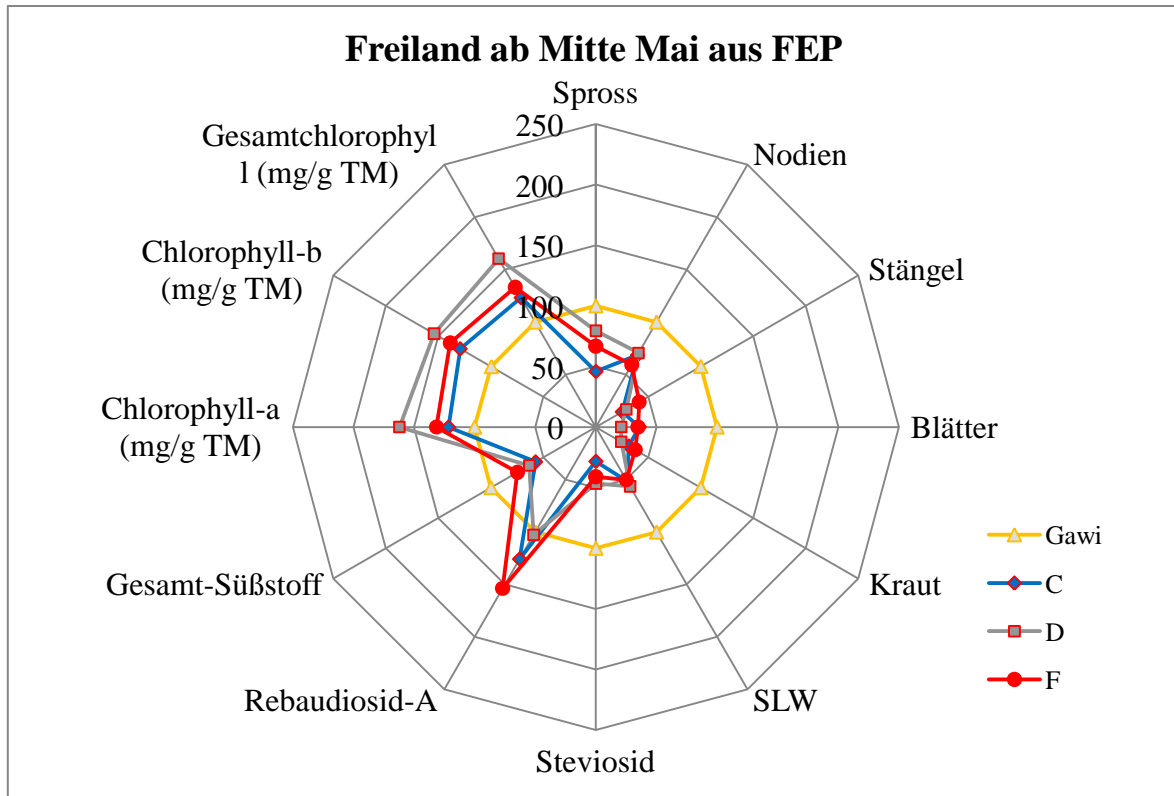


Abb. 4.24: Profile der drei *stevia rebaudiana* Genotypen im Vergleich zu Gawi (100%) für 12 Variablen im Freiland ab Mitte Mai aus FEP 2010.

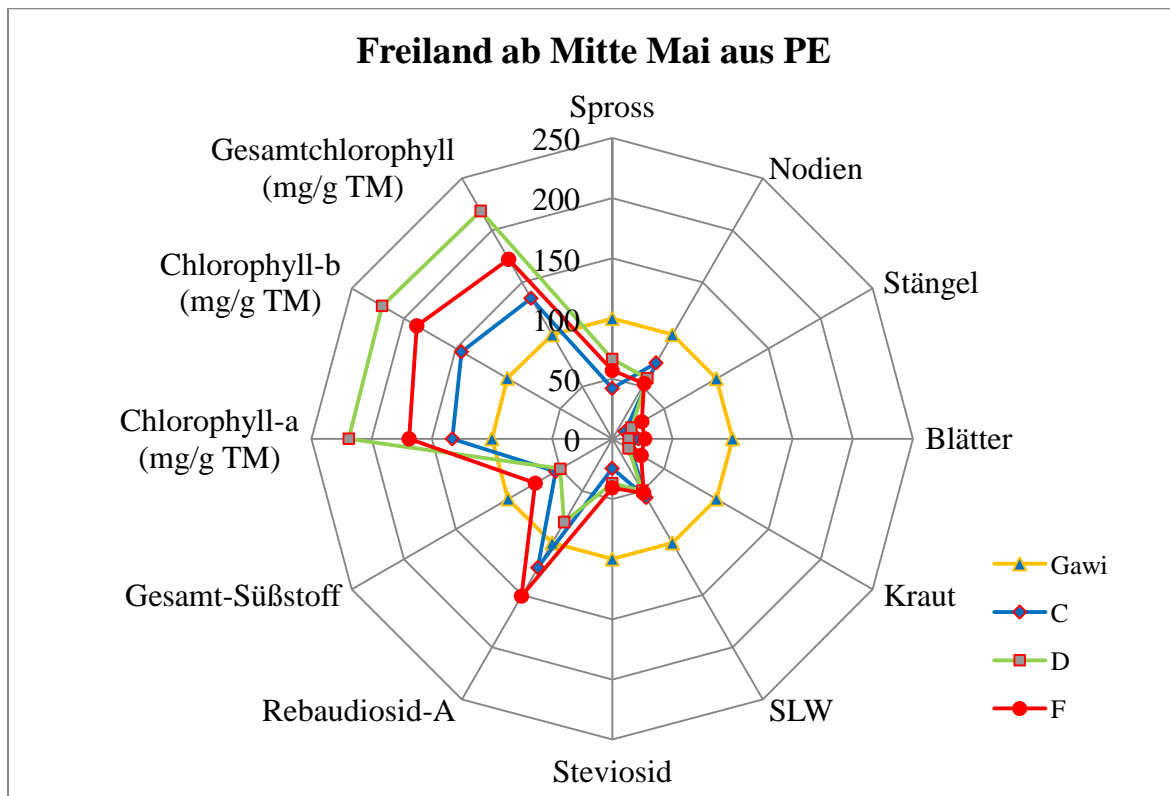


Abb. 4.25: Profile der drei *stevia rebaudiana* Genotypen im Vergleich zu Gawi (100%) für 12 Variablen im Freiland direkt ab Mitte Mai aus PE 2010.

5 Diskussion

5.1 Leistungsvergleich der Genotypen

5.1.1 Wuchsleistung und Ertrag 2009

5.1.1.1 Sprosswachstum

Sprosslänge

Aus den Ergebnissen zum Wachstum von *Stevia rebaudiana* unter den Einstrahlungsbedingungen des Freilandversuches im Jahr 2009, ist in Abbildung (s. Abb 4.1) zu erkennen, dass die Pflanzen von Beginn an verschiedene Wuchshöhen zeigten: Möglicherweise fingen manche Pflanzen früher an zu wachsen als andere. Nach Lambers *et al.* (1992) haben nicht alle Pflanzen das gleiche Wachstumspotential, so dass man zwischen den Pflanzen mit schnellerem und langsamerem Wachstum unterscheiden kann. Wenn man die Wuchshöhen zum Zeitpunkt der Ernte betrachtet (Tab. 4.1 und Abb 4.1), kann man die *Stevia*-Genotypen in zwei Kategorien unterteilen: die mit schnellerem Wachstum (Genotyp A, B, D und 'Gawi') und die mit langsamerem Wachstum (Genotyp C, E und F). Die Unterschiede sind vermutlich genetisch bedingt, denn nach Gaurav *et al.* (2008) und Sumida (1980) hat die Wuchshöhe einen Heritabilitätskoeffizienten von $\geq 0,97$.

Tab. 5.1: Funktion für den Längenzuwachs unter Freilandbedingungen 2009.

Genotyp	Modell	R ²
Gawi	$Y = 22,713 + 0,5818X$	0,997
A	$Y = 12,772 + 0,5921X$	0,997
B	$Y = 21,296 + 0,555X$	0,986
C	$Y = 33,243 + 0,3035X$	0,976
D	$Y = 22,106 + 0,6592X$	0,986
E	$Y = 11,496 + 0,4722X$	0,987
F	$Y = 12,58 + 0,4248X$	0,973

Die Ergebnisse zum Wuchsverhalten zeigten für die Genotypen ein lineares Modell über die Zeit. Die Werte des Bestimmtheitsmaßes lagen zwischen 0,997 (Genotyp 'Gawi') und 0,973 (Genotyp E). Der Genotyp C zeigte das geringste Wachstum, obwohl er am Anfang der Untersuchungen derjenige mit der größten Sprosslänge war. Dies liegt daran, dass die Bedingungen im Gewächshaus für sein Wachstum geeignet waren. Wenn man berücksichtigt, dass dieser Genotyp im tropischen Kolumbien seit 1994 angebaut wird (Arturo *et al.*, 2009)

(Tab. 5.1), haben die Bedingungen im Freilandversuch (Änderungen der Temperaturen) sein Wachstum eingeschränkt. Das lineare Wachstum ist eine Eigenschaft von *Stevia rebaudiana*, die unter Langtagverhältnissen gewachsen sind (Metivier et al., 1979). Die Höhe der Pflanzen hat einen Heritabilitätskoeffizienten von 0,99 (Gaurav et al., 2008).

Wenn man die Wachstumshöhe des Genotyps 'Gawi' (113,1cm) mit den Höhen, die im Freilandanbau erfasst wurden (78,80 cm in Klein-Altendorf und 83,85 cm in Borken (Bürling, 2007)) vergleicht, zeigt sich ein großer Unterschied. Möglicherweise lässt sich dies durch die spezifischen Versuchsbedingungen erklären, denn die Versuchspflanzen wurden in Containerkultur mit an die aktuellen Witterungsbedingungen angepasster automatischer Bewässerung gehalten, dadurch war das Wachstum der Pflanzen und deren Ertrag begünstigt. Der Genotyp D aus Paraguay, der zum Zeitpunkt der Ernte eine Höhe von 126,8 cm aufwies, ist möglicherweise verwandt mit Klon IAN/VC-142 (Eirete), für den in der Literatur eine Wuchshöhe von bis zu 120 cm angegeben wird (Casaccia et al., 2006).

Anzahl an Nodien

Die Analyse der Ergebnisse für die Anzahl an Nodien ergab ein lineares Model. Die Bestimmtheitsmaße lagen zwischen $R^2 = 0,9803$ für Genotyp B und $R^2 = 0,9917$ für Genotyp C. Bei Genotyp 'Gawi' lag er bei $R^2 = 0,9828$. Die Werte der Regressionsgeraden zeigen, dass die Ausbildung von Nodien für jeden Genotyp unterschiedlich ist, so dass sie in vier Gruppen unterteilt werden können:

- I) Genotypen E und F: ein Nodium ca. jeden 7. Tag
- II) Genotyp D: ein Nodium ca. jeden 6. Tag
- III) Genotypen A, B und C: ein Nodium ca. jeden 5. Tag
- IV) Genotyp 'Gawi': ein Nodium ca. jeden 4. Tag. (Tab.5.2)

Tab. 5.2: Funktion für die Anzahl an Nodien, die unter Freilandbedingungen gebildet wurden.

Genotyp	Modell	R ²
Gawi	$Y = 11,408 + 0,2415X$	0,9828
A	$Y = 9,091 + 0,2039X$	0,9894
B	$Y = 10,601 + 0,1989X$	0,9803
C	$Y = 14,368 + 0,2033X$	0,9812
D	$Y = 9,0087 + 0,1749X$	0,9914
E	$Y = 6,4167 + 0,1443X$	0,9917
F	$Y = 5,8297 + 0,1453X$	0,9891

Die Literatur gibt einen Heritabilitätskoeffizienten (h^2) der Anzahl an Nodien von 0,954 an (Sumida, 1980). Die Anzahl an Nodien variierte zwischen 26,1 und 46,9. Molero (1984) gibt eine ideale Anzahl an Nodien zwischen 6 und 32 an, mit einer typischen Abweichung von 5,57.

Seitentriebe

Die Anzahl der Seitentriebe war für jeden Genotyp proportional zu der Anzahl an Nodien. Für diese Eigenschaft gibt die Literatur einen Heritabilitätskoeffizienten (h^2) von 0,881 an (Sumida, 1980).

5.1.1.2 Blatteigenschaften

Die Gesamtwerte an Chlorophyll, die unter den Freilandbedingungen erfasst wurden, zeigten Variationen in den Gehältern an Chlorophyll-a (mg/g TM), Chlorophyll-b (mg/g TM) und Gesamtchlorophyll (mg/g TM und in $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ Blattfläche). Bezüglich des Gehalts an Chlorophyll können die Variationen auf die Genetik jeden einzelnen Genotyps zurückgeführt werden, da im Freilandversuch alle Genotypen den gleichen Einstrahlungsverhältnissen ausgesetzt waren. Genotyp 'Gawi' zeigte einen Gesamtgehalt von 2,22 mg/g TM und Genotyp C 2,37 mg/g TM; dies bedeutet jedoch nicht, dass Genotyp C mehr Gesamtchlorophyll hatte, denn umgerechnet in $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ Blattfläche ($23,47 \mu\text{g}/\text{cm}^2$) wies Genotyp 'Gawi' einen Gehalt von $26,90 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ Gesamtchlorophyll auf. Dies liegt daran, dass Genotyp 'Gawi' dickere Blätter hatte.

