

Lehrstuhl für Gemüsebau der Technischen Universität München
Wissenschaftszentrum Weihenstephan, Freising

Einfluss von Salzstress auf den Metabolismus der Tomate
(*Lycopersicon esculentum* Mill.) - Auswirkungen auf die Qualität der
Frucht

Dipl.-Ing. agr. (Univ.) Sandra Krauß

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktors der Naturwissenschaften (Dr. rer. nat.)

genehmigte Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr. G. Rechkemmer

Prüfer der Dissertation: 1. Univ.-Prof. Dr. W. H. Schnitzler
2. Univ.-Prof. Dr. D. R. Treutter

Die Dissertation wurde am 21.11.2006 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt am 14.2.2007 angenommen.

Einfluss von Salzstress auf den Metabolismus der Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) - Auswirkungen auf die Qualität der Frucht

Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis	V
Abbildungsverzeichnis	VIII
Abkürzungsverzeichnis	XI
1 Einleitung	1
1.1 Wissensstand	1
1.2 Ziel der Arbeit	5
2 Material und Methoden	7
2.1 Pflanzenmaterial	7
2.2 Chemikalien	7
2.3 Lösungen und Puffer	9
2.4 Geräte	11
2.5 Verbrauchsmaterial	15
2.6 Allgemeine Versuchsbedingungen	16
2.7 Einstellen der Salzkonzentrationen	16
2.8 Anbau in einem geschlossen System	17
2.9 Anbau in einem offenen System	17
2.10 Lagerversuch	19
2.11 Atmungsrate	19
2.12 Histologische Untersuchungen	19
2.13 Probennahme	20
2.14 Übersicht Versuche	22
2.15 Ermittlung des vegetativen Pflanzenwachstums	24
2.16 Aufbereitung/Weiterverarbeitung der Proben	24
2.17 Gefriertrocknung	24
2.18 Messungen an den frischen Früchten	24
2.18.1 Einzelfruchtgewicht/Ertrag	24
2.18.2 Messung der löslichen Festbestandteile der Trockensubstanz/ des Zuckergehaltes	25

2.18.3	Bestimmung der Fruchtfestigkeit	25
2.18.4	Trockensubstanz.....	25
2.18.5	Farbmessung.....	25
2.19	Messung der titrierbaren Acidität	26
2.20	Extraktion von Pflanzeninhaltsstoffen	27
2.20.1	Carotinoide und Vitamin E	27
2.20.2	Phenole	27
2.21	Vitamin C.....	28
2.22	Bestimmung von antioxidativen Eigenschaften.....	29
2.22.1	ABTS-Entfärbeassay.....	29
2.22.2	Xanthinoxidase-Testsystem.....	30
2.23	Folin Ciocalteu Test	31
2.24	Quantitative Bestimmung von Pflanzeninhaltsstoffen mit der Hochdruckflüssigkeitschromatographie	33
2.24.1	Carotinoide	33
2.24.2	Vitamin E.....	34
2.24.3	Phenole	34
2.24.4	Vitamin C.....	36
2.25	Statistische Auswertung der Messergebnisse	37
3	Ergebnisse	38
3.1	Beschaffenheit der Pflanzen	38
3.2	Gehalte von geschmacksgebenden und ernährungsphysiologisch bedeutenden Inhaltsstoffen in der Gesamtf Frucht	38
3.2.1	Einzelfruchtgewicht Gesamtf Frucht	42
3.2.2	Trockensubstanz Gesamtf Frucht	42
3.2.3	Fruchtfleischfestigkeit Gesamtf Frucht.....	43
3.2.4	Zucker Gesamtf Frucht	44
3.2.5	Säure Gesamtf Frucht.....	45
3.2.6	Vitamin C Gesamtf Frucht	46
3.2.7	Lykopin Gesamtf Frucht	47
3.2.8	β -Carotin Gesamtf Frucht.....	48
3.2.9	Phenol Anteile (Folin-Test) Gesamtf Frucht.....	49
3.2.10	Phenol Anteile (HPLC) Gesamtf Frucht.....	50
3.2.11	Antioxidative Kapazität Gesamtf Frucht	54

3.3	Fruchtkompartimente	57
3.3.1	Einzelfruchtgewicht Anteile in den Fruchtkompartimenten	57
3.3.2	Trockensubstanz Anteile in den Fruchtkompartimenten	58
3.3.3	Vitamin C Anteile in den Fruchtkompartimenten	58
3.3.4	Lykopin Anteile in den Fruchtkompartimenten	59
3.3.5	β -Carotin Anteile in den Fruchtkompartimenten	59
3.3.6	Phenol Anteile (Folin-Test) in den Fruchtkompartimenten	60
3.3.7	Antioxidative Kapazität Carotinoide (ABTS Testsystem) in den Fruchtkompartimenten	60
3.3.8	Antioxidative Kapazität Phenole (ABTS Testsystem) in den Fruchtkompartimenten	61
3.3.9	Vitamin E Anteile in den Fruchtkompartimenten	61
3.3.10	Histologische Untersuchung der Fruchtkompartimente	63
3.4	Lagerung	65
3.4.1	Einzelfruchtgewicht Veränderung durch die Lagerung	66
3.4.2	Trockensubstanz Veränderung durch die Lagerung	68
3.4.3	Fruchtfleischfestigkeit Veränderung durch die Lagerung	68
3.4.4	Zucker Veränderung durch die Lagerung	69
3.4.5	Säure Veränderung durch die Lagerung	70
3.4.6	Vitamin C Veränderung durch die Lagerung	70
3.4.7	Lykopin Veränderung durch die Lagerung	71
3.4.8	β -Carotin Veränderung durch die Lagerung	72
3.4.9	Phenole, Folin-Test Veränderung durch die Lagerung	72
3.4.10	AK Carotinoide, ABTS Veränderung durch die Lagerung	73
3.4.11	AK Phenole, ABTS Veränderung durch die Lagerung	74
3.4.12	Vitamin E Veränderung durch die Lagerung	74
3.4.13	Farbwerte	76
3.4.14	Atmungsraten	78
4	Diskussion	79
4.1	Ertrag, Einzelfruchtgewicht, Pflanzenhöhe	80
4.2	Trockensubstanz	81
4.3	Zucker und organische Säuren	82
4.4	Festigkeit	83

4.5	Gesundheitsfördernde Inhaltsstoffe: Vitamin C, Lykopen, β-Carotin, Vitamin E und Phenole	85
4.6	Antioxidative Kapazität gesundheitsrelevanter Inhaltsstoffe.....	92
4.7	Der Einfluss von exogenen und endogenen Faktoren auf die Entwicklung der Pflanze	95
4.8	Auswirkungen von Salzstress auf die Kompartimente Fruchtfleisch und Schale.....	97
4.9	Der Einfluss der Lagerung auf die Qualität unter hohen EC-Werten produzierter Früchte	99
4.10	Gesamteinschätzung	105
5	Zusammenfassung.....	107
6	Literaturverzeichnis	109
7	Anhang	116
8	Danksagung.....	120
9	Lebenslauf	122

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Verwendete Chemikalien und Reagenzien	7
Tabelle 2: Versuchsbezeichnung.....	22
Tabelle 3: Gemessene Parameter	23
Tabelle 4: Einfluss von Salzstress auf den Gesamtertrag pro Pflanze (GEP) in [kg/Pflanze] und auf die Höhe der Pflanzen (PH) in [cm], V1.	38
Tabelle 5: Der Einfluss von Salzstress auf Einzelfruchtgewicht (EFG), Festigkeit (Feste), Zuckergehalt (Brix), titrierbare Säuren (TitS), Vitamin C (Vit C), Lycopin (LYK), β -Carotin (β -CAR), antioxidative Kapazität von Carotinoiden (AK CAR) und Phenolen (AK PHE) in Trolox Äquivalenten (TÄ) und Phenolgehalt (PHE) in Gallussäureäquivalenten (GAÄ) bezogen auf 100 g Frischsubstanz (FS) in den Trossen 4 und 10. Signifikanzniveau 0,05%, V1.	40
Tabelle 6: Der Einfluss von Salzstress auf titrierbare Säuren (TitS), Vitamin C (Vit C), Lycopin (LYK), β -Carotin (β -CAR), antioxidative Kapazität von Carotinoiden (AK CAR) und Phenolen (AK PHE) in Trolox Äquivalenten (TÄ) und Phenolgehalt (PHE) in Gallussäureäquivalenten (GAÄ) bezogen auf 1 g Trockensubstanz (TS) in den Trossen 4, 6 und 10. Signifikanzniveau 0,05%, V1.	41
Tabelle 7: Einfluss von Salzstress auf die Trockensubstanz in [%]; Signifikanzniveau 0,05%; V1.....	42
Tabelle 8: Einfluss von Salzstress auf ausgewählte Phenolgruppen der Tomate bezogen auf 100 g Frischsubstanz; Signifikanzniveau 0,05%; V2, t0.	52
Tabelle 9: Einfluss von Salzstress auf ausgewählte Phenolgruppen der Tomate bezogen auf 1 g Trockensubstanz in [mg/1 g TS], Signifikanzniveau 0,05%; V2, S1, t0.....	53
Tabelle 10: Einfluss von Salzstress auf die Hydroxylamin-Oxidation [mg GAÄ/100 g FS]; Signifikanzniveau 0,05%; V2, Satz 1.	56
Tabelle 11: Einfluss von Salzstress auf die Gewichtsverteilung in den Kompartimenten; Signifikanzniveau 0,05%; V1, KOM.....	58
Tabelle 12: Einfluss von Salzstress auf die Trockensubstanz; Signifikanzniveau 0,05%; V1, KOM.....	58
Tabelle 13: Einfluss von Salzstress auf den Vitamin C-Gehalt [mg/100 g FS]; Signifikanzniveau 0,05%; V1, KOM.....	59

Tabelle 14: Einfluss von Salzstress auf den Lycopin-Gehalt [mg/100 g FS]; Signifikanzniveau 0,05%; V1, KOM.....	59
Tabelle 15: Einfluss von Salzstress auf den β -Carotingehalt [mg/100 g FS]; Signifikanzniveau 0,05%; V1, KOM.....	60
Tabelle 16: Einfluss von Salzstress auf den Phenol-Gehalt [mg GAÄ/100 g FS]; Signifikanzniveau 0,05%; V1, KOM.....	60
Tabelle 17: Einfluss von Salzstress auf die antioxidative Kapazität der Carotinoide [mg TÄ/100 g FS] im ABTS-System; Signifikanzniveau 0,05%; V1, KOM.....	61
Tabelle 18: Einfluss von Salzstress auf die antioxidative Kapazität der Phenole [mg TÄ/100 g FS] im ABTS-System; Signifikanzniveau 0,05%; V1, KOM.....	61
Tabelle 19: Einfluss von Salzstress auf den Vitamin E-Gehalt [mg/100 g FS]; Signifikanzniveau 0,05%; V1, KOM.....	62
Tabelle 20: Einfluss von Salzstress auf Vitamin C (Vit C), titrierbare Säuren (TitS), antioxidative Kapazität von Carotinoiden (AK CAR) in Trolox Äquivalenten (TÄ), Lycopin (LYK), β -Carotin (β -CAR), Phenolgehalt (PHE) in Gallussäureäquivalenten (GAÄ), antioxidative Kapazität von Phenolen (AK PHE) in Trolox Äquivalenten (TÄ) und Vitamin E (Vit E) bezogen auf 1 g Trockensubstanz (TS). Signifikanzniveau 0,05%; V2, LAG, S1.	66
Tabelle 21: Einfluss der Lagerung auf das Einzelfruchtgewicht; Signifikanzniveau 0,05%; V2, LAG, S1.	67
Tabelle 22: Einfluss der Lagerung auf die Trockensubstanz; Signifikanzniveau 0,05%; V2, LAG, S1.	68
Tabelle 23: Einfluss der Lagerung auf die Festigkeit; Signifikanzniveau 0,05%; V2, LAG, S1.....	69
Tabelle 24: Einfluss der Lagerung auf den Zuckergehalt; Signifikanzniveau 0,05%; V2, LAG, S1.	69
Tabelle 25: Einfluss der Lagerung auf die titrierbaren Säuren; Signifikanzniveau 0,05%; V2, LAG, S1.	70
Tabelle 26: Einfluss der Lagerung auf den Vitamin C-Gehalt [mg/100 g FS]; Signifikanzniveau 0,05%; V2, LAG, S1.	71
Tabelle 27: Einfluss der Lagerung auf den Lycopin-Gehalt [mg/100 g FS]; Signifikanzniveau 0,05%; V2, LAG, S1.	71
Tabelle 28: Einfluss der Lagerung auf den β -Carotingehalt [mg/100 g FS]; Signifikanzniveau 0,05%; V2, LAG, S1.	72

Tabelle 29: Einfluss der Lagerung auf den Phenol-Gehalt [mg GAÄ/100 g FS]; Signifikanzniveau 0,05%; V2, LAG, S1.	73
Tabelle 30: Einfluss der Lagerung auf die antioxidative Kapazität der Carotinoide [mg TÄ/100 g FS] im ABTS-System, Signifikanzniveau 0,05%; V2, LAG, S1.	73
Tabelle 31. Einfluss der Lagerung auf die antioxidative Kapazität der Phenole [mg TÄ/100 g FS] im ABTS-System, Signifikanzniveau 0,05%; V2, LAG, S1.	74
Tabelle 32: Einfluss der Lagerung auf den Vitamin E-Gehalt [mg/100 g FS], Signifikanzniveau 0,05%; V2, LAG, S1.	75

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Einfluss von Salzstress auf das Einzelfruchtgewicht [g] der Trosse 4, 6 und 10; V1. Die Kleinbuchstaben kennzeichnen die Unterschiede zwischen den EC-Werten innerhalb eines Trosses.....	42
Abbildung 2: Einfluss von Salzstress auf die Fruchtfleischfestigkeit [kPa] der Trosse 4, 6 und 10; V1. Die Kleinbuchstaben kennzeichnen die Unterschiede zwischen den EC-Werten innerhalb eines Trosses.....	43
Abbildung 3: Einfluss von Salzstress auf den Zuckergehalt [°Brix] der Trosse 4, 6 und 10; V1. Die Kleinbuchstaben kennzeichnen die Unterschiede zwischen den EC-Werten innerhalb eines Trosses.....	44
Abbildung 4: Einfluss von Salzstress auf die Zitronensäure [mg/100 g FS] der Trosse 4, 6 und 10; V1. Die Kleinbuchstaben kennzeichnen die Unterschiede zwischen den EC-Werten innerhalb eines Trosses.....	45
Abbildung 5: Einfluss von Salzstress auf den Vitamin C-Gehalt [mg/100 g FS] der Trosse 4, 6 und 10; V1. Die Kleinbuchstaben kennzeichnen die Unterschiede zwischen den EC-Werten innerhalb eines Trosses.....	46
Abbildung 6: Einfluss von Salzstress auf den Lycopin-Gehalt [mg/100 g FS] der Trosse 4, 6 und 10; V1. Die Kleinbuchstaben kennzeichnen die Unterschiede zwischen den EC-Werten innerhalb eines Trosses.....	47
Abbildung 7: Einfluss von Salzstress auf den β -Carotingehalt [mg/100 g FS] der Trosse 4, 6 und 10; V1. Die Kleinbuchstaben kennzeichnen die Unterschiede zwischen den EC-Werten innerhalb eines Trosses.....	48
Abbildung 8: Einfluss von Salzstress auf den Phenol-Gehalt [mg GAÄ/100 g FS] der Trosse 4, 6 und 10; V1. Die Kleinbuchstaben kennzeichnen die Unterschiede zwischen den EC-Werten innerhalb eines Trosses.....	49
Abbildung 9: HPLC-Chromatogramm: Analyse phenolischer Inhaltsstoffe der Tomate, V2, S1. Exemplarische Abbildung der Kontrollvariante EC 3.	50
Abbildung 10: Einfluss von Salzstress auf die antioxidative Kapazität der Carotinoide [mg TÄ/100 g FS] im ABTS-System der Trosse 4, 6 und 10; V1. Die Kleinbuchstaben kennzeichnen die Unterschiede zwischen den EC-Werten innerhalb eines Trosses.....	54
Abbildung 11: Einfluss von Salzstress auf die antioxidative Kapazität der Phenole [mg/100 g FS] im ABTS-System der Trosse 4, 6 und 10; V1. Die Kleinbuchstaben	

kennzeichnen die Unterschiede zwischen den EC-Werten innerhalb eines Trosses.	55
Abbildung 12: Querschnitt durch die Kompartimente Fruchtfleisch und Schale in ca. 0,5 cm ³ Fruchtgewebe bei verschiedenen EC-Werten und Auflösungen (A und B: EC 3. C und D: EC 6,5. E und F: EC 10), V3.	63
Abbildung 13: Größenunterschiede der Früchte durch Salzbehandlung mit den EC-Werten von 3; 6,5; 10; 13,5; V2, t0, S1.	67
Abbildung 14: Farbindizes a* und b* der Tomaten zum Erntetermin (t0) und nach der Lagerung; V2, LAG, S1.	76
Abbildung 15: CO ₂ Produktion während des Lagerns, Mittelwert pro Tag, V2, S1, Lag.	78

Anhangsverzeichnis

- Anhang 1: Versuchsjahr 2004, Einfluss von Salzstress auf Parameter der Fruchtqualität (EFG, Brix, Feste, Vit C, TS, AK CAR, LYK, β -CAR, PHE, AK PHE (ABTS) und Vit E). Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse. p-Werte ≤ 0.05 werden als signifikant bezeichnet..... 116
- Anhang 2: Versuchsjahr 2004, Ergebnisse der schrittweisen Regressionsanalyse zwischen abhängigen (EFG, Brix, TitS, Vit C, LYK, β -CAR, AK CAR, AK PHE und PHE) und unabhängigen Variablen (EC Wert, Tross Nummer, Globalstrahlung, Temperatur und relativer Luftfeuchtigkeit) ausgedrückt durch den Pearson'schen Korrelations Koeffizienten (P) und die Signifikanz (p). p-Werte ≤ 0.05 werden als signifikant bezeichnet. 117
- Anhang 3: Lagerversuch 2005, 2. Satz, Einfluss von Lagerung auf Brix, Feste, TitS, Vit C, LYK, β -CAR, AK CAR, AK PHE, PHE und Vit E bezogen auf 100 g Frischsubstanz. Signifikanzniveau 0,05%. 118
- Anhang 4: Lagerversuch, Versuchsjahr 2005, Satz 1, Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalyse von der Wirkung der Haupteffekte Lagerung (Lag), EC-Wert (EC) und deren Interaktion (Lag x EC) auf Parameter der Fruchtqualität (EFG, Brix, Feste, Vit C, TS, AK CAR, LYK, β -CAR, PHE, AK PHE und Vit E). p-Werte ≤ 0.05 werden als signifikant bezeichnet. Signifikante Wechselwirkungen sind durch Fettdruck hervorgehoben. 119
- Anhang 5: Versuchsjahr 2005, Satz 1, Ergebnisse der schrittweisen Regressionsanalyse zwischen abhängigen (EFG, Brix, Feste, Vit C, TS, AK CAR, LYK, β -CAR, PHE AK PHE und Vit E) und unabhängigen Variablen (a, b und EC Wert) ausgedrückt durch den Pearson'schen Korrelations Koeffizienten (P) und der Signifikanz (p). p-Werte ≤ 0.05 werden als signifikant bezeichnet. Signifikante Wechselwirkungen sind durch Fettdruck hervorgehoben..... 119

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
ABTS	2,2'-azinobis-(3-ethylbenzothiazolin-6-sulfonsäure)
ACN	Astrablau-Chrysoidin-Neufuchsin
AK CAR	AK Carotinoide
AK PHE	AK Phenole
AR	Atmungsrate
BHT	2,(6)-Di-tert-Butylhydroxytoluol
β-CAR	β-Carotin
CH ₂ Cl ₂	Dichlormethan
Color	Farbe
EC	Electrical Conductivity (elektrische Leitfähigkeit)
EFG	Einzelfruchtgewicht
EtOH	Ethanol
EPV	Einfache phenolische Verbindungen
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
Feste	Festigkeit
FPA	Gemisch Formaldehyd, vergälltem Ethanol und Propionsäure
FS	Frischsubstanz
GAÄ	Gallussäureäquivalente
GEP	Gesamtertrag pro Pflanze
HPLC	High Performance Liquid Chromatography
i.A.	im Ansatz
i.S.	interner Standard
Lag	Lagerung
LYK	Lykopin
NAD ⁺	Nicotinamid-adenin-dinucleotidphosphat
NADH/H ⁺	Nicotinamid-adenin-dinucleotidphosphat reduziert
NH ₂ OH	Xanthin
PH	Pflanzenhöhe
PHE	Phenole
H ₃ PO ₄	Phosphorsäure

ROS	Reactive Oxygen Species (reaktive Sauerstoffspezies)
S1/S2	1./2. (Anbau)satz
t0	Erntezeitpunkt
TÄ	Troloxäquivalente
THF	Tetrahydrofuran
TitS	Titrierbare Säure
TS	Trockensubstanz
TUM	Technische Universität München
U	Units
V1/ V2	Versuch 1 (2004)/Versuch 2 (2005)
WUE	Water Use Efficiency/Wassernutzungseffizienz
XDH	Xanthindehydrogenase
XOD	Xanthinoxidase

1 Einleitung

Die Tomate ist weltweit die meistverzehrtc Gemüscart. Pro Jahr werden etwa 100 Tonnen Tomaten auf ca. 4 Millionen Hektar Anbaufläche produziert (FAO, 2004). Dazu tragen neben einem hohen Frischverzehr ihre zahlreichen Verwendungsmöglichkeiten in Soßen, Suppen, Pasta, Pizza und vielen anderen Gerichten bei. Durch die Erkenntnisse über den ernährungsphysiologischen Wert ihrer Inhaltsstoffe gewinnt die Tomate in den letzten Jahren als gesundheitsförderndes Lebensmittel, das zur Prävention zahlreicher Krankheiten beitragen kann, zusätzlich an Bedeutung. Sowohl auf den Geschmack als auch die ernährungsphysiologisch wertvollen Inhaltsstoffe kann durch Methoden aus Züchtung, Pflanzenproduktion, Lagerung und Verarbeitung Einfluss genommen werden.

Ein Ansatz zur gleichzeitigen Steigerung des ernährungsphysiologischen Wertes und des Geschmacks ist der Anbau von Tomaten unter Salzstress.

1.1 Wissensstand

Tomaten und Salzstress

Tomaten gelten als mäßig salzempfindlich (Hill und Koenig, 1999). Sie können deshalb, abhängig von der Toleranz der jeweiligen Sorte, der Jahreszeit und dem gewählten Kultursystem bis zu einem gewissen Grad unter salinen Bedingungen kultiviert werden.

Bekannt ist, dass erhöhte Salzgehalte im Boden bzw. in der Nährlösung zu einer Abnahme des Ertrages bei Tomaten führen (Cuartero und Fernández-Muñoz, 1999). Bei EC-Werten (EC = electrical conductivity) größer 3 dS/m kommt es zu einem Rückgang des Ertrages von ca. 9 - 10% bei Erhöhung um jedes weitere dS/m. Elektrische Leitfähigkeiten größer als 8 dS/m können sogar zu einer Reduktion um 50% führen. Dieser Rückgang zeigt sich anfangs durch kleinere Früchte mit einem niedrigeren Gewicht, später kann die Gesamtzahl der Früchte zurückgehen (Cuartero und Fernández-Muñoz, 1999). Die Wirtschaftlichkeit einer Tomatenkultur ist durch diese Ertragsreduktion deutlich reduziert (Cuartero und Fernández-Muñoz, 1999, Dorais et al., 2001). Die Abnahme des Ertrages wird vor allem dadurch

hervorgehoben, dass die Wasseraufnahme- und leitfähigkeit der Pflanze unter Salzstress stark eingeschränkt ist (Ehret and Ho, 1986).

Die Festigkeit der Früchte, welche ebenfalls ein wichtiges Kriterium zur Gesamtbewertung der Qualität von Tomaten ist, ändert sich nach Cuartero und Fernández-Muñoz (1999) durch erhöhte Salzgehalte in der Nährlösung meist nicht oder geht leicht zurück. Petersen et al. (1998) berichten dagegen von einer Zunahme der Festigkeit mit steigenden EC-Werten.

Die innere Qualität der Früchte wird durch saline Anbaubedingungen weitgehend verbessert (Petersen et al., 1998; Pascale de et al., 2001 und 2003). Unter innerer Qualität werden hier Parameter des Geschmacks (Zucker, Säure) und der ernährungsphysiologisch wertvollen Inhaltsstoffe (Vitamine, Carotinoide, Phenole) sowie ihre antioxidative Eigenschaften zusammengefasst.

Die Veränderung des Salzgehaltes in der Nährlösung kann gezielt zur Verbesserung der Fruchtqualität in erdelosen Kultursystemen eingesetzt werden. Als geeigneter Startzeitpunkt zum gezielten Einsatz von höheren EC-Werten wird dabei der Beginn des Blütenstadiums angesehen (Mizrahi, 1982).

Tomaten und Antioxidantien

Reaktive Sauerstoffspezies (ROS) werden in den letzten Jahren mit vielen Erkrankungen und Fehlfunktionen des menschlichen Körpers in Verbindung gebracht. Sie sollen unter anderem bei Herz-Kreislauf-Erkrankungen, einigen Krebsarten, Katarakt, Arteriosklerose und Diabetes sowie im Entzündungsgeschehen eine Rolle spielen. Des Weiteren stehen ROS im Zusammenhang mit dem Alterungsprozess von Zellen (Kaur und Kapoor, 2001; Pietta, 2000).

ROS können freie Radikale wie zum Beispiel das Superoxidradikalanion ($O_2^{\cdot-}$), das Hydroxylradikal (OH^{\cdot}), das Peroxylradikal (ROO^{\cdot}) und Stickstoffmonoxid (NO^{\cdot}) sein. Weiterhin zählen hierzu nicht radikalische Verbindungen wie Singulett-Sauerstoff (1O_2), organische Peroxide (ROOH) und Wasserstoffperoxid (H_2O_2) (Pietta, 2000; Elstner, 1990). Eine energiearme, überwiegend pflanzliche Ernährung mit ausreichend Obst und Gemüse kann dem Menschen Antioxidantien zuführen und ihm somit Schutz vor ROS bieten.

Neben bestimmten Vitaminen sind es vor allem die häufig als „sekundäre Inhaltsstoffe“ bezeichneten Carotinoide und Phenole, denen eine hohe antioxidative Kapazität zugeschrieben wird (Kris-Etherton et al., 2002; Watzl und Leitzmann,

1999). Dabei hat sich gezeigt, dass die gemeinsame Aufnahme der verschiedenen gesundheitsrelevanten Inhaltsstoffe in Form natürlicher Lebensmittel weitaus effektiver ist als die Zufuhr einzelner Vitaminpräparate oder Supplemente (Liu, 2003). Tomaten sind eine natürliche Quelle der hier aufgeführten Stoffe. Deshalb gilt dieses Fruchtgemüse als eines der gesündesten Lebensmittel, das wegen seines hohen Gehaltes an Antioxidantien aber auch aufgrund ihres geringen Energiegehaltes zum täglichen Verzehr empfohlen wird. Die Erhöhung der ernährungsphysiologisch wertvollen Inhaltsstoffe durch gezielte Salzgaben während des Fruchtwachstums kann den Wert der Tomate noch weiter steigern und dadurch verstärkt zum allgemeinen Gesundheitsschutz beitragen.