Wenn man den **Gesamtgehalt an Chlorophyll** in mg/g TM vergleicht, sind Genotyp 'Gawi' (2,22 mg/g TM) und Genotyp C (2,37 mg/g TM) unterschiedlich zu den übrigen geprüften Genotypen, deren Werte zwischen 4,33 mg/g TM (Genotyp A) und 4,93 mg/g TM (Genotyp E) liegen.

Wenn man die Werte für **Chlorophyll-a** (Genotyp 'Gawi' 1,73 mg/g TM; Genotyp C 1,83 mg/g TM; Genotyp A 3,36 mg/g TM und Genotyp E 3,86 mg/g TM) und die Werte für **Chlorophyll-b** vergleicht, ist die Tendenz die gleiche (Genotyp 'Gawi' 0,50 mg/g TM; Genotyp C 0,54 mg/g TM; Genotyp D 0,93 mg/g TM; Genotyp E 1,07 mg/g TM). Wenn man das **Verhältnis Chlorophyll-a/b** analysiert, gibt es keine Unterschiede zwischen Genotyp 'Gawi' und den anderen Genotypen. Möglicherweise weisen die Genotypen 'Gawi' und C effizientere Enzyme für die CO_2 -Fixierung auf, so dass sie eine geringere Konzentration an Chlorophyll benötigen (Tab. 4.4).

Aufgrund dieser Ergebnisse können in dieser Studie zwei Pflanzen-Typen unterschieden werden: Genotyp 'Gawi' und Genotyp C, die sehr effizient in der Aufnahme des Lichts sind; und die Genotypen A, B, D, E, und F, die ihren Gesamtgehalt an Chlorophyll (mg/g TM) erhöhen, so dass sie das gleiche Verhältnis an Chlorophyll-a/b beibehalten, um in der Aufnahme der Strahlungsenergie für ihre Photosynthese effizient zu sein.

Die Werte für das Verhältnis Chlorophyll-a/b lagen zwischen 3,39 (Genotyp F) und 4,06 (Genotyp D). Genotyp 'Gawi' zeigte einen Wert von 3,52 und ist somit vergleichbar mit den Pflanzen, die Verhältniswerte zwischen 2,9 und 3,4 haben (Hartmut, 2004). Dies zeigt, dass die *Stevia*-Pflanzen ein höheres Verhältnis an Chlorophyll-a/b aufweisen als andere Pflanzen sonniger Standorte; dies spricht für eine hohe Anpassung dieser Genotypen an höhere Lichtintensitäten.

Die SPAD-Werte variierten, was als Hinweis für Unterschiede im Gehalt an Chlorophyll gewertet wurde. Dies wird durch die Untersuchungen im Labor bestätigt. Die Korrelation der SPAD-Werte mit dem Gehalt an Chlorophyll war hoch signifikant (Gesamt-Chlorophyll in $\mu\text{g}/\text{cm}^2$), so dass ein lineares Modell erstellt werden konnte ($Y = -21,51 + 1,2739x$) mit einem Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 70,73$. Y ist der Gesamtgehalt an Chlorophyll ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$); -21,51 ist der Schnittpunkt und 1,2739 die Steigung. X ist der SPAD-Wert; das Bestimmtheitsmaß zeigt, dass das Modell eine abhängige Variable um 70,43% hat, die nur zwischen den beobachteten Parametern gültig ist. Der andere Wert von 29,57% ist bedingt durch andere Faktoren, die nicht in dem Modell berücksichtigt wurden.

Untersuchungen an Reis zeigten, dass die SPAD-Werte von Genotyp und Wachstumsphase beeinflusst werden (Huang *et al.*, 2008), ebenso wie von den Umweltbedingungen (Standort, Strahlung, Fruchtbarkeit des Bodens, biotischer und abiotischer Stress (Esfahani *et al.*, 2008)). Die Transmission ist nicht nur von der Menge an Chlorophyll im Blatt sondern auch von seiner Verteilung abhängig, die durch die Distribution der Chloroplasten in den Zellen bestimmt wird. Wenn Tabakblätter dem blauen Licht exponiert werden, steigen die Transmissionswerte im Blatt an; dies liegt daran, dass die Chloroplasten von der Außenfläche (senkrechte Position zu dem einstrahlenden Licht) zu der Seitenfläche (längs von den Zellwänden, parallel zu dem einstrahlenden Licht) wandern. Dieser Effekt war stärker in jungen Blättern zu finden, und die SPAD-Werte variierten je nach Stellung der Chloroplasten (Außenfläche und Seitenflächen des Blattes) bis zu einer 35%igen Änderung des Mittelwertes des SPAD und des realen Chlorophylls (Naus *et al.*, 2010).

Wenn man die Dicke und Anzahl der Palisadenparenchymschichten berücksichtigt, gibt es Unterschiede zwischen den Genotypen. Im Vergleich der Mittelwerte der Blattdicke stellt sich

heraus, dass sie zwischen den Normalwerten angesiedelt sind. Genotyp 'Gawi' weist die größte Dicke auf (493,47 μm) und Genotyp F die geringste Dicke (358,03 μm). Demnach gibt es Unterschiede zwischen den *Stevia*-Pflanzen, die auf einzelne intrinsische genetische Faktoren zurückzuführen sind. In Untersuchungen zur genetischen Verbesserung von *Stevia* in Paraguay variierte die Blattdicke zwischen 210 – 460 μm mit einer typischen Abweichung von 39,14 (Molero, 1984).

Die Daten für das spezifische Blattgewicht im Jahr 2009 für den Genotyp 'Gawi' lagen bei 12,35 mg/cm^2 und bei 7,39 mg/cm^2 für Genotyp F. Der Unterschied liegt vor allem an der Dicke des Palisadenparenchyms. Genotyp 'Gawi' zeigt signifikante Unterschiede zu den anderen Genotypen; dies belegt, dass dieser Genotyp an hohe Einstrahlungen adaptiert ist (Salisbury and Ross, 1992). Pflanzen, die an Sonne angepasst sind, haben ein höheres Gewicht, sind größer, und die Zellen ihres Palisadenparenchyms sind dicker oder können eine zusätzliche Schicht bilden.

Der Fehler im Mittelwert der SPAD-Messung liegt an den verschiedenen Gehalten an Chlorophyll der verschiedenen *Stevia*-Genotypen und an ihrer unterschiedlichen Blattanatomie. Signifikante Unterschiede finden sich in der Blattdicke ebenso wie in der Anzahl an Palisadenparenchymschichten. Die untersuchten Blätter wurden zufällig ausgesucht, so dass nicht alle das gleiche Alter und somit nicht alle die gleiche Verteilung des Chlorophylls im Blatt aufwiesen.

Die Daten lassen sich an ein lineares Modell anpassen, da viele Untersuchungen einen linearen Zusammenhang zeigen (Yadava, 1986; Schaper und Chako, 1991), während für andere polynomische Modelle (Castelli et al., 1996; Bindi et al., 2002) oder exponentielle Gleichungen (Markwell et al., 1995; Uddling et al., 2007) besser geeignet sind.

5.1.1.3 Ertrag und Süßstoff

Die Analysen zeigten, dass Genotyp 'Gawi' den besten Ertrag im Feld erreichte, mit dem höchsten Trockengewicht (g) an Stängel und Blättern. Wenn man diesen Ertrag mit den Werten von Bürling (2007) in Borken (147,36 g TM /Pflanze) und in Klein-Altendorf (106,25 g TM /Pflanze) mit denjenigen im Freilandversuch von 2009 vergleicht, zeigte 'Gawi' mit 256,99 g TM/Pflanze, so dass dieser Genotyp die Produktion in Borken um 174,4% übertraf.

In Klein-Altendorf und Borken wurden die Pflanzen Ende Mai 2006 direkt in den Boden gepflanzt. Die klimatischen Bedingungen in Borken waren wie folgt: Niederschlag im Juni von 38,2 mm, im Juli 31,1 mm und im September 8,9 mm. Der regnerischste Monat war August, mit 146 mm. Die Globalstrahlung lag im Juni bei 178 kWh/m^2 , im Juli bei 198

kWh/m², im August bei 108 kWh/m² und im September bei 88 kWh/m². Die Durchschnittstemperaturen lagen bei 17,03 °C im Juni, bei 22,65 °C im Juli, bei 15,85 °C im August und im September bei 18,01 °C.

Die *Stevia*-Pflanzen wurden am 15.05.2009 am Standort Bonn (INRES) in Container gepflanzt, die mit einem für das Wachstum optimierten Substrat gefüllt waren. Sie wurden jeden zweiten Tag gegossen, wenn es nicht geregnet hatte. Die Globalstrahlung betrug 158,46 kWh/m² im Juni, 159,73 kWh/m² im Juli, im August 149 kWh/m² und im September 92,37 kWh/m². Die Durchschnittstemperatur lag bei 21°C im Juni, bei 25,1°C im Juli, bei 25,2 °C im August und im September bei 20,5°C.

Diese Werte unterstreichen die Bedeutung von Wasser und Temperatur für den Ertrag der Pflanzen. Für ein ideales Wachstum muss der Boden 43 bis 47% Feuchte aufweisen (Goenadi, 1983), so dass sich damit der Effekt des Regens im Jahr 2009 erklären lässt. Wenn man die Daten der Strahlung analysiert und sie mit den Standorten Bonn und Borken vergleicht, war die Strahlung in Bonn im August und September 2009 höher als die Gesamtstrahlung von Juni und Juli 2006 in Borken. Der höhere Ertrag am Standort Bonn liegt möglicherweise an synergetischen Effekten zwischen der guten Wasserversorgung und einer höheren Sonneneinstrahlung. Je stärker das Wachstum, desto größer die Blattmasse und umso besser die Lichtaufnahme, mit welcher größere Mengen an CO₂ fixiert werden können. Im Jahr 2009 war auch die Temperatur höher, so dass die enzymatischen Reaktionen schneller ablaufen konnten. Somit wurde die Effizienz der Pflanze hinsichtlich der Speicherung von Trockenmasse verbessert. Ein anderer Faktor, der eine Rolle spielte, war die Länge der Kulturdauer im Freiland, da die Pflanzen dort bessere Möglichkeiten hatten, die Ressourcen zu erschließen, die für das Wachstum und die Entwicklung wesentlich sind.

Die Ertragsunterschiede zwischen den Genotypen beruhen darauf, dass einige effizienter waren als andere, wie z.B. in Bezug auf die Umgebungsbedingungen, unter denen sie wuchsen.

Für den Gehalt an Steviosid und Rebaudiosid A zeigen die Daten, dass Genotyp 'Gawi' im Jahr 2006 bei Freilandkultur im gewachsenen Boden einen Gehalt an Steviosid von 9,7% und an Rebaudiosid A von 3,9% hatte (Lankes *et al.*, 2008). Diese Werte ähneln denen des Jahres 2009, mit 9,5% bzw. 4,5% bei Containerkultur unter Freilandbedingungen. Dies spricht für eine höhere Biomasseproduktion aufgrund besserer Wachstumsbedingungen unter den von uns untersuchten Bedingungen und nicht für veränderte Gehalte an Steviosid und Rebaudiosid A. In Kolumbien hatte Genotyp C (Meta) einen Gehalt an Rebaudiosid A von 13,81% und an Steviosid von 2,36% (Caicedo, 2008; nicht publizierte Daten).

Nach Yadav *et al.* (2011) besteht das Hauptziel bei der Verwendung von *Stevia* als Quelle von natürlichem Süßstoff darin, neue Sorten zu züchten, die einen hohen Gehalt an Rebaudiosid A und einen geringeren Gehalt an Steviosid aufweisen. In Abbildung 5.1 sind die Rebaudiosid A Werte dargestellt, mit Genotyp 'Gawi' als Referenz (100%).

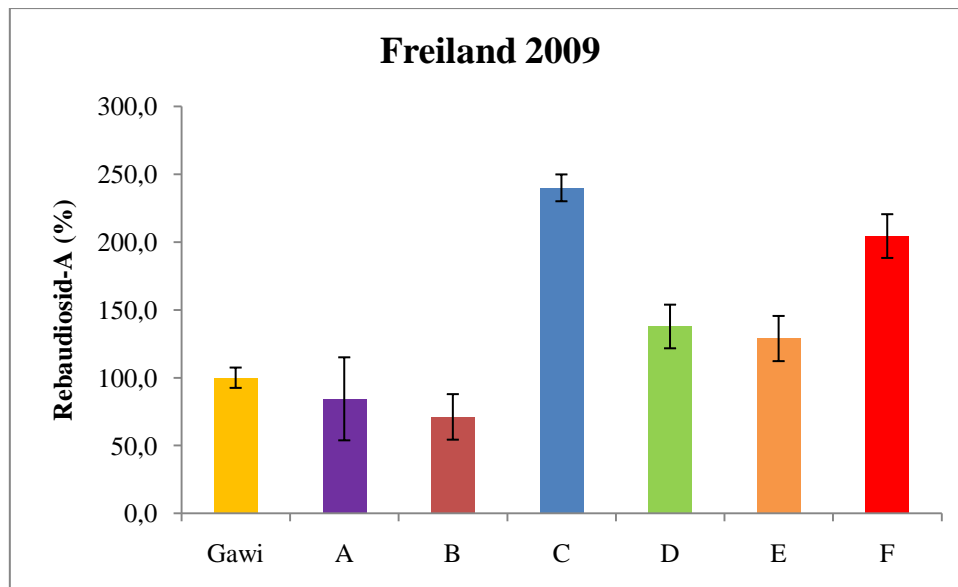


Abb. 5.1: Rebaudiosid A-Gehalte von sieben *Stevia*-Genotypen mit 'Gawi' (100%) als Referenz.

Im Vergleich zwischen den Erträgen der Blätter und der Menge an Rebaudiosid A zeigt Genotyp 'Gawi' einen geringeren Gehalt an Rebaudiosid A als die Genotypen C, D, E und F (Tab.5.3).