Lykopen

Die rote Farbe der Tomate wird durch den Farbstoff Lykopen hervorgerufen. Obwohl das Carotinoid auch in Guaven, Wassermelonen, Aprikosen, Papayas und pinkfarbenen Grapefruits vorkommt, ist die Tomate die Hauptquelle für die Lykopinzufuhr über die Nahrung (Johnson, 2002). Neben der Aufnahme über die frische Frucht leisten seine Gehalte in verarbeiteten Lebensmitteln dazu einen großen Beitrag, vor allem, weil die Bioverfügbarkeit des Lykopins durch Erhitzen oder Verarbeiten der Früchte noch ansteigt (Stahl und Sies, 1992).

Lykopen ist aufgrund seiner Struktur mit zahlreichen konjugierten Doppelbindungen einer der effektivsten Singulettoxygenquencher und somit ein wirksames Antioxidans (Di Mascio et al., 1989; Mortensen und Skibsted, 1997). Es hat eine präventive Wirkung gegenüber kardiovaskulären Erkrankungen und verschiedenen Krebsarten (Rao und Agarwal, 2000). Vor allem gegen Prostata-Krebs konnte in epidemiologischen Studien ein hoher Schutz nachgewiesen werden (Giovanucci, 2002).

Durch erhöhte EC-Werte kann der Gehalt an Lykopen in der Tomate gesteigert werden (Shi und Maguer, 2000; Dumas et al., 2003). De Pascale et al. (2001) stellten für EC-Werte bis zu 4,4 dS/m eine Erhöhung des Carotinoidgehaltes in Bezug auf die Frischsubstanz fest, bei darüber liegenden Salzgehalten fielen die Mengen wieder leicht ab.

Weitere antioxidativ wirksame Inhaltsstoffe

Phenolische Bestandteile kommen mit unterschiedlichen antioxidativen Eigenschaften und abhängig von der Sorte in verschiedenen Mustern und Mengen ebenfalls in dem Nachtschattengewächs vor (Minoggio et al., 2003). Die Tomate ist auch ein Lieferant für β -Carotin, das im Gegensatz zu Lycopin eine Pro-Vitamin-A Aktivität hat (Johnson, 2002). Des Weiteren enthalten Tomaten die antioxidativ wirksamen Vitamine C und E (Beecher, 1998).

Nach de Pascale et al. (2001) steigen der Vitamin C-Gehalt und die antioxidative Kapazität der Früchte mit EC-Werten bis zu 8,5 dS/m deutlich an. β -Carotin nimmt bis zu 4,4 dS/m ebenfalls zu, bei höheren Werten sinkt es wieder.

Konkrete Angaben zur Veränderung des Phenolgehaltes unter Salzstress sind in der Literatur nicht zu finden. Da Wasserstress, zu dem Salzstress letztendlich gerechnet werden kann, mit einer vermehrten Bildung von Oxidantien einhergeht, kann ein verstärktes Vorkommen von Phenolen unter hohen EC-Werten angenommen werden (Aktas et al., 2003). Inwiefern sich diese Vermutung bestätigen lässt und den Phenolgehalt der Früchte betrifft, wird unter anderem in dieser Arbeit überprüft.

Geschmack

Der Geschmack von Tomaten wird neben dem genetischen Grundmuster an Aromastoffen hauptsächlich durch das Verhältnis von Zucker und Säuren beeinflusst (Cuartero und Fernández-Muñoz, 1999). Höhere EC-Werte steigern die Mengen an Zuckern und organischen Säuren in den Tomaten und steigern damit ihre Geschmacksintensität deutlich (Auerswald et al., 1999).

1.2 Ziel der Arbeit

In der vorliegenden Arbeit werden Tomaten unter verschiedenen Salzstufen in Substratkulturen angebaut. Dabei wird untersucht, wie sich die einzelnen Salzkonzentrationen in der Nährlösung auf den *Geschmack*, die *ernährungsphysiologisch wertvollen Inhaltsstoffe* und die *(äußere) Beschaffenheit* der Früchte zum Erntezeitpunkt sowie nach einer praxisorientierten Nachernte- bzw. Lagerphase auswirken. Diese Eigenschaften werden mit den folgenden Parametern beschrieben und überprüft:

1. Geschmack: Der Geschmack wird anhand der vorhandenen Menge und dem Verhältnis von Zucker und Säure bewertet.
2. Ernährungsphysiologisch wertvolle Inhaltsstoffe: Neben den Carotinoiden *Lykopen* und *β -Carotin* werden die Vitamine C und E mit der Hochdruckflüssigkeitschromatographie (HPLC) quantitativ bestimmt. Darüber hinaus werden der Gesamtphenolgehalt der Früchte und einzelne phenolische Bestandteile mit dem Folin-Ciocalteu-Test bzw. per HPLC gemessen. Als weiteres Kriterium zur Einschätzung des gesundheitlichen Wertes der Früchte dient die Ermittlung der antioxidativen Eigenschaften der carotinoidreichen und phenolreichen Extrakte.
3. (Äußere) Beschaffenheit: Unter diesen Punkt werden die Größe der Früchte, ihr Wassergehalt und ihre Festigkeit zusammengefasst.

Die Arbeit wurde im Rahmen des EU-Projektes „Efficient water use through environmentally sound hydroponic production of high quality vegetables for domestic and export markets in Mediterranean countries“, kurz „*ecoponics*“ genannt, angefertigt (Ecoponics, ICA3-CT-2002-10020).

Hintergrund des Projektes ist es, Lösungen zu finden, wie auch mit schlechten Wasserqualitäten bedingt durch hohe Salzgehalte und die weltweit verbreitete Wasserknappheit in semi-ariden Gegenden Nahrungsmittel angebaut werden können. Das Ziel dabei ist, eine ökonomisch sinnvolle Technologie in Form von

erdelosen, hydroponischen Anbausystemen zu entwickeln, mit denen es vor allem im geschützten Anbau möglich ist, durch eine Steigerung der Wassernutzungseffizienz (WUE) Wasser einzusparen und selbst bei erhöhten Salzgehalten ausreichend qualitativ hochwertiges Gemüse zu produzieren. Als Modellpflanze dient aufgrund ihrer hohen Bedeutung in den betroffenen Regionen die Tomate.

An dem Projekt sind neun Projektpartner aus den Ländern Frankreich, Italien, Marokko, Jordanien, Ägypten, der Türkei und Deutschland mit verschiedenen Versuchen beteiligt. Neben der Administration hatte der Lehrstuhl für Gemüsebau der TUM die Aufgabe, den Einfluss saliner Bedingungen auf die Qualität der Tomatenfrüchte zu untersuchen.

2 Material und Methoden

2.1 Pflanzenmaterial

Die verwendete Modellpflanze der hier vorliegenden Arbeit ist die Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Alle Versuche wurden mit der Sorte `Durinta`, einer F1 Hybride der Firma Western Seed, durchgeführt. `Durinta` ist eine longlife Strauchtomate, die vor allem im Mittelmeerraum kommerziell angebaut wird.

2.2 Chemikalien

Tabelle 1: Verwendete Chemikalien und Reagenzien

Name	Formel/ Abkürzung	M [g/mol]	Firma
Aceton	$(\text{CH}_3)_2\text{CO}$	58,08	Fisher Scientific
Acetonitril	CH_3CN	41,05	Fisher Scientific
Aceton	$(\text{CH}_3)_2\text{CO}$	58,08	Fisher Scientific
Ameisensäure	CH_2O_2	46,03	Merck
p-Aminobenzol-sulfonamid (Sulfanylamid)	$\text{C}_6\text{H}_8\text{N}_2\text{O}_2\text{S}$	172,2	Sigma
Ammoniumacetat	NH_4Ac	77,08	Fluka
Astrablau	$\text{C}_{47}\text{H}_{52}\text{CuN}_{14}\text{O}_6\text{S}_3$	1068,75	Merck
Ascorbinsäure (Vitamin C)	$\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$	176,13	Fluka
2,2'-azinobis-(3-ethyl- benzothiazoline-6- sulfonsäure	$\text{C}_{18}\text{H}_{18}\text{N}_4\text{O}_6\text{S}_4^*$ (NH_3)/ABTS	548,7	Merck
β -Apo-8'-Carotenal	$\text{C}_{30}\text{H}_{40}\text{O}$	416,65	Fluka
Baskal	28,2% K_2O		Jara, über BayWa Agrar
Chrysoidin	$\text{C}_{12}\text{H}_{12}\text{N}_4^*\text{ClH}$	248,74	Waldeck- Chroma

Dichlormethan	CH_2Cl_2	84,93	J.T. Baker
Di-Natriumhydrogenphosphat	Na_2HPO_4	141,96	ACROS
β -Carotin	$\text{C}_{10}\text{H}_{56}$	536,9	Fluka
2,(6)-Di-tert-Butylhydroxytoluol	$\text{C}_{15}\text{H}_{24}\text{O}/\text{BHT}$		Sigma-Aldrich
Ethanol p.a.	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}/\text{EtOH}$	46,07	Merck
Ethanol vergällt	$\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$	46,07	Roth
Ethylacetat	$\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5$	88,11	Merck
Folin-Ciocalteu-Reagenz			Merck
Formaldehyd	CH_2O	30,03	Roth
Gallussäure	$\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_5$	170,0	ACROS
Histo-resin (Embedding Kit)			Leica
Hexan	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}_3$	86,18	Merck
Hydroxylamin	$\text{NH}_2\text{OH}^* \text{HCl}$	69,49	Sigma
Kaliumcarbonat	K_2CO_3	138,21	Merck
Lycopin	$\text{C}_{40}\text{H}_{56}$	536,88	Wako
Methanol	$\text{CH}_4\text{O}/\text{MeOH}$	32,04	Roth
6-Methoxy-Flavon	$\text{C}_{16}\text{H}_{12}\text{O}_3$	252,28	Extrasynthèse
N-(1-Naphtyl)-ethyldiamindihydrochlorid	$\text{C}_{12}\text{H}_{14}\text{N}_2^* 2\text{HCl}/\text{NED}$	259,18	Roth
Natriumcarbonat	Na_2CO_3	105,99	ACROS
Natriumchlorid	NaCl	58,44	Acros Organics
Natriumhydroxid	NaOH	40,0	Roth
Neufuchsin			Waldeck-Chroma
Nitrakal	9,8% N 4,7% K_2O		Jara, über BayWa Agrar
Peroxidase	POD	25000/ 10000 U/mg	Roche
Ortho-Phosphorsäure	H_3PO_4	98,00	Fluka Chemika
Meta-Phosphorsäure	$(\text{HPO}_3)_n$		Merck

Natriumdihydrogenphosphat Dihydrat	NaH ₂ PO ₄	177,99	Merck
Phenolphthalein	C ₂₀ H ₁₄ O ₄	318,33	Merck
Propionsäure	C ₃ H ₆ O ₂	74,08	Roth
Salzsäure	HCl	36,5	Merck
Siedesalz	NaCl		Siedesalz GmbH
Tetrahydrofuran	C ₄ H ₈ O/THF	72,11	Roth
α-Tocopherol (Vitamin E)	C ₂₉ H ₅₀ O ₂	430,72	Fluka
Triethylamin	C ₆ H ₁₅ N/TEA	101,19	Riedel-de Haen
Trolox	C ₁₄ H ₁₈ O ₄	250,3	ACROS
Wasserstoffperoxid-Lösung (30 %)	H ₂ O ₂	34,01	Merck
Xanthin	C ₅ H ₄ N ₄ O ₂	152,11	Fluka
Xanthinoxidase	XOD	20 U/ml	Roche

2.3 Lösungen und Puffer

Phosphatpuffer 0,2 M, pH 7,4:

Lösung 1: 0,2 M Na₂HPO₄

Lösung 2: 0,2 M NaH₂PO₄ * 2H₂O

Lösung 1 wird vorgegeben, durch Zugabe von Lösung 2 wird der gewünschte pH-Wert mit dem pH-Meter eingestellt.

Sulfanilsäure: 1 %-ige Lösung in 8 %-iger HCl:

2,5 g Sulfanylamid werden in 250 ml 8%-iger HCl gelöst.

Folin-Ciocalteu-Lösung 10 %-ig:

10 ml Folin-Ciocalteu-Reagenz werden mit 90 ml H₂O_{bidest} auf 100 ml verdünnt.

Natriumcarbonat-Lösung 7 %-ig:

7g Na₂CO₃ werden in 100 ml H₂O_{bidest} gelöst.

Natriumchlorid-Lösung 10 %-ig:

10 g NaCl werden in 100 ml H₂O_{bidest} gelöst.

Naphtylethylendiamin-Lösung 0,02 %-ig:

50 mg NED werden in 250 ml H₂O_{bidest} gelöst.

Angesäuertes Ethanol (0,7% H₃PO₄):

7 ml 5 %-iges H₃PO₄ werden mit 42 ml EtOH gemischt.

H₂O₂-Lösung (0,7 mM):

10 M Stammlösung wird entsprechend mit EtOH verdünnt.

ABTS-Lösung:

1,097 mg/ml werden in EtOH gelöst.

POD-Lösung (120 µM):

Je nach Units (U) per mg der verwendeten POD (100000 bzw. 25000 U) wird eine Ausgangslösung mit ca. 2000 U hergestellt und die Konzentration photometrisch (403 nm) über die Extinktion und den bekannten Extinktionskoeffizienten ($\epsilon = 100/\text{mM} \cdot \text{cm} \wedge 100000/\text{M} \cdot \text{cm}$) bestimmt. Entsprechende Verdünnung mit H₂O_{bidest} führt zur gewünschten Konzentration von 120 µM.

BHT (0,1 %-ig):

0,1 g werden in 1 ml Hexan gelöst.

β-Apo-8-Carotenal (500 µM):

1 mg β-Apo-Carotenal wird in 4,8 ml THF/MeOH (1/1) gelöst (0,208 mg/ml).

ACN-Lösung: Astrablau-Chrysoidin-Neufuchsin, Gemisch im Verhältnis: 29/1/1 nach Neumüller (2005):

Lösung A: 0,5 g Astrablau wird in 100 ml angesäuertem Wasser gelöst
(97,5 ml H₂O_{bidest} und 2,5 ml Essigsäure)

Lösung B: 1 g Chrysoidin wird in 100 ml H₂O_{bidest} gelöst.

Lösung C: 0,1 g Neufuchsin wird in 100 ml H₂O_{bidest} gelöst.

FPA-Fixiermittel:

Vergälltes EtOH, Propionsäure und Formaldehyd werden im Verhältnis 90/5/5 gemischt.

Soweit nicht anders angegeben, werden alle weiteren Lösungen mit H₂O_{bidest} hergestellt.

2.4 Geräte

Gefriertrocknung:

VirTis SQ 25 LE-6 Genesis

VirTis 1Z LL Genesis

Mühle:

Planetenschnellmühle mit Achatgefäßen mit je 5 Achatkugeln, P4 von Retsch

Trockenschrank:

Modell 800 von Memmert

Ultraschallbad:

Sonorex Super 10 P Bandelin

Transonic Digital Elma

UV-VIS Photometer :

Pharmacia LKB Biochrom 4060

Colorimeter:

Minolta

CO₂-Durchflussmesser:

ABB

Vakuumkonzentrator:

5301 Eppendorf

Vortexer:

Eurolab Merck

Heidolph REAX top

Heidolph REAX 2000

Waagen:

Elektronische Halbmikro- und Analysewaage RC 210S Sartorius

Elektrische Analysewaage 1702 MP 8 Sartorius

Zentrifuge:

Laborzentrifuge 2-15 Sigma

pH-Meter:

pH Meter Set Qph 70 (6204724) VWR International GmbH

Wasserbad:

Typ 1092 Gesellschaft für Labortechnik MbH

Festigkeitsmessgerät:

Instron TA-XT2 (Stable Micro Systems-(UK) Apparat)

Leitfähigkeitsmessgerät:

GAMH 3410 und 3530, Greisinger Electronic

Vakuumrotationsverdampfer:

Univapo 150 H, Uniequip

Refraktometer (digital):

DBX-55A, Atago, Japan

Grundschlittenmikrotom:

Leitz, 1400 mit Hartmetallmesser

Mikroskop:

Zeiss Axioskop 50

Objektive:

Zeiss Plan-Neufluar

*Hochdruckflüssigkeitschromatographie (High Performance Liquid Chromatography; HPLC):**Carotinoide I (Apparatur 1)*

Pumpe: Merck Hitachi, L-6200 A Intelligent Pump

Autosampler: Merck Hitachi, AS-2000 A

Ofen: Merck, L-5025 Column Thermostat

Detektor: Merck Hitachi, L-4250 UV/VIS

Software: Merck Hitachi, D-7000 HPLC System Manager, 4.1

Säule: Phenomenex, RP Aqueous Develosil, C 30,5 µm, 250 mm x 4,6 mm

Vorsäule: Phenomenex, C18 ODS, 4 mm L x 3 mm ID

Carotinoide II (Apparatur 2)

Pumpe:	Merck Hitachi, L-6200 A Intelligent Pump
Ofen:	Merck, L-5025 Column Thermostat
Detektor:	Merck Hitachi, L-4250 UV/VIS
Software:	Perkin Elmer, Omega
Säule:	Phenomenex, RP Aqueous Develosil, C 30,5 µm, 250 mm x 4,6 mm
Vorsäule:	Phenomenex, C18 ODS, 4 mm L x 3 mm ID

Phenole (Apparatur 3)

Pumpe:	Kontron, Modell 422
Autosampler:	Kontron, Autosampler 465
Detektoren:	Diodenarraydetektor 440
Säule:	Macherey-Nagel, EC 250/4 Nucleosil 120-3 C18
Software:	Chromatographie-Datensystem Geminyx Version 1.91

Vitamin C (Apparatur 4)

Pumpe:	Dionex P 580 Pump
Autosampler:	Dionex GINA 50
Ofen:	Dionex STH 585 Column Oven
Detektor:	Dionex UVD 340S PDA
Software:	Dionex, Chromeleon 6.01
Säule:	Phenomenex, 4 µm Synergi Hydro RP, 250 mm x 4,6 mm
Vorsäule:	Phenomenex, C18 ODS, 4 mm L x 3mm ID

Vitamin E (Apparatur 5)

Pumpe:	Gynkotheek, High Precision Pump Modell 480
Autosampler:	Gynkotheek, GINA 160
Degaser:	Gynkotheek, DG 503
Ofen:	Gynkotheek
Detektor:	Gynkotheek, UV/VIS Spectraphysics 8450
Software:	Dionex, Chromeleon 6.01
Säule:	Phenomex, Synergy 4 µm Hydro RP, 250 mm x 4,6 mm
Vorsäule:	Phenomenex, C18 ODS, 4 mm L x 3 mm ID

2.5 Verbrauchsmaterial

Einmalspritzen Omnifix 2 ml, Braun

Falcon Tubes 15 ml, Sarstedt

Filter Minisart RC 25, Ø 0,45 µm, Sartorius

Plastikreagenzgefäße 92 x 15,3 mm, Sarstedt

Reagiergefäße 2 ml Sarstedt

Rundfilter 589², Weißband, Ø 150 mm, Schleicher & Schuell

2.6 Allgemeine Versuchsbedingungen

Die Versuche wurden unter Verwendung von hydroponischen Anbausystemen unter kontrollierten Gewächshausbedingungen in der Versuchsanlage des Lehrstuhls für Gemüsebau der Technischen Universität München in Dürnast, Freising (48°N, 12°O) durchgeführt. Die durchschnittlichen Temperaturen während der Kulturzeit betragen 22°C am Tag und 16°C in der Nacht. Im Durchschnitt wurden relative Luftfeuchten von $73,8 \pm 16,2\%$ mit minimalen und maximalen Werten von 98,3 und 23,3% erreicht.

Es wurden jeweils 2 Pflanzen in einem 10 Liter Container in dem unkompostierten Holzfasersubstrat Toresa (Firma: Intertoresa) kultiviert. Die Pflanzen waren an ablassbaren Schnüren aufgebunden, welche an quer gespannten Drähten im Gewächshaus befestigt waren. Die Seitensprosse wurden nach gängiger Praxis wöchentlich entfernt, zur Bestäubung dienten Hummeln.

Die Pflanzen erhielten, angepasst an ihr jeweiliges Entwicklungsstadium, eine Nährlösung mit der folgenden Zusammensetzung:

Die *Makronährstoffe* NO_3^- ; NH_4^+ ; PO_4^{3-} ; K^+ ; Ca^{2+} ; Mg^{2+} und SO_4^{2-} in den Konzentrationen 10,0; 1,25; 6,5; 3; 1,25; 1,0; und 1,0 mmol/l.

Die *Mikronährstoffe* Fe; Mn; Zn; B; Cu und Mo waren in Konzentrationen von 15; 10; 4; 20; 0,75 und 0,50 $\mu\text{mol/l}$ in der Nährlösung enthalten.

Die Nährlösung war so eingestellt, dass sie eine Grundleitfähigkeit von 3 dS/m hatte. Der pH-Wert lag zwischen 5 und 6. Dieser wurde zweimal wöchentlich kontrolliert und durch Gabe von Nitral oder Baskal (Fa. Jara) entsprechend korrigiert.

Im 2 Wochen Abstand wurden mittels Drainanalyse die Zusammensetzung der Nährlösungen kontrolliert und entsprechend den vorgegebenen Konzentrationen angepasst.

2.7 Einstellen der Salzkonzentrationen

Um den Einfluss verschiedener Salzkonzentrationen zu untersuchen, wurde die elektrische Leitfähigkeit der Nährlösung (EC: electrical conductivity) als Maßstab verwendet. Unterschiedliche Salzkonzentrationen in den Versuchsvarianten wurden durch Gaben von Natriumchlorid zur Nährlösung erreicht:

EC 3: Kontrolle, ohne Salzzugabe, Grundwert unter Zusatz von der Nährlösung

EC 6,5: plus EC 3,5; 17 mmol NaCl

EC 10: plus EC 7; 34 mmol NaCl

EC 13,5: plus EC 10,5; 51 mmol NaCl

Zur ständigen Aufrechterhaltung der Salzkonzentrationen wurden zweimal wöchentlich die Leitfähigkeiten in den Vorratsbecken mit Nährlösung gemessen (Leitfähigkeitsmesser, Test Kits, Fa. Merck) und entsprechend der Vorgabe angepasst. Zusätzlich fanden täglich manuelle Kontrollen in den Behältern mit der Nährlösung mit einem Leitfähigkeitsmessgerät statt.

2.8 Anbau in einem geschlossen System

Am 10. März 2004 wurden 10 Wochen alte Tomatenjungpflanzen in ein 320 m² großes Gewächshaus gepflanzt. Zur besseren Benetzung des Substrates und zur Einstellung des gewünschten pH-Wertes wurde das Substrat bereits 2 Wochen vor der Bepflanzung gewässert. 3 Wochen nach der Bepflanzung wurde mit den jeweiligen Salzbehandlungen begonnen (Kontrolle, EC 6,5 und EC 10). Von jeder Variante wurden, randomisiert über das Gewächshaus, 3 Wiederholungen angebaut. Über Vorratsbecken im Keller wurden die Pflanzen mittels zeitgesteuerter Tröpfchenbewässerung von 7 - 18 Uhr alle 20 Minuten für 5 Minuten bewässert (8 Liter pro Topf und Stunde). Die Drainquote war $\geq 70\%$, das Drainwasser lief nach dem Bewässerungsvorgang in die Vorratsbecken zurück. Der Versuch wurde Anfang September beendet.

Von jeder Wiederholung wurden 10 repräsentative Tomatenpflanzen für die Analysen ausgewählt.

Aus dem ersten Versuchsjahr gewonnene Ergebnisse werden in dieser Arbeit mit **V1** gekennzeichnet.

2.9 Anbau in einem offenen System

Im Versuchsjahr 2005 wurden in einem offenen System 4 verschiedene Salzkonzentrationen zur Kultur der Tomaten verwendet: Neben einer *Kontrolle mit EC 3* wurden EC-Werte von 6,5; 10 und 13,5 eingestellt. Pro EC-Wert wurden auf

einem Tisch 24 Töpfe mit je zwei Pflanzen angebaut. Als Substrat wurde wie im Vorjahr die Holzfaser *Toresa* verwendet. Über eine Tröpfchenbewässerung wurden die auf Tischen stehenden Pflanzen bei Erreichen von Lichtsummen zwischen 50 bis 80 klx/h (angepasst an die Klimabedingungen, die Pflanzengröße und die Jahreszeit) bewässert. Die Wassermenge pro Bewässerungsvorgang betrug, ebenfalls an Klima, Pflanzengröße und Jahreszeit angepasst, zwischen 80 und 200 ml. Die Vorratsbecken mit der jeweiligen Nährlösung befanden sich unter den Kulturtischen im Gewächshaus. Die Nährlösung hatte im Anbaujahr 2005 die gleiche Zusammensetzung wie im Versuchsjahr 2004. Mit Umwälzpumpen wurde das in der Nährlösung enthaltene Salz in Lösung gehalten. Das Drainwasser wurde abgepumpt und nicht wieder aufbereitet.

Es wurden 2 verschiedene Sätze mit dem gleichen Versuchsaufbau angebaut: **Erster Satz:** Aussaat am 28. Februar 2005. Pflanzung ins Gewächshaus am 14. März 2005, Kulturende am 28. Juni 2005. **Zweiter Satz:** Aussaat am 9. Mai 2005, Überführung der Jungpflanzen ins Gewächshaus am 3. Juni 2005, Ende des Versuchs am 30. August 2005. Beide Sätze erhielten zur Etablierung im Gewächshaus vor Beginn der Salzbehandlung drei Wochen nur die Grundnährlösung mit einer Leitfähigkeit von 3 dS/m.

Im Folgenden werden Ergebnisse aus dem 1. Satz des Versuchsjahres 2005 mit **V2**, **S1** bezeichnet. Daten aus dem 2. Satz werden mit **V2**, **S2** benannt.

Im Jahr 2006 wurde ein weiterer Versuch mit den gleichen Bedingungen wie im Versuchsjahr 2005 vom 20. Juli bis 15. Oktober durchgeführt. Er diente dazu den Einfluss von Salzstress auf die Gewebebeschaffenheit der Früchte zu untersuchen. Dieser Versuch wird mit **V3** bezeichnet.

2.10 Lagerversuch

Von jeder Variante wurden im Versuchsjahr 2005 pro Wiederholung 15 Früchte geerntet und für 12 Tage bei einer Temperatur von 12°C und einer relativen Luftfeuchtigkeit von 90% ($\pm 5,10$) in luftdurchlässigen Plastikboxen gelagert.

Die Tomaten wurden vor (Zeitpunkt „t₀“) und nach der Lagerung (Lag) den unten aufgeführten Untersuchungen unterzogen. Die Entwicklung der Parameter während der Lagerung wurde anschließend verglichen. Um einen negativen Einfluss von destruktiven Messmethoden auf die Lagerfähigkeit auszuschließen und einen Vergleich der beiden Zeitpunkte zu ermöglichen, wurden für die Bestimmung von Festigkeit und Brix sowie für alle Messungen im gefriergetrockneten Material verschiedene Früchte verwendet.

Einzelfruchtgewicht und Farbe wurden vor und nach der Lagerung an denselben Früchten verglichen.