Tabelle 5.3: Produktion an Blättern, Rebaudiosid-A, und Steviosid in g/Pflanze.

Genotyp	Blätter (TM in g)	Rebaudiosid-A-Gehalt (%)	Ertrag Rebaudiosid-A (g/Pflanze)	Steviosidgehalt (%)	Ertrag Steviosid (g/Pflanze)
Gawi	105,35	4,5	4,74	9,5	10,00
A	48,3	3,8	1,8	6,4	3,09
B	60,64	3,2	1,94	9,2	5,57
C	117,36	10,8	12,67	1,8	2,11
D	57,84	6,2	3,58	5,3	3,06
E	88,78	5,8	5,14	6,6	5,85
F	70,62	9,2	6,49	3,0	2,11

Der Genotyp E weist auch einen hohen Gehalt an Rebaudiosid-A in g/Pflanze auf sowie einen hohen prozentualen Gehalt an Steviosid. Diese Eigenschaft teilt er mit den Genotypen A und B (Tab. 5.3).

5.2 Einfluss der Folienbedachung auf ausgewählte Leistungsparameter

5.2.1 Sprosswachstum

Sprosslänge

Die unterschiedlichen Einstrahlungsbedingungen (Freiland-, FEP- und PE-Versuch) zeigten Einflüsse auf das Wachstum. Unter Freilandverhältnissen war das Wachstum geringer als im FEP- und PE-Versuch (Tab. 4.9). Dieser Effekt ist auf die Temperaturunterschiede zwischen Freiland und FEP- bzw. PE-Folientunnel zurückzuführen. Im Freiland waren sie immer niedriger als unter den Folientunnelbedingungen. Nach Taiz (2003) beeinflusst die Temperatur die photosynthetischen Reaktionen, so dass bei höheren Temperaturen die Photosyntheseleistung bis zur Kompensation durch die ebenfalls ansteigenden Atmungsraten ansteigt.

Das Wuchsverhalten der Genotypen 'Gawi' und D, die zum Zeitpunkt der Ernte die größte Wuchshöhe erreichten, und das der Genotypen C und F mit geringster Höhe folgte unter allen Einstrahlungsbedingungen dem gleichen Modell. Das bestätigt die Gruppierung der Genotypen in solche mit stärkerem und andere mit geringerem Wachstum.

Die Datenanalyse zum Wachstum zeigt, dass die Pflanzen einem linearen Wachstumsmodell folgten, mit Bestimmtheitsmaßen zwischen 96,7% und 99,7%. Genotyp 'Gawi' ließ unter den FEP- und PE-Bedingungen die gleiche Zuwachsrate erkennen: 0,72 cm/Tag, ähnlich dem des Genotyps D, mit 0,89 cm/Tag (Tab. 5.4).

Tab. 5.4: Zuwachs im Freiland, FEP- und PE- Tunnel 2009.

Genotyp	Freiland	R ²	FEP	R ²	PE	R ²
Gawi	$Y=22,713 + 0,5818X$	0,997	$Y=23,712 + 0,7272X$	0,997	$Y=22,598 + 0,7272X$	0,997
C	$Y=33,243 + 0,3035X$	0,976	$Y=37,761 + 0,4458X$	0,967	$Y=36,595 + 0,5349X$	0,984
D	$Y=22,106 + 0,6592X$	0,986	$Y=21,176 + 0,8972X$	0,983	$Y=20,569 + 0,895X$	0,986
F	$Y=12,58 + 0,4248X$	0,973	$Y=15,081 + 0,5479X$	0,975	$Y=14,969 + 0,6053X$	0,981

Pude (2002) berichtet, dass im Folientunnel größere Wuchshöhen als im Freiland erreicht werden können. Im Folientunnel steigt die Temperatur infolge der Wärmespeicherung und werden die Pflanzen vor schnellen Temperaturänderungen geschützt.

Anzahl an Nodien

Die Anzahl an Nodien zeigt die gleiche Reaktion wie das Wachstum zum Zeitpunkt der Ernte. Die größte Anzahl an Nodien war unter den FEP- und PE-Bedingungen zu beobachten, die jedoch keinen Unterschied untereinander aufwiesen. Im Freiland war die Anzahl an Nodien am geringsten. Die geringeren Temperaturen während der Wachstumszeit beeinflussten nicht signifikant die Bildung der Nodien sondern die Länge der Internodien, da es signifikante Unterschiede in der Höhe der Pflanzen gab.

Seitentriebe

Die Ergebnisse belegen, dass es keinen Effekt der Folienbedachungen (FEP und PE) und der Freilandbedingungen auf die Bildung von Seitentrieben gab. Dies weist darauf hin, dass die Anzahl an Trieben für jeden Genotyp spezifisch ist.

5.2.2 Blatteigenschaften

Die SPAD-Werte zeigen im Allgemeinen keinen Unterschied bezüglich der Reaktion jedes Genotyps auf die Einstrahlungsbedingungen. Es zeigt sich die Tendenz $F > D > C > \text{'Gawi'}$. Die Gehalte an Chlorophyll-a und Chlorophyll-b zeigen die gleiche Tendenz. Die Daten des Chlorophylls haben eine ähnliche Tendenz unter den drei Einstrahlungsbedingungen. Es scheint so, als hätte die PAR keinen signifikanten Einfluss auf den Chlorophyllgehalt. Der Chlorophyllgehalt der Genotypen 'Gawi' und C lässt unter allen drei Versuchsbedingungen keinen signifikanten Unterschied erkennen. Die Reaktion ist ähnlich für die Genotypen F und D. Es bestätigt sich, dass für die Genotypen 'Gawi', C und F die Gehalte an Chlorophyll-a und -b die Reihenfolge $FEP > PE > \text{Freiland}$ zeigen. Eine Ausnahme bildete Genotyp D mit einer Reihenfolge $PE > FEP > \text{Freiland}$ (Abb. 5.2).

Die hohen Verhältniswerte von Chlorophyll-a/b sind typisch für Sonnenpflanzen. Die Gesamtgehalte an Chlorophyll in mg/g TM zeigen die gleiche Tendenz, aber wenn der Gesamtgehalt in $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ umgerechnet wird, wirkt sich die Blattdicke aus. Genotyp 'Gawi' hatte den höchsten Wert für das auf die Blattfläche bezogene spezifische Blattgewicht (mg/cm^2), so dass sich für den Gesamtgehalt an Chlorophyll höhere Werte ergaben. Da Genotyp C unter allen Einstrahlungsverhältnissen die höchsten Gehalte an Chlorophyll aufwies, hatte er den höchsten Gehalt an Gesamtchlorophyll (mg/g TM), ohne einen Unterschied zu Genotyp 'Gawi'- aufzuweisen. Auf die Blattfläche bezogen ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$) hatte Genotyp 'Gawi' immer höhere Werte als Genotyp C. Da die Werte des spezifischen Blattgewichtes für alle Lichtintensitäten ähnlich waren, zeigten die Gehalte an

Gesamtchlorophyll in mg/g TM und in $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ für alle Einstrahlungsbedingungen keine Unterschiede.

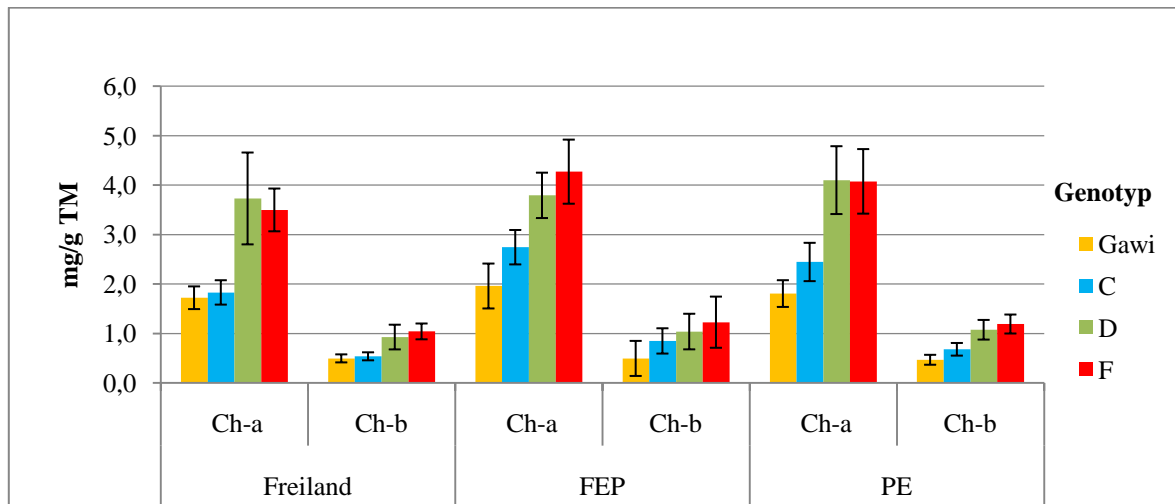


Abb. 5.2: Chlorophyll-a (Ch-a) und Chlorophyll-b (Ch-b) bei vier *Stevia*-Genotypen unter verschiedenen Einstrahlungsverhältnissen.

Die Untersuchungen der Blattanatomie ergaben, dass die dicksten Blätter bei Genotyp 'Gawi' zu finden waren und dies für alle Lichtintensitäten. Das Palisadenparenchym zeigte die gleiche Tendenz; das Schwammparenchym war bei Genotyp C dicker als bei Genotyp 'Gawi'. Nur im PE-Versuch war es bei Genotyp 'Gawi' dicker. Die Analyse aller Werte belegt, dass die größte Dicke sich wie folgt ordnen lässt: Freiland > PE > FEP. Der größte Unterschied bestand beim Schwammparenchym, das im Freiland dicker war als im PE- und FEP-Versuch (Abb. 5.3).

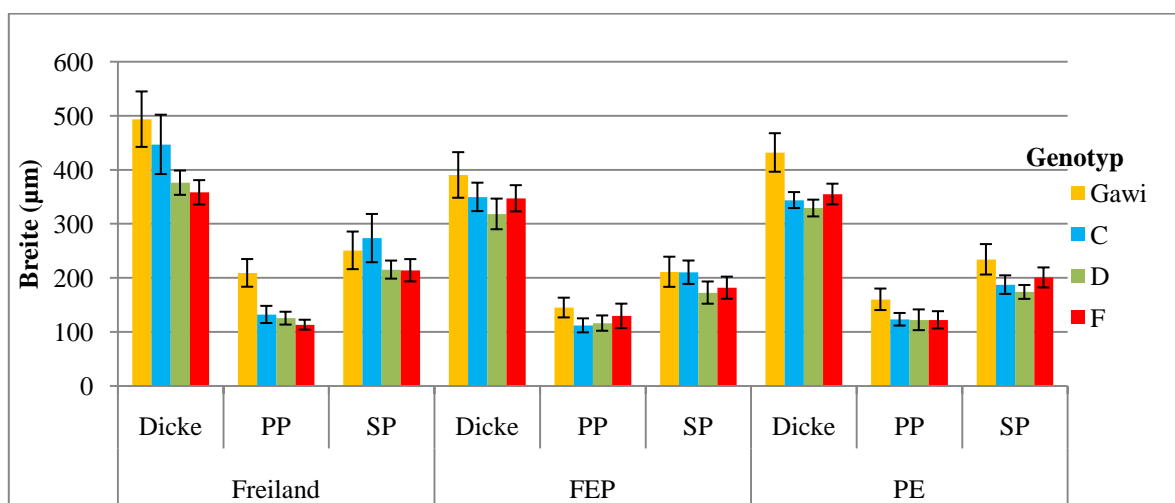


Abb. 5.3: Blattdicke sowie Breite von Palisaden- und Schwammparenchym bei vier *Stevia*-Genotypen unter verschiedenen Einstrahlungsverhältnissen.

Die Daten für die Anzahl der Parenchymschichten zeigten, dass die höchste Anzahl bei Genotyp 'Gawi' unter allen Einstrahlungsverhältnissen (Freiland > PE > FEP) zu finden war. Die Genotypen F und D zeigten eine geringere Anzahl im Freilandversuch, jedoch war der Unterschied nicht signifikant (Abb. 5.4).

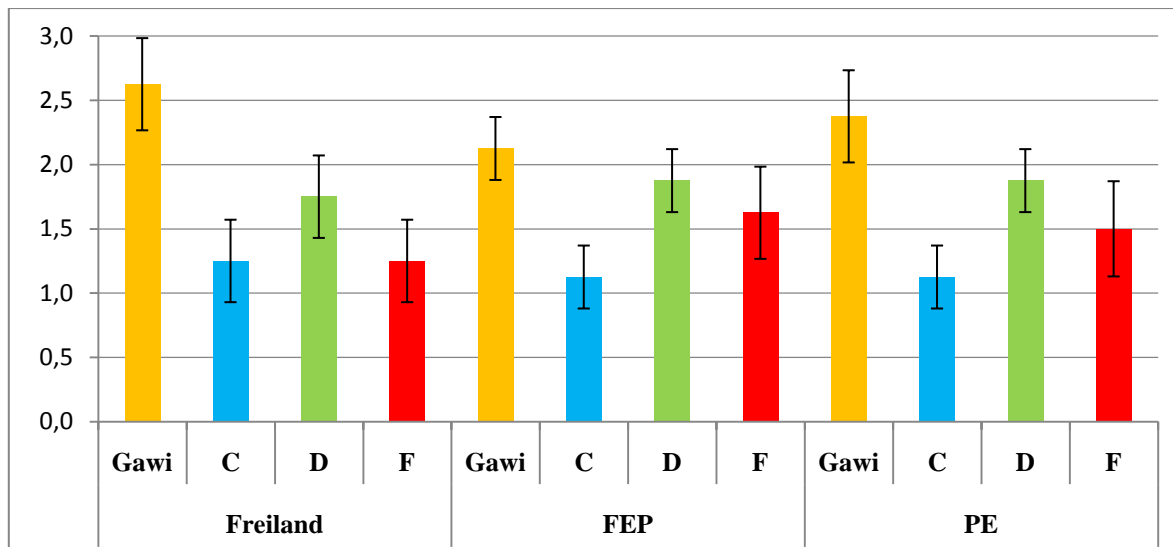


Abb. 5.4: Anzahl der Palisadenparenchymschichten bei vier *Stevia*-Genotypen unter verschiedenen Einstrahlungsverhältnissen.

Es lässt sich schließen, dass im Freiland die Blattdicke vor allem von der Dicke des Schwammparenchyms bestimmt wird. 'Gawi'-Genotyp und Genotyp C zeigten die höchste Anzahl an Palisadenparenchymschichten im Freilandversuch. Nur der Genotyp F verhielt sich anders im Freiland: Die Dicke der Blätter nahm zu, die Anzahl der Palisadenparenchymschichten nahm ab, woraus ein Anstieg der Dicke des Schwammparenchyms folgt. Eine mögliche Erklärung wäre eine Anpassung an die Umgebungsbedingungen. Allerdings hatten die untersuchten Blätter (nach zufälliger Auswahl) manchmal mehr, manchmal weniger Licht bekommen als andere.

Die obere und untere Epidermis zeigte unterschiedliche Reaktionen der Genotypen auf die verschiedenen Einstrahlungsverhältnisse.

5.2.3 Ertrag und Süßstoff

Die Werte für den Ertrag dokumentieren, dass bei den Genotypen 'Gawi' und D, die Bildung von Stängel- und Blattmasse wie folgt abnahm: FEP > PE > Freiland. Genotyp C zeigte eine Abnahme wie folgt: Freiland > PE > FEP. Für Genotyp F war die Produktion unter den drei Versuchsbedingungen ähnlich. Möglicherweise ist die Reaktion der Genotypen 'Gawi' und D

darin begründet, dass beide bei höheren Temperaturen in der Bildung von Biomasse effizienter sind. Die Konzentration von Chlorophyll-a nimmt auch in der Reihenfolge FEP > PE > Freiland ab. Genotyp C entwickelt sich besser bei niedrigen Temperaturen als die Genotypen 'Gawi' und D. Genotyp F weist unter allen drei Versuchsbedingungen ähnliche Reaktionen auf.

Das Verhältnis Blatt/Stängel ist für Genotyp C unter allen Einstrahlungsverhältnissen größer als bei den anderen Genotypen. Bei den Genotypen 'Gawi' D und F ist es am geringsten. In diesem Zusammenhang weist Genotyp C ein optimales Blatt/Stängel-Verhältnis auf.

Der Gehalt an Steviosid war höher bei Genotyp 'Gawi' und bei allen anderen geringer. Dies war für alle Einstrahlungsverhältnisse der Fall.

Die Genotypen C und D haben einen hohen Gehalt an Steviosid unter der FEP- und PE-Bedingung; unter der Freiland-Bedingung war er geringer. Genotyp F zeigte Ähnlichkeiten unter allen Versuchsbedingungen.

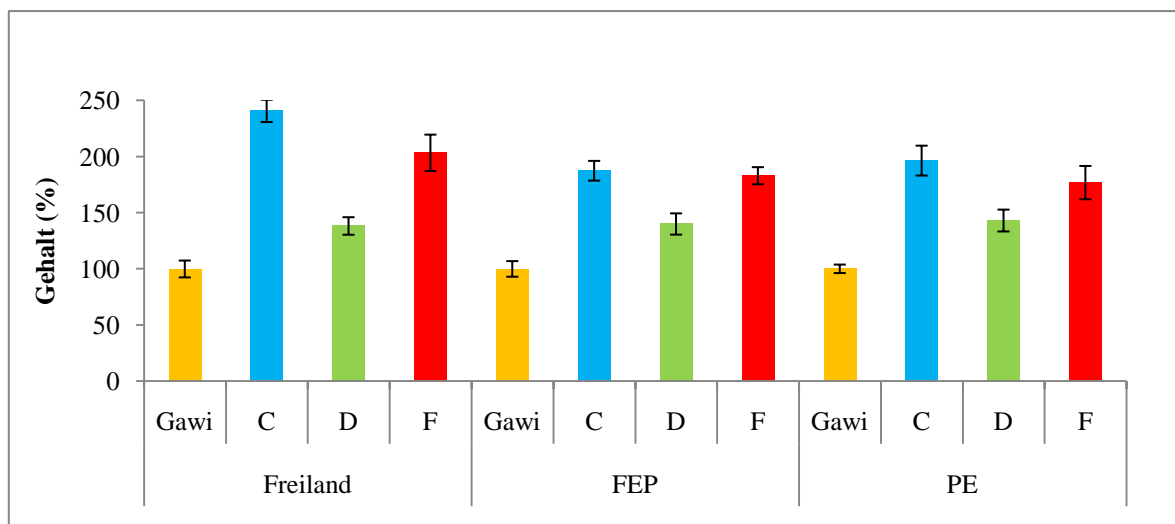


Abb. 5.5: Rebaudiosid A Gehalt bei vier *Stevia*-Genotypen unter verschiedenen Einstrahlungsverhältnissen 2009. Als Referenz dient Genotyp 'Gawi' (100%).

Die Analyse des Gehalts an Rebaudiosid A (als Referenzwert diente der Gehalt von Genotyp 'Gawi', der auf 100% gesetzt wurde) zeigt, dass er unter Freilandbedingungen einen Wert von 240,65% bei Genotyp C erreichte und 203,35% im Genotyp F, die damit den Gehalt von Genotyp 'Gawi' deutlich übertrafen (Abb. 5.5).

Die Genotypen D und F ließen unter Freilandbedingungen sowie FEP- bzw. PE-Folienbedachung ähnliche Gehalte erkennen. Genotyp C zeigte im Freiland-Versuch einen höheren Rebaudiosid A, aber einen geringeren Steviosid-Gehalt im Vergleich zu den

Folienbedachungen. Dies belegt ein unterschiedliches Verhalten der Genotypen unter den drei Versuchsbedingungen.

5.3 Leistungsvergleich bei geringer natürlicher Einstrahlung 2010

5.3.1 Klimadaten im Vergleich 2009 mit 2010

Im Jahr 2010 lagen die Erträge deutlich unter denen des Jahres 2009. Dies liegt an den klimatischen Bedingungen, die für die Entwicklung der Pflanzen suboptimal waren. Die Temperaturen im Freiland werden in Abbildung (Abb. 5.6) dargestellt. 2010 war es im Vergleich zu 2009 deutlich kälter, so dass alle metabolischen Prozesse der Pflanzen eingeschränkt wurden.

Im FEP- und PE-Versuch waren die Temperaturen ähnlich. Sie zeigten untereinander keinen Unterschied (F-Test) (Abb. 5.6).

Ein weiterer Faktor, der ebenfalls die geringen Erträge erklären kann, ist die Verteilung der Strahlung: Im Jahre 2010 gab es im Vergleich zu 2009 eine deutlich geringere Sonneneinstrahlung (Abb. 5.7).

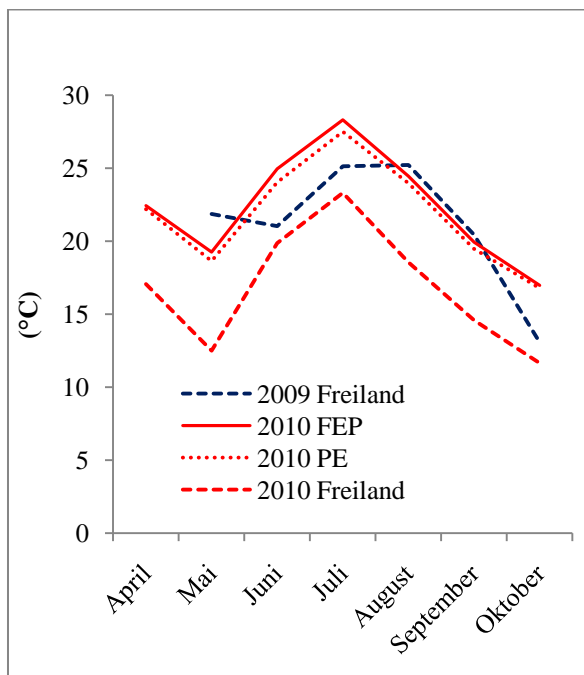


Abb. 5.6: Vergleich der Temperaturen in den Jahren 2009 und 2010.

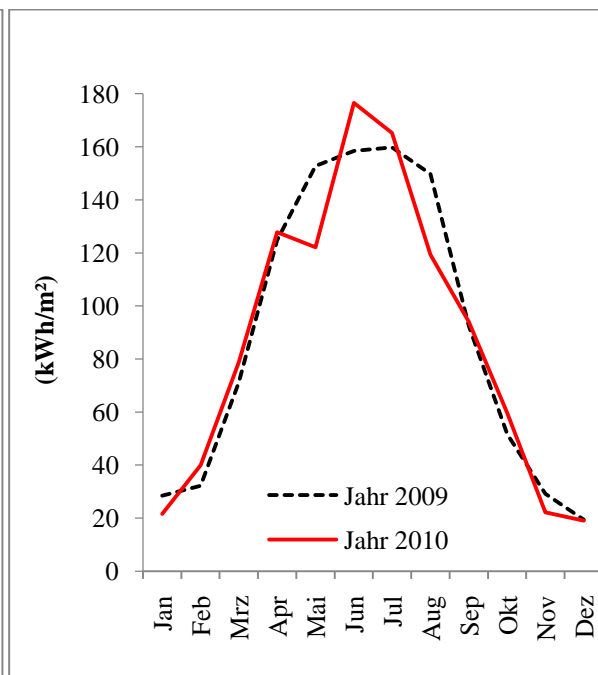


Abb. 5.7: Vergleich der Globalstrahlung in den Jahren 2009 und 2010.

Beim Vergleich der Gesamtstrahlung und der durchschnittlichen Temperaturen im Freiland in den Jahren 2009 und 2010 zeigt sich, dass im Juli und August 2009 die Temperatur um die 25 °C lag; im September lag sie bei 20,5 °C. In den gleichen Monaten des Jahres 2010 lagen die

Temperaturen im Freilandversuch im Juli bei 23,3 °C, im August bei 18,6 °C und im September bei 14,6 °C.

Die Gesamtstrahlung im August 2009 lag bei 149,76 kWh/m² und 2010 bei 119,38 kWh/m². Die Auswirkungen dieser Strahlung schlagen sich in der Photosynthese nieder (Coll *et al.*, 2001)).

Die relative Luftfeuchte war niedriger im Jahr 2009 als im Jahr 2010. Nach Coll *et al.* (2001) schließen die Pflanzen ihre Stomata, wenn die umgebende relative Luftfeuchte abnimmt, damit sie nicht zu viel Wasser durch die Transpiration verlieren, da der Unterschied des Wasserpotentials zwischen dem Blatt und der Umgebung (Atmosphäre) steigt. Die Umgebungstemperatur war im Folientunnel höher als im Freiland, wobei die Bodentemperatur im Folientunnel niedriger war als im Freilandversuch. Dies liegt daran, dass die Pflanzen im Folientunnel dreimal täglich bewässert wurden. Dies führte infolge höherer Bodenfeuchte zu einer geringeren Bodentemperatur. Im Freiland wurden die Pflanzen in Abhängigkeit von den natürlichen Niederschlägen jeden zweiten Tag oder einmal am Tag bewässert.

5.3.2 Wuchsleistung und Ertrag 2010 (ab Mitte April)

5.3.2.1 Sprosslänge und Anzahl an Nodien

Bei den Untersuchungen ab Mitte April 2010 war unter den FEP- und PE-Folienbedachungen das Längenwachstum der Pflanzen ähnlich. Das geringste Wachstum wurde im Freilandversuch beobachtet, wobei die Pflanzen Mitte April aus dem Gewächshaus direkt ins Freiland gestellt worden waren. Regelmäßige Bewässerung reicht nicht aus, um das Wachstum der Pflanzen zu gewährleisten; eine hohe Intensität und gute Verteilung von Strahlung und Temperatur sind ebenso wichtig. Nach Mizukami *et al.* (1983) liegt die optimale Durchschnittstemperatur für das Wachstum und den Gehalt an Süßstoffen bei 25/20 °C Tag/Nacht. Daher wurden die besten Blatterträge (g TM/Pflanze) und die höchsten Rebaudiosid A Gehalte (%) in den Folientunneln erzielt. Die Art der Abdeckung (FEP oder PE) beeinflusste das Wachstum nicht signifikant.

Die mathematischen Modelle für das Wachstum im Jahr 2010 waren im Vergleich zu 2009 nicht linear. Einige erwiesen sich als quadratisch oder zeigten, dass die Pflanzen am Ende der Untersuchungen eine positive Reaktion (besseres Wachstum) offenbarten. Möglicherweise liegt dies daran, dass sie mehr Blätter hatten, so dass mehr Strahlung für die metabolischen Prozesse und die Photosynthese aufgenommen werden konnte. Genotyp C zeigte immer eine

lineare Wachstumskurve; er reagierte in diesem Sinne nicht und behielt seine Wachstumsrate konstant über die gesamte Zeit bei (Tab. 5).

Tab. 5.5: Mathematische Modelle für das Wachstum der *Stevia*-Genotypen für die verschiedenen Lichtintensitäten im Jahr 2010.