Die Ergebnisse des Lagerversuches werden unter den Bezeichnungen **V2, t₀** (Gehalte direkt nach der Ernte) und **V2, Lag** (Gehalte nach 12-tägiger Lagerung) mit Nennung des jeweiligen Anbausatzes (**S1, S2**) zusammengefasst.

2.11 Atmungsrate

Während des Lagerns des ersten Satzes im Versuchsjahr 2005 wurden in Akrylküvetten mit einem Volumen von 4,4 Litern die CO₂ Bildungsrate von 1 kg eingelagerten Tomaten ermittelt. Diese Rate wurde alle 65 Minuten mit einem Durchflusssystem (CO₂ Infrarot Analyseapparat von ABB) gemessen, um die Anreicherung von Ethylen oder anderen Gasen, welche die Qualität beeinträchtigen, auszuschließen. Pro Variante wurden 3 Wiederholungen durchgeführt. Der CO₂ Gehalt wird als Mittelwert pro Tag und kg berechnet und in mg angegeben.

2.12 Histologische Untersuchungen

An 3 verschiedenen Früchten aus den Varianten EC 3, 6,5 und 10 wurde die Zellstruktur von den äußeren (Kutikula und Epidermis = Schale) und inneren (Parenchymgewebe = Pulpa) Gewebeschichten der Tomaten im Versuchsjahr 2006 verglichen.

Dazu wurden Dauerpräparate nach folgendem Verfahren angelegt (Neumüller, 2005):

Mit einer scharfen Klinge wird gleich nach der Ernte ein ca. 0,5 m³ großes Gewebestück aus einer Tomate heraus geschnitten und in einer FPA-Lösung aufgenommen. Anschließend werden die Proben zuerst 30 Minuten in einen Vakuumexsikkator gestellt und danach mindestens für weitere 24 Stunden in der Lösung fixiert. Nach ausreichender Fixierung wird das Präparat zunächst mit 85 %-igem Ethanol für drei Stunden entwässert. Es folgt eine weitere Entwässerung in 99 %-igem Ethanol über Nacht. Danach folgt eine Einbettung in Kunstharz mit dem Leica Historessin Embedding Kit.

Von dem erhaltenen Präparat werden mit einem Leica Grundschlittenmikrotom (Hartmetallmesser) 8 µm dünne Schnitte angefertigt. Diese werden mit ACN-Lösung angefärbt, um die einzelnen Gewebeschichten besser erkennen zu können. Nach einer Trocknungsphase werden unter Verwendung des Eukitt-Einbettungsmediums Dauerpräparate hergestellt und diese mit dem Mikroskop Zeiss Axioskop 50 unter Verwendung von Zeiss Plan-Neofluar-Objektiven untersucht.

2.13 Probennahme

Für die Analysen wurden im Versuchsjahr 2004 (**V1**) jeweils die ersten drei Früchte der Trosse 4, 6 und 10 im gleichen Reifestadium (Stadium 9 - 10 der von ctifl (centre technique interprofessionnel des fruits et légumes, Paris) veröffentlichten Skala „code couleur tomate“) geerntet. Bei 3 Wiederholungen je EC-Variante mit 10 ausgewählten Versuchspflanzen ergab sich beim Verwenden der ersten drei Früchte pro Tross eine maximale Probenanzahl von 90 Tomaten. Daraus wurde, abhängig von der Art der Analyse, die notwendige Anzahl an Früchten für die Messungen ausgewählt.

Im Versuchsjahr 2004 wurden zusätzlich zu den Analysen der gesamten Frucht einzelne Kompartimente getrennt analysiert. Dazu wurde die Frucht durch kurzes Eintauchen in heißes Wasser in die Kompartimente Fruchtfleisch (Pulpa) und Schale zerlegt. Von beiden Teilen wurden die unten aufgeführten Analysen getrennt durchgeführt.

Ergebnisse dieses Teilversuches werden mit **V1, KOM** bezeichnet.

Im Versuchsjahr 2005 (**V2**) wurden zu einem bestimmten Erntetermin (1. Satz: 20. Juni, 2. Satz: 28. August) 10 Früchte des gleichen Reifestadiums (Stadium 9 - 10 der Skala von ctifl) von 3 verschiedenen Wiederholungen pro EC-Wert geerntet. Dabei diente ein Topf mit je 2 Pflanzen als Wiederholung. Aus diesen 30 Früchten pro Variante wurde, abhängig vom Testverfahren, die notwendige Anzahl an Tomaten verwendet, um die Frischeparameter zu messen sowie die gesundheitsrelevanten und geschmacksgebenden Inhaltsstoffe zu analysieren.

Für die histologischen Untersuchungen im Versuchsjahr 2006 (**V3**) wurden jeweils 10 Früchte der Varianten EC 3, EC 6,5 und EC 10 im Breaker-Stadium (Stadium 3 - 5 der Skala von ctifl) verwendet. Die Früchte wurden am 12. September 2006 geerntet. Der Grund für die Ernte im Breaker-Stadium ist die bessere Aufbereitungsmöglichkeit der Dauerpräparate gegenüber einer Untersuchung vollreifer Früchte.

2.14 Übersicht Versuche

Alle durchgeführten Versuche sowie eine kurze Beschreibung des Inhaltes der Experimente, aufgliedert nach dem Anbaujahr, sind in der Tabelle 2 kurz zusammengefasst.

Tabelle 3 enthält eine Übersicht der gemessenen Parameter in den Versuchen der Anbaujahre 2004 und 2005.

Tabelle 2: Versuchsbezeichnung

Anbaujahr	Bezeichnung	Teilbezeichnungen	Versuch
2004	V1		Einfluss von verschiedenen EC-Werten auf die Qualität von Tomaten
2004	V1, Kom	Fruchtfleisch: Pulpa Schale: Schale	Einfluss von verschiedenen EC-Werten auf die Verteilung der Inhaltsstoffe in den Tomatenkompartimenten Fruchtfleisch und Schale
2005	V2, LAG, S1	t0 : Erntezeitpunkt Lag : Ergebnisse nach 12-tägiger Lagerung	Einfluss von verschiedenen EC-Werten auf die Qualität von Tomaten (t0) Lagerung von Tomaten (Lag) Messung von CO ₂ -Bildungsraten während des Lagerns
2005	V2, LAG, S2	t0 : Erntezeitpunkt Lag : Ergebnisse nach 12-tägiger Lagerung	Einfluss von verschiedenen EC-Werten auf die Qualität von Tomaten (t0) Lagerung von Tomaten (Lag)
2006	V3		Der Einfluss von Salzstress auf die Histologie der Früchte

Tabelle 3: Gemessene Parameter

	Abkürzung	V1	V1, KOM		V2, LAG, S1		V2, LAG, S2	
			Pulpa	Schale	t0	Lag	t0	Lag
Ertrag	GEP	X						
Pflanzenhöhe	PH	X						
Einzelfruchtgewicht	EFG	X	x	x	x	x		
Trockensubstanz	TS	X	x	x	x	x	x	x
°Brix	Brix	X			x	x	x	x
Titrierbare Säure	TitS	X			x	x	x	x
Festigkeit	Feste	X			x	x	x	x
Lykopin	LYK	HPLC	HPLC	HPLC	HPLC	HPLC	HPLC	HPLC
β-Carotin	β-CAR	HPLC	HPLC	HPLC	HPLC	HPLC	HPLC	HPLC
Phenole	PHE	Folin	Folin	Folin	Folin HPLC	Folin	Folin	Folin
AK Carotinoide	AK CAR	ABTS	ABTS	ABTS	ABTS	ABTS	ABTS	ABTS
AK Phenole	AK PHE	ABTS	ABTS	ABTS	ABTS NH ₂ OH Oxi- dation	ABTS	ABTS	ABTS
Vitamin C	Vit C	HPLC	HPLC	HPLC	HPLC	HPLC	HPLC	HPLC
Vitamin E	Vit E	HPLC	HPLC	HPLC	HPLC	HPLC	HPLC	HPLC
Atmungsrate	AR				x	x		
Farbe	Color				x	x	x	x

2.15 Ermittlung des vegetativen Pflanzenwachstums

Vom 30. März 2004 bis 28. Juni 2004 wurde im **V1** zum Vergleich des vegetativen Wachstums der Pflanzen der Zuwachs der Höhe gemessen. Daraus wurde die Gesamthöhe der Pflanzen ermittelt.

2.16 Aufbereitung/Weiterverarbeitung der Proben

Zur Ermittlung des Ertrages, des Einzelfruchtgewichtes, der Trockensubstanz, des Brix-Wertes, der Fruchtfleischfestigkeit und der Farbanteile wurden frische Tomaten verwendet.

Die übrigen Analysen wurden an pulverisierten Tomaten durchgeführt. Dazu wurden die Tomaten nach der Ernte schockgefroren und anschließend gefriergetrocknet.

2.17 Gefriertrocknung

Während der Gefriertrocknungsphase von ca. 7 Tagen wurden die Temperaturen im Inneren der Anlage schrittweise von -42°C über -5°C , 0°C und $+5^{\circ}\text{C}$ auf $+14^{\circ}\text{C}$ erhöht.

Das gefriergetrocknete Material wurde anschließend in einer Kugelschwingmühle pulverisiert und für weitere Analysen verwendet. Die Aufbewahrung des Pulvers erfolgte bis zur weiteren Analyse bei -20°C .

2.18 Messungen an den frischen Früchten

2.18.1 Einzelfruchtgewicht/Ertrag

Die Früchte wurden sowohl im Versuchsjahr 2004 als auch in 2005 unmittelbar nach der Ernte einzeln gewogen und daraus der Mittelwert des Einzelfruchtgewichtes der verschiedenen EC-Stufen berechnet.

Die Erfassung des gesamten Ertrages erfolgte über den Zeitraum vom 24. Mai bis 8. Juli 2004. Dabei wurde der gesamte Anteil vermarktbarer Früchte in kg pro Variante erfasst, der in diesem Zeitraum angefallen ist. Dieser wurde auf die einzelne Pflanze umgerechnet [kg/Pflanze]. Statistisch verglichen wird der durchschnittlich Ertrag in kg pro Pflanze von je 3 Wiederholungen pro Variante.

2.18.2 Messung der löslichen Festbestandteile der Trockensubstanz/ des Zuckergehaltes

Die Konzentration der „löslichen Festbestandteile der Trockensubstanz“ (Total Soluble Solids), welche mit dem Zuckergehalt korreliert, kann über einen Brechungsindex bestimmt werden. Dazu wird ein Refraktometer verwendet. Dieses zeigt an, in welchem Winkel die enthaltenen Zucker und anderen löslichen Feststoffe das eingestrahlte Licht brechen. Ausgedrückt werden diese Ergebnisse durch den refraktometerischen Index °Brix (OECD-Leitfaden).

2.18.3 Bestimmung der Fruchtfestigkeit

Die Fruchtfleischfestigkeit wird mit einem automatischen Festigkeitsmessgerät (INSTRON) überprüft. Sie wird ausgedrückt als diejenige Kraft, welche ein Gewebe einer definierten Belastung entgegen setzt, wenn das Gewebe um 2 mm verformt wird. Mit der folgenden Formel wird die erhaltene Größe in Bezug auf den Fruchtdurchmesser korrigiert, so dass Früchte verschiedener Größen miteinander verglichen werden können: $P = F * 1000 / [(h/2)^2 - (h/2 - d/2)^2] * 2 * \pi$ (P= Druckfestigkeit in kPa; F= Deformationskraft in N; h= Fruchthöhe in mm; d= Deformation in mm; $\pi = 3,14$) (Brückner und Auerswald, 2000).

2.18.4 Trockensubstanz

Zur Bestimmung der Trockensubstanz werden etwa 15 Gramm des frisch geernteten Pflanzenmaterials (Frischsubstanz) in Gläser eingewogen und unter Frischluftzufuhr bei den folgenden Temperaturen im Trockenenschrank getrocknet: 1. Tag: 60°C; 2. Tag: 90°C; 3. Tag: 105°C.

Nach drei Tagen werden die Proben zurück gewogen und der Prozentsatz der Trockensubstanz ermittelt.

2.18.5 Farbmessung

Mit einem Colorimeter von Minolta wurden die Farbwerte a (Anteile von rot nach grün) und b (Anteile von gelb nach blau) der Früchte an jeweils 2

gegenüberliegenden Punkten einer Frucht im Versuchsjahr 2005 (**V2**) zum Erntezeitpunkt **t0** und nach der Lagerung (**Lag**) an derselben Tomate erfasst.

2.19 Messung der titrierbaren Acidität

Die Messung erfasst alle in dem vorbereiteten Pulvermaterial enthaltenen Bestandteile, welche mit Hydroxylionen in Reaktion treten. Dies sind hauptsächlich die vorhandenen organischen Säuren (Auerswald et al., 1999).

Zur Ermittlung des Gehaltes der organischen Säuren wird 1 g Tomatenpulver mit 50 ml $\text{H}_2\text{O}_{\text{bidest}}$ versetzt und zehn Minuten im Kreisschüttler im Wasserbad bewegt. Die Proben werden anschließend durch Rundfilter von festen Bestandteilen gereinigt, Von dem Filtrat wird ein Aliquot von 10 ml in einen Erlenmeyerkolben überführt. Mit 0,1 molarer NaOH (Natriumhydroxid) wird unter Zugabe von Phenolphthalein als Indikator die Säure bis zur deutlichen Rotfärbung titriert (Auerswald et al., 1999). Der erhaltene Titer wird auf die hauptsächlich in Tomaten vorkommende Zitronensäure umgerechnet. Dabei entspricht 1 ml verbrauchte 0,1 molare NaOH 6,4 mg Zitronensäure (OECD-Leitfaden).

2.20 Extraktion von Pflanzeninhaltsstoffen

2.20.1 Carotinoide und Vitamin E

In 2 ml Eppendorfgefäße werden je 0,1 g gefriergetrocknete Probe und 0,01 g K_2CO_3 zur Neutralisation eventuell vorhandener Säuren eingewogen. Nach Zugabe von 0,9 ml Methanol/Tetrahydrofuran (MeOH/THF) werden die Proben 1 Minute am Vortexer gemischt und 3 Minuten im Ultraschallbad bei ca. 10 °C gelöst.

Für die quantitative Bestimmung der Carotinoide an der HPLC wird 0,18 ml interner Standard (β -Apo-8'-Carotenal) zu den Proben gegeben, die noch mit 0,72 ml MeOH/THF (1/1) aufgefüllt werden. Die Analyse von Vitamin E erfolgt ohne Zugabe eines internen Standards.

Anschließend werden 0,5 ml Hexan (für die HPLC-Analyse vorgesehene Proben: Verwendung von Hexan/BHT) hinzu pipettiert und noch 0,5 ml NaCl zugegeben.

Nach 3 Minuten Ultraschallbad und 10 Minuten Zentrifugieren bei 4000 U/min bilden sich zwei Phasen, von denen 0,5 ml der oberen Phase abgezogen und in Falcon Röhrchen überführt wird.

Es erfolgt eine erneute Zugabe von 0,5 ml Hexan bzw. Hexan/BHT, anschließend 30 Sekunden Mischen am Vortexer, Homogenisieren im Ultraschallbad und das Zentrifugieren. Danach werden 0,6 ml der oberen Hexanphase abgezogen und ebenfalls ins Falcon Tube überführt. Dann wird erneut die gleiche Menge Hexan in die Probe pipettiert. Der letzte Schritt und die jeweilige Bearbeitung sind noch dreimal zu wiederholen und die abgezogenen Phasen zu sammeln. Insgesamt werden demnach je Probe 2,9 ml in den Falcon Tubes gesammelt und anschließend im Exsiccator abgedampft (Hart und Scott, 1995).

Bis zur Weiterverarbeitung werden die extrahierten Carotinoidproben bei - 20°C aufbewahrt.

2.20.2 Phenole

0,4 g Probenmaterial werden mit 4 ml 80 %-igem Methanol angelöst, 1 Minute gevortext und anschließend 30 Minuten bei ca. 10°C im Ultraschallbad homogenisiert. Nach 10 Minuten Zentrifugieren bei 10000 U/min werden 2 ml Überstand abgezogen und durch 0,45 μ m Filter in 2 ml Eppendorfgefäße überführt (Tura and Robards, 2002).

Zur Gewinnung des Gesamtphenolextraktes wird von dem gefilterten Überstand ein Aliquot von 250 µl abgezogen und in Eppendorfgefäße überführt. Im Exsiccator wird das Lösungsmittel anschließend verdampft. Der trockene Extrakt wird bei – 20°C in der Tiefkühltruhe bis zur weiteren Verwendung gelagert.

Für die quantitative Analyse mit Hochdruckflüssigkeitschromatographie wurde nach folgendem Verfahren extrahiert:

1 g Tomatenpulver wird mit 10 ml Methanol und 0,0025% 3-Methoxy-Flavon als internem Standard aufgenommen und in ein Zentrifugenröhrchen (12 ml) überführt. In einem eisgekühlten Ultraschallbad werden die phenolischen Inhaltstoffe anschließend 30 Minuten extrahiert. Nach einem 10-minütigen Zentrifugieren des Zellmaterials bei 3000 U/min und 0°C wird der Überstand in Eppendorfgefäße überführt und im Vakuumrotationsverdampfer eingeengt (Rühmann, 2006).

2.21 Vitamin C

Angelehnt an die Methode von Davey et al. (2000) werden 0,4 g des gefriergetrockneten Tomatenpulvers mit 20 ml Meta-Phosphorsäure (1,5 %-ige) versetzt und zehn Minuten bei 7°C im Ultraschallbad homogenisiert und anschließend zentrifugiert (5 min, 3000 U). Zur Analyse wird ein gefiltertes Aliquot (Filter: 0,45 µm) vom Überstand verwendet.

2.22 Bestimmung von antioxidativen Eigenschaften

2.22.1 ABTS-Entfärbassay

In einer Peroxidase katalysierten Reaktion wird das ABTS Molekül durch Zugabe von H_2O_2 zum grün gefärbten ABTS-Radikalkation umgewandelt. Durch antioxidativ wirksame Substanzen kann die Radikalbildung gehemmt werden, indem Radikale abgefangen oder deren weitere Entstehung verzögert wird. Diese Reaktion wird durch eine Entfärbung des Substrates sichtbar und kann bei 734 nm photometrisch erfasst werden (Cano et al., 2000).

Die durch die Entfärbung entstehende Absorptionsdifferenz ist ein Maß für die antioxidative Kapazität (AK) des zugegebenen Antioxidationsmittels. Die AK wird mit dem Standardantioxidanz Trolox, einem Vitamin E Analog, verglichen. Die so ermittelte antioxidative Kapazität der eingesetzten Extrakte wird mit folgender Regressionsgerade in Trolox-Äquivalente (TÄ) in mg/100 g Frischsubstanz (FS) bzw. mg/1 g Trockensubstanz (TS) umgerechnet: $y = 0,0015 * x$, $R^2 = 0,99$.

Die extrahierten Carotinoidproben werden in 1 ml Dichlormethan/Ethanol (1/1), die Phenolextrakte in 1 ml 80 %-igem MeOH angelöst.

Die Vorlage der Reagenzien erfolgt nach dem Pipettierschema in unten aufgeführter Tabelle. Die Reaktion wird durch Zugabe von H_2O_2 im Photometer gestartet. Nach 2 Minuten werden die Proben zugegeben, nach 6 Minuten ist die Messung zu Ende.

ABTS Pipettierschema

Reagenz	Pipettiervolumen [μl] Referenz	Pipettiervolumen [μl] Testansatz	Konzentration im Ansatz
ABTS	1000 μl	1000 μl	1 mM
EtOH	300 μl	100 μl	
$\text{H}_3\text{PO}_4/\text{EtOH}$	100 μl	100 μl	
$\text{H}_2\text{O}_{\text{bidest}}$	500 μl	500 μl	
POD	100 μl	100 μl	6 μM
H_2O_2	-	100 μl	35 μM
Extrakte	-	100 μl	divers

2.22.2 Xanthinoxidase-Testsystem

Dieses Modellsystem stellt die pathologische Situation der Ischämie und Reperfusion nach, zu der es durch Unfälle, Gefäßverschlüsse, Operationen und Blutgerinnsel in der Ischämiephase bei ungenügender Sauerstoffzufuhr im Gewebe kommen kann. Das kann zur vermehrten Bildung von Xanthin (NH_2OH) führen. Wenn in der Phase der Reperfusion und während der Ischämiephase dem Gewebe wieder Sauerstoff zugeführt wird, kann die Xanthindehydrogenase (XDH) durch den hinzukommenden Sauerstoff zur Xanthinoxidase (XOD) umgewandelt werden. Im Normalfall überträgt die XDH H-Atome von Xanthin auf Nicotinamid-adenin-dinucleotidphosphat (NAD^+), wodurch NADH/H^+ und Harnsäure entsteht.

Durch Übertragung von Elektronen auf O_2 statt auf NAD^+ entsteht neben der Harnsäure auch das Superoxidradikalanion ($\text{O}_2^{\cdot-}$) (Lavelli, 2002; Britsos, 2000). Das entstandene $\text{O}_2^{\cdot-}$ kann zu H_2O_2 umgesetzt werden. Wasserstoffperoxid (H_2O_2) oder das Superoxidradikalanion können beim Vorhandensein von Übergangsmetallen durch die Haber-Weiss-Reaktion zu dem noch reaktiveren Hydroxylradikal (OH^{\cdot}) umgesetzt werden:



Das Hydroxylradikal ist eines der reaktivsten Radikale, das viele Schädigungen in organischen Molekülen auslösen kann (Elstner, 1990).

In vitro wird bei der NH_2OH -Oxidation mittels Xanthinoxidase das Superoxidradikalanion generiert, das mit dem Indikatormolekül Hydroxylamin zu Nitrit reagiert. Durch Azokupplung kann das Nitrit im Photometer quantifiziert werden (Griess-Reaktion). Eine Hemmung der Farbstoffbildung durch Zusatz antioxidativ wirksamer Substanzen ist ein Hinweis auf deren superoxidradikalfangende Eigenschaften (Cos et al., 1998; Elstner, 1990).

Durchführung

Alle Substanzen werden gemäß unten aufgeführtem Schema im Reagenzglas zusammen pipettiert. Zum Lösen der Phenolextrakte wird 1 ml 10 %-iges Acetonitril verwendet.

Durch Zugabe von XOD wird die Reaktion gestartet und für 30 Minuten bei 37°C im Wasserbad inkubiert. Danach werden dem Reaktionsansatz 300 µl entnommen und zu 300 µl Sulfanylsäure (1 %-ig in 8% Salzsäure) pipettiert. Die Sulfanylsäure stoppt die Hydroxylaminoxidation.

NH₂OH-Oxidation Pipettierschema

Reagenz	Konzentration Stammlösung	Konzentration im Ansatz	Pipettiervolumen [µl]
Phosphatpuffer	200 mM	100 mM	500
NH ₂ OH	10 mM	1 mM	100
Xanthin	5 mM	500 µM	100
Testsubstanz	-	-	100
H ₂ O	-	-	100
XOD	0,4 U/ml	0,04 U/ml	100

Mit Zugabe von 300 µl Naphtylethylendiamin (0,02 %-ig) wird eine Azokupplung gestartet. Nach 15 Minuten ist die Reaktion stabil, der entstehende Farbstoff kann im Photometer bei 540 nm gegen Luft gemessen werden.

Die zugehörige Regressionsgleichung zum Vergleich der Wirksamkeit verschiedener Extrakte auf Basis von Gallussäureäquivalenten lautet: $y = 0,0968 \ln(x) + 0,0908$, $R^2 = 0,94$.

2.23 Folin Ciocalteu Test

Mit dem Folin Test können die reduzierenden Eigenschaften eines Substrates gemessen werden. Dabei wird Folin-Ciocalteu-Lösung im alkalischen Milieu unter Anwesenheit von reduzierenden Stoffen, zu denen Phenole zählen, zu einem blauen Farbstoff umgesetzt. Durch photometrische Bestimmung wird die Färbung quantitativ übersetzt. Als Referenz dient dabei eine Gallussäure-Kalibriergerade. Damit kann der Gehalt an reduzierenden Verbindungen in µM Gallussäureäquivalente (GÄ) umgerechnet werden (Singleton et al., 1998).

Die Gehalte wurden anhand folgender Regressionsgleichung bestimmt:

$$Y = 0,0017 * x, R^2 = 0,99.$$

Die Phenolextrakte werden mit 1 ml 80 %-igem MeOH angelöst. Es werden je 0,2 ml der gelösten Proben in 3 ml Küvetten vorgelegt und 1 ml Folin-Reagenz hinzu pipettiert. Nach 2 Minuten erfolgt die Zugabe von 1 ml Na_2CO_3 . Nach 60 Minuten wird die Absorption im Photometer bei 720 nm gemessen und dann in Gallussäureäquivalente umgerechnet.

2.24 Quantitative Bestimmung von Pflanzeninhaltsstoffen mit der Hochdruckflüssigkeitschromatographie

2.24.1 Carotinoide

Die carotinoidhaltigen Extrakte werden zum Anlösen mit 500 µl Dichlormethan versetzt und 30 Sekunden gevortext. Anschließend werden 1500 µl Ethanol hinzupipettiert, vermischt und die Lösung gefiltert (0,45 µm). Das Filtrat wird an der Apparatur 1 oder 2 unter folgenden Bedingungen verändert nach Sander et al. (1994) per Hochdruckflüssigkeitschromatographie analysiert:

Flow:	1 ml/min
Injektionsvolumen:	20 µl
Säulentemperatur:	30°C
Wellenlänge:	450 nm
Laufmittel A:	Methanol mit 0,05% Triethylamin
Laufmittel B:	Aceton
Laufmittel C:	H ₂ O _{bidest.} mit 0,05% Ammoniumacetat

Gradient:

[min]	A [%]	B [%]	C [%]
0	86	10	4
10	56	40	4
30	10	90	0
35	0	100	0
40	0	100	0
45	86	10	4
60	86	10	4

Als interner Standard wird β-apo-8-Carotenal verwendet. Folgende Regressionsgleichungen wurden für 2 verschiedenen Chargen des Standards ermittelt und entsprechend zur Berechnung der Gehalte eingesetzt:

β-apo-8-Carotenal 1: $\text{Area [mV*min]} = 7718 \text{ [mV*min]} * \beta\text{-apo-8-Carotenal [mM]}$, $R^2 = 0,94$.

β-apo-8-Carotenal 2: $\text{Area [mV*min]} = 366580 \text{ [mV*min]} * \beta\text{-apo-8-Carotenal [mM]}$; $R^2 = 0,95$.

Quantitativ erfasst wurden die Carotinoide *Lykopin* und *β-Carotin*. Die Regressionsgeraden für diese Substanzen lauten:

β-Carotin : $Y = 51466 * x$, $R^2 = 0,99$.

Lykopin: $Y = 36580 * x$, $R^2 = 0,95$.

2.24.2 Vitamin E

Die tief gefrorenen Vitamin E-haltigen Extrakte werden mit 250 µl Tetrahydrofuran versetzt und gevortext. Dazu werden 750 µl Methanol pipettiert. Die Lösung wird erneut 30 Sekunden gevortext, für 10 Minuten ins Ultraschallbad gestellt und anschließend filtriert. Das Filtrat wird mit der HPLC (Apparatur 5) analysiert (Milde, 2004):

Flow:	1 ml/min
Injektionsvolumen:	20 µl
Säulentemperatur:	25°C
Wellenlänge:	190 nm
Laufmittel:	isokratischer Lauf mit Methanol/Acetonitril/ Tetrahydrofuran: 50/45/5%

Die ermittelte Regressionsgerade für Vitamin E lautet: $Y = 0,2945 * x$, $R^2 = 0,98$.