Genotyp	Modell	R ²
	FEP ab Mitte April	
Gawi	$Y=5,8174 + 0,4055X + 0,0011X^2$	0,997
C	$Y=5,888 + 0,3014X$	0,98
D	$Y=8,1728 + 0,3313X + 0,0018X^2$	0,995
F	$Y=12,108 + 0,0905X + 0,0017X^2$	0,995
PE ab Mitte April		
Gawi	$Y=1,0357 + 0,5866X$	0,992
C	$Y=6,0762 + 0,3007X$	0,989
D	$Y=6,4948 + 0,3839X + 0,0014X^2$	0,995
F	$Y=11,584 + 0,1666X + 0,0017X^2$	0,996
Freiland direkt ab Mitte April		
Gawi	$Y=3,8591 + 0,03796X$	0,99
C	$Y=6,9067 + 0,1619X$	0,992
D	$Y=11,845 + 0,1534X + 0,0008X^2$	0,992
F	$Y=6,9067 + 0,1619X$	0,994

Die Anzahl an Nodien war geringer im Freilandversuch und ähnlich für beide Folienbedachungen bei einer Kulturzeit ab Mitte April. Dies unterstreicht, dass die niedrigen Temperaturen das Wachstum und die Bildung der Nodien beeinflussten.

5.3.2.2 Blatteigenschaften

Im Allgemeinen zeigten die SPAD-Werte bei allen Einstrahlungsverhältnissen keine Unterschiede zwischen den Genotypen (einschließlich Genotyp 'Gawi'). Die Gehalte an Chlorophyll-a (mg/Pflanze), Chlorophyll-b (mg/Pflanze) und Gesamtchlorophyll (mg/Pflanze) zeigten, dass sich die Genotypen in zwei Gruppen unterteilen lassen: I) Genotypen 'Gawi' und C, mit einem niedrigen Gehalt an Chlorophyll; II) Genotypen D und F, mit einem hohen Gehalt an Chlorophyll. Der Unterschied zwischen den Genotypen 'Gawi' und C im Gesamtchlorophyllgehalt ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$) ist in deren Blattdicke begründet, die bei Genotyp 'Gawi' größer ist als bei Genotyp C. Dies wird durch die Werte des spezifischen Blattgewichtes bestätigt. Bei den Untersuchungen ab Mitte April wies Genotyp 'Gawi' im FEP-Versuch ($10,96 \text{ mg}/\text{cm}^2$) und im PE-Versuch ($10,85 \text{ mg}/\text{cm}^2$) ähnliche Werte des spezifischen Blattgewichtes auf. Im Freilandversuch lag dieser Wert bei $8,98 \text{ mg}/\text{cm}^2$. Dies zeigt, wie die Pflanze auf die Einstrahlung und die Umgebungstemperatur reagiert hat. Die

Genotypen verhielten sich ähnlich unter allen Einstrahlungsbedingungen. Die Reihenfolge beim spezifischen Blattgewicht war 'Gawi' > C > D > F (s. Tab. 4.28).

Die Gehalte an Chlorophyll wiesen die gleiche Tendenz wie im Jahr 2009 auf. Die Genotypen C und 'Gawi' zeigten einen geringeren Gehalt an Chlorophyll-a und -b; die Genotypen D und F hatten einen höheren Gehalt. Das Verhältnis Chlorophyll-a/b blieb ebenso unverändert, weil es sich um eine genetisch bedingte Eigenschaft handelt (s. Tab. 4,11; und Tab, 4.20).

5.3.2.3 Ertrag (mit einer Ernte/Jahr)

Die Ertragsdaten für Stängel, Blätter und Gesamtproduktion folgen dem gleichen Modell wie die der Wuchshöhe und der Anzahl an Nodien für die Genotypen C, D und 'Gawi'. Die Reihenfolge war: FEP ab Mitte April > PE ab Mitte April > Freiland direkt ab Mitte April. Der Genotyp F zeigte keine Variationen zwischen allen drei Versuchsbedingungen.

Das Blatt/Stängel-Verhältnis (auf Basis des Trockengewichts) ist für die Genotypen 'Gawi' und C unter allen Versuchsbedingungen hoch, was die Schlussfolgerung erlaubt, dass Genotyp 'Gawi' sich im Jahr 2010 anders verhalten hat als im Jahr 2009. Im Jahr 2009 war die Strahlung unter allen Versuchsbedingungen höher als 2010. Die Genotypen D und F wiesen geringere Werte im FEP- und PE-Versuch auf (ab Mitte April); nur einmal war einer höher im Freilandversuch.

5.3.2.4 Süßstoff

Die relativen Gehalte an Steviosid, Rebaudiosid A und Gesamt-Süßstoffen, bezogen auf die Gehalte des Genotyps 'Gawi' (= 100%), waren 2010 niedriger. Genotyp C zeigte ähnliche Werte im FEP-Versuch und im PE-Versuch ab Mitte April; Genotyp 'Gawi' und die anderen Genotypen zeigten keine Unterschiede zwischen dem Freilandversuch ab Mitte April (Abb. 5.8): der Temperaturunterschied zwischen dem Freiland und den beiden Folientunneln hatte Auswirkungen auf die Bildung von Rebaudiosid A aus. Die höchste Temperatur ergibt bei den meisten Genotypen den höchsten Gehalt an Rebaudiosid A. Für Genotyp 'Gawi' erhöht sich der Gehalt an Rebaudiosid-A wie folgt: Freiland direkt ab Mitte April > FEP ab Mitte April > PE ab Mitte April.

Mizukami et al. (1983) nehmen an, dass die durchschnittliche optimale Temperatur für das Wachstum und den Gehalt an Süßstoffen bei 25°/20°C Tag/ Nacht liegt. Dies würde die hohen Erträge an Blättern und Rebaudiosid A in den Folientunneln erklären.

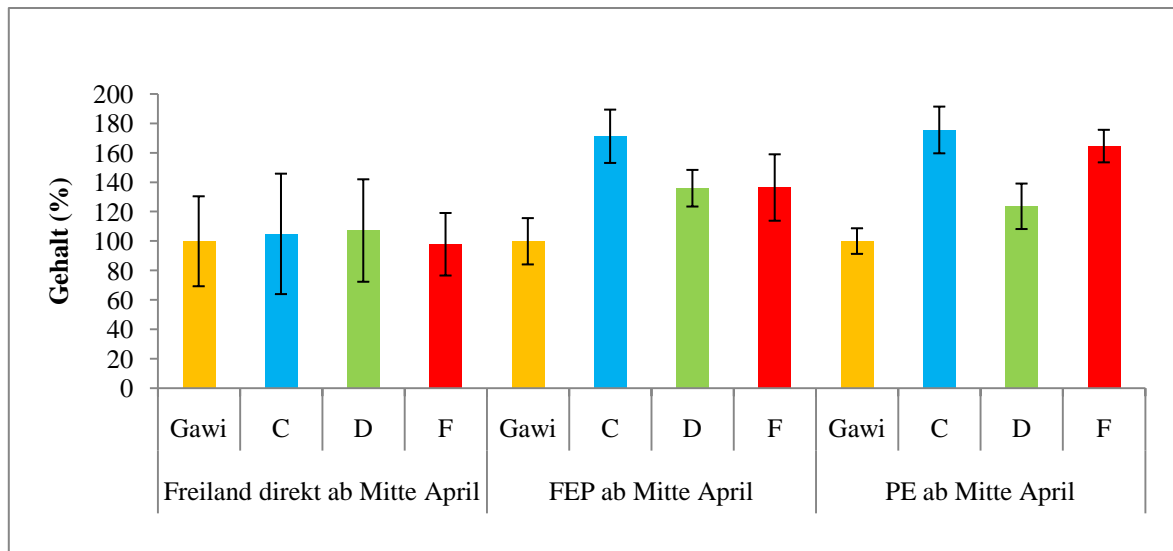


Abb. 5.8: Rebaudiosid A-Gehalt bei vier *Stevia*-Genotypen unter verschiedenen Einstrahlungsverhältnissen 2010. Als Referenz dient Genotyp 'Gawi' (100%).

5.3.2.5 Ertrag (mit zwei Ernten/Jahr)

Die Ergebnisse der Ernte dokumentieren, dass die Erträge, die durch zwei Schnitte erreicht wurden, auch in der Summe geringer sind als bei nur einem Schnitt zum Ende der Vegetationsperiode. Im FEP-Versuch von Mitte April zeigten sich die höchsten Erträge an Blättern und Stängeln. Die höchste Produktion erreichte Genotyp 'Gawi' mit 133,56 g/Pflanze; das sind 27% weniger als bei einem Schnitt. Genotyp C wies den geringsten Ertrag auf. Er erreichte nur 8,63 g/Pflanze im Freiland direkt ab Mitte April.

Wenn wir die Werte der Blattproduktion von dem Freilandversuch direkt ab Mitte April mit den Werten des FEP-Versuches ab Mitte April vergleichen, stellen wir fest, dass die Abnahme des Ertrags für den Genotyp 'Gawi' bei 68,2% lag, für den Genotyp C bei 77,5%, für den Genotyp D bei 61% und für den Genotyp F bei 25,9%. Dies zeigt uns, dass der Genotyp F besser für zwei Schnitte geeignet ist als die anderen Genotypen.

Infolge des Rückschnittes sind die neugebildeten Seitentriebe plagiotroph gewachsen. Durch heftige Regengüsse und starke Winde sowie Wildfraß wurden im Freiland viele Triebe geschädigt.

Aufgrund des geringen Ertrags konnte keine Analyse für den Gesamtgehalt an Süßstoff durchgeführt werden. Die Ergebnisse stimmten mit den Daten von Kienle (1993) aus Sevilla überein. Er arbeitete auch mit einem und zwei Schnitten; das Gewicht an Blättern und Stängeln ebenso wie das Wachstum und der Gehalt an Süßstoffen nahmen deutlich ab, wenn zwei Schnitte durchgeführt wurden.

5.3.3 Wuchsleistung und Ertrag 2010 (ab Mitte Mai)

5.3.3.1 Sprosslänge und Anzahl an Nodien

Tab. 5.6: Mathematische Modelle für das Wachstum von vier *Stevia*-Genotypen unter den drei Einstrahlungsverhältnissen im Jahr 2010.

Genotyp	Modell	R ²
	Freiland ab Mitte Mai aus FEP	
Gawi	$Y=7,5948 + 0,3482X$	0,987
C	$Y=5,0234 + 0,3557X - 0,0012X^2$	0,97
D	$Y=8,3696 + 0,2559X$	0,995
F	$Y=11,43 + 0,1974X$	0,997
Freiland ab Mitte Mai aus PE		
Gawi	$Y=5,4987 + 0,3866X$	0,993
C	$Y=5,2673 + 0,2617X - 0,3866X^2$	0,981
D	$Y=8,4271 + 0,2296X$	0,995
F	$Y=12,624 + 0,1657X$	0,995
Freiland direkt ab Mitte Mai		
Gawi	$Y=-2,3775 + 0,471X$	0,994
C	$Y=-7,0119 + 0,4443X - 0,001X^2$	0,998
D	$Y=-8,6915 + 0,4653X$	0,995
F	$Y=5,2071 + 0,3823X$	0,991

Die Daten zeigen, dass die Wuchshöhe der Pflanzen für die Versuchsvarianten „Freiland ab Mitte Mai aus dem FEP-Versuch“, „Freiland ab Mitte Mai aus dem PE-Versuch“ und „Freiland direkt ab Mitte Mai“ einen hoch signifikanten Unterschied zu denen der Versuchsvarianten von Mitte April aufwiesen (FEP ab Mitte April, PE ab Mitte April und Freiland direkt ab Mitte April) (Tab. 4.25). Dies belegt, dass eine Vorkultur von einem Monat im FEP-Folientunnel oder PE-Folientunnel eine Auswirkung auf das Wachstum der Pflanzen hatte. Darüber hinaus ist zu berücksichtigen, dass den Pflanzen in der Versuchsvariante „Freiland direkt ab Mitte Mai“ zum Zeitpunkt der Ernte im Oktober nur 145 Tage Vegetationszeit zur Verfügung standen im Vergleich zu denen in der Vorkultur ab Mitte April mit 175 Tagen. Die Pflanzen, die Mitte Mai direkt aus dem Gewächshaus im Freiland aufgestellt worden waren, zeigten ein stärkeres Wachstum als die Pflanzen der Behandlungen „Freiland ab Mitte Mai aus dem FEP-Versuch“ und „Freiland ab Mitte Mai aus dem PE-Versuch“ sowie im Freilandversuch direkt ab Mitte April, obwohl sie einen Monat jünger waren.

Das Modell mit bester Annäherung an das Wachstum der Pflanzen war linear. Nur bei Genotyp C entsprach die Reaktion einer quadratischen Gleichung. Dies entsprach möglicherweise der besten Reaktion am Ende der Untersuchung (Tab. 5.6).

Die Anzahl an Nodien zeigte wenige Unterschiede zwischen den verschiedenen Einstrahlungsbedingungen für die Versuchsvarianten ab Mitte Mai.

5.3.3.2 Blatteigenschaften

Die Gehalte an Chlorophyll-a und -b sowie Gesamtchlorophyll in mg/g TM und in $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ hatten die gleichen Tendenzen. Die Ausnahme war Genotyp D, der erhöhte Konzentrationen an Chlorophyll-a und -b bei gleichem Chlorophyll-a/b Verhältnis aufwies.

Der Gesamtgehalt an Chlorophyll in mg/g war höher für alle Bedingungen im Mai. Wenn er jedoch in $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ umgerechnet wurde, waren seine Werte ähnlich zu den Ergebnissen von April. Dies liegt daran, dass die Blätter aus den Untersuchungen ab Mitte Mai im Allgemeinen geringere Werte beim spezifischen Blattgewicht hatten.

5.3.3.3 Ertrag (mit eine Ernte/Jahr)

Die Trockenmasse von Blättern und Stängeln und das Gesamtrockengewicht waren bei Genotyp 'Gawi' höher in der Variante „Freiland ab Mitte Mai aus dem FEP-Versuch“ und „Freiland ab Mitte Mai aus dem PE-Versuch“ als bei „Freiland direkt ab Mitte Mai“. Dies zeigt den Effekt der Vorbehandlung in den Folientunneln für die Akklimatisierung, der bei den anderen Genotypen deutlich geringer war.

Eine weitere Ertragssteigerung war im FEP- bzw. PE-Folientunnel ab Mitte April zu erzielen. Diese Auswirkungen sind Temperatur bedingt, da die Pflanzen unter dem Schutz der Folientunnel besser wachsen konnten. Eine Ausnahme stellt Genotyp F dar, der in der Variante „Freiland ab Mitte Mai“ die höchste Produktion an Blättern und Stängel erzielte. Er erreichte dabei die Blattproduktion des Genotyps 'Gawi' (ca. 50 g/Pflanze). Dies zeigt eine gute Anpassung an die lokalen Standortbedingungen (s. Tab. 4.29).

5.3.3.4 Süßstoff

Die Auswirkungen auf die Produktion an Steviosid, Rebaudiosid A und Gesamtsüßstoff bestehen in geringeren Gehalten bei den Varianten ab Mitte Mai im Vergleich zu den Behandlungen ab Mitte April. Nur Genotyp F zeigte im Freilandversuch ab Mitte Mai einen hohen Gehalt an Rebaudiosid A (6,05%) im Vergleich zu den anderen Versuchsvarianten. Im Vergleich zu den anderen Genotypen wird er nur von Genotyp C übertroffen (FEP ab Mitte April mit 6,56% und im PE-Versuch ab Mitte April 6,2%). Es lässt sich daraus schließen, dass Genotyp F sich besser als Genotyp C den wechselnden Umweltbedingungen anpassen kann.

5.3.3.5 Ertrag (mit zwei Ernten/Jahr)

Die Behandlungen im Freiland ab Mai zeigten keine hohen Erträge. Im Vergleich der Freilandvarianten waren die höchsten Werte in der Variante „Freiland ab Mitte Mai aus dem FEP-Versuch“ und „Freiland ab Mitte Mai aus dem PE-Versuch“ zu beobachten. Genotyp 'Gawi' lieferte stets die höchsten Werte.

Die Behandlung im Freiland direkt ab Mitte Mai war ähnlich zu dem Freilandversuch direkt ab Mitte April. Dies zeigt, dass eine Vorkultur von einem Monat im Folientunnel die Erträge verbessert, da die Temperaturen der Umgebung höher und ausgeglichener sind (s. Tab. 4.31).

6 Schlussfolgerungen

Die Auswertungen der Versuche, in denen die Genotypen von *Stevia rebaudiana* verschiedenen Einstrahlungsbedingungen ausgesetzt wurden, um das Wachstum und die Produktion der Süßstoffe in den gemäßigten Breiten Europas zu verbessern, erlauben folgende Aussagen:

- *Stevia rebaudiana* Bertoni, deren natürliche Umgebung zwischen dem 21. und 22. Breitengrad (Süd) liegt, reagiert mit einem besseren Wachstum, wenn sie in höheren Breitengraden (ca. 50°) kultiviert wird.
- Genotyp 'Gawi' ist der Genotyp, der am besten an die Standortbedingungen dieser höheren Breitengrade angepasst ist. Er zeigt signifikante Unterschiede in der Produktion von Blättern im Vergleich zu den anderen untersuchten Genotypen.
- Für die untersuchten Bedingungen, wurde die Bestimmung des Chlorophylls anhand der SPAD-502 Minolta im Feld durchgeführt. Sein Wert korreliert mit dem Gesamtgehalt an Chlorophyll, ausgedrückt in $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ mit $r = 0,83\%$, so dass ein lineares Modell erstellt werden konnte: $Y = -21,51 + 1,27739X$, mit einem Bestimmtheitsmaß $R^2 = 0,70$. So kann der SPAD-Wert benutzt werden, um auf eine effektive und schnelle Art und Weise den Chlorophyllwert zu erfassen – und dies dank einer nicht-invasiven Methode. Möglicherweise muss er jedoch dann für jeden Stevia-Genotyp neu kalibriert werden, da die Genotypen verschiedene Blattdicken aufweisen. Somit kann eine höhere Genauigkeit erzielt werden.
- Der Gebrauch von Folientunneln mit einer Abdeckung aus Norton FEP-Film, FG (Perfluorethylenpropylen-Copolymer) und aus PE-Gärtnerfolie-FVG Sun 5 Pro (Polyethylen 200 μm) wirkte sich positiv aus auf die Wuchshöhe der Pflanze (cm), auf das Trockengewicht der Stängel (g/Pflanze), auf das Trockengewicht der Blätter (g/Pflanze), auf Chlorophyll-a (mg/g TM), Chlorophyll-b (mg/g TM), auf das Verhältnis Chlorophyll-a/b sowie auf den Gesamtgehalt an Chlorophyll (mg/g TM und $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ Blattfläche). Der Gebrauch der Folientunnel zeigte eine positive Wirkung, um die Pflanzen gegen die variablen klimatischen Bedingungen zu schützen. Der Zeitpunkt des Auspflanzens kann vorgezogen werden; die Photoperiode und die Intensität der Strahlung des Frühlings können besser ausgenutzt werden.

- Die Produktion an Steviosid und Rebaudiosid A zeigte keinen signifikanten Unterschied zwischen FEP- und PE-Folientunnel und der Freilandbedingung. Die Genotypen mit der höchsten Produktion an Rebaudiosid A waren C (10,8%), D (7,1%) und F (9,2%). Sie können als "Gen-Quelle" betrachtet werden für die Züchtung verbesserter Sorten.
- Die anatomischen Studien der Blätter zeigten, dass im Allgemeinen die Pflanzen, die unter Freilandbedingungen kultiviert worden waren, eine größere Blattdicke aufwiesen: Eine Zunahme der Anzahl von Palisadenparenchymschichten konnte beobachtet werden, ebenso wie eine Verdickung des Schwammparenchyms. Genotyp 'Gawi' zeigte die größte Dicke (493 µm). Die größere Blattdicke entsteht durch die höhere Strahlung, so dass die Blätter sich in ihrer Morphologie anpassen, um diese höhere Strahlung nutzen zu können.
- Im Jahr 2010 zeigten alle Genotypen aufgrund der ungünstigeren klimatischen Bedingungen einen geringeren Ertrag und einen geringeren Gehalt an Steviosid und Rebaudiosid A im Vergleich zum Jahr 2009, und dies unter allen untersuchten Bedingungen (FEP ab Mitte April; PE ab Mitte April; Freiland direkt ab Mitte April; einen Monat im FEP, dann im Freiland ab Mitte Mai; einen Monat im PE, dann im Freiland ab Mitte Mai; Freiland direkt ab Mitte Mai). Sonneneinstrahlung und Temperatur haben also einen Einfluss auf die Bildung von Steviosid und Rebaudiosid A.
- Unter den europäischen Bedingungen zeigen die Ergebnisse, dass es nicht ratsam ist, zwei Ernten im Jahr durchzuführen.
- Die klimatischen Bedingungen im Juli und August, ebenso wie der Schnitt Ende Juli resultierten in niedrigen Erträgen im Vergleich zu einem einmaligen Schnitt zu Ende der Vegetationszeit. Daher wird empfohlen, unter den klimatischen Bedingungen in Europa nur einen Schnitt durchzuführen.

7 Literaturverzeichnis

- Akita , M., Shigeoka, T., Koizumi, Y., and Kawamura, M., 1994.** Mass propagation of shoots of *Stevia rebaudiana* using a large scale bioreactor. *Plant Cell Reports* **13**: 180-183.
- Àlvarez, E., 2010.** Mejoramiento Genético de la *Stevia rebaudiana* en Paraguay; Avances y logros en el país de origen. Pure Circle .
- Alvim, P.T., and Kozlowski, T.T., 1977.** Ecophysiology of Tropical Crops. Climate, Chapter 1. Academic Press. New York, San Francisco and London.
- Amat, A.G., 1982.** Los principios activos edulcorantes de *Stevia rebaudiana* Bert. estado actual del conocimiento. *Acta Farm. Bonaerense* **1(2)**: 121-3.
- Andolfi, L., Macchia, M., and Ceccarini, L., 2006.** Agronomic-productive Characteristics of two genotype of *Stevia Rebaudiana* in Central Italy. *Ital. J. Agrn./riv. Agrn.* **2**: 257-262.
- Arturo, M.C., Torres, G.C., Peña, E.J. Díaz, J.E., 2009.** Microorganismos patógenos de *Stevia rebaudiana* Bert. *Bioagro* **21(3)**: 173-178.
- Azcón-Bieto, J., Talón M., 2000.** Fundamentos de Fisiología Vegetal. Ed. McGraw-Hill, Interamericana. España.
- Banerjee, M., and Sarkar, P., 2008.** In vitro callusing in *Stevia rebaudiana* Bert. using cyanobacterial media-a novel approach to tissue culture. *International Journal of Integrative Biology*. *IJIB* **3(3)**: 163-168.
- Bindi, M., Hacour, A., Vandermeiren, K., Craigon, J., Ojampera, K., Sellden, G., Hogy, P., Finnan, J., and Fibbi L., 2002.** Chlorophyll concentration of potatoes grown under elevated carbon dioxide and/or ozone concentrations. *Eur. J. Agron.* **17**: 319-335.
- Boileau, A., and Curry, Leslie. 2009.** Stevia update-regulatory status in the United States, in Stevia in Europe. Proceedings of the 3rd Stevia symposium organized by EUSTAS.

- Bondarev, N.I., Sukhanova, o.v., Nosov, a.m., 2003.** Steviol glycoside content in different organs of *Stevia rebaudiana* and its dynamics during ontogeny. *Biologia Plantarum* **47**(2): 261-264.
- Boonkaewwan, C., Toskulkao, C., and Vongsakul, M.J., 2006.** Anti-inflammatory and immunomodulatory. Activities of Stevioside and its Metabolite Steviol on THP-1 Cells. *J. Agric Food Chem* **54**: 785-789.
- Brandle, J.E., 1999.** Genetic control of rebaudioside A and C concentration in leaves of the sweet herb, *Stevia rebaudiana*. *Canadian Journal of Plant Science* **79**(1): 85-92.
- Brandle, J.E., and Rosa, N., 1992.** Heritability for yield, leaf: stem ratio and stevioside content estimated from a landrace cultivar of *Stevia rebaudiana* Bert. *Canadian Journal of Plant Science* **72**(4): 1263-1266.
- Brandle, J.E., Richman, A., Swanson, A.K., and Chapman, B.P., 2002.** Leaf ESTs from *Stevia rebaudiana*: a resource for gene discovery in diterpene synthesis. *Plant Molecular Biology* **50**, 613–622.
- Brandle, J.E., Starratt, A.N. and Gijzen, M., 1998.** *Stevia rebaudiana*: Its agricultural, biological, and chemical properties. *Canadian Journal of Plant Science*. **78**: 527-536.
- Brandle, J.E., Telmer, P.G., 2007.** Steviol glycoside biosynthesis. *Phytochemistry* **68**, 1855-1863.
- Bürling, K., 2007.** Entwicklung von *Stevia rebaudiana* (Bertoni) unter dem Einfluss von verschiedenen Anzucht- und Standortbedingungen. Diplomarbeit der Landwirtschaftlichen Fakultät der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität zu Bonn.
- Cabanillas, C., and Diaz, M.P., 1999.** Influence of the conditions of storage on seed quality of *Stevia rebaudiana* Bert. *Acta Horticulturae* **502**, 255-259.
- Campbell, J.W., and Aarup, T., 1989.** Photosynthetically available radiation at high latitudes. *Limnol. Oceanogr.*, **34**(8): 1490-1499.
- Carneiro, J.W.P., 1990.** *Stevia rebaudiana* Bert. Production of seed. (M.Sc Thesis), State University of Maringa, Brazil.

- Casaccia, J. y Alvarez, E., 2006.** Recomendaciones técnicas para una producción sustentable del KA'A HE'E (*Stevia rebaudiana* Bert.) en el Paraguay. Ministerio de agricultura, dirección de investigación agrícola. Instituto Agronómico Nacional, programa de investigación de KA'A HE'E. Manual Técnico N° 8.
- Castelli, F., Contillo, R., and Miceli F., 1996.** Non-destructive determination of leaf chlorophyll content in four crop species. *J. Agron. Crop. Sci.* **177**: 275-283.
- Coll, J.B., Rodrigo, G.N., García. B.S. y Tamés, R.S., 2001.** Fisiología vegetal. Ediciones Piramide. Madrid España.
- CTM Cooperativa Tabacalera de Misiones. 2011.** CTM informes *Stevia* Argentina.
- Darise, M., Kohda, H., Mizutani, K., Kasai, R., and Tanaka, O., 1983.** Chemical constituents of flowers of *Stevia rebaudiana* Bertoni. *Agricultural and Biological Chemistry* **47**: 133-135.
- Das, K., Dang, R., Shivananda, T.N., and Sur, P., 2005a.** Interaction Between Phosphorus and Zinc on the Biomass Yield and Yield Attributes of the Medicinal Plant *Stevia rebaudiana* Bert. *The Scientific World Journal* **5**: 390-395.
- Das, K., Dang, R., Shivananda, T.N., and Sur, P., 2005b.** Interaction Between Phosphorus and Zinc on their Availability in Soil in Relation to their Contents in *Stevia rebaudiana* Bert. *The Scientific World Journal* **5**: 490-495.
- EAFIT, Escuela de Administración y Finanzas Internacionales. 2004.** Inteligencia de mercados internacionales de *Stevia rebaudiana*. Documento elaborado para la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural de Antioquia. Departamento de Negocios Internacionales, Medellín, Colombia.
- EFSA (European Food Safety Authority), 2010.** Scientific Opinion on the safety of steviol glycosides for the proposed uses as a food additive, EFSA Panel on Food Additives and Nutrient Sources added to Food. Parma, Italy. *EFSA Journal* **8**(4): 1537.
- Eimern, J.V. und Häckel, H., 1979.** Wetter und Klimakunde. Verlag Eugen Ulmer Stuttgart.