2.24.3 Phenole

Die Phenolextrakte werden in 100 µl Methanol p.a. aufgenommen, zur besseren Lösung kurz gevortext und anschließend unter folgenden Bedingungen mit der Apparatur 3 analysiert (Rühmann, 2005):

Flow:	0,5 ml/min
Injektionsvolumen:	100 µl
Säulentemperatur:	20°C
Wellenlänge:	280 nm
Laufmittel A:	5 %-ige Ameisensäure
Laufmittel B:	Methanol

Gradient:

Zeit [min]	B [%]		Zeit [min]	B [%]	
0–5	5	isokratisch	95–125	25–30	
5–10	5–10		125–145	30–40	
10–15	10	isokratisch	145–160	40–50	
15–35	10–15		160–175	50–90	
35–55	15	isokratisch	175–195	90	isokratisch
55–70	15–20		195–210	90–95	
70–80	20	isokratisch	210–235	95	isokratisch
80–95	20–25				

Als interner Standard wird 6-Methoxy-Flavon verwendet. Aus der Peakfläche einer bestimmten phenolischen Substanz lässt sich mit Hilfe von Eichfaktoren (Responsfaktoren) ihre Konzentration bestimmen. Dabei dient die Trockensubstanz als Bezugsgröße. Die Konzentrationen von Referenzsubstanzen lassen sich nach folgender Formel berechnen:

$$\text{Konz}(i) = \frac{A(i) \cdot \text{RF}(i)}{A(\text{IS}) + \text{RF}(\text{IS})} \cdot \text{MF} \cdot \text{Konz}(\text{IS})$$

i	Einzelpeak
IS	interner Standard (6-Methoxy-Flavon)
Konz	Konzentration
A	Peakfläche
RF	Responsfaktor = Konzentration/Peakfläche
MF	Multiplikationsfaktor (bezieht die Konzentration auf 1 g TS)

Responsfaktoren:

- 6-Methoxy-Flavon (interner Standard): $1,53 \times 10^{-5}$
- Benzoessäure: $6,43 \times 10^{-6}$
- Chlorogensäure: $2,1 \times 10^{-5}$
- p-Cumarsäure: $4,24 \times 10^{-6}$
- Rutin: $4,02 \times 10^{-5}$
- Flavonole (Quercetin): $1,53 \times 10^{-5}$
- Naringenin : $8,02 \times 10^{-6}$

2.24.4 Vitamin C

Die frischen Extrakte werden in die HPLC injiziert und mit unten beschriebenen Bedingungen durch Hochdruckflüssigkeitschromatographie (Apparatur 4) analysiert. Grundlage für die angewandte Methode liefern Davey et al. (2003).

Flow:	1 ml/min
Injektionsvolumen:	100 µl
Säulentemperatur:	25°C
Wellenlänge:	245 nm
Laufmittel:	isokratischer Lauf mit 400 µl/l Ortho-Phosphorsäure; 0,1 mM EDTA

Die Gehalte werden anhand der folgenden Regressionsgleichung ermittelt:

$$Y = -0,3111 + (0,8708 * x), R^2 = 0,92.$$

2.25 Statistische Auswertung der Messergebnisse

Alle Versuche wurden an zwei verschiedenen Tagen wiederholt. Aus den erhaltenen Messwerten werden die Mittelwerte mit zugehöriger Standardabweichung nach folgender Formel berechnet:

$$\sigma_{n-1} = \left[\frac{\sum x^2 - (\sum x)^2/n}{n-1} \right]^{-2}$$

Die Ergebnisse wurden mit der folgenden Software ausgewertet und graphisch dargestellt: Microsoft Word XP, Microsoft Excel XP sowie Microsoft Origin 5.0.

Die statistische Auswertung erfolgte mit SPSS Version 12.0. Die Haupteffekte der verschiedenen Salzstufen wurden mit der einfaktoriellen Varianzanalyse (ANOVA) überprüft. Die Mittelwerte wurden mit dem Tukey Test verglichen. Haupteffekte und paarweise Vergleiche werden bei einem p-Wert < 0,005 als signifikant angenommen. Signifikante Unterschiede werden mit Buchstaben innerhalb der Graphen und Tabellen verdeutlicht.

Mit einer Regressionsanalyse wurde im ersten Versuchsjahr (2004) der Zusammenhang zwischen abhängigen (EFG, TS, °Brix, Feste, Vit C, Vit E, CAR, LYK, PHE, AK CAR, AK PHE) und unabhängigen Variablen (rel. Luftfeuchte, Temperatur, Einstrahlung, Trossnummer Farbe, Lagerung) überprüft.

Im zweiten Versuchsjahr (2005) wurde eine Regressionsanalyse gemacht, um die Zusammenhänge der unabhängigen (EFG, TS, °Brix, Feste, Vit C, Vit E, CAR, LYK, PHE, AK CAR, AK PHE) und abhängigen Variablen (Farbindizes *a und *b, Salzstufe) zu überprüfen.

Die Zusammenhänge werden über den Pearson'schen Korrelationskoeffizienten ausgedrückt. Signifikante Zusammenhänge werden bei p-Werten < 0,005 angegeben.

Zusätzlich wurde im zweiten Versuchsjahr mit der zweifaktoriellen Varianzanalyse überprüft, ob die abhängigen Variablen *Salzstufe* und *Lagerung* einen Einfluss auf die unabhängigen Größen *EFG*, *TS*, *°Brix*, *Feste*, *Vit C*, *Vit E*, *CAR*, *LYK*, *PHE*, *AK CAR*, *AK PHE* haben und eine Wechselwirkung zwischen Salzstufe und der Lagerung existiert. P-Werte < 0,005 werden als signifikant angenommen.

3 Ergebnisse

3.1 Beschaffenheit der Pflanzen

Erhöhte EC-Werte führten gegenüber der Kontrolle zu einer deutlichen Reduzierung des Wachstums. Dies war sowohl an vegetativen Parametern als auch an der Fruchtgröße messbar. Zum Vergleich der Pflanzengröße wurde die Höhe der Pflanzen im Versuchsjahr 2004 herangezogen. Die Höhe nahm in der Variante EC 6,5 von 456 cm in der Kontrolle auf 413 cm in EC 6,5 ab. Zu einem weiteren Rückgang kam es in der Variante EC 10, die 369 cm hoch wurde (Tabelle 4). Der Gesamtertrag ging von 2,2 kg in der Kontrolle auf 2,1 kg in der Variante EC 6,5 und auf 1,7 kg pro Pflanze in der Variante EC 10 zurück (Tabelle 4).

Tabelle 4: Einfluss von Salzstress auf den Gesamtertrag pro Pflanze (GEP) in [kg/Pflanze] und auf die Höhe der Pflanzen (PH) in [cm], V1.

	GEP [kg/Pflanze]	PH [cm]
EC 3	2,2 ± 0,2 a	456 ± 21 a
EC 6,5	2,1 ± 0,1 a	413 ± 25 b
EC 10	1,7 ± 0,3 a	369 ± 20 c
p (n)	0,055 (3)	0,000 (42)

3.2 Gehalte von geschmacksgebenden und ernährungsphysiologisch bedeutenden Inhaltsstoffen in der Gesamtf Frucht

Unter diesem Punkt werden die Ergebnisse des ersten Versuchsjahres (2004) zusammengefasst. In 2004 ging es primär um den Einfluss von Salzstress auf die gesamte Frucht. Dabei wurden 3 verschiedene Trosse – Nummer 4, 6 und 10 – untersucht. Um klar zu stellen, wie sich Salzstress auf die untersuchten Parameter in Bezug auf 100 g Frischsubstanz auswirkt, werden exemplarisch für das Versuchsjahr 2004 die Ergebnisse des sechsten Trosses näher betrachtet, da die Tendenz für die Trosse 4 und 10 die gleiche ist. Die genauen Werte für diese Trosse 4 und 6 sind in Tabelle 5 zusammengefasst. Der Trend kann auch den Abbildungen 1 bis 8 sowie den Abbildungen 10 und 11 in den Punkten 3.2.1 bis 3.2.11 des Ergebnisteiles entnommen werden. Die mit Kleinbuchstaben dargestellten Signifikanzen in den Abbildungen 1 bis 11 beziehen sich auf die Unterschiede der verschiedenen EC-

Werte innerhalb eines Trosses, die p-Werte dazu sind in Anhang 1 zusammengefasst.

In Tabelle 6 sind die Ergebnisse in Bezug auf 1 g Trockensubstanz für alle Trosse dargestellt.

Zur Ermittlung der Haupteinflussfaktoren auf die Parameter über die gesamte Anbauperiode wurde im Versuchsjahr 2004 neben den Faktoren *Salzgehalt*, *relative Luftfeuchtigkeit*, *Einstrahlungssumme* und *Temperatur* (jeweils pro Tag und m²) auch die *Trossnummer* als Einflussfaktor berücksichtigt. Die Ergebnisse sind im Anhang 2 festgehalten, die Haupteinflüsse werden im folgenden Text benannt.

Die unter Punkt 3.2.11.3 *Antioxidative Kapazität Phenole (NH₂OH Testsystem)* *Gesamtfrucht* zusammengefassten Ergebnisse der Hydroxylamin-Oxidation wurden im Rahmen eines Laborpraktikums von Susanne Bayr und Kerstin Gössel gewonnen.

Tabelle 5: Der Einfluss von Salzstress auf Einzelfruchtgewicht (EFG), Festigkeit (Feste), Zuckergehalt (Brix), titrierbare Säuren (TitS), Vitamin C (Vit C), Lykopin (LYK), β -Carotin (β -CAR), antioxidative Kapazität von Carotinoiden (AK CAR) und Phenolen (AK PHE) in Trolox Äquivalenten (TÄ) und Phenolgehalt (PHE) in Gallussäureäquivalenten (GAÄ) bezogen auf 100 g Frischsubstanz (FS) in den Trossen 4 und 10. Signifikanzniveau 0,05%, V1.

Tross	EFG [g]		Feste [kPa]	
	4	10	4	10
EC 3	76,7 \pm 12,3 a	76,5 \pm 13,1 a	44,5 \pm 9,1 a	41,1 \pm 9,1 a
EC 6,5	66,7 \pm 11,6 b	54,0 \pm 12,5 b	43,3 \pm 7,8 a	42,1 \pm 8,4 a
EC 10	51,1 \pm 9,8 c	46,3 \pm 9,3 c	39,0 \pm 5,8 b	42,0 \pm 7,6 a
p (n)	0,000 (90)	0,000 (90)	0,002 (45)	0,815 (45)

Tross	°Brix		TitS [mg]	
	4	10	4	10
EC 3	4,3 \pm 0,3 c	5,1 \pm 0,6 c	365,5 \pm 3,8 c	357,3 \pm 1,9 c
EC 6,5	4,9 \pm 0,1 b	6,0 \pm 0,5 b	391,7 \pm 8,9 b	374,4 \pm 4,2 a
EC 10	6,0 \pm 0,3 a	6,9 \pm 0,5 a	459,5 \pm 4,2 a	448,8 \pm 5,1 a
p (n)	0,000 (45)	0,000 (45)	0,001 (4)	0,000 (4)

Tross	Vit C [mg]		LYK [mg]	
	4	10	4	10
EC 3	9,9 \pm 2,0 b	9,1 \pm 0,1 a	4,8 \pm 0,8 a	3,8 \pm 0,5 b
EC 6,5	10,2 \pm 1,5 b	8,3 \pm 0,2 b	5,2 \pm 0,6 a	4,1 \pm 0,9 b
EC 10	10,9 \pm 1,4 a	9,6 \pm 0,3 a	6,4 \pm 1,3 a	5,5 \pm 0,5 a
p (n)	0,000 (4)	0,000 (4)	0,105 (4)	0,010 (4)

Tross	β -CAR [mg]		PHE [mg GAÄ]	
	4	10	4	10
EC 3	0,4 \pm 0,0 b	0,3 \pm 0,0 a	19,7 \pm 0,8 a	22,5 \pm 0,8 c
EC 6,5	0,5 \pm 0,0 a	0,3 \pm 0,1 a	18,7 \pm 1,5 a	26,3 \pm 1,7 b
EC 10	0,4 \pm 0,0 b	0,4 \pm 0,1 a	21,8 \pm 3,0 a	28,5 \pm 1,2 a
p (n)	0,001 (6)	0,044 (6)	0,046 (6)	0,000 (6)

EC	AK PHE [mg TÄ]		AK CAR [mg TÄ]	
	4	10	4	10
3	23,0 \pm 1,0 c	21,7 \pm 0,4 c	4,5 \pm 0,9 b	4,7 \pm 1,5 a
6,5	25,6 \pm 1,8 b	21,9 \pm 0,5 b	5,3 \pm 0,7 b	5,9 \pm 2,3 a
10	28,4 \pm 1,6 a	29,1 \pm 0,8 a	6,4 \pm 0,5 a	7,2 \pm 2,0 a
p (n)	0,000 (6)	0,000 (6)	0,001 (6)	0,120 (6)

Tabelle 6: Der Einfluss von Salzstress auf titrierbare Säuren (TitS), Vitamin C (Vit C), Lykopen (LYK), β -Carotin (β -CAR), antioxidative Kapazität von Carotinoiden (AK CAR) und Phenolen (AK PHE) in Trolox Äquivalenten (TÄ) und Phenolgehalt (PHE) in Gallussäureäquivalenten (GAÄ) bezogen auf 1 g Trockensubstanz (TS) in den Trossen 4, 6 und 10. Signifikanzniveau 0,05%, V1.

Tross	TitS [mg]			VitC [mg]		
	4	6	10	4	6	10
EC 3	77,1 \pm 0,80 a	67,5 \pm 1,6 b	65,8 \pm 0,4 a	1,82 \pm 0,05 a	1,73 \pm 0,13 a	1,93 \pm 0,03 a
EC 6,5	72,1 \pm 1,58 b	73,3 \pm 1,0 a	60,2 \pm 0,7 b	1,64 \pm 0,02 b	1,38 \pm 0,08 b	1,54 \pm 0,04 b
EC 10	68,4 \pm 0,56 c	66,9 \pm 1,3 b	58,4 \pm 0,7 c	1,42 \pm 0,04 c	1,35 \pm 0,13 b	1,43 \pm 0,04 c
p (n)	0,000 (3)	0,000 (3)	0,000 (3)	0,000 (4)	0,000 (4)	0,000 (4)

Tross	LYK [mg]			β -CAR [mg]		
	4	6	10	4	6	10
EC 3	1,01 \pm 0,17 a	0,91 \pm 0,03 a	0,80 \pm 0,11 a	0,08 \pm 0,00 a	0,09 \pm 0,003 a	0,06 \pm 0,00 a
EC 6,5	0,96 \pm 0,11 a	0,99 \pm 0,19 a	0,75 \pm 0,16 a	0,09 \pm 0,01 a	0,09 \pm 0,004 b	0,05 \pm 0,01 a
EC 10	0,95 \pm 0,20 a	0,87 \pm 0,03 a	0,82 \pm 0,08 a	0,06 \pm 0,00 b	0,08 \pm 0,007 b	0,06 \pm 0,02 a
p (n)	0,833 (4)	0,343 (4)	0,729 (4)	0,000 (4)	0,022 (4)	0,589 (4)

Tross	PHE [mg GAÄ]			AK PHE [mg TÄ]		
	4	6	10	4	6	10
EC 3	4,16 \pm 0,16 a	4,34 \pm 0,03 a	4,74 \pm 0,08 a	4,86 \pm 0,21 a	4,66 \pm 0,23 a	4,57 \pm 0,18 a
EC 6,5	3,68 \pm 0,22 b	4,27 \pm 0,15 a	4,84 \pm 0,09 a	4,72 \pm 0,34 a	4,31 \pm 0,13 a	4,04 \pm 0,31 c
EC 10	3,81 \pm 0,22 b	4,33 \pm 0,24 a	4,26 \pm 0,12 b	4,26 \pm 0,25 b	4,59 \pm 0,52 a	4,35 \pm 0,18 b
p (n)	0,003 (6)	0,817 (6)	0,001 (6)	0,004 (6)	0,378 (6)	0,000 (6)

Tross	AK CAR [mg TÄ]		
	4	6	10
EC 3	0,94 \pm 0,18 a	0,84 \pm 0,12 a	1,00 \pm 0,31 a
EC 6,5	0,98 \pm 0,14 a	0,76 \pm 0,09 a	1,08 \pm 0,43 a
EC 10	0,96 \pm 0,08 a	0,84 \pm 0,10 a	1,08 \pm 0,30 a
p (n)	0,923 (6)	0,535 (6)	0,338 (6)

3.2.1 Einzelfruchtgewicht Gesamtf Frucht

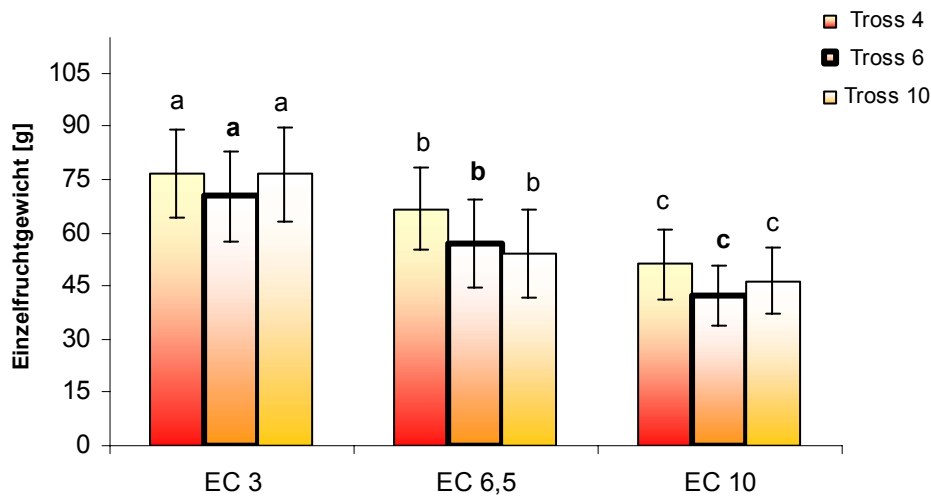


Abbildung 1: Einfluss von Salzstress auf das Einzelfruchtgewicht [g] der Trosse 4, 6 und 10; V1. Die Kleinbuchstaben kennzeichnen die Unterschiede zwischen den EC-Werten innerhalb eines Trosses.

Das Einzelfruchtgewicht ging im Versuchsjahr 2004 signifikant von 70,2 g in der Kontrolle auf 57 g in EC 6,5 und auf 42,5 g in EC 10 zurück ($p = 0,000$, $n = 90$) (Abbildung 1 und Anhang 1).

Im Vergleich zu den übrigen Wachstumsfaktoren und der Trossnummer hatte der Salzgehalt in der Nährlösung den größten Einfluss auf das Einzelfruchtgewicht ($P = 0,939$, $p = 0,000$) (Anhang 2).

3.2.2 Trockensubstanz Gesamtf Frucht

Die Trockensubstanz nahm 2004 von 4,5% in der Kontrolle mit steigenden EC-Werten signifikant zu. In der Variante EC 6,5 wurden 5,4% erreicht. In EC 10 waren es 6,7% ($p = 0,000$, $n = 3$) (Tabelle 7 und Anhang 1).

Tabelle 7: Einfluss von Salzstress auf die Trockensubstanz in [%]; Signifikanzniveau 0,05%; V1.

	TS [%]
EC 3	4,74 ± 0,03 c
EC 6,5	5,43 ± 0,14 b
EC 10	6,70 ± 0,34 a
p (n)	0,000 (3)

3.2.3 Fruchtfleischfestigkeit Gesamtfrucht

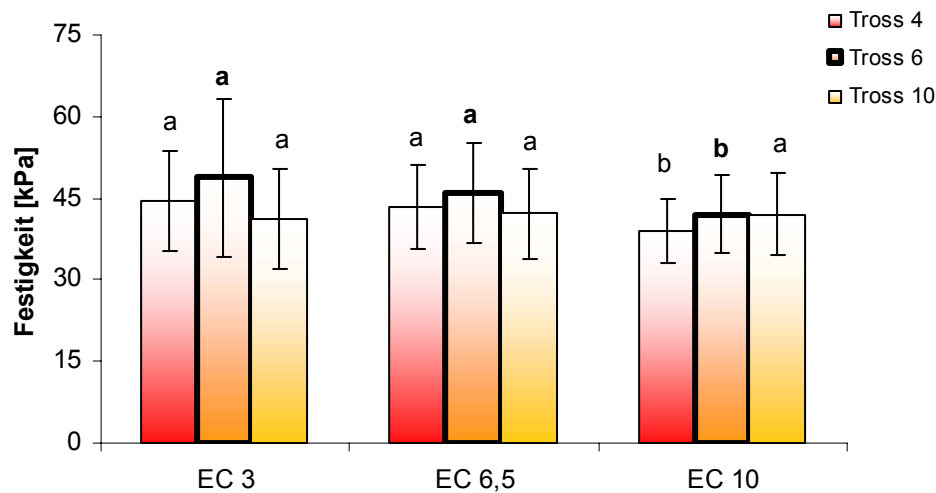


Abbildung 2: Einfluss von Salzstress auf die Fruchtfleischfestigkeit [kPa] der Trosse 4, 6 und 10; V1. Die Kleinbuchstaben kennzeichnen die Unterschiede zwischen den EC-Werten innerhalb eines Trosses.

Im Jahr 2004 wurde eine Festigkeit von 44,5 kPa in der Kontrolle, 43,3 kPa in EC 6,5 und 39,0 kPa in EC 10 gemessen. Bei einer Stichprobenzahl von 45 Früchten pro Variante konnte ein signifikanter Einfluss des Salzgehaltes festgestellt werden ($p=0,000$, $n=45$) (Abbildung 2 und Anhang 1).

Bei Betrachtung des gesamten Versuchsjahres zeigte sich, dass es keine signifikante Korrelation der Festigkeit mit den Faktoren Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Trossnummer, Einstrahlung bzw. Salzgehalt mit der Festigkeit gab (Anhang 2).

3.2.4 Zucker Gesamtf Frucht

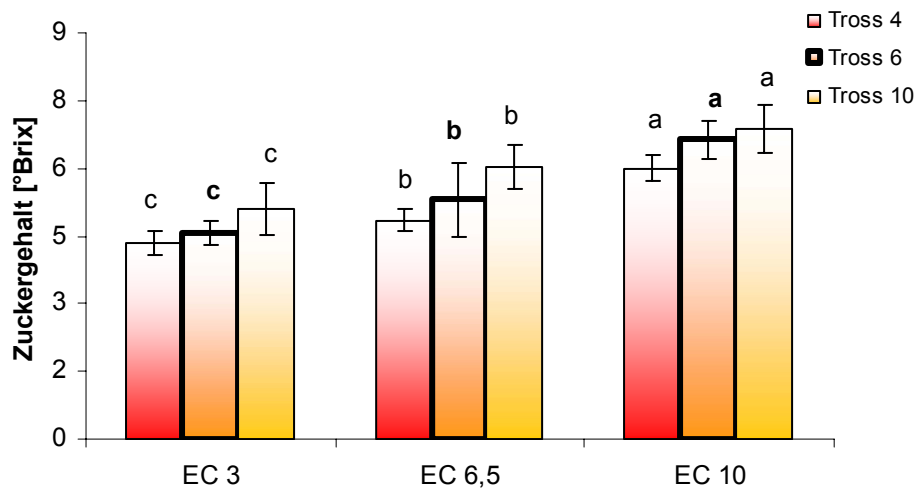


Abbildung 3: Einfluss von Salzstress auf den Zuckergehalt [°Brix] der Trosse 4, 6 und 10; V1. Die Kleinbuchstaben kennzeichnen die Unterschiede zwischen den EC-Werten innerhalb eines Trosses.

Der Zuckergehalt stieg in 2004 ausgehend von 4,6 °Brix in der Kontrolle auf 5,3 °Brix in EC 6,5 und 6,6 °Brix in EC 10 signifikant an ($p=0,000$, $n=45$) (Abbildung 3 und Anhang 1).

Der Brix-Wert korrelierte am stärksten mit dem Salzgehalt ($P=0,884$, $p=0,000$), verglichen mit den Faktoren Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Trossnummer und Einstrahlung (Anhang 2).

3.2.5 Säure Gesamtfrucht

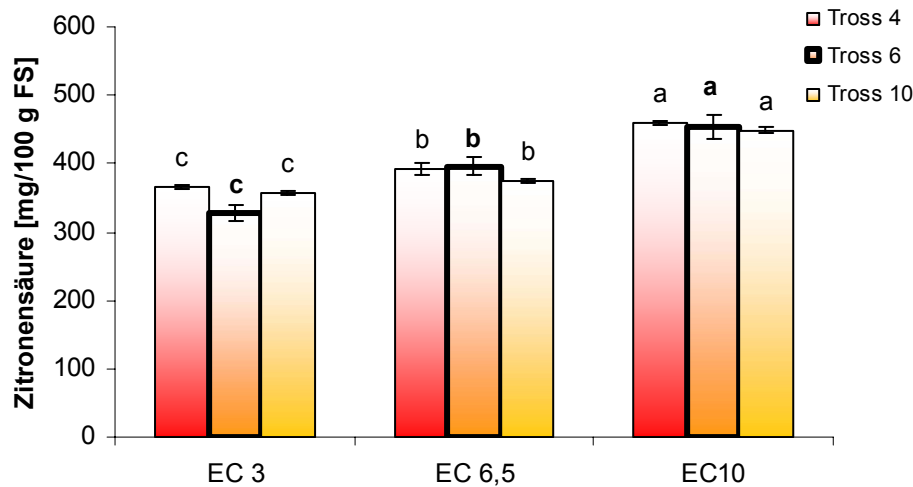


Abbildung 4: Einfluss von Salzstress auf die Zitronensäure [mg/100 g FS] der Trosse 4, 6 und 10; V1. Die Kleinbuchstaben kennzeichnen die Unterschiede zwischen den EC-Werten innerhalb eines Trosses.

Im Versuchsjahr 2004 stiegen die titrierbaren Säuren, ausgedrückt als Zitronensäure bezogen auf 100 g Frischsubstanz mit höheren EC-Werten, ausgehend von der Kontrolle (329 mg) in EC 6,5 (396 mg) und EC 10 (454 mg) signifikant an ($p=0,000$, $n=4$) (Abbildung 4 und Anhang 1).

Die Säuren korrelierten 2004 am stärksten mit dem Salzgehalt ($P=0,637$, $p=0,018$) im Vergleich zu den Faktoren Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Trossnummer und Einstrahlung (Anhang 2).

Auch in der Trockensubstanz (TS) war der Gehalt an titrierbaren Säuren vom EC-Wert signifikant beeinflusst ($p=0,000$, $n=4$). Auf Trockensubstanzbasis enthielt die Variante EC 6,5 mit 73,3 mg signifikant mehr organische Säure als die Kontrolle mit 67,5 mg und die Variante EC 10 mit 66,9 mg (Tabelle 6). Allerdings ist der Anstieg in der Variante EC 6,5 eine Ausnahme von Tross 6. In Tross 4 und 10 nehmen die Gehalte an titrierbarer Säure in 1 g TS ausgehend von 77,2 mg und 65,8 mg ab je höher der EC-Wert ist (Tabelle 6).