- Esfahani, M., Abbasi, H.R.A., and Rabiei, B., 2008.** Improvement of nitrogen management in rice paddy fields using chlorophyll meter (SPAD). *Paddy Water Environ* **6**: 181-188.
- Falasca, S y A. Ulberich. 2004.** Algunos aspectos del clima del hábitat natural de *Stevia rebaudiana*. Vectores, revista tecnológica. Universidad Tecnológica Nacional, Buenos aires **I**: 159-172.
- Federico, A.P., Ruas, P.M., Morales, M.A.M., Ruas, C.F., and Nakajima, J.N., 1996.** Chromosome studies in some *Stevia* Cav. (Compositae) species from Southern Brazil. *Brazilian Journal of Genetics* **19**(4): 605-609.
- Ferreira, C.M. and Handro, W., 1988.** Production, maintenance and plant regeneration from cell suspension cultures of *Stevia rebaudiana* Bert. *Plant Cell Reports* **7**: 123-126.
- Ferry, L.A., Alves-Do. P. W., Yamada, S.S.,Gazola, S., Bastista, M.R., and Bazote R.B., 2006.** Investigation of antihypertensive effect of oral crude stevioside in patients with mild essential hypertension . *Phytother Res.* **20**: 732-736.
- Filho, O.F., Manavolta, E., Sena, J.O.A., y Carneiro, J.W.P., 1977.** Uptake and accumulation of nutrients in *Stevia rebaudiana* Bert. I Macronutrients. *Scientia Agricola.* **54**(1-2): 14-22.
- Filho, O.F., Manavolta, E., Sena, J.O.A., y Carneiro, J.W.P., 1977.** Uptake and accumulation of nutrients in *Stevia rebaudiana* Bert. II Micronutrients. *Scientia Agricola.* **54**(1-2): 23-30.
- Filho, O.F.L., Mlavolta, E., 1997.** Sintomas de desordens nutricionais em etavia *Stevia rebaudiana* Bert. *Scientia Agricola* **54**(1-2): 53-61.
- Fronza, D., and Folegatti, M.V., 2003.** Water consumption of the *Stevia rebaudiana* Bert. Crop estimated through microlysimeter. *Scientia Agricola* **60**(3): 595-599.
- Gardner, F.P., Pearce, R.B., and Mitchell, R.L., 1985.** Physiology of Crop Plants. Iowa State University Press: Ames.
- Geeraert, B., Crombe, F., Hulsmans, M., Benhabilès., Geuns, J., and Holvoet, P., 2009.** Natural sweetener stevioside inhibits atherosclerosis by increasing the antioxidant

defense in obese, insulin-resistant mice. In: *Stevia* in Europe. Proceedings of the 3rd Symposium organised by EUSTAS, KULeuven. 49-62.

Geuns, J.M., 2003. Stevioside. *Phytochemistry* **64**, 913-921.

Geuns, J., Buyse, J., Vankeirsbilck, A., and Temme E., 2007. Metabolism of stevioside by healthy volunteers. *Exp. Biol. Med.* **232**: 164-173.

Global Market: The demand for Stevia is bound to exceed supply:
<http://vedratrade.com/images/documents/dossiermktsteviaengvdef.pdf>

GLG Life Tech Corporation Announces of New Patents and Acceptance of New Patent Applications. 2011.

GLG Life Tech Corporation Introduces New Stevia Leaf Strain for 2009 Crop. 2009.
Vancouver, B.C.

Goenadi, D.H., 1983. Water tension and fertilization of *Stevia rebaudiana* on oxic tropudalf soil. *Menara Perkebunan* **51**: 85-90.

GSI (Global Stevia Institute), 2011. International *Stevia* Council Statement on EFSA's Steviol Glycosides intake assement conclutions. January 27.

Guarav, S.S., Singh, Y.P., and Sirohi, S.P.S., 2008. Genetic Variability for Yield and Quality Traits in *Stevia rebaudiana* Bert. *Progressive Research* **3**(1): 95-96.

Guevara-García, A., San Román, C., Arroyo, A., Cortes, M.E., de la Luz Gutierrez-Nava, M., León, P., 2005. Characterization of the Arabidopsis clb6 mutant illustrates the importance of posttranscriptional regulation of the methyl-D-erythritol 4-phosphate pathway. *Plant Cell* **17**, 628–643.

Harmut, K. L., 2004. El estrés y la medida del estrés en plantas. En la ecofisiología vegetal, una ciencia de síntesis Reigosa. M.J., Pedrol, N., Sánchez A. 2004 Thonsom E.D. España.

Hsieh, M.H., Goodman, H.M.,(2006). Functional evidence for the involvement of Arabidopsis IspF homolog in the nonmevalonate pathway of plastid isoprenoid biosynthesis. *Planta* **223**, 779-784.

- Huang, J.L., He, F., Cui, K.H., Buresh, R.J., Xu, B., Gong, W.H., and Peng, S.B., 2008.** Determination of optimal nitrogen rate for rice varieties using a chlorophyll meter. *Field Crops Research* **105**: 70-80
- Huang, Y.S., Guo, A.G., 1995.** Studies on the variation content and selection of type R-A in *Stevia rebaudiana*. *Journal of plant Resources and environment* **4**(3): 28-32.
- Hwang, S.J., 2006.** Rapid in Vitro Propagation and Enhanced Stevioside Accumulation in *Stevia rebaudiana* Bert. *Journal of Plant Biology* **49**(4). 267-270.
- Jain, P., Kachhwaha, S., and Kothari, S.L., 2009.** Improved micropropagation protocol and enhancement in biomass and chlorophyll content in *Stevia rebaudiana* Bert. By using high copper levels in the culture medium. *Scientia Horticulturae* **119**: 315-319.
- Jalanpalmer. 2010.** Hours of daylight vs latitude vs day of year.png. Wikipedia.
- James, W.O., 1953.** Plant Respiration. Oxford Univ. Press, London and New York.
- Jarma, A., Rengifo, T., y Araméndiz H., 2005.** Aspectos fisiológicos de estevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) en el Caribe colombiano. I. Efecto de la radiación incidente sobre el área foliar y la distribución de biomasa. *Agronomía Colombiana* **23**(2), 207-216.
- Jarma, O.A., 2008.** Environmental suitability and integrated management studies in *Stevia rebaudiana* Bert.: a new agro-industrial alternative for the Colombian Caribbean. A review. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, **2**(1): 110-121.
- Jenet, A., 1996.** Die Süßstoffpflanze *Stevia rebaudiana* Bert. Physiologie und Anbau, wirtschaftliche Nutzungsmöglichkeiten und kulturelle Bedeutung bei den Guaraní in Paraguay. Diplomarbeit, Universität Kassel.
- Jia, G.N., 1984.** An experiment on the cultivation of *Stevia rebaudiana* Bert. *Shanxi Agricultura Science Shanxi Nongye Kexuen* **1**, 20-21.
- King, R.M., and Robinson, H., 1987.** The genera of the Eupatorieae (Asteraceae). Monographs in Systematic botany from the Missouri Botanical Garden **22**:170-175.

- King, R.M., Hyhos, D.W., Powell, A.M. Raven, P.H., and Robinson, H., 1976.** Chromosome numbers in Compositae. XIII. Eupatorieae. *Ann. Mo. Bot. Gard.* **63**: 862-888.
- Kinghorn, A.D., 1987.** Biologically active compounds from plants with reputed medicinal and sweetening properties. *Journal of Natural Products* **50**(6): 109-1024.
- Kinghorn, A.D., 2002.** Stevia. The genus *Stevia*. Edited by A.Douglas kinghorn. Department of Medicinal Chemistry and Pharmacognosy. University of Illinois at Chicago. USA.
- Klienle, U., 1993.** Einfluß von Bewässerung und Schnittfolge auf den Ertrag von *Stevia rebaudiana* in Südsanien. Göttinger Beiträge zur Land- und Forstwirtschaft in den Tropen und Subtropen, Heft. **84**, p 144.
- Kobayashi, M., Horikawa, S., Degrandi, I.H., Ueno, j., and Mitsuhashi, H., 1977.** Dulcosides A and B, new diterpene glycosides from *Stevia rebaudiana*. *Phytochemistry* **16**: 1405-1408.
- Kohda, H., Kasai, R., Yamasaki, K., Murakami, K., and Tanaka, O., 1976.** New sweet diterpene glucosides from *Stevia rebaudiana*. *Phytochemistry* **15**: 981-983.
- Kornienko, A.V. et al., 1995.** *Stevia* cultivation (Russian). *Sakharnaya Svekla* **10**: 22-24.
- Krywult, M., Smykla, J., Kinnunen, H., Martz, F., Sutinen, M.L., Lakkala, K. and Turunen, M., 2008.** Influence of solar UV radiation on the nitrogen metabolism in needles of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) *Environmental Pollution* **156**: 1105-1111.
- Kudo, M. and Koga, Y., 1977.** Photoperiodic response and its variation in *Stevia rebaudiana* Bert. *Japanese Journal of Tropical Agriculture* **20**: 211-217.
- Lambert ,H., Poorter, H., 1992.** Inherent variation in growth rate between higher plants: a search for physiological causes and ecological consequences . *Adv. Ecol. Res.* **23**: 187-261.
- Landázuri, A. P., Tigrero, S.J., 2009.** *Stevia rebaudiana* Bert. una planta medicinal. Escuela Politecnica del Ejercito, Departamento de ciencias de la vida, carrera de ingeniería en ciencias agropecuarias. 33 pgs.

- Lankes, C., and Pude, Ralf., 2008.** Possibilities for Growth of *Stevia* in European Temperate Zones. In *steviol glycosides: Technical and pharmacological aspects*.2 *Stevia Symposium* organized by EUSTAS. KULeuven. Chapter 7: 103-115.
- Lankes, C., Spörl, S., Kreuzberg und Engel, K., 2005.** In vitro kultivierung von *Stevia rebaudiana* Bertoni. Institut für Nutzpflanzenwissenschaften und Ressourcenschutz (INRES) Gartenbauwissenschaft – Auf dem Hügel 6, D-53121 Bonn (Deutschland).
- Lankes, C., und Pude, R. 2007.** Zur Anzucht von *Stevia*-Phlanzen. *Gemüse*, **3**: 23-26
- Lankes, C., und Spörl, S., 2006.** Vermehrung von *Stevia rebaudiana* Bertoni für den Anbau unter mitteleuropäischen Klimabedingungen. *Gemüsebau/Garten und Landschaft „Urbanes Grün“*, 90 BHGL – Tagungsband **24**.
- Lee, J.I. et al., 1978.** The high yielding *Stevia rebaudiana* variety Suweon 2 (Korea). S. Korea, Office of Rural Development: *Annual research repor.*, **21**: p.21.
- Lee, J.I. et al., 1982.** New high rebaudioside-A *Stevia rebaudiana* variety Suweon 11. *Research Reports of the Office of Rural Developmen, Crop.*, **24**:186-188.
- Ludlow, M.M., 1982.** Measurent of Solar Radiation, Temperature and Humidity. In *Techniques in Bioproductivity & Photosynthesis* Ed. J Coombs & D.O. Hall. Pergamon Press.
- Madan, S., Ahmad, S., Singh, G.N., Kohli, K., Kumar, Yatendra., Singh, R., and Garg. M., 2010.** *Stevia rebaudiana* Bert. A Review. *Indian Journal of Natural Products and Resources* **1**(3): 267-286.
- Markwell, J., Osterman, J.C. and Michell, J.L., 1995.** Calibration of the Minolta SPAD-502 leaf chlorophyll meter. *Photosynth. Res.* **46**: 467-472.
- Martinez, L., Feresein, P., 2010.** Informe ensayo exploratorio del cultivo de *Stevia rebaudiana* en un suelo de la Carlota. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Estación Experimental Marcos Juárez. Argentina.
- Matsukubo, T., and Takazoe I., 2006.** Sucrose substitutes and their role in caries prevention, *Int Dent J.* **56**: 119-130.