3.2.6 Vitamin C Gesamtfrucht

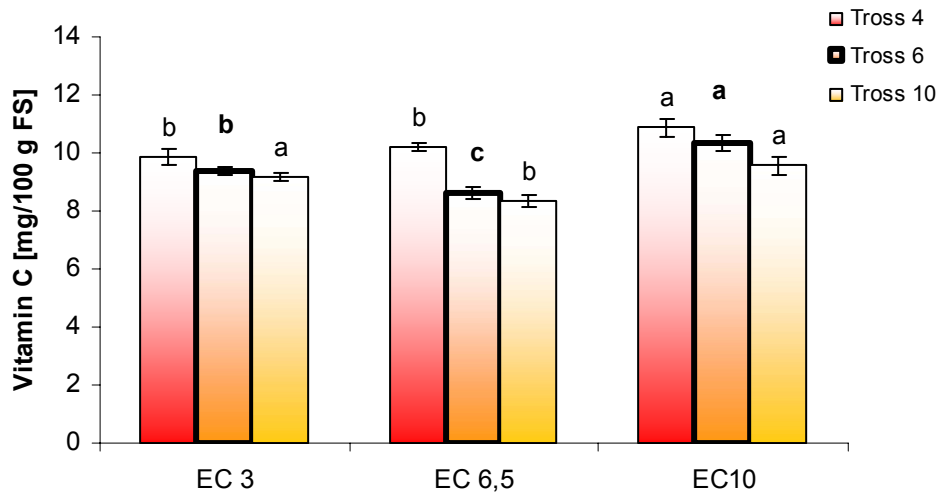


Abbildung 5: Einfluss von Salzstress auf den Vitamin C-Gehalt [mg/100 g FS] der Trosse 4, 6 und 10; V1. Die Kleinbuchstaben kennzeichnen die Unterschiede zwischen den EC-Werten innerhalb eines Trosses.

Die Salzkonzentration der Nährlösung hatte einen signifikanten Einfluss auf den Vitamin C-Gehalt der Früchte im Versuchsjahr 2004 ($p=0,000$, $n=4$). Die Kontrolle hatte 9,4 mg Ascorbinsäure pro 100 g Frischsubstanz. Geringer war der Gehalt in der Variante EC 6,5 (8,61 mg/100 g FS). Signifikant höhere Werte wurden in EC 10 gemessen (10,3 mg/100 mg FS) (Abbildung 5 und Anhang 1).

Am besten korrelierte der Vitamin C-Gehalt mit der Luftfeuchtigkeit ($P=0,703$, $p=0,035$) im Vergleich zu den Faktoren Temperatur, EC-Wert, Trossnummer und Einstrahlung (Anhang 2).

Bezogen auf 1 g Trockensubstanz gingen die Vitamin C-Gehalte bei steigenden Salzgehalten zurück. Die Kontrolle hatte einen Gehalt von 1,73 mg. Dieser Wert nahm ab auf 1,38 mg in EC 6,5 und auf 1,35 mg in EC 10. Der Einfluss des EC-Wertes auf den Ascorbinsäuregehalt in der TS war signifikant ($p=0,000$, $n=3$) (Tabelle 6).

3.2.7 Lykopen Gesamtfrucht

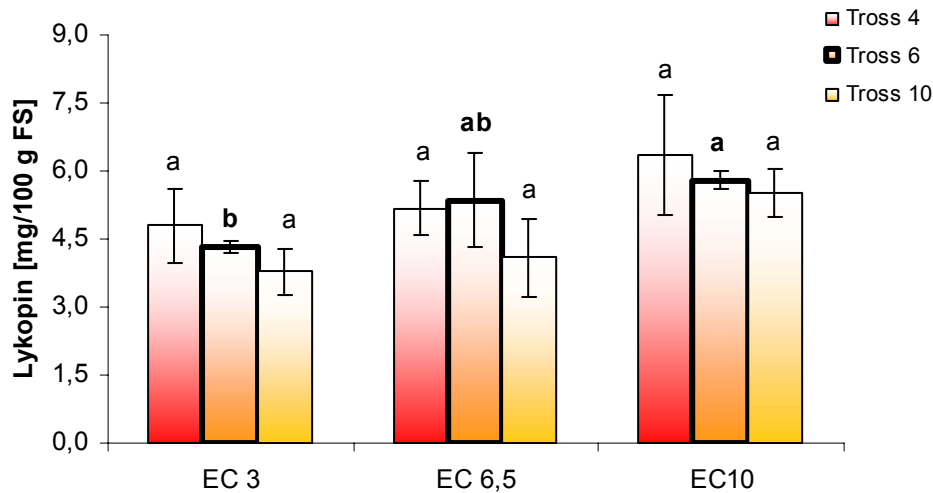


Abbildung 6: Einfluss von Salzstress auf den Lykopen-Gehalt [mg/100 g FS] der Trosse 4, 6 und 10; V1. Die Kleinbuchstaben kennzeichnen die Unterschiede zwischen den EC-Werten innerhalb eines Trosses.

Die Tomaten der Kontrollvariante hatten im Versuchsjahr 2004 einen Lykopingehalt von 4,31 mg/100 g FS. Eine höhere Salzbehandlung führte zu einer Steigerung des Lykopingehaltes auf 5,36 mg in EC 6,5 und auf 5,80 mg bezogen auf 100 g Frischsubstanz in EC 10 ($p = 0,019$, $n = 4$) (Abbildung 6 und Anhang 1).

Der Einfluss des EC-Wertes war über das gesamte Versuchsjahr signifikant. Verglichen mit Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Einstrahlung und Trossnummer hatte dieser Faktor die höchste Korrelation mit dem Lykopen ($P = 0,819$, $p = 0,000$) (Anhang 2).

In der Trockenmasse führten die höheren EC-Werte zu keinen signifikanten Unterschieden zwischen den Varianten ($p = 0,833$, $n = 4$). Mit Gehalten von 0,91 mg (EC 3), 0,99 mg (EC 6,5) und 0,87 mg (EC 10) unterschied sich das Lykopen bezogen auf 1 g Trockensubstanz nicht (Tabelle 6).

3.2.8 β -Carotin Gesamtf Frucht

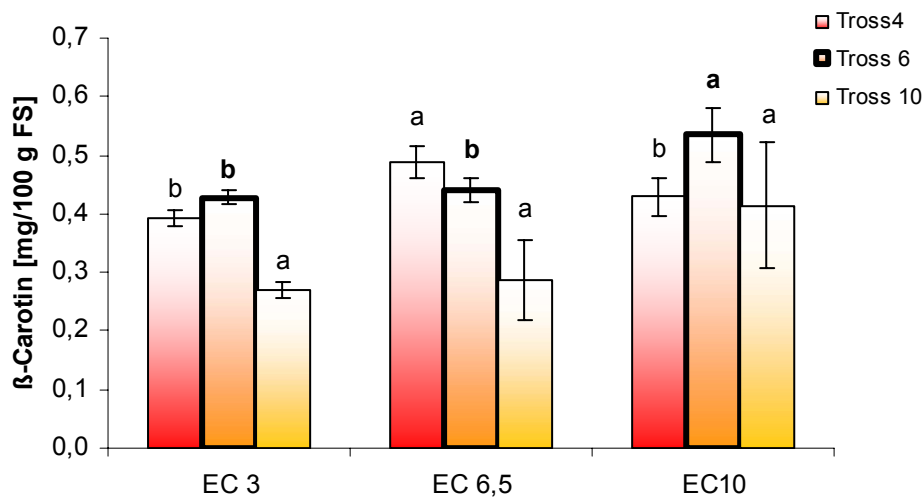


Abbildung 7: Einfluss von Salzstress auf den β -Carotingehalt [mg/100 g FS] der Trosse 4, 6 und 10; V1. Die Kleinbuchstaben kennzeichnen die Unterschiede zwischen den EC-Werten innerhalb eines Trosses.

Im Versuchsjahr 2004 wurden β -Carotingehalte von 0,39 mg in der Kontrolle und 0,44 mg pro 100 g Frischsubstanz in der Variante EC 6,5 erreicht. In EC 10 kam es zu einer Steigerung des β -Carotins auf 0,53 mg/100 g FS. Der Salzgehalt hatte einen signifikanten Einfluss auf diese Gehalte ($p=0,001$, $n=4$) (Abbildung 7 und Anhang 1). Am höchsten korrelierte der β -Carotingehalt in dem Anbaujahr 2004 jedoch mit der Temperatur ($P=-0,759$, $p=0,018$) im Vergleich zu dem Salzgehalt in der Nährlösung, der Luftfeuchte, der Einstrahlung und der Trossnummer (Anhang 2).

In der Trockenmasse nahm der Gehalt an β -Carotin mit erhöhten EC-Werten signifikant ab ($p=0,022$, $n=4$). Ausgehend von 0,90 mg in der Kontrolle sank der β -Carotingehalt auf 0,88 mg in EC 6,5 und 0,81 mg in EC 10 ab (Tabelle 6).

3.2.9 Phenol Anteile (Folin-Test) Gesamtf Frucht

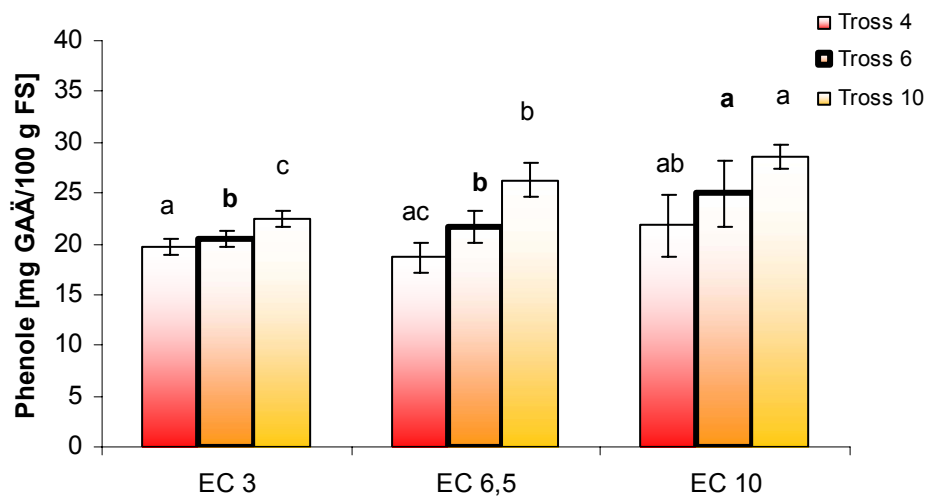


Abbildung 8: Einfluss von Salzstress auf den Phenol-Gehalt [mg GAÄ/100 g FS] der Trosse 4, 6 und 10; V1. Die Kleinbuchstaben kennzeichnen die Unterschiede zwischen den EC-Werten innerhalb eines Trosses.

Der Phenolgehalt wurde im Versuchsjahr 2004 signifikant von dem EC-Wert beeinflusst ($p=0,001$, $n=6$). Es kam zu einer Erhöhung der Phenole in EC 6,5 auf 21,7 mg GAÄ/100 g FS ausgehend von 20,5 mg GAÄ/100 g FS in der Kontrolle. In der Variante EC 10 steigerte sich der Gehalt noch auf 24,9 mg Gallussäureäquivalente (GAÄ) pro 100 g Frischmasse (Abbildung 8, Anhang 1).

Über das gesamte Versuchsjahr betrachtet korrelierte der Phenolgehalt am stärksten mit der Trossnummer ($P=0,769$, $p=0,001$). Keine signifikanten Korrelationen wurden für die Temperatur, die Einstrahlung, den Salzgehalt und die Luftfeuchtigkeit festgestellt (Anhang 2). Mit fortschreitender Kultur und somit einer höheren Trossanzahl reicherten sich immer mehr Phenole in den Früchten an.

In Bezug auf 1 g Trockensubstanz wirkte sich der Salzgehalt in der Nährlösung nicht signifikant auf den Phenolgehalt aus ($p=0,817$, $n=6$). Es wurden 4,34 mg GAÄ (EC 3), 4,27 mg GAÄ (EC 6,5) und 4,33 mg GAÄ (EC 10) phenolische Bestandteile pro g TS angereichert (Tabelle 6).

3.2.10 Phenol Anteile (HPLC) Gesamtf Frucht

3.2.10.1 Identifizierung einzelner Substanzen

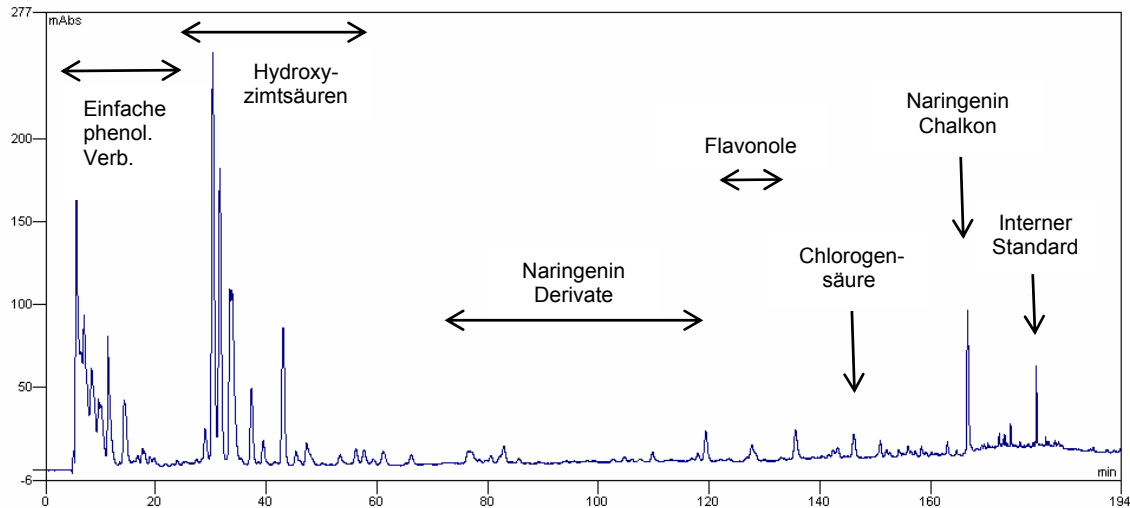


Abbildung 9: HPLC-Chromatogramm: Analyse phenolischer Inhaltsstoffe der Tomate, V2, S1. Exemplarische Abbildung der Kontrollvariante EC 3.

Durch die Bestimmung der Absorptionsspektren einzelner Peaks im Vergleich zu denen bekannter Standards konnten anhand der Übereinstimmung von Retentionszeit, Maximum und Schulter mit der Hochdruckflüssigkeitschromatographie im Versuchsjahr 2005 einige Phenole in der Gesamtf Frucht identifiziert und ihre Gehalte mit Hilfe der bekannten Responsfaktoren berechnet werden.

Hintergrund dieser Messungen war es herauszufinden, ob durch den Salzstress die Phenolbiosynthese an bestimmten Stellen aktiviert wird, also neue Phenole gebildet werden, oder nur aufgrund von Konzentrationseffekten mehr phenolische Bestandteile in den Früchten gemessen werden, die eine höhere Trockensubstanz aufweisen.

Zu diesem Zweck wurden die in nennenswerten Mengen vorhandenen Inhaltsstoffe (Peaks > 20 mV) in den folgenden Gruppen addiert und ihre Gehalte auf Frisch- und Trockensubstanzbasis verglichen: einfache phenolische Verbindungen (u.a. Benzoesäure und deren Derivate), Hydroxyzimtsäuren (u.a. Chlorogensäure, Kaffeesäure, p-Cumarsäure und deren Derivate), Naringenin-Derivate, Flavonole (u.a. Rutin und Rutin-Pentosid) und Naringenin-Chalkon (Abbildung 9).

Gehalte phenolischer Substanzen in der Gesamtf Frucht

Die meisten der identifizierten Substanzen stiegen mit einer Erhöhung des EC-Wertes in der Frischsubstanz an, wobei es vor allem zwischen den zwei niedrigsten bzw. höchsten EC-Stufen zu signifikanten Unterschieden kam. EC 3 und EC 6,5 sowie EC 10 und EC 13,5 unterschieden sich meist nur tendenziell voneinander.

In der Variante EC 3 waren 6,30 mg/100 g FS einfache phenolische Verbindungen (EPV) zu finden. Mit einem Gehalt von 6,79 mg EPV/100 g FS unterschied sich die Variante EC 6,5 davon nicht signifikant. Die Varianten EC 10 und EC 13,5 waren dagegen mit 17,40 bzw. 15,81 mg EPV/100 g FS signifikant höher (Tabelle 8). Die Salzstufe hatte einen signifikanten Einfluss auf die einfachen phenolischen Verbindungen ($p=0,0001$, $n=3$). Der EC-Wert beeinflusste auch die Hydroxyzimtsäuren ($p=0,002$, $n=3$) und die Flavonole ($p=0,002$, $n=3$) signifikant. Der Salzstress führte mit Gehalten von 6,99 (EC 3), 5,60 (EC 6,5), 14,66 (EC 10) und 13,39 (EC 13,5) mg Hydroxyzimtsäuren pro 100 g Frischsubstanz und 0,99 (EC 3), 1,06 (EC 6,5), 2,59 (EC 10) und 2,14 (EC 13,5) mg an Flavonolen in 100 g Frischsubstanz zwischen den beiden höchsten bzw. den beiden niedrigsten Salzstufen zu signifikanten Unterschieden (Tabelle 8).

An Naringenin-Derivaten wurden Gehalte von 0,27 (EC 3), 0,20 (EC 6,5), 0,44 (EC 10) und 0,40 (EC 13,5) mg/100 g FS gefunden ($p=0,012$, $n=3$). Von dem Naringenin Chalkon wurden 0,39 mg/100 g FS in der Kontrollvariante, 0,17 mg/100 g FS in EC 6,5, 0,50 mg/100 g FS in EC 10 und 0,42 mg/100 g FS in der Variante EC 13,5 gemessen ($p=0,037$, $n=3$). In beiden Gruppen unterschieden sich nur die Salzstufen 6,5 und 10 signifikant voneinander (Tabelle 8).

Tabelle 8: Einfluss von Salzstress auf ausgewählte Phenolgruppen der Tomate bezogen auf 100 g Frischsubstanz; Sinifikanzniveau 0,05%; V2, t0.

	Einfache phenolische Verbindungen [mg/100 g FS]				Hydroxyzimtsäuren [mg/100 g FS]			
EC 3	6,30	±	2,84	b	6,99	±	3,51	b
EC 6,5	6,79	±	3,38	b	5,60	±	2,59	b
EC 10	17,40	±	1,13	a	14,66	±	0,83	a
EC 13,5	15,81	±	0,95	a	13,39	±	0,85	a
p (n)	0,001 (3)				0,002 (3)			

	Naringenin-Derivate [mg/100 g FS]				Flavonole [mg/ 100 g FS]			
EC 3	0,27	±	0,10	ab	0,99	±	0,37	b
EC 6,5	0,20	±	0,10	b	1,06	±	0,53	b
EC 10	0,44	±	0,01	a	2,59	±	0,28	a
EC 13,5	0,40	±	0,01	ab	2,14	±	0,26	a
p (n)	0,012 (3)				0,002 (3)			

	Naringenin-Chalkon [mg/100 g FS]			
EC 3	0,39	±	0,18	ab
EC 6,5	0,17	±	0,08	b
EC 10	0,50	±	0,11	a
EC 13,5	0,42	±	0,05	ab
p (n)	0,037 (3)			

In Bezug auf die Trockensubstanz kam es bei der Betrachtung der Gehalte in den einzelnen Phenolgruppen zu keinen signifikanten Unterschieden (Tabelle 9). Tendenziell waren bei den einfachen phenolischen Verbindungen mit Gehalten von 1,91 und 1,70 mg/1 g TS in den Varianten EC 10 und EC 13,5 die Gehalte etwas höher als ins der Kontrolle mit 1,29 mg/g TS und 1,1 mg/g TS in der Variante EC 6,5 ($p= 0,190$, $n= 3$). Einen ähnlichen Trend zeigten die Hydroxyzimtsäure mit Gehalten von 1,43 (EC 3), 0,90 (EC 6,5), 1,61 (EC 10 und 1,40 (EC 13,5) mg pro 1 g Trockensubstanz ($p= 0,263$, $n= 3$) und die Flavonole mit den folgen Gehalten: 0,20 (EC 3), 0,17 (EC 6,5), 0,28 (EC 10) und 0,23 (EC 13,5) mg in 1 g Trockensubstanz ($p= 0,212$, $n= 3$) (Tabelle 9).

Bei den Naringenin-Derivaten hatte die Kontrollvariante mit 0,054 mg/g TS tendenziell den höchsten Gehalt verglichen mit 0,032 mg/g TS in der Variante EC 6,5 und 0,048 bzw. 0,043 mg/g TS in den Varianten EC 10 und EC 13,5 ($p= 0,275$, $n= 3$). Einen ähnlichen Verlauf hatte das Naringenin-Chalkon. Hier wurden die folgenden

Werte gemessen: 0,079 (EC 3), 0,028 (EC 6,5), 0,055 (EC 10) und 0,045 (EC 13,5) mg pro 1 g Trockensubstanz ($p = 0,074$, $n = 3$) (Tabelle 9).

Tabelle 9: Einfluss von Salzstress auf ausgewählte Phenolgruppen der Tomate bezogen auf 1 g Trockensubstanz in [mg/1 g TS], Signifikanzniveau 0,05%; V2, S1, t0.

	Einfache phenolische Verbindungen [mg/1 g TS]				Hydroxyzimtsäuren [mg/1 g TS]			
EC 3	1,2863	±	0,5790	a	1,4265	±	0,7161	a
EC 6,5	1,0953	±	0,5446	a	0,9024	±	0,4175	a
EC 10	1,9120	±	0,1244	a	1,6108	±	0,0916	a
EC 13,5	1,7005	±	0,1021	a	1,4402	±	0,0912	a
p (n)	0,190 (3)				0,263 (3)			

	Naringenin-Derivate [mg/1 g TS]				Flavonole [mg/1 g TS]			
EC 3	0,0545	±	0,0210	a	0,2023	±	0,0751	a
EC 6,5	0,0319	±	0,0162	a	0,1714	±	0,0856	a
EC 10	0,0480	±	0,0010	a	0,2844	±	0,0305	a
EC 13,5	0,0426	±	0,0015	a	0,2300	±	0,0284	a
p (n)	0,275 (3)				0,212 (3)			

	Naringenin-Chalkon [mg/1 g TS]			
EC 3	0,0789	±	0,0359	a
EC 6,5	0,0277	±	0,0122	a
EC 10	0,0553	±	0,0122	a
EC 13,5	0,0453	±	0,0057	a
p (n)	0,074 (3)			

3.2.11 Antioxidative Kapazität Gesamtf Frucht

3.2.11.1 Antioxidative Kapazität Carotinoide (ABTS Testsystem) Gesamtf Frucht

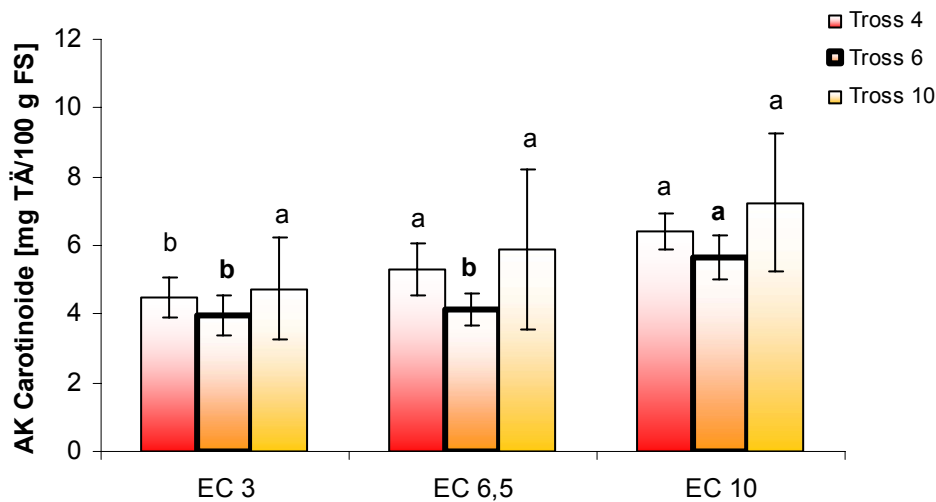


Abbildung 10: Einfluss von Salzstress auf die antioxidative Kapazität der Carotinoide [mg TÄ/100 g FS] im ABTS-System der Trosse 4, 6 und 10; V1. Die Kleinbuchstaben kennzeichnen die Unterschiede zwischen den EC-Werten innerhalb eines Trosses.

Höhere EC-Werte hatten im Jahr 2004 einen signifikanten Einfluss auf die antioxidative Kapazität (AK) des carotinoideichen Extraktes ($p=0,001$, $n=6$). Während mit Gehalten von 4,0 mg TÄ/100 g FS in der Kontrolle und 4,1 mg TÄ/100 g FS in EC 6,5 kein wesentlicher Unterschied bestand, stieg die AK mit einem EC-Wert von 10 signifikant auf 5,1 mg TÄ/100 g FS an (Abbildung 10 und Anhang 1).

Die höchste Korrelation mit der AK der Carotinoide hatte im Jahr 2004 der EC-Wert ($P=0,816$, $p=0,018$) verglichen mit Temperatur, Trossnummer und Luftfeuchtigkeit (Anhang 2).

Die antioxidative Kapazität der Carotinoide in der Trockensubstanz betrug 0,84 mg TÄ in der Kontrolle und in EC 6,5. Die Variante EC 6,5 hatte ein AK von 0,76 mg TÄ/1 g TS. Einen signifikanten Einfluss des EC-Wertes auf die AK des carotinoideichen Extraktes in Bezug auf die Trockenmasse gab es nicht ($p=0,535$, $n=6$) (Tabelle 6).

3.2.11.2 Antioxidative Kapazität Phenole (ABTS Testsystem) Gesamtfrucht

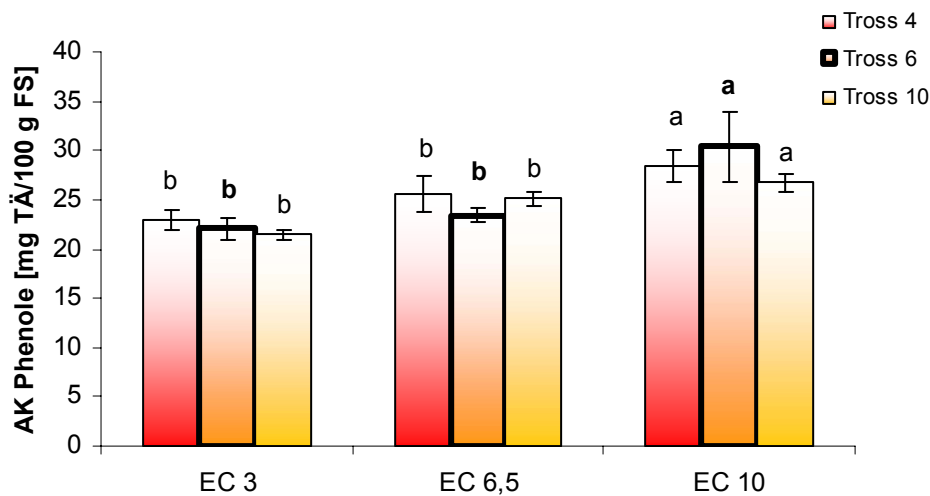


Abbildung 11: Einfluss von Salzstress auf die antioxidative Kapazität der Phenole [mg/100 g FS] im ABTS-System der Trosse 4, 6 und 10; V1. Die Kleinbuchstaben kennzeichnen die Unterschiede zwischen den EC-Werten innerhalb eines Trosses.

Im Versuchsjahr 2004 wurde die antioxidative Kapazität der Phenole signifikant durch den Salzgehalt in der Nährlösung beeinflusst ($p=0,001$, $n=6$). Es kam zu einer Zunahme der AK mit EC-Werten von 6,5 (21,7 mg TÄ/100 g FS) und 10 (24,9 mg TÄ/100 g FS) ausgehend von Kontrollwerten mit 29,5 mg TÄ/100 g FS (Abbildung 11 und Anhang 1).

Die antioxidative Eigenschaft der Phenole korrelierte am stärksten mit dem EC-Wert ($P=0,918$, $p=0,000$) im Vergleich zu Trossnummer, Temperatur, Einstrahlung und Luftfeuchtigkeit (Anhang 2).

Im Gegensatz zur Frischmasse unterschieden sich die Phenolgehalte in den Varianten EC 3 (4,66 mg TÄ/1 g TS), EC 6,5 (4,72 mg TÄ/1 g TS) und EC 10 (4,59 mg TÄ/1 g TS) in Bezug auf 1g Trockensubstanz durch die Salzbehandlung nicht signifikant voneinander (Tabelle 6).

3.2.11.2 Antioxidative Kapazität Phenole (NH₂OH Testsystem) Gesamtfrucht

Die antioxidative Kapazität der Phenolextrakte wurde im Versuchsjahr 2005 zusätzlich zum ABTS-System auch in dem Testsystem der Hydroxylaminoxidation überprüft. Auch hier wurde ein signifikanter Einfluss des EC-Wertes in der Nährlösung auf die AK der Phenole bestätigt ($p=0,045$, $n=6$). Die AK stieg von 0,81 GAÄ in der Kontrolle auf 1,27 mg TÄ (EC 6,5), 1,59 mg TÄ (EC 10) und 1,74 mg TÄ (EC 13,5) berechnet auf 100 g Frischsubstanz an (Tabelle 10).

Tabelle 10: Einfluss von Salzstress auf die Hydroxylamin-Oxidation [mg GAÄ/100 g FS]; Signifikanzniveau 0,05%; V2, Satz 1.

	t0 [mg GAÄ/100g FS]
EC 3	0,81 ± 0,31 b
EC 6,5	1,27 ± 0,37 b
EC 10	1,59 ± 0,48 b
EC 13,5	1,74 ± 0,90 a
p (n)	0,045 (6)

3.3 Fruchtkompartimente

Die Ergebnisse des Teilversuches „Fruchtkompartimente“ wurden größtenteils in einer Bachelor-Arbeit von Karina Pusch (nicht veröffentlichte Ergebnisse, 2005) erarbeitet, die von der Autorin dieser Arbeit wissenschaftlich betreut wurde.

In diesem Teil werden die unterschiedlichen Gehalte bzw. Anteile der untersuchten Parameter in den Kompartimenten Fruchtfleisch (Pulpa) und Schale bei verschiedenen EC-Werten betrachtet. Wie sich der Gesamtgehalt eines Stoffes in Bezug auf die beiden Kompartimente prozentual verteilt, ist jeweils in den letzten beiden Spalten der Tabellen 11 bis 19 aufgeführt.

Zusätzlich zu den chemischen Analysen der Kompartimente im Versuchsjahr 2004 wurden im Jahr 2006 histologische Untersuchungen der Früchte gemacht. Dabei wurde die Zellstruktur von Fruchtfleisch und Schale mikroskopisch betrachtet, um Aufschluss über die unterschiedliche Physiologie der Früchte bei Salzstress zu bekommen. Ausgewählt wurden die Salzstufen EC 3, EC 6,5 und EC 10.

Die Bilder der histologischen Untersuchung wurden von Susanne Bayr im Rahmen einer noch laufenden Master-Arbeit angefertigt (unveröffentlichte Ergebnisse, 2006). Susanne Bayr wurde ebenfalls von der Autorin dieser Arbeit betreut.

Die hier dargestellten Ergebnisse entsprechen dem Wissensstand bis zur Fertigstellung dieser Dissertation und geben einen ersten Eindruck und Überblick über histologische Veränderungen durch Salzstress. Sie wurden in diese Arbeit mit aufgenommen, weil sie die gefundenen Theorien und Literaturangaben unterstützen. Weitere Untersuchungen in diesem Bereich sind fortgeschritten.

3.3.1 Einzelfruchtgewicht Anteile in den Fruchtkompartimenten

Das Einzelfruchtgewicht verteilte sich folgendermaßen auf die Gesamtf Frucht: In der Variante EC 3 hatte das Fruchtfleisch ein Gewicht von 77,63 g, die Schale wog 2,48 g. In der Variante EC 6,5 erreichte die Pulpa einen Anteil von 54,33 g, in der Variante EC 10 waren es 34,52 g. Die Schale wog bei einer Salzbehandlung von EC 6,5 2,49 g, in EC 10 1,96 g. Der Einfluss der Salzstufen war hoch signifikant ($p=0,000$, $n=27$) (Tabelle 11).

Tabelle 11: Einfluss von Salzstress auf die Gewichtsverteilung in den Kompartimenten; Signifikanzniveau 0,05%; V1, KOM.

	Pulpa [g]	Schale [g]	% Anteil Pulpa	% Anteil Schale
EC 3	77,63 ± 15,0 a	2,48 ± 0,43 d	97	3
EC 6,5	54,33 ± 7,85 b	2,49 ± 0,48 d	96	4
EC 10	34,52 ± 4,39 c	1,96 ± 0,47 d	95	5
p (n)	0,000 (27)			

3.3.2 Trockensubstanz Anteile in den Fruchtkompartimenten

Die Trockensubstanz war in der Schale in allen Varianten signifikant höher als im Fruchtfleisch. Sie betrug in EC 3 12,22%, in EC 6,5 waren 14,5% TS vorhanden und in EC 10 hat die TS einen Anteil von 16,39% in der Schale. In der Pulpa wurde eine TS von 5,17% in der Kontrolle, 6,19% in EC 6,5 und 6,59% in EC 10 angereichert ($p=0,000$, $n=3$) (Tabelle 12).

Tabelle 12: Einfluss von Salzstress auf die Trockensubstanz; Signifikanzniveau 0,05%; V1, KOM.

	Pulpa [%]	Schale [%]	% Anteil Pulpa	% Anteil Schale
EC 3	5,17 ± 0,04 c	12,22 ± 1,70 b	30	70
EC 6,5	6,19 ± 0,58 c	14,50 ± 0,92 ab	30	70
EC 10	6,59 ± 0,12 c	16,39 ± 0,35 a	29	71
p (n)	0,000 (3)			

3.3.3 Vitamin C Anteile in den Fruchtkompartimenten

Auch auf die Verteilung der Vitamin C-Gehalte in den einzelnen Kompartimenten der Früchte hatte der Salzgehalt einen signifikanten Einfluss. Das meiste Vitamin C wurde in den Schalen der Varianten EC 3 (17,63 mg/100 g FS) und EC 10 (16,0 mg/100 g FS) gefunden. Die Schale der Variante EC 6,5 hatte einen Gehalt von 13,27 mg Ascorbinsäure bezogen auf 100 g Frischsubstanz. 9,27 mg Vitamin C waren in der Pulpa von EC 3 behandelten Früchten enthalten. Die Varianten EC 6,5 und EC 10 erreichten 8,03 und 7,84 mg Ascorbinsäure pro 100 g Frischsubstanz ($p=0,000$, $n=6$) (Tabelle 13).

Tabelle 13: Einfluss von Salzstress auf den Vitamin C-Gehalt [mg/100 g FS]; Signifikanzniveau 0,05%; V1, KOM.

	Pulpa [mg/100 g FS]	Schale [mg/100 g FS]	% Anteil Pulpa	% Anteil Schale
EC 3	9,27 ± 0,49 d	17,63 ± 0,25 b	34	66
EC 6,5	8,03 ± 0,18 cd	15,45 ± 4,80 a	34	66
EC 10	7,84 ± 0,47 c	16,03 ± 1,11 a	33	67
p (n)	0,000 (6)			

3.3.4 Lykopin Anteile in den Fruchtkompartimenten

Durch höhere EC-Werte kam es zu signifikant höheren Gehalten an Lykopin in der Schale. In den Schalen der Variante EC 3 wurden 13,23 mg Lykopin synthetisiert, in EC 6,5 waren es 18,19 mg und in EC 10 21,68 mg pro 100 g Frischsubstanz. Im Fruchtfleisch wurden 1,74 mg in EC 3 und 1,67 mg in der Variante EC 6,5 angereichert. In EC 10 waren es 2,47 mg Lykopin bezogen auf 100 g Frischmasse ($p=0,000$, $n=6$) (Tabelle 14).

Tabelle 14: Einfluss von Salzstress auf den Lykopin-Gehalt [mg/100 g FS]; Signifikanzniveau 0,05%; V1, KOM.

	Pulpa [mg/100 g FS]	Schale [mg/100 g FS]	% Anteil Pulpa	% Anteil Schale
EC 3	1,74 ± 0,42 c	13,23 ± 1,03 b	12	88
EC 6,5	1,67 ± 0,28 c	18,19 ± 6,39 a	8	92
EC 10	2,47 ± 0,33 c	21,68 ± 3,70 a	10	90
p (n)	0,000 (6)			

3.3.5 β -Carotin Anteile in den Fruchtkompartimenten

Die β -Carotingehalte in den Kompartimenten der Früchte wurden signifikant von der Salzbehandlung beeinflusst. Das Carotinoid war folgendermaßen verteilt: Die Schale der Variante EC 10 enthielt mit 2,83 mg/100 g FS das meiste β -Carotin gefolgt von 1,96 mg in der Kontrolle und 1,80 mg in EC 6,5. In der Pulpa wurden 0,30 mg in der Kontrolle und in der Variante EC 6,5 0,37 mg β -Carotin pro 100 g Frischsubstanz in der Variante EC 10 synthetisiert ($p=0,000$, $n=6$) (Tabelle 15).

Tabelle 15: Einfluss von Salzstress auf den β -Carotingehalt [mg/100 g FS]; Signifikanzniveau 0,05%; V1, KOM.

	Pulpa [mg/100 g FS]	Schale [mg/100 g FS]	% Anteil Pulpa	% Anteil Schale
EC 3	0,30 \pm 0,03 d	1,96 \pm 0,21 c	13	87
EC 6,5	0,30 \pm 0,03 d	1,80 \pm 0,81 b	14	86
EC 10	0,37 \pm 0,04 d	2,83 \pm 0,65 a	11	89
p (n)	0,000 (6)			

3.3.6 Phenol Anteile (Folin-Test) in den Fruchtkompartimenten

Der Salzgehalt hatte einen signifikanten Einfluss auf die Verteilung der Phenole in den einzelnen Fruchtkompartimenten ($p = 0,000$, $n = 6$). In der Schale waren mit steigenden EC-Werten höhere Phenolgehalte zu finden als im Fruchtfleisch. Ausgehend von 113,4 mg GAÄ in der Kontrolle erhöhten sich die Gehalte auf 134,3 mg GAÄ in EC 6,5 und auf 146,5 mg GAÄ pro 100g Frischmasse in EC 10. Im Fruchtfleisch führten Salzgehalte von EC 6,5 zu 27,37 mg GAÄ/100 g FS. Die Behandlung hatte damit tendenziell niedrigere Gehalte als die Kontrolle, die einen Anteil von 28,41 mg GAÄ/100 g FS an phenolischen Verbindungen hatte. Durch Salzgehalte von EC 10 wurde der Phenolgehalt auf 30,83 mg GAÄ/100 g FS gesteigert (Tabelle 16).

Tabelle 16: Einfluss von Salzstress auf den Phenol-Gehalt [mg GAÄ/100 g FS]; Signifikanzniveau 0,05%; V1, KOM.

	Pulpa [mg GAÄ/100 g FS]	Schale [mg GAÄ/100 g FS]	% Anteil Pulpa	% Anteil Schale
EC 3	28,41 \pm 2,96 c	113,4 \pm 7,80 b	20	80
EC 6,5	27,37 \pm 2,42 c	134,3 \pm 4,89 a	17	83
EC 10	30,83 \pm 1,60 c	146,5 \pm 17,16 a	17	83
p (n)	0,000 (6)			

3.3.7 Antioxidative Kapazität Carotinoide (ABTS Testsystem) in den Fruchtkompartimenten

Die Carotinoidextrakte der einzelnen Kompartimente zeigten unterschiedliche antioxidative Eigenschaften im ABTS-System. Die AK der Carotinoide stieg mit höheren EC-Werten von 16,91 mg TÄ/100 g FS in der Kontrolle auf 18,76 (EC 6,5) und 22,65 (EC 10) mg TÄ/100 g FS an. Die Pulpa der Variante EC 10 hatte ebenfalls die höchste AK (2,83 mg TÄ/100 g FS) verglichen mit EC 6,5 (1,80 mg TÄ/100 g FS)

und der Kontrolle (1,96 mg TÄ/100 g FS). Der Einfluss des EC-Wertes auf die antioxidative Kapazität der Carotinoide in den Kompartimenten war signifikant ($p=0,000$, $n=6$) (Tabelle 17).

Tabelle 17: Einfluss von Salzstress auf die antioxidative Kapazität der Carotinoide [mg TÄ/100 g FS] im ABTS-System; Signifikanzniveau 0,05%; V1, KOM.

	Pulpa [mg TÄ/100 g FS]	Schale [mg TÄ/100 g FS]	% Anteil Pulpa	% Anteil Schale
EC 3	1,96 ± 0,21d	16,91 ± 0,95 b	10	90
EC 6,5	1,80 ± 0,81 d	18,76 ± 0,92 a	9	91
EC 10	2,83 ± 0,65 c	22,65 ± 0,78 a	11	89
p (n)	0,000 (6)			

3.3.8 Antioxidative Kapazität Phenole (ABTS Testsystem) in den Fruchtkompartimenten

Durch erhöhte Salzgehalte nahm die AK der Phenole in der Schale zu. Ausgehend von 46,52 mg TÄ wurden die Gehalte auf 57,50 mg TÄ (EC 6,5) und 62,64 mg TÄ (EC 10) bezogen auf 100 g Frischsubstanz erhöht. Auch in der Pulpa kam es zu einer Zunahme der AK des phenolreichen Extraktes bei höheren EC Werten. Das Fruchtfleisch der Kontrolle erreichte eine AK von 24,44 mg TÄ/100 g FS. In der Variante 6,5 wurden 26,75 mg TÄ/100 g FS und in der Variante EC 10 30,53 mg TÄ/100 g FS gemessen. Der Einfluss des Salzgehaltes auf die Gehalte an Phenolen in den Kompartimenten der Frucht war signifikant ($p=0,000$, $n=6$) (Tabelle 18).

Tabelle 18: Einfluss von Salzstress auf die antioxidative Kapazität der Phenole [mg TÄ/100 g FS] im ABTS-System; Signifikanzniveau 0,05%; V1, KOM.

	Pulpa [mg TÄ/100 g FS]	Schale [mg TÄ/100 g FS]	% Anteil Pulpa	% Anteil Schale
EC 3	24,44 ± 1,10 d	46,52 ± 4,65 b	34	66
EC 6,5	26,75 ± 1,75 cd	57,50 ± 3,54 a	32	68
EC 10	30,53 ± 1,87 c	62,64 ± 3,63 a	33	67
p (n)	0,000 (6)			

3.3.9 Vitamin E Anteile in den Fruchtkompartimenten

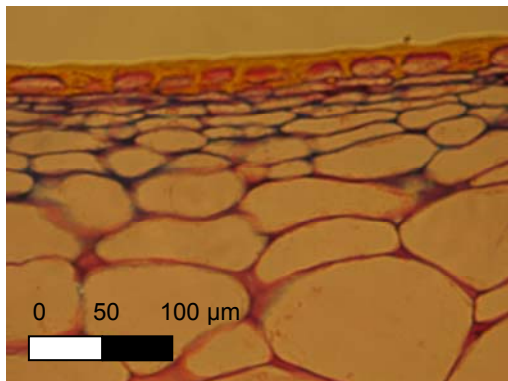
Im Versuchsjahr 2004 hatte der Salzstress einen signifikanten Einfluss auf die Verteilung der Vitamin E-Gehalte in den Kompartimenten Fruchtfleisch und Schale ($p=0,000$, $n=6$). Die Gehalte waren am höchsten in der Schale der Variante EC 10

(1,83 mg/100 g FS). Mit EC 6,5 nahmen die Vitamin E-Gehalte in der Schale signifikant auf 1,44 mg/100 g FS in EC 6,5 und auf 1,20 mg/100 g FS in der Kontrolle ab. Das Vitamin E im Fruchtfleisch war mit Gehalten von 0,34 mg in der Kontrolle, 0,39 mg in EC 6,5 und mit 0,43 mg/100 g FS geringer als in der Schale. Der signifikante Anstieg mit höheren EC-Werten zeichnete sich aber auch in der Pulpa deutlich ab (Tabelle 19).

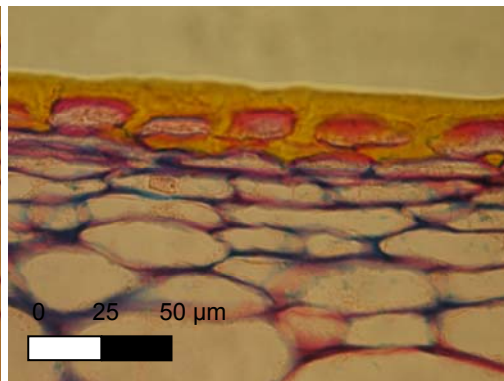
Tabelle 19: Einfluss von Salzstress auf den Vitamin E-Gehalt [mg/100 g FS]; Signifikanzniveau 0,05%; V1, KOM.

	Pulpa [mg/100 g FS]	Schale [mg/100 g FS]	% Anteil Pulpa	% Anteil Schale
EC 3	0,34 ± 0,02 f	1,20 ± 0,06 c	22	78
EC 6,5	0,39 ± 0,05 e	1,44 ± 0,40 b	21	79
EC 10	0,43 ± 0,04 d	1,83 ± 0,34 a	19	81
p (n)	0,000 (6)			

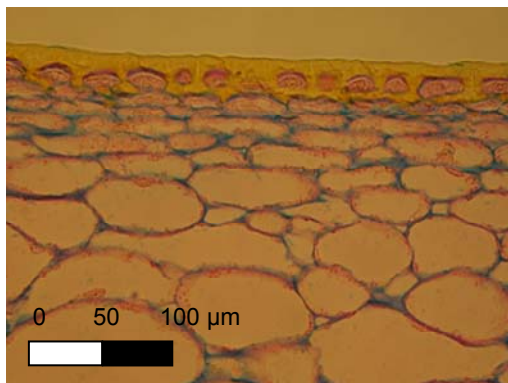
3.3.10 Histologische Untersuchung der Fruchtkompartimente



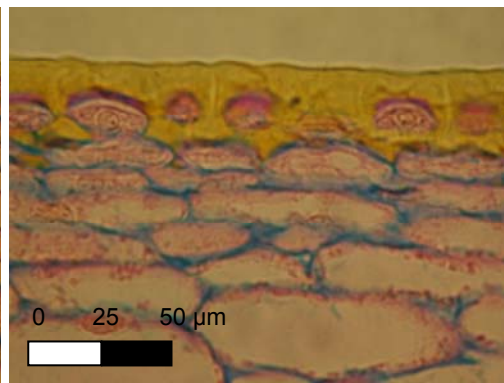
A: EC 3



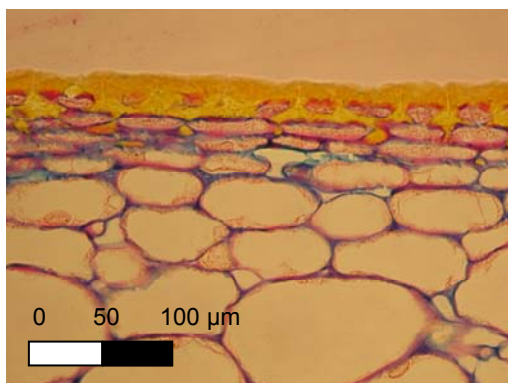
B: EC 3



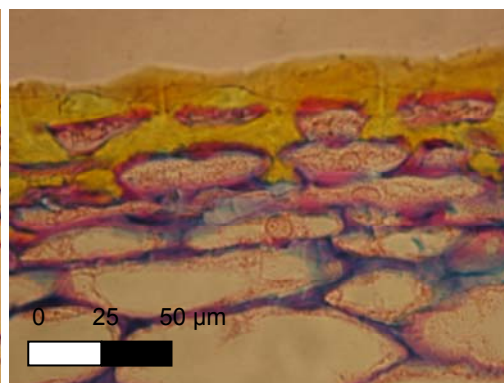
C: EC 6,5



D: EC 6,5



E: EC 10



F: EC 10

Abbildung 12: Querschnitt durch die Kompartimente Fruchtfleisch und Schale in ca. 0,5 cm³ Fruchtgewebe bei verschiedenen EC-Werten und Auflösungen (A und B: EC 3. C und D: EC 6,5. E und F: EC 10), V3.

Bei den histologischen Untersuchungen waren deutliche Unterschiede in der Beschaffenheit der einzelnen Gewebeschichten bei verschiedenen Salzstufen erkennbar (Abbildung 12). Vor allem an der Kutikula (oberste Wachsschicht) ist ein Einfluss der Salzstufe offensichtlich. Diese äußerste, gelb angefärbte Schicht ist in der Variante EC 10 dicker als in der Kontrolle. Auch in der Variante EC 6,5 hat diese Schicht bereits einen größeren Anteil im Vergleich zur Variante EC 3 (Abbildung 12, A-F). Bei Betrachtung mit einer höheren Auflösung wird deutlich, dass die Kutikula bei EC-Werten von 6,5 und 10 bis in die Epidermis hineinragt und die Zellen der oberen epidermalen Schicht komplett umschließt (Abbildung 12, C-F).

3.4 Lagerung

Unter diesem Punkt werden die Ergebnisse des ersten Teilversuches (Satz 1) aus dem Versuchsjahr 2005 beschrieben. Die Daten des zweiten Teilversuches (Satz 2), der eine Wiederholung des ersten Satzes ist, sind im Anhang 3 aufgeführt. Da die Ergebnisse aus dem zweiten Satz den Trend von Satz 1 bestätigen, werden Ergebnisse des zweiten Teilversuches nur bei Abweichungen erwähnt, ansonsten unterstützen sie die gefundenen Erkenntnisse aus dem ersten Satz.

Für das Anbaujahr 2004 wurden unter dem Punkt 3.2. *Gesamtfrucht* die Ergebnisse in 100 g Frischsubstanz (Abbildungen 1 bis 11) und 1g Trockensubstanz (Tabelle 6) genau beschrieben. Da die Unterschiede zwischen Frisch- und Trockensubstanz für das Versuchsjahr 2005 dem gleichen Trend wie für 2004 folgen, werden aus dem Versuchsjahr 2005 nur die Werte in 100 g Frischsubstanz im kommenden Abschnitt erwähnt. In diesem Teil steht die Veränderung der Parameter durch die Lagerung im Vordergrund, nicht der Einfluss des Salzes auf die Gehalte zum Zeitpunkt der Ernte. Zur Vollständigkeit sind die Werte für 1 g Trockensubstanz aus dem Versuchsjahr 2005 in der Tabelle 20 festgehalten.

In den Tabellen 21 bis 32 des folgenden Abschnittes sind die Gehalte bzw. Größen der untersuchten Parameter zum Erntetag (**t₀**) und die Gehalte nach der Lagerung (**Lag**) aufgeführt. Zusätzlich ist dort die prozentuale Veränderung des Parameters während der Lagerung festgehalten.

Um den Einfluss der Lagerung oder eine mögliche Wechselwirkung zwischen Salzgehalt und Lagerung zu überprüfen, wurde eine Regressionsanalyse durchgeführt. Diese Ergebnisse sind im Anhang 4 zusammengefasst und werden im Text besprochen.

Tabelle 20: Einfluss von Salzstress auf Vitamin C (Vit C), titrierbare Säuren (TitS), antioxidative Kapazität von Carotinoiden (AK CAR) in Trolox Äquivalenten (TÄ), Lykopin (LYK), β -Carotin (β -CAR), Phenolgehalt (PHE) in Gallussäureäquivalenten (GAÄ), antioxidative Kapazität von Phenolen (AK PHE) in Trolox Äquivalenten (TÄ) und Vitamin E (Vit E) bezogen auf 1 g Trockensubstanz (TS). Signifikanzniveau 0,05%; V2, LAG, S1.

	VitC [mg]			TitS [mg]		
EC 3	1,41	±	0,15 a	70,69	±	7,83 a
EC 6,5	1,30	±	0,22 a	47,44	±	3,06 b
EC 10	1,10	±	0,13 b	50,23	±	4,67 b
EC 13,5	1,19	±	0,07 b	53,02	±	3,53 b
p (n)	0,001 (6)			0,000 (6)		

	AK CAR [mg]			LYK [mg]		
EC 3	1,54	±	0,09 a	0,41	±	0,16 a
EC 6,5	1,25	±	0,06 b	0,51	±	0,11 a
EC 10	1,15	±	0,11 b	0,47	±	0,12 a
EC 13,5	1,15	±	0,14 b	0,51	±	0,15 a
p (n)	0,004 (6)			0,268 (6)		

	β -CAR [mg TÄ]			PHE [mg GAÄ]		
EC 3	0,039	±	0,02 a	4,31	±	0,31 a
EC 6,5	0,040	±	0,01 a	3,87	±	0,38 b
EC 10	0,031	±	0,01 b	3,77	±	0,38 b
EC 13,5	0,031	±	0,01 b	3,32	±	0,37 b
p (n)	0,008 (6)			0,001 (6)		

	AK PHE [mg TÄ]			Vit E [mg]		
EC 3	5,27	±	0,36 a	0,09	±	0,01 a
EC 6,5	4,31	±	0,68 a	0,09	±	0,01 a
EC 10	4,65	±	0,18 a	0,08	±	0,01 a
EC 13,5	4,69	±	0,58 a	0,08	±	0,01 a
p (n)	0,070 (6)			0,125 (6)		

3.4.1 Einzelfruchtgewicht Veränderung durch die Lagerung

Das Versuchsjahr 2005 bestätigte den signifikanten Rückgang des Einzelfruchtgewichtes mit steigenden EC-Werten, zu dem es auch im Versuchsjahr 2004 kam. Zum Erntezeitpunkt (t_0) wurde in der Kontrolle ein EFG von 97,2 g gemessen. Dieses nahm in EC 6,5 auf 73 g, in EC 10 auf 43,9 g und in EC 13,5 auf 44,9 g ab ($p=0,000$, $n=15$) (Tabelle 22).

Die Unterschiede im Gewicht bei verschiedenen EC-Werten zum Erntezeitpunkt spiegeln sich in der unterschiedlichen Größe der Früchte wieder (Abbildung 13).