- Megeji, N.W., Kumar, J.K., Singh, V., Kaul, V.K., and Ahuja, P.S., 2005.** Introducing *Stevia rebaudiana* a natural zero-calorie sweetener. *Curr. Sci.* **88**(5): 31-35.
- Metivier, J., and Viana, A. M., 1979.** The effect of long and short day upon the growth of whole plants and the leaves of *Stevia rebaudiana* Bert. *Journal of Experimental Botany* **30**(119): 1211-1222.
- Midmore, D.J., and Rank, A.H., 2002.** A new rural industry Stevia to replace imported chemical sweeteners. A report for the Rural Industries Research and Development Corporation. RIRDC Publication No. W02/022, 55 p.
- Mitsuhashi, H., Ueno, J., and Sumita, T., 1975.** Studies on the cultivation of *Stevia rebaudiana* Bert. Determination of stevioside II. *Journal of the Pharmaceutical Society of Japan* **12**:1501-1503.
- Miyazaki, Y., Watanabe, H., 1974.** Studies on the Cultivation of *Stevia rebaudiana* Bertoni; On the propagation of the plant (English abstr.). *Japan J. Trop. Agric* **17**: 154-157.
- Mizukami, H., Shiba, K., Inoue, S. and Okashi, H., 1983** Effect of Temperature on Growth and Stevioside formation of *Stevia rebaudiana* Bert. *Shoyakugaku Zasshi* **37**: 175-179.
- Mizushina, Y., Akihisa, T., Ukiya, M.m Hamasaki, Y. Nakai, C.M., Kuriyama, I., Takeuchi, T., Sugawara, F., and Yoshida, H., 2005.** Structural analysis of isosteviol and related compounds as DNA polymerase and DNA topoisomerase inhibitors. *Life Sci.* **77**: 2127-2140.
- Molero, J. F., 1984 b.** El Ka'a – He'e. Publicación Miscelanea nº11. *Ministerio de Agricultura y Ganadería*. Asunción. 75 p.
- Monteiro, R., 1982.** Estudos cromossômicos em *Stevia rebaudiana*-Série Multiaristatae no Brasil. *Rev. Bras. Bot.* **5**:5-15.
- Monteiro, R., 1982.** Taxonomía e biología da reprodução de *Stevia rebaudiana* (Bert.) Bertoni. I Seminario Brasileiro sobre *Stevia rebaudiana* Bertoni. IV 1. Resumos ITAL Campinas 9/82. Instituto de Tecnologia de Alimentos, Sao Paulo. Pagliosa.

- Müller, V., 2009.** Die bedeutung des Genotyps für die Wuchsleistung von *Stevia rebaudiana* Bertoni in der Anzuchtphase. Diplomarbeit. Landwirtschaftlichen Fakultät der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität zu Bonn.
- Naus, J., Prokopova, J., Rebicek, J., and Spundova, M., 2010.** SPAD chlorophyll meter reading can be pronouncedly affected by chloroplast movement. *Photosynthesis Research* **105**(3): 265-271.
- Oliveira, V.M., Martins, E.R.F., Magalhães, P.M., and Alves, M.N., 2004.** Chromosomal and morphological studies of diploid and polyploidy cytotypes of *Stevia rebaudiana* Bert. (Eupatorieae, Asteraceae). *Genet. Mol. Biol.* **27**(2): 215-222.
- Olivera, V.G., Rodríguez, S.G., y López; J.V., 2010.** Analisis de la situación del cluster de *Stevia* en Paraguay. Actualidad, perspectivas y desafíos para su desarrollo. *IJIE-Iberoamerican Journal of Industrial Engineering.* **1**(2): 2-25.
- Pude, R., 2005.** *Stevia*-Anbau lohnt sich. *Gemüse*, 10: 27-28.
- Pude, R., Schmitz-Eiberger, M., and Noga, G., 2005.** Development, yield and selected contents of *Stevia rebaudiana* L.Z. *Arzn.Gew.Pfl.*, August **1**: 37-43.
- Pure Circle Limited. 2010.** Biofunding Conferenze . 20th-21st July, Kuala Lumpur, Malaysia.
- Pure Circle Limited. 2010.** Annual report.
- Rajagopal, R., 2009.** *Stevia* as an alternative sweetener. Promise and Challenges. A Position Paper by Know Genix in line with *Stevia World 2009*. Knowgenix § Centre for Management Tecnology. *Stevia World Europe*.
- Rajagopal, R., 2009.** *Stevia* as a Mainstrem Sweetener! Emerging Sustainability & Market Challenges. Knowgenix § Centre for Management Tecnology. *Stevia World Europe*.
- Rajagopal, R., 2010.** Global *Stevia* industry perceptions report 2009. Knowgenix § Centre for Management Tecnology. *Stevia World Americas*.
- Ramesh, K., Singh, V., and Megeji N.W., 2006.** Cultivation of *Stevia rebaudiana* Bert. A Comprehensive Review, in: *Advances in Agronomy*, by Donald, L.S., Academic Press, **89**: 137-177.

- REDIEX, (Red de Inversiones y Exportaciones). 2009. MAG** Desarrolla las variedades “eirete” y “katupyry” de ka’a he’e pero le exigen Plan Nacional. Asunción Paraguay.
- Sakamoto, I., Yamasaki, K., and Tanaka, O., 1977a.** Application of ¹³CNMR spectroscopy to chemistry of plant glycosides: rebaudioside-C, new sweet diterpene-glucosides of *Stevia rebaudiana* Bertoni. *Chemical and Pharmaceutical Bulletin* **25**: 844-846.
- Sakamoto, I., Yamasaki, K., and Tanaka, O., 1977b.** Application of ¹³CNMR spectroscopy to chemistry of plant glycosides: rebaudiosides-D and-E, new sweet diterpene-glucosides of *Stevia rebaudiana* Bertoni. *Chemical and Pharmaceutical Bulletin* **25**: 3437-3439.
- Salisbury, F.B., and Ross, C.W., 1992.** Plant Physiology. Fourth Edition. Wadsworth Publishing Company. Belmont, California.
- Schmeling, G.A., 1967.** Caá-heé: edulcorante natural não calórico (*Stevia rebaudiana* Bert.). *Boletim do Sanatório São Lucas* **29**:67-78.
- Schock, C.C., 09-10-1982.** Rebaudi’s *Stevia*: natural noncaloric sweeteners. University of California Division of Agricultural Sciences Reports of Progress in Research. California Agriculture **36**, Numbers 9 and 10.
- Schock, C.C., 04-1982.** Experimental cultivation of Rebaudi’s *Stevia* in California. Agronomy Progress Report 122, University of California, Davis.
- Schaper, H., and Chacko, E., 1991.** Relation between extractable chlorophyll and portable chlorophyll meter readings in leaves of 8 tropical and subtropical fruit-tree species. *Journal Plant Physiol* **138**, 674-677.
- Shizhen, S., 1995.** A study on good variety selection in *Stevia rebaudiana* Bert. *Scientia Agricultura Sinica* **28**(2): 37-42.
- Shyu. Y.T., Liu, S.Y., Lu, H.Y., Wu, W.K., and Su, C.G., 1994.** Effects of Harvesting Dates on the Characteristics, Yiel, and Sweet Components of *Stevia rebaudiana* Bert. Lines. *Jour. Agric. Res. China* **43**(1): 29-30.

- Soejarto, D. D., 2002.** *Botany of Stevia rebaudiana*. In *Stevia The genus Stevia*. Edited by A. Douglas Kinghorn. *Department of Medicinal Chemistry and Pharmacognosy University of Illinois at Chicago USA*. 18-39.
- Soejarto, D. D., Compadre, C. M., Medon, P. J., Kamath, S. K., and Kinghorn, A. D., 1983.** Potential sweetening agents of plant origin II. Field search for sweet-tasting *Stevia* species. *Economic Botany* **37**, 71-78.
- Soejarto, D.D., Kinghorn, A. D. and Farnsworth, N., 1982.** Potential sweetening agents of plant origin. III. Organoleptic evaluation of *Stevia* leaf herbarium samples for sweetness. *Journal of Natural Products* **45**, 590-599.
- Starratt, A.N., Kirby, C.W. Pocs, R., and Brandle, J.E., 2002.** Rebaudioside F, a diterpene glycoside from *Stevia rebaudiana*. *Phytochemistry* **59**: 367-370.
- Struyf, T., Chandia, N.P., Borggraeve, W., Dehaen, W., and Geuns, J.M.C., 2008.** Preparation of pure standards of steviol glycosides. Identification of steviol glycosides by LC-MS and NMR. In *steviol glycosides: Technical and pharmacological aspects*. 2 *Stevia Symposium organized by EUSTAS. KULeuven. Chapter 2*: 29-44.
- Sumida, T., 1980.** Studies on *Stevia rebaudiana* Bertoni M, introduced from Brazil as a new sweetness resource in Japan. *J. Cent Agric Exp Stn*, **31**:1-71.
- Sun Fruits LTD. 2010.** *Stevia*.
- Sutcliffe, J., 1978.** Plant and temperature. *Studies in Biology* .Edward Arnol. London. No.**86**.
- Tadhani, M.B., and Subhash, R., 2007.** In vitro antioxidant activities of *Stevia rebaudiana* Bert. leaves and callus, *J Food Comp Anal.* **20**: 323-329.
- Taiariol, D.R., 2005.** Caracterizacion de la *Stevia rebaudiana* Bert. <http://site.ebrary.com/lib/bibliotecaunillanossp/Doc?id=10092403>
- Taiariol, D., y Molina, N., 2010.** Producción de *Stevia rebaudiana* Bertoni (Ka'a He'ê) en Bella Vista (Corrientes), Análisis técnico y económico de una alternativa sustentable. EEA INTA Bella Vista Centro Regional Corrientes. Argentina. Serie-Técnica N° **37**. ISSN 1515-9299. 17 pp.

- Taiz, L., and Zeiger, E., 2003.** Plant physiology, Third edition, by Sinauer Associates, Inc. U.S.A.
- Takahashi, K., Matsuda, M., Ohashi, K., Taniguchi, K., Nakagomi, O., Abe, Y., Mori, S., Okutani, N.K., and Shigeta, S., 2001.** Analysis of anti-rotavirus activity of extract from *Stevia rebaudiana*. *Antiviral Res.* **49**: 15-24.
- Takahashi, K., Mori, S., Sato, N., and Shigeta, S., 2000.** Extracts of *Stevia rebaudiana* is a potent anti-rotavirus inhibitor *in vitro* and *in vivo*, *Antiviral Res.* **46**: A67.
- Tateo, F., Mariotti, M., Bononi, M., Lubian, E. Martello, S., and Cornara, L., 1998.** Stevioside content and Morphological Variability of *Stevia rebaudiana* Bert. From Paraguay. *Italian Journal of Food Science* **10**(3) 261-267.
- Torres, N. A., 04-2004.** Estudio del mercado de edulcorantes naturales. *Instituto de Investigaciones Alexander von Humboldt-Biocomercio.* 97 pgs.
- Totté, N., Charon, L., Rohmer, M., Compennolle, F., Baboeuf, I., Geuns, J.M.C., 2000.** Biosynthesis of the diterpenoid steviol, an ent-kaurene derivative from *Stevia rebaudiana* Bertoni, via the methylerythritol phosphate pathway. *Tetrahedron Lett.* **41**, 6407–6410.
- Totté, N., Van den Ende, W., Van Damme, E.J.M., Compennolle, F., Baboeuf, I., Geuns, J.M.C., 2003.** Cloning and heterologous expression of early genes in gibberellin and steviol biosynthesis via the methylerythritol phosphate pathway in *Stevia rebaudiana*. *Can. J. Bot.* **81**, 517–522.
- Tulasi. M., 2006.** *Stevia rebaudiana* Bertoni. Hand Book on Medicinal & Aromatic Plants (NEDFI). 79-83.
- Uddling, J., Gelang-Alfredsson, J., Piikki, K., Pleijel, H., 2007.** Evaluating the relationship between leaf chlorophyll concentration and SPAD-502 chlorophyll meter readings. *Photosynth. Res.* **91**:37-46.
- Utumi, M.M., Monnerat, P.H., Pereira, P.R. G., Fontes, P.C.R., and Godinho V. P.C., 1999.** Macronutrient Deficiencies in *Stevia rebaudiana*: Visual symptoms and effects on growth, chemical composition, and Stevioside Production. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira* **34**(6): 1039-1043.

- Valio, I.F.M., and Rocha, R.F., 1977.** Effect of Photoperiod and Growth Regulators on growth and flowering of *Stevia rebaudiana* Bert. *Japan Journal Crop Sci.* **46(2)**: 243-248.
- Weng, X.Y., Sun, J.Y., and Zang, R.C., 1996.** Study on the growth and physiological characteristics of *Stevia rebaudiana* SM4 . *Journal of Zhejiang Agricultural University* **22(5)**: 538-540.
- Wölwer-Rieck, U., Lankes, C., Wawrzun, A. and Wüst. M., 2010.** *European Food Research & Technology* **231(4)**: 581-588.
- Yadav, A.K., Dhyani, D., and Ahuja, P.S., 2011.** A review on the improvement of *Stevia rebaudiana* Bert. *Canadian Journal of Plant Science* **91(1)**: 1-27.
- Yadava, U.L., 1996.** A rapid and non-destructive method to determine chlorophyll in intact leaves. *Hortscience* **21**: 1449-1450.
- Yamazaki, T., Flores, H., Shimomura, K., Yoshihira, K. (1991).** Examination of steviol glucosides production by hairy root and shoot cultures of *Stevia rebaudiana*. *Journal of Natural Products* **54** (4), 986-992.
- Ying-Sen, H., and Ai-Gui, G. 1995.** Studies on the variation of steviosides content and selection of type R-A in *Stevia rebaudiana*. *Journal of Plant Resources and Environment.* **4(3)** 28-32.
- Yodyingyuad, V., and Bunyawong, S., 1991.** Effects of stevioside on growth and reproduction. *Human Repro.*, **6**: 158-165.
- Zaidan,L.B., Dietrich, S.M., and Felipe, G.M., 1980.** Effect of photoperiod on flowering and Stevioside content in plants of *Stevia rebaudiana* Bert. *Journal Crop Sci.* **49(4)**: 569-574.
- Zhuzhhalova, T.P., Znamenskaya, V.V., Kornienko, A.V., and Podvigina, O.A., 2004.** On *Stevia* selection. All-Russian Research Institute of Sugarbeet and Sugar, Ramenskii district, Voronezh region 396030, Russia. *Sakharnaya Svekla* **7**: 32-33.