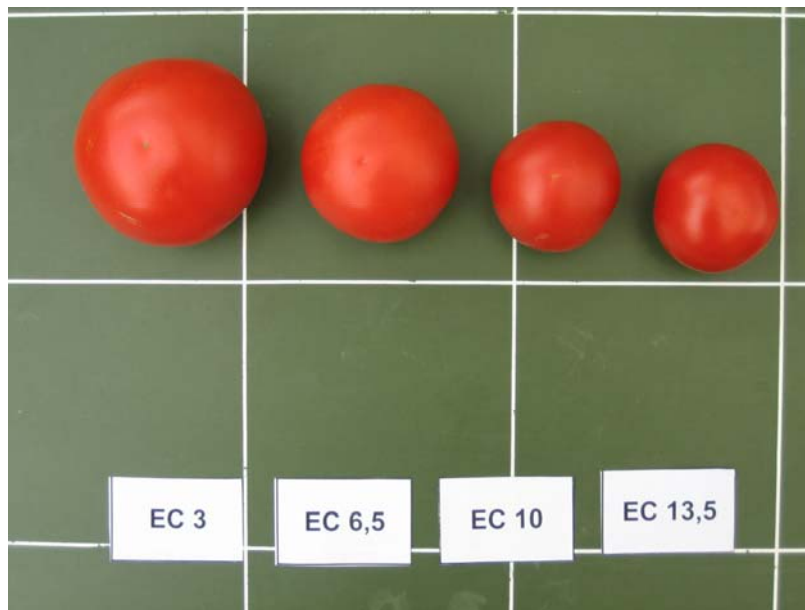


Abbildung 13: Größenunterschiede der Früchte durch Salzbehandlung mit den EC-Werten von 3; 6,5; 10; 13,5; V2, t0, S1.

Während der 12-tägigen Lagerung ging das Gewicht leicht zurück. In der Kontrolle wurden 95,2 g, in der Variante EC 6,5 71,9 g, in der Variante EC 10 43,4 g und in EC 13,5 44,4 g gemessen (Tabelle 21).

Der Einfluss der Salzbehandlung war auch während der Lagerung hoch signifikant ($p = 0,000$). Die Lagerung korrelierte dagegen nicht mit dem Gewicht der einzelnen Früchte und auch eine signifikante Wechselwirkung zwischen beiden Faktoren gab es nicht (Anhang 4).

Tabelle 21: Einfluss der Lagerung auf das Einzelfruchtgewicht; Signifikanzniveau 0,05%; V2, LAG, S1.

	t0 [g]	Lag [g]	Veränderung [%]
EC 3	97,2 ± 15,8 a	95,2 ± 15,4 a	-2
EC 6,5	73,0 ± 11,6 b	71,9 ± 11,3 b	-1
EC 10	43,9 ± 7,0 c	43,4 ± 6,8 c	-1
EC 13,5	44,9 ± 6,2 c	44,4 ± 6,1 c	-1
p (n)	0,000 (15)		

3.4.2 Trockensubstanz Veränderung durch die Lagerung

Auch das Versuchsjahr 2005 zeigte deutlich, dass durch höhere EC-Werte ein signifikanter Anstieg der Trockensubstanz zum Zeitpunkt der Ernte zu verzeichnen ist. Ausgehend von 4,9% in der Kontrolle nahm sie auf 6,2% in EC 6,5, auf einen Gehalt von 9,1% TS in EC 10 und auf 9,3% in EC 13,5 zu ($p= 0,000$, $n=3$) (Tabelle 22).

Der signifikante Einfluss der Salzbehandlung bleibt auch während der Lagerung erhalten und hat somit einen größeren Einfluss als die Lagerung an sich ($p= 0,000$). Eine Wechselwirkung zwischen Salzbehandlung und Lagerung besteht nicht. Dies zeigt sich auch daran, dass die Lagerung kaum etwas an den Gehalten der TS in den einzelnen Varianten ändert. Die Kontrolle hat 12 Tage nach der Ernte 4,8%, die Variante EC 6,5 6,2%. Unter EC 10 gewachsene Früchte erreichen 9,2% und die Variante EC 13,5 9,7% Trockensubstanz (Tabelle 22 und Anhang 4).

Tabelle 22: Einfluss der Lagerung auf die Trockensubstanz; Signifikanzniveau 0,05%; V2, LAG, S1.

	t0 [%]	Lag [%]	Veränderung [%]
EC 3	4,9 ± 0,2 c	4,8 ± 0,4 c	-3
EC 6,5	6,2 ± 0,3 b	6,2 ± 0,3 b	+1
EC 10	9,1 ± 0,2 a	9,2 ± 0,7 a	+2
EC 13,5	9,3 ± 0,3 a	9,7 ± 0,1 a	+4
p (n)	0,000 (3)		

3.4.3 Fruchtfleischfestigkeit Veränderung durch die Lagerung

Auch im Versuchsjahr 2005 hatte der Salzgehalt einen signifikanten Einfluss auf die Festigkeit am Erntetag. Die Festigkeit nahm mit Werten von 66,0 kPa in EC 13,5 und 59,5 kPa in EC 10 gegenüber einer Festigkeit von 35,9 kPa in der Kontrolle und 51,6 kPa in EC 6,5 mit steigenden EC-Werten entgegen dem Trend im Versuchsjahr 2004 zu ($p= 0,000$, $n= 15$) (Tabelle 23).

Durch die Lagerung kam es in allen Varianten zu einer Abnahme der Festigkeit. Auch 12 Tage nach der Ernte waren die Früchte der Variante EC 13,5 (51,3 kPa) und EC 10 (55,1 kPa) aber noch signifikant fester als die der Variante EC 6,5 (46,4 kPa) und EC 3 (44,5 kPa) (Tabelle 23).

Sowohl der Salzgehalt ($p= 0,000$) als auch die Lagerung ($p= 0,000$) hatten einen signifikanten Einfluss auf die Festigkeit. Eine signifikante Wechselwirkung der beiden Faktoren gab es nicht (Anhang 4).

Tabelle 23: Einfluss der Lagerung auf die Festigkeit; Signifikanzniveau 0,05%; V2, LAG, S1.

	t0 [hPa]	Lag [hPa]	Veränderung [%]
EC 3	53,9 ± 16,7 b	44,5 ± 7,6 c	-17
EC 6,5	51,6 ± 12,1 b	46,4 ± 7,7 bc	-10
EC 10	59,9 ± 10,1 a	55,1 ± 9,2 a	-8
EC 13,5	66,0 ± 13,5 a	51,3 ± 9,4 ab	-22
p (n)	0,000 (15)		

3.4.4 Zucker Veränderung durch die Lagerung

Die Zunahme des Zuckergehaltes durch steigende Salzgehalte in der Nährlösung bestätigte sich im Versuchsjahr 2005. Es kam zu einer signifikanten Erhöhung der Brix-Werte von 4,6 in der Kontrolle auf 6,9 (EC 6,5), 8,4 (EC 10) und 8,9 (EC 13,5) °Brix zum Zeitpunkt t0 ($p= 0,000$, $n= 15$) (Tabelle 24).

In der Lagerphase nahmen die Brix-Werte in den Varianten EC 3 (4,2) und EC 6,5 (5,6) ab, während sie in EC 10 (9,0) und EC 13,5 (9,8) gegenüber dem Erntezeitpunkt t0 zunahmen (Tabelle 24). Der Einfluss der Salzbehandlung auf den Zuckergehalt während der Lagerung war signifikant.

Neben einer Korrelation von Zucker und EC-Wert ($p= 0,000$), besteht auch eine signifikante Wechselwirkung von Zuckergehalt und Lagerung ($p= 0,000$). Die Lagerung alleine hat keinen Einfluss auf den Zuckergehalt (Anhang 4).

Tabelle 24: Einfluss der Lagerung auf den Zuckergehalt; Signifikanzniveau 0,05%; V2, LAG, S1.

	t0 [°Brix]	Lag [°Brix]	Veränderung [%]
EC 3	4,6 ± 0,4 d	4,2 ± 0,5 d	-9
EC 6,5	6,9 ± 1,4 c	5,6 ± 0,6 c	-20
EC 10	8,4 ± 0,9 b	9,0 ± 0,9 b	+8
EC 13,5	8,9 ± 0,6 a	9,8 ± 0,7 a	+9
p (n)	0,000 (15)		

3.4.5 Säure Veränderung durch die Lagerung

Die signifikante Zunahme organischer Säuren mit steigenden EC-Werten zum Erntetermin t₀ wurde im Jahr 2005 bestätigt. Lediglich in EC 6,5 sind die titrierbaren Säuren mit 293,4 mg/100 g FS tendenziell geringer als in der Kontrolle (349,0 mg/100g FS). In EC 10 stiegen die Gehalte auf 454,5 mg/100 g FS. In EC 13,5 erhöhten sie sich auf 492,9 mg/100 g FS (p= 0,000, n= 15) (Tabelle 25).

Generell kam es während der Lagerung zu einem Abbau der Säuren, so dass nach 12 Tagen Säuregehalte von 312,5 mg (Kontrolle), 316,8 mg (EC 6,5), 395,2 mg (EC 10) und 449,5 mg (EC 13,5) pro 100 g Frischsubstanz gemessen wurden. Der Einfluss des Salzgehaltes war signifikant (p= 0,000) und auch die Lagerung hatte einen signifikanten Einfluss auf die titrierbaren Säuren (p= 0,009). Eine signifikante Wechselwirkung von Salzgehalt in der Nährlösung und Lagerung gab es nicht (Tabelle 25 und Anhang 4).

Tabelle 25: Einfluss der Lagerung auf die titrierbaren Säuren; Signifikanzniveau 0,05%; V2, LAG, S1.

	t ₀ [mg/100g FS]	Lag [mg/100 g FS]	Veränderung [%]
EC 3	349,0 ± 38,6 c	312,5 ± 13,8 b	-10
EC 6,5	293,4 ± 18,9 c	316,8 ± 27,9 b	+8
EC 10	454,5 ± 42,8 b	395,2 ± 45,1 a	-13
EC 13,5	492,9 ± 32,8 a	449,5 ± 55,7 a	-9
p (n)	0,000 (6)		

3.4.6 Vitamin C Veränderung durch die Lagerung

Im Versuchsjahr 2005 führten höhere EC-Werte zu einer signifikanten Steigerung der Ascorbinsäure in den Früchten zum Erntetermin t₀. Von 7,0 mg/100 g FS in der Kontrolle kam es bei den Salzvarianten zu Gehalten von 8,1 mg (EC 6,5), 10,0 mg (EC 10) und 11,1 mg Ascorbinsäure in 100 g Frischsubstanz (p= 0,000, n= 6) (Tabelle 26).

Während der Lagerung hatte der EC-Wert ebenfalls einen signifikanten Einfluss auf den Vitamin C-Gehalt (p= 0,000) der Früchte. Nach 12 Tagen Lagerung wurden Werte von 7,5 mg (Kontrolle), 6,1 mg (EC 6,5), 10,1 mg (EC 10) und 9,4 mg (EC 13,5) gemessen (Tabelle 26).

Obwohl es zu einem Rückgang der Gehalte in den Varianten 6,5 und 10 kam, ist keine Korrelation zwischen der Lagerung und dem Vitamin C-Gehalt vorhanden.

Auch eine Wechselwirkung zwischen Ascorbinsäureanteil und Lagerung besteht nicht (Anhang 4).

Tabelle 26: Einfluss der Lagerung auf den Vitamin C-Gehalt [mg/100 g FS]; Signifikanzniveau 0,05%; V2, LAG, S1.

	t0 [mg/100 g FS]	Lag [mg/100 g FS]	Veränderung [%]
EC 3	7,0 ± 0,7 b	7,5 ± 0,4 ab	+7
EC 6,5	8,1 ± 1,3 b	6,1 ± 2,0 b	-24
EC 10	10,0 ± 1,2 a	10,1 ± 1,7 a	+1
EC 13,5	11,1 ± 0,6 a	9,4 ± 3,1 a	-15
p (n)	0,000 (6)		

3.4.7 Lykopen Veränderung durch die Lagerung

Zu einer signifikanten Zunahme von Lykopen durch steigende EC-Werte kam es auch im Versuchsjahr 2005. Ausgehend von 4,0 mg Lykopen in der Kontrolle erhöhten sich die Gehalte auf 6,3 mg (EC 6,5), 8,5 mg (EC 10) und 9,4 mg (EC13,5) bei Berechnung auf 100 g Frischsubstanz am Erntetag t0 (p= 0,000, n= 6) (Tabelle 27).

Während der Lagerung kam es zu einer Verdoppelung des Lykopengehaltes auf 8,6 mg/100 g FS in der Kontrolle. Auch in EC 6,5 und EC 13,5 kam es mit Gehalten von 7,1 mg und 9,7 mg/100 g FS zu tendenziellen Erhöhungen während der Lagerung. In der Variante EC 10 sank der Lykopengehalt tendenziell auf 7,9 mg/100 g FS (Tabelle 27). Der signifikante Einfluss des Salzgehaltes (p= 0,000) war auch während der Lagerung vorhanden.

Eine signifikante Wechselwirkung zwischen EC-Wert und Lagerung gab es nicht. Der Faktor Lagerung korrelierte im Gegensatz zur Salzbehandlung nicht mit dem Lykopen (Anhang 4).

Tabelle 27: Einfluss der Lagerung auf den Lykopen-Gehalt [mg/100 g FS]; Signifikanzniveau 0,05%; V2, LAG, S1.

	t0 [mg/100 g FS]	Lag [mg/100 g FS]	Veränderung [%]
EC 3	4,0 ± 1,6 b	8,6 ± 0,3 b	+70
EC 6,5	6,3 ± 1,3 b	7,1 ± 0,6 b	+13
EC 10	8,5 ± 2,3 a	7,9 ± 1,2 b	-7
EC 13,5	9,4 ± 2,8 a	9,7 ± 1,6 a	+4
p (n)	0,000 (6)		

3.4.8 β -Carotin Veränderung durch die Lagerung

Im Gegensatz zum Vorjahresversuch hatte die Salzbehandlung im Jahr 2005 keinen signifikanten Einfluss auf den β -Carotingehalt. Mit Gehalten von 0,39 mg (Kontrolle), 0,50 mg (EC 6,5), 0,56 mg (EC 10) und 0,58 mg (EC 13,5) bezogen auf 100 g Frischsubstanz war aber eine steigende Tendenz mit höheren EC-Werten vorhanden ($p=0,365$, $n=6$) (Tabelle 28)

Der β -Carotingehalt entwickelte sich im Lager folgendermaßen: Es wurden 0,40 mg/100 g FS in der Kontrolle und in EC 10 synthetisiert, in EC 6,5 waren es 0,34 mg und in der Variante EC 13,5 0,44 mg/100g FS. Abgesehen von nahezu gleich bleibenden Gehalten in der Kontrolle nahm der Gehalt an β -Carotin während der 12-tägigen Lagerung ab (Tabelle 28).

Im Gegensatz zum Faktor Salz korrelierte der Faktor Lagerung signifikant mit dem β -Carotin ($p=0,018$). Eine Wechselwirkung der beiden Faktoren gab es nicht (Anhang 4).

Tabelle 28: Einfluss der Lagerung auf den β -Carotingehalt [mg/100 g FS]; Signifikanzniveau 0,05%; V2, LAG, S1.

	t0 [mg/100 g FS]	Lag [mg/100 g FS]	Veränderung [%]
EC 3	0,39 \pm 0,18 a	0,40 \pm 0,05 a	+5
EC 6,5	0,50 \pm 0,17 a	0,34 \pm 0,07 a	-33
EC 10	0,56 \pm 0,21 a	0,40 \pm 0,07 a	-29
EC 13,5	0,58 \pm 0,24 a	0,44 \pm 0,14 a	-24
p (n)	0,365 (6)		

3.4.9 Phenole, Folin-Test Veränderung durch die Lagerung

Die signifikante Anreicherung von Phenolen in der frischen Tomate durch hohe Salzgehalte wurde im Versuchsjahr 2005 bestätigt ($p=0,000$, $n=6$). Ausgehend von 22,2 mg GAÄ/100g FS stiegen die Gehalte auf 31,7 mg GAÄ in EC 10 und 37,1 mg GAÄ in EC 13,5. Lediglich die EC 6,5 behandelten Früchte hatten mit 21,7 mg Gallussäureäquivalenten bezogen auf 100 g Frischmasse tendenziell weniger Phenole als die Kontrolle (Tabelle 29).

Durch die Lagerung nahmen die Phenolgehalte ab. Nach 12 Tagen waren noch 20,8 mg GAÄ (EC 3), 21,4 mg GAÄ (EC 6,5), 26,8 mg GAÄ (EC 10) und 32,8 mg GAÄ (EC 13,5) pro 100 g Frischmasse in den Früchten enthalten. Somit hatte neben dem

Salzgehalt ($p= 0,000$) auch die Lagerung ($p= 0,000$) einen signifikanten Einfluss auf die Phenolgehalte. Eine signifikante Wechselwirkung dieser beiden Faktoren gab es nicht (Tabelle 29 und Anhang 4).

Tabelle 29: Einfluss der Lagerung auf den Phenol-Gehalt [mg GAÄ/100 g FS]; Signifikanzniveau 0,05%; V2, LAG, S1.

	t0 [mg GAÄ/100 g FS]	Lag [mg GAÄ/100 g FS]	Veränderung [%]
EC 3	22,2 ± 1,6 b	20,8 ± 1,3 c	-6
EC 6,5	21,7 ± 1,0 b	21,4 ± 0,9 c	-2
EC 10	31,7 ± 2,1 a	26,8 ± 1,3 b	-15
EC 13,5	37,1 ± 2,6 a	32,8 ± 4,9 a	-12
p (n)	0,000 (6)		

3.4.10 AK Carotinoide, ABTS Veränderung durch die Lagerung

Die Zunahme der antioxidativen Kapazität (AK) der Carotinoide in Troloxäquivalenzen (TÄ) mit steigenden EC-Werten zum Erntezeitpunkt t0 war im Jahr 2005 signifikant und bestätigte die Entwicklung aus dem Versuchsjahr 2004 ($p= 0,000$, $n= 6$). Ausgehend von der Kontrolle mit 7,6 mg TÄ stieg die AK auf 7,7 mg TÄ (EC 6,5), 10,4 mg TÄ (EC 10) und 10,7 mg TÄ (EC 13,5) bezogen auf 100 g Frischmasse an (Tabelle 30).

Die AK der Carotinoide erreichte nach 12 Tagen Lager Troloxäquivalente von 6,3 mg (Kontrolle), 7,0 mg (EC 6,5), 10,6 mg (EC 10) und 11,6 mg (EC 13,5) in Bezug auf 100 g Frischmasse. Die Lagerung hatte im Gegensatz zum EC-Wert ($p= 0,000$) keinen Einfluss auf die AK der Carotinoide nach 12-tägiger Lagerung. Auch eine Wechselwirkung der Faktoren Salzgehalt und Lagerung gab es nicht (Tabelle 30 und Anhang 4).

Tabelle 30: Einfluss der Lagerung auf die antioxidative Kapazität der Carotinoide [mg TÄ/100 g FS] im ABTS-System, Signifikanzniveau 0,05%; V2, LAG, S1.

	t0 [mg TÄ/100 g FS]	Lag [mg TÄ/100 g FS]	Veränderung [%]
EC 3	7,6 ± 0,4 b	6,3 ± 1,9 b	-17
EC 6,5	7,7 ± 0,4 b	7,0 ± 1,0 b	-9
EC 10	10,4 ± 1,0 a	10,6 ± 1,3 a	+2
EC 13,5	10,7 ± 1,3 a	11,6 ± 1,9 a	+9
p (n)	0,000 (6)		

3.4.11 AK Phenole, ABTS Veränderung durch die Lagerung

Auch im Versuchsjahr 2005 konnte eine gesteigerte antioxidative Kapazität der Phenole durch erhöhte Salzgehalte in der Nährlösung zum Erntezeitpunkt t_0 festgestellt werden. Der Einfluss des EC-Wertes war signifikant ($p= 0,000$, $n= 6$). Nach einer tendenziellen Erhöhung von 23,1 mg TÄ in der Kontrolle auf 24,5 mg TÄ in der Variante EC 6,5 kam es zu einer signifikanten Erhöhung auf 29,5 mg TÄ in EC 10 und einer weiteren signifikanten Steigerung auf 38,9 mg TÄ in 100 g Frischsubstanz in EC 13,5 (Tabelle 31).

Durch die Lagerung nahm die AK in den Varianten EC 3 auf 22,8 mg TÄ und in EC 6,5 auf 22,5 mg TÄ/100 g FS ab. In den Varianten EC 10 und EC 13,5 kam es zu einer tendenziellen Erhöhung auf 32,0 mg TÄ und 34,4 mg TÄ/100 g FS. Die Wechselwirkung zwischen EC-Wert und Lagerung war signifikant ($p= 0,002$, $n= 6$). Auch der Salzgehalt hatte einen signifikanten Einfluss auf die antioxidativen Eigenschaften der Phenole ($p= 0,000$, $n= 6$) (Tabelle 31 und Anhang 4).

Tabelle 31. Einfluss der Lagerung auf die antioxidative Kapazität der Phenole [mg TÄ/100 g FS] im ABTS-System, Signifikanzniveau 0,05%; V2, LAG, S1.

	t₀ [mg TÄ/100 g FS]	Lag [mg TÄ/100 g FS]	Veränderung [%]
EC 3	23,1 ± 0,9 c	22,8 ± 1,1 b	-1
EC 6,5	24,5 ± 1,0 c	22,0 ± 1,1 b	-10
EC 10	29,5 ± 1,2 b	32,0 ± 2,6 a	+9
EC 13,5	38,9 ± 1,7 a	34,4 ± 4,6 a	-11
p (n)	0,000 (6)		

3.4.12 Vitamin E Veränderung durch die Lagerung

Bei der Untersuchung des Vitamin E-Gehaltes in der gesamten Frucht im Jahr 2005 wurde eine signifikante Zunahme mit steigenden EC-Werten deutlich ($p= 0,000$, $n= 6$). Ausgehend von 0,46 mg (EC 3) stiegen die Gehalte signifikant auf 0,58 (EC 6,5), 0,72 (EC 10) und 0,77 mg (EC 13,5) in 100 g Frischsubstanz an (Tabelle 32).

Nach der Lagerung unterschied sich das Vitamin E in den Varianten EC 3 und EC 6,5 mit Gehalten von 0,45 mg und 0,59 nicht signifikant im Vergleich zu dem Zeitpunkt t_0 . Bei EC 10 und EC 13 kam es zu einem tendenziellen Anstieg. Die Gehalte betragen 0,85 mg/100 g FS (EC 10) und 0,86 mg/100 g FS (EC 13,5). Sowohl der Salzgehalt ($p= 0,000$) als auch die Lagerung ($p= 0,004$) hatten einen signifikanten Einfluss auf den Vitamin E-Gehalt. Des Weiteren besteht zwischen den

beiden Faktoren eine signifikante Wechselwirkung ($p= 0,026$) (Tabelle 32 und Anhang 4).

Tabelle 32: Einfluss der Lagerung auf den Vitamin E-Gehalt [mg/100 g FS], Signifikanzniveau 0,05%; V2, LAG, S1.

	t0 [mg/100 g FS]	Lag [mg/100 g FS]	Veränderung [%]
EC 3	0,46 ± 0,04 c	0,45 ± 0,04 c	-2
EC 6,5	0,58 ± 0,04 b	0,59 ± 0,03 b	+1
EC 10	0,72 ± 0,13 a	0,85 ± 0,05 a	+19
EC 13,5	0,77 ± 0,05 a	0,86 ± 0,05 a	+11
p (n)	0,000 (6)		

3.4.13 Farbwerte

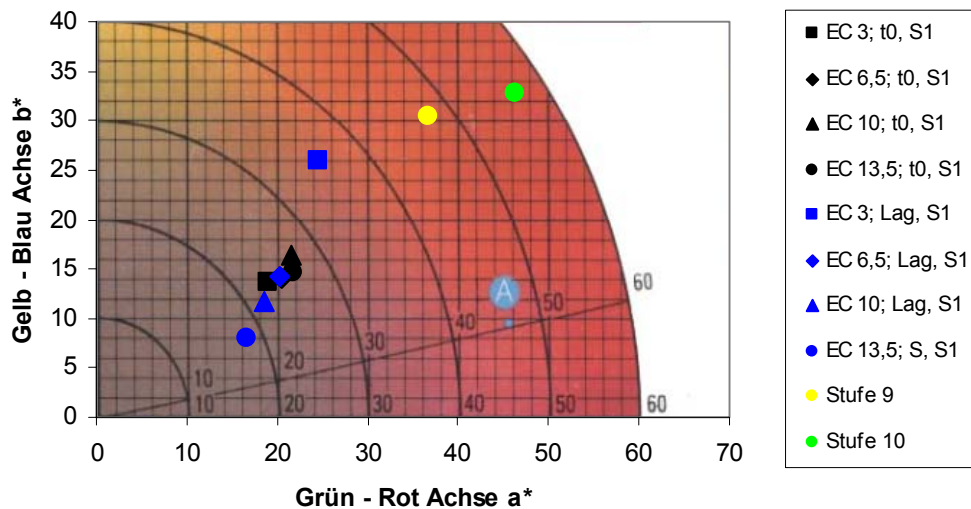


Abbildung 14: Farbindizes a^* und b^* der Tomaten zum Erntetermin (t_0) und nach der Lagerung; V2, LAG, S1.

Im Versuchsjahr 2005 wurde überprüft, ob die zu untersuchenden Tomaten am Erntetermin t_0 das gleiche Farb Stadium hatten und mit der Vorgabe der Erntestufe 9 - 10 der ctfl übereinstimmen. Den vorgegebenen Farbstufen 9 und 10 entsprechen die folgenden a^* - und b^* -Werte: a^* : 43,26, b^* : 27,56 (Stufe 9) und a^* : 54,66, b^* : 31,15. Die Oberflächenfarbe der Früchte wird im Vergleich zu der Pigmentierung des Farbfächers, der zur Ernte eingesetzt wurde, vom menschlichen Auge offensichtlich anders wahrgenommen. Dies wird durch die Abweichung der tatsächlichen Messwerte zum Zeitpunkt t_0 (schwarze Symbole) mit den Koordinaten der Stufen 9 und 10 deutlich (Abbildung 14).

Mit der Messung wurde weiterhin überprüft, ob die Früchte der verschiedenen Varianten am Erntetermin das gleiche Farb Stadium hatten. Obwohl das Kriterium „gleiches Farb Stadium zum Erntezeitpunkt“ subjektiv vom Pflücker erfüllt war, bestätigt eine Auswertung der Farbindizes a^* und b^* diese Forderung nicht.

Es ergaben sich folgende Unterschiede zwischen den Varianten: In der Kontrolle wurde ein a^* -Wert vom 18,9 gemessen, in der Variante EC 6,5 betrug der Index 20,5, in EC 10 21,6 und in EC 13,5 wurde ein Index von 21,8 festgestellt. Bei den b^* -

Werten ergaben sich die Werte 13,8 (EC 3), 14,1 (EC 6,5), 16,4 (EC 10) und 14,6 (EC 13,5) (Abbildung 14).

Ein weiterer Hintergrund der Farbmessung war es, die Entwicklung der Farbe während der Lagerung zu dokumentieren. Die Farbindizes unterschieden sich nach der Lagerung teilweise deutlich von den Werten zum Zeitpunkt t_0 . Es wurden a^* -Werte von 24,6 (EC 3), 20,3 (EC 6,5), 18,7 (EC 10) und 21,8 (EC 13,5) sowie b^* -Werte von 26,0 (EC3), 14,2 (EC 6,5), 11,7 (EC 10) und 8,9 (EC 13,5) gemessen (Abbildung 14).

Das Reifestadium (t_0 oder Lager) korrelierte signifikant mit den Farbindizes (a^* : $P=0,364$, $p=0,000$; b^* : $P=-0,364$, $p=0,000$) (Anhang 5).

Bei einem Vergleich der Korrelationen von a^* -Wert und b^* -Wert mit den untersuchten Parametern im Vergleich zur Korrelation der untersuchten Größen mit dem EC-Wert, ergab sich für die Salzstufe immer die höchste Korrelation (Anhang 5).

3.4.14 Atmungsraten

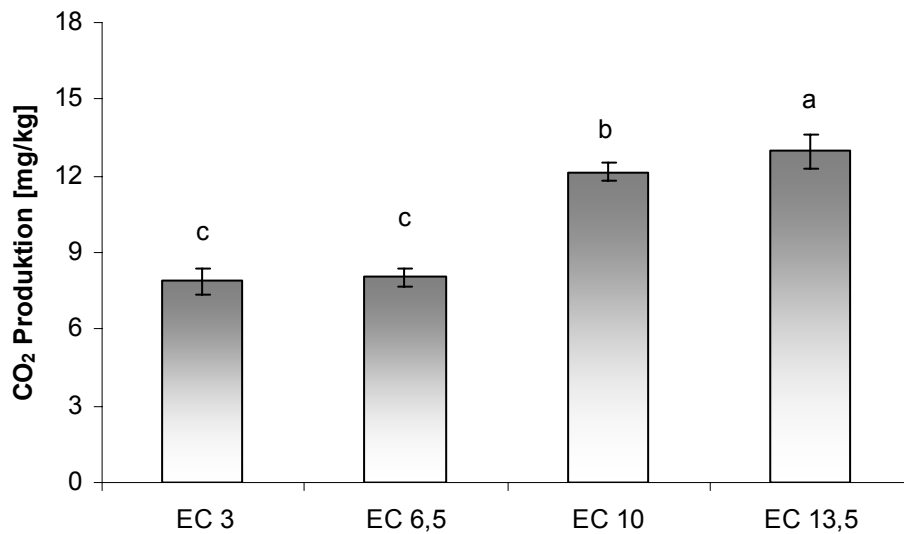


Abbildung 15: CO₂ Produktion während des Lagerns, Mittelwert pro Tag, V2, S1, Lag.

Als Maßstab zum Vergleich der Atmungsraten während der Lagerung wurde die CO₂-Produktion ausgewählt.

Beim Lagerversuch im Jahr 2005 (Satz 1) kam es in der Kontrolle zu einer CO₂-Bildung von 7,9 mg pro 1 kg eingelagerte Tomaten. Die Produktion stieg in der Variante EC 6,5 auf 8,0 mg CO₂, in der Variante EC 10 auf 12,1 mg CO₂ und bei EC 13,5 auf 13,0 mg CO₂ an (Abbildung 15).

EC-Wert und Atmung hatten eine hohe Korrelation ($P=0,916$, $p=0,000$).

4 Diskussion

Salzstress ist eine Form von Wasserstress, der den gesamten Metabolismus der Pflanze beeinflusst. Durch Vorhandensein von Natriumchlorid in der Nährlösung bzw. im Gießwasser kommt es bereits bei der Wasseraufnahme der Pflanzen zu Veränderungen in den Zellen der Wurzel. Diese haben weitere Auswirkungen auf die vegetativen Organe und später auf die Früchte.

Bekannt sind die Auswirkungen auf das vegetative Wachstum der Pflanze: Die Wasseraufnahme erfolgt im Normalfall entlang eines osmotischen Gradienten, angetrieben durch die Transpiration und Verdunstung der Pflanze von den Wurzeln hin zu den oberen Pflanzenteilen. Wenn das osmotische Potenzial durch erhöhte Salzgehalte in der Nährlösung höher ist als in den Pflanzenzellen, kann dieser Mechanismus nicht ungestört aufrechterhalten werden. Die Pflanze nimmt dann weniger Wasser auf als sie verbraucht und beginnt zu welken. Um diesen Prozess zu verhindern und den Gradienten umzukehren, synthetisiert eine Pflanze, die eine Salztoleranz also Anpassungsmechanismen besitzt, zunächst osmotisch wirksame Substanzen und nimmt selektiv Ionen auf. Um dauerhaft unter derartigen Mangelbedingungen leben zu können muss jedoch die gesamte Morphologie der Zellen so angepasst werden, dass die verdunstende Oberfläche der vegetativen Organe minimiert wird. Mit fortschreitender Entwicklung unter sehr hohen Salzgehalten kann es neben dem Wasserstress vor allem bei nicht vorhandener Salztoleranz auch zu toxischen Effekten kommen. Bei diesen Pflanzen ist durch mangelnde Selektion der Ionen auch eine passive Diffusion von Ionen in die Zellen möglich (Taiz und Zeiger, 1999; Cuartero und Fernández-Muñoz, 1999; Munns, 2002).

Ziel dieser Arbeit war es, herauszufinden, welche Auswirkungen der Salzstress, neben den hier aufgeführten Veränderungen in den vegetativen Pflanzenteilen, auf die Qualität der Früchte hat. Im Folgenden werden die Hintergründe für die Veränderung der (äußeren) Beschaffenheit der Früchte und ihrer inneren Qualität durch erhöhte EC-Werte in der Nährlösung diskutiert.

4.1 Ertrag, Einzelfruchtgewicht, Pflanzenhöhe

Tomaten, die unter hohen EC-Werten wuchsen, wurden nicht so groß wie die Kontrollvariante ohne Salz. Ihr gesamter Habitus war gedrungener und auch die Blätter blieben kleiner. Die Messung der Pflanzenhöhe bestätigte diesen Eindruck. Der Gesamtertrag nahm mit steigenden EC-Werten in der Nährlösung ebenfalls ab. Dieser Ertragsrückgang spiegelt sich in der negativen Korrelation des Einzelfruchtgewichtes (EFG) mit steigenden EC-Werten in den Versuchsjahren 2004 und 2005 wieder. Es kam zu einer Abnahme zwischen 15% (2005) und 19% (2004) in EC 6,5 und zwischen 40% (2004) und 55% (2005) in EC 10. Ein Rückgang dieser Größenordnung war auch für den EC-Wert von 13,5 im Versuchsjahr 2005 festzustellen. Diese Ergebnisse decken sich mit den in der Literatur angegebenen Abnahmen des EFG. Dort wird für EC-Werte zwischen 5 und 6 eine Reduktion von 30 % und für eine Leitfähigkeit von 8 dS/m 40% Rückgang beschrieben (González-Fernández und Cuartero 1993). De Pascale et al. (2001) haben eine Rückgang von 50% für EC 15,7 und eine Reduktion des EFG von 20% bei EC 8 im Vergleich zu einer Kontrolle mit einem EC-Wert von 0,5 gemessen. Maggio et al. (2004) berichten von einer Abnahme des Gewichtes um 59% für eine Leitfähigkeit von 15,7 dS/m verglichen mit EC 0,5.

Die gefundenen Abweichungen können viele Ursachen haben. Neben dem Salzgehalt haben vor allem die schwankenden Wachstumsfaktoren wie Klima und Jahreszeit, aber auch die Sorte, einen Einfluss auf das Gewicht der Früchte (Stanghellini et al., 1998, Dorais et al., 2001). Der grundsätzliche Trend, dass das EFG mit steigenden EC-Werten und damit der Ertrag sinken, wurde aber hier bewiesen.

Dies ist sowohl auf aktive als auch passive Reaktionen des Pflanzenmetabolismus auf den Salzstress zurück zu führen. Pflanzen, die unter salinen Bedingungen wachsen, nehmen weniger Wasser auf und akkumulieren somit auch weniger Wasser in ihren Zellen (Ehret und Ho, 1986). Durch die geringere Wasserverfügbarkeit muss die Transpirationsrate reduziert werden um den Wasserverbrauch zu senken. Die geringere Pflanzenhöhe die im Jahr 2004 bei höheren EC-Werten gemessen wurde, bestätigt diese morphologische Entwicklung. Wenn weniger Wasser von der Pflanze aufgenommen wird, wird auch entsprechend weniger Wasser in die Frucht transportiert (Johnson, 1992, Cuartero und Fernández-

Muñoz, 1999). Das Fruchtgewicht sinkt also, weil den Zellen im Fruchtgewebe weniger Wasser zur Einlagerung zur Verfügung steht. Dadurch bleiben die Früchte kleiner (Ehret und Ho, 1986). Die Anzahl der Zellen ist davon nicht betroffen, weil sich die Effekte des Salzes erst in der Zellwachstumsphase und nicht bereits in der Zellteilungsphase auswirken (Cuartero und Fernández-Muñoz, 1999).

Ein verringerter Verdunstungsschutz durch Minimieren der Oberfläche mit kleineren Zellen und damit kleineren Früchten, kann einen Teil der morphologischen Veränderung begründen, die in den Früchten aufgrund des Salzstresses stattfinden und der Anpassung in den vegetativen Pflanzenteilen entsprechen. Zusätzlich werden sowohl Stomataanzahl als auch die Stomatadichte unter Salzstress reduziert, um die Transpiration zu senken (Dalton und Poss, 1990).

Das Schließen der Stomata und das reduzierte Blattflächenwachstum sind Reaktionen auf hohe Salzkonzentrationen im Wurzelbereich, die hormonell gesteuert werden. Hohe Salzgehalte im Wurzelbereich führen zu einer verstärkten Synthese von Abscisinsäure (ABS). Stressinduzierte ABS ist ein wichtiger Signalfaktor von der Wurzel, der in den Spross weiter geleitet wird, und dort entsprechende Schutzreaktionen in den vegetativen und generativen Pflanzenorganen hervorruft (Munns, 2002). Darüber hinaus sind die Früchte in der exponentiellen Phase ihres Wachstums besonders empfindlich gegenüber veränderten Ionenkonzentrationen und osmotischen Substanzen (Adams und Ho, 1989). Da die Balance dieser Metaboliten durch hohe NaCl-Konzentrationen gestört ist, bleiben die Früchte kleiner. Auch eine reduzierte Xylementwicklung unter Salzstress (Belda et al., 1996) trägt einen Teil zur Reduktion des Wassers in den Früchten bei. Da der Wassereintrag in die Früchte aber hauptsächlich via Phloem erfolgt (Ho et al., 1987), sind weitere Mechanismen, wie die Anreicherung osmotisch wirksamer Substanzen, an der Reduktion des Einzelfruchtgewichtes beteiligt.

4.2 Trockensubstanz

Die Trockensubstanz (TS) der Früchte stieg mit höheren EC-Werten im Vergleich zur Kontrolle prozentual bis um das Doppelte an. Mit Gehalten zwischen 4,5 und 9% sind die hier ermittelten Trockensubstanzen mit Werten aus der Literatur vergleichbar (de Pascale et al., 2003; Petersen et al., 1998).

Die Hälfte der Trockenmasse von Tomaten machen die löslichen Zucker *Fructose* (25%), *Glucose* (22%) und *Saccharose* (1%) aus. Der Anteil an organischen Säuren beträgt 13 %, wobei hier die Zitronensäure mit 9 % den Hauptanteil hat. Die restliche Trockensubstanz wird von Cellulosen, Proteinen, Pektinen, Mineralstoffe, Lipiden und dicarboxylierten Aminosäuren gebildet. Der Anteil der Ascorbinsäure beträgt im Durchschnitt 0,5%, und der Pigmentanteil 0,4%. Die übrigen Vitamine, Aminosäuren und Polyphenole haben zusammen einen Anteil von ca. 1% an der TS von Tomaten (Davies und Hobson, 1981).

Zucker und Säuren sind osmotisch wirksame Substanzen, die unter Salzstress verstärkt gebildet werden. Die aktive Anreicherung dieser Metaboliten kann sich in der Trockensubstanz bemerkbar machen und einen Teil der Erhöhung begründen. Da Tomaten einen Wassergehalt zwischen 92 und 95 % haben (Davies und Hobson, 1981), gehen Veränderungen dieses Bestandteils aber weit mehr in die Veränderung der TS ein.

Ein Vergleich des Trockengewichtes der Früchte in g pro Pflanze führt nach Ehret und Ho (1986) zu keinem signifikanten Unterschied bei Leitfähigkeiten von 2, 4, 6, 8 und 10 mS. Da die Wasseraufnahme und der Wassergehalt in den Früchten unter Salzstress aufgrund der oben beschriebenen physiologischen Veränderungen geringer sind, steigt dagegen die Trockensubstanz, berechnet in Prozent, an wenn weniger Wasser akkumuliert wird.

Der Parameter „Trockensubstanz“ hat daher in Bezug auf die Qualität eine erhebliche Bedeutung. Je mehr Trockenmasse, in der Zucker und organische Säuren, aber auch gesundheitsrelevante Inhaltsstoffe enthalten sind, in weniger Wasser im Phloemsaft gelöst sind, umso höher ist deren Konzentration (Guichard et al. 2001). Dieser Zusammenhang wird in den folgenden Punkten bei der Berechnung der Gehalte in Bezug auf die Frischsubstanz deutlich.

4.3 Zucker und organische Säuren

Tomatenfrüchte haben ein schwach transpirierendes Gewebe. Angetrieben durch den Transpirationsstrom gelangen nur ca. 15% des Wassers über den Xylemtransport in die Früchte (Ho et al., 1987). Das restliche Wasser wird über das Phloem transportiert. Daher gibt es neben der Reduzierung der Transpiration weitere Argumente, welche die Veränderungen in den Früchten unter Salzstress begründen.

Im Phloem erfolgt eine aktive Anpassung an Wasserstress über die Anreicherung osmotisch wirksamer Substanzen. Zu den osmotisch wirksamen Substanzen zählen die löslichen Bestandteile der Trockensubstanz (TSS), also hauptsächlich Zucker und organische Säuren. Deren Anreicherung im Phloemsaft sichert die weitere Wasseraufnahme unter Salzstress, da sie das Wasserpotenzial des Pflanzensaftes erniedrigen und damit den Wassergradienten von der Wurzel zum Spross aufrechterhalten kann (Ehret und Ho, 1986; Hasegawa et al., 2000). Da der Hauptanteil des Wassereintrages in die Frucht über das Phloem erfolgt, werden in Früchten, die unter hohen EC-Werten gewachsen sind, auch mehr Zucker und Säuren angereichert. Das Signal zur Bildung von osmotisch wirksamen Substanzen ist das Stresshormon Abscisinsäure, das unter Salzstress in der Wurzel synthetisiert und in den Spross weitergeleitet wird (Munns, 2002).

Sowohl der Brix-Wert, der als Maßstab für die TSS gilt, als auch die organischen Säuren in der Frischmasse stiegen mit zunehmenden EC-Werten signifikant an. Einen Anstieg dieser beiden Parametern unter Salzstress bestätigen unter anderen Petersen et al. (1998) und de Pascale et al. (2001).

Die Anreicherung von Zucker und Säuren unter Salzstress führt dazu, dass Tomatenfrüchte, die unter Salzstress gewachsen sind, eine für den Verbraucher wahrnehmbare „höhere Qualität“ haben, weil der Geschmack intensiver ist. Der Geschmack ist dann am besten, wenn diese beiden Inhaltsstoffe besonders hoch sind (Cuartero und Fernández-Muñoz, 1999; Malundo et al., 1993).

4.4 Festigkeit

Die Festigkeit einer Tomate ist ein Kriterium, das der Verbraucher, im Gegensatz zu den anderen hier untersuchten Parametern, bis zu einem gewissen Grad beim Kauf selbst testen kann. Durch das Anfassen der Tomate kann er feststellen, ob die Tomate bereits weich, also in ihrer Reife weit fortgeschritten oder noch fest und somit weiter lagerfähig ist. Ein schnelles Weichwerden der Früchte, wie es oft bei alten, züchterisch wenig behandelten Tomatensorten vorkommt (nicht veröffentlichte Ergebnisse des Lehrstuhls für Gemüsebau, 2005 und 2006), gehört dabei nicht zu den Präferenzen der Konsumenten. Das Züchten von longlife-Tomaten, die inzwischen auch kommerziell vermarktet werden, zeigt den gegenteiligen Trend. Die meisten Verbraucher bevorzugen feste Tomaten und lassen dieses Kriterium in die

Bewertung der Gesamtqualität einfließen. Deshalb wurde in dieser Arbeit überprüft, wie sich verschiedene EC-Werte auf die Festigkeit von Tomaten auswirken.

Mit einem Texturprüfgerät wurde gemessen, wie viel Kraft eine Tomate einer definierten Belastung entgegengesetzt. Da diese Belastung automatisch fest eingestellt werden kann und damit immer auf die gleiche Art und Weise einwirkt, ist die Aussagekraft dieses Wertes neutraler, als die Überprüfung der Festigkeit mit einem Penetrometer. Penetrometermessungen können durch die manuelle Bedienung eine subjektive Komponente enthalten, die einen objektiven Vergleich erschweren. Da auch unterschiedliche Fruchtgrößen die Festigkeit beeinflussen können, wurden die Messwerte weiterhin um den Durchmesser der Früchte bereinigt (Brückner und Auerswald, 2000).

Im Versuchsjahr 2004 führte ein EC-Wert von 10 dS/m zu einer signifikanten Abnahme der Festigkeit im 6. Tross gegenüber der Kontrolle. In EC 6,5 war die Feste nur tendenziell geringer als in EC 3. Auch bei Messungen am 4. Tross wurde diese Entwicklung festgestellt. Im 10. Tross waren dagegen keine signifikanten Unterschiede der Festigkeit bei verschiedenen Salzstufen messbar.

Die Festigkeit wird stark durch die Reife bzw. den Alterungsprozess der Tomaten beeinflusst. Im Versuchsjahr 2004 wurde keine instrumentelle Überprüfung der Farbe, die ein Hinweis auf ein gleiches Entwicklungsstadium sein kann, durchgeführt (Tjiskens und Evelo, 1994). Die Auswahl erfolgte nur über die subjektive Einschätzung der Farbstufe 9 - 10 der ctifl-Farbskala. Daher können unterschiedliche Reifestadien der Tomaten das Ergebnis in 2004 stärker beeinflusst haben. Im Versuchsjahr 2005, wo durch Farbmessungen mit einem Colorimeter, die über eine Farbskala ausgewählten Früchte auf ihr Reifestadium überprüft und entsprechend gleichfarbige und damit gleich reife Tomaten für die Analysen eingesetzt wurden, zeigte sich ein gegenteiliger Trend: Die Festigkeit nahm mit steigenden EC-Werten in den beiden höchsten Salzstufen (EC 10 und 13,5) im ersten Satz signifikant gegenüber EC 3 und EC 6,5 zu. Im 2. Satz war der Anstieg nur in der höchsten Salzstufe signifikant, tendenziell waren die Früchte aber auch in EC 6,5 und EC 10 höher als in der Kontrolle.

Nach Malash et al. (2002) führen EC-Werte von 4 und 6 dS/m im Vergleich zu einer Kontrolle mit EC 0,55 zu keinem signifikanten Unterschied in der Festigkeit. Cuartero und Fernández-Muñoz (1999) stellen zusammenfassend fest, dass Salzgehalte bis zu 50 mM (ca. EC 13,5) keinen negativen Einfluss auf die Festigkeit haben. Erst bei

Leitfähigkeiten über 100 mS/m geht die Festigkeit der Früchte zurück. Petersen et al. (1998) haben dagegen einen Anstieg der Festigkeit mit zunehmenden EC-Werten von 3,8 bis 8,7 dS/m festgestellt, wenn die komplette Frucht mit Schale gemessen wurde. Kein eindeutiger Einfluss ergab sich dagegen, wenn die Schale vor der Messung entfernt wurde.

Die Schale scheint also einen großen Einfluss auf die Festigkeit der Früchte zu haben. Das kann daran liegen, dass das Perikarp von Tomaten aus kleineren Zellen mit dickeren Zellwänden besteht. Dies wurde an Tomaten, die unter EC-Werten von 7 mS/m wuchsen, festgestellt (Verkerke und Gielsen, 1991).

Eigene histologische Untersuchungen (unveröffentlichte Ergebnisse, Susanne Bayr, 2006), bestätigen die veränderte Zellstruktur von Tomatenfrüchten durch hohe EC-Werte (Abbildung 12). Je höher der Salzgehalt und damit die Notwendigkeit der Pflanze ist, die Wasserabgabe zu reduzieren, umso stärker baut auch die Frucht einen höheren Transpirationsschutz an der Oberfläche auf. Die Epidermiszellen werden kompakter, die Kutikula ist dicker und „wächst“ bis in die Epidermis hinein, so dass Tomaten hoher EC-Werte von einer breiteren Wachsschicht umgeben sind. Sowohl diese Schicht als auch die darunter liegenden, kleineren Epidermiszellen mit mehr Zellwandanteil pro Flächeneinheit führen dazu, dass die Früchte eine dickere Schale haben und somit fester sind. Dass sich diese histologische Veränderung auch positiv auf die Haltbarkeit auswirkt, wird im Gliederungspunkt *4.8 Lagerung* ausführlich diskutiert.

4.5 Gesundheitsfördernde Inhaltsstoffe: Vitamin C, Lykopin, β -Carotin, Vitamin E und Phenole

Hohe EC-Werte führten in allen Versuchen fast durchwegs zu einer Erhöhung der gesundheitsfördernden Inhaltsstoffe Vitamin C und E, Lykopin, β -Carotin und der Phenole bezogen auf 100 g Frischmasse. Der Anstieg dieser Stoffe war nahezu immer signifikant und die Salzstufe hatte im Vergleich mit den Wachstumsfaktoren *Trossnummer*, *Temperatur*, *Einstrahlung* und *Luftfeuchtigkeit* mit wenigen Ausnahmen, die im Folgenden angesprochen werden, immer den größten Einfluss auf den untersuchten Stoff. Interaktionen zwischen diesen Faktoren und der Salzstufe gab es nicht. Sofern es zu keiner Steigerung der Gehalte durch den Salzstress kam, wurde zumindest auch kein Rückgang eines Inhaltsstoffes durch

erhöhte EC-Werte festgestellt. Ein negativer Einfluss von Salzstress auf die Menge an gesundheitsfördernden Stoffen in Bezug auf 100 g Frischmasse kann somit für die hier untersuchten Parameter ausgeschlossen werden.

Im Gegensatz dazu nahm der Gehalt in Bezug auf 1 g Trockenmasse bei erhöhten EC-Werten im Vergleich zur Kontrolle meist tendenziell ab. Statistisch konnten kaum Unterschiede zwischen den verschiedenen Salzstufen und der Kontrolle festgestellt werden. Das heißt, dass es in der Trockenmasse der Tomaten so gut wie keine Unterschiede an gesundheitsfördernden Inhaltsstoffen gibt, wenn sie in Nährlösungen mit erhöhten Leitfähigkeiten produziert werden.

Eine Erhöhung antioxidativ wirksamer Stoffe in der Trockensubstanz, wäre ein Hinweis auf die Neusynthese von Antioxidantien unter Salzstress. D'Amico et al. (2003) weisen darauf hin, dass es unter Salzstress in den Früchten tendenziell zu einer erhöhten Bildung von reaktiven Sauerstoffspezies kommen kann und dadurch eine vermehrte Bildung von Antioxidantien zum Schutz der Pflanze notwendig ist. Allerdings wird dort auch erwähnt, dass ein nachweislicher Zusammenhang zwischen Salzstress und der Bildung von Antioxidantien in den Früchten nicht geklärt ist.

Die hier vorliegenden Ergebnisse sowie vergleichende Untersuchungen in der Literatur (Petersen et al. 1998), deuten eher auf einen Konzentrationseffekt hin. Da die Antioxidantien nur ca. 2% der Trockensubstanz ausmachen (Davies und Hobson, 1981), machen sich Veränderungen dieser Stoffe in den Messungen nur wenig bemerkbar im Vergleich zu dem Hauptbestandteil Wasser.

Das bedeutet, dass ebenso wie die geschmacksrelevanten Inhaltsstoffe Zucker und Säure auch die gesundheitsrelevanten Inhaltsstoffe in einer höheren Konzentration im Phloemsaft vorliegen, weil sie in weniger Wasser gelöst sind. Neben dem intensiveren Geschmack hat der Verbraucher auch dadurch einen Zusatznutzen, weil er beim Verzehr von 100 g frischen Tomaten, die unter Salzstress gewachsen sind, mehr Vitamine und sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe zu sich nimmt als bei herkömmlich produzierten Tomaten.

Neben diesem allgemeinen Trend in Bezug auf die Entwicklung der antioxidativ wirksamen Inhaltsstoffe der Tomate, wird in der folgenden Diskussion noch einmal auf die Besonderheiten der einzelnen Substanzen eingegangen und deren Gehalte mit Literaturangaben verglichen.

Der Vitamin C Gehalt der Sorte Durinta liegt, abhängig von Salzstufe und Jahresklima, mit Werten von 7 und 11 mg/100 g Frischgewicht (FG) eher im unteren Bereich der Ascorbinsäuregehalte von Tomaten. Dumas et al. (2003) berichten von 15 bis 23 mg Vitamin C als Durchschnittswert für dieses Nachtschattengewächs. Wold et al. (2004) bestätigen einen geringen Vitamin C-Anteil der Sorte Durinta.

Der Grundgehalt kann aber durch Salzstress um 2 bis 4 mg/100 g FG gesteigert werden und somit durch saline Anbaubedingungen eine Erhöhung erfahren. Grundsätzlich wird dieser Parameter jedoch stärker von anderen Wachstumsfaktoren wie Licht und Temperatur beeinflusst (Dumas et al., 2003). Im Versuchsjahr 2004 hatte die relative Luftfeuchtigkeit den größten Einfluss auf den Vitamin C-Gehalt.

Die Lykopingehalte beider Versuchsjahre (2004/2005: EC 3: 4,3/4,0; EC 6,5: 5,8/6,3; EC 10: 5,8/8,5; EC 13,5: 9,4 mg/100 g FG) sowie die β -Carotingehalte (2004/2005: EC 3: 0,43/0,39; EC 6,5: 0,44/0,50; EC 10: 0,53/0,56; EC 13,5: 0,58 mg/100 g FG) stimmen ebenfalls mit den Literaturangaben überein. Dort werden 3 bis 5 mg/100 g FG Lykopin und 0,1 bis 0,6 mg/100 g FS β -Carotin als Durchschnittswerte genannt (Dumas et al., 2003; Shi et al., 2000). Ein Anstieg dieser Substanzen mit erhöhten EC-Werten fand hier auf der Basis von Frischgewicht statt, nicht aber auf Ebene der Trockensubstanz. Deshalb ist auch die Steigerung der Carotinoide durch Salzstress dem oben erwähnten Konzentrationseffekt zuzuordnen und nicht einer aktiven Anreicherung von schützenden Substanzen (Ehret und Ho, 1986; Maggio et al., 2004; Petersen et a., 1998).

Die Untersuchungen von de Pascale et al. (2001) weisen darüber hinaus auch auf Änderungen in der Carotinoidbiosynthese hin. Sie haben für β -Carotin eine Steigerung von 0,31 mg/100 g FG für EC 4,4 und 0,44 mg/100 g FG für EC 15,7 gefunden. Das Lykopin stieg von 5,9 auf 10,22 mg/100 g FG an. Eine Steigerung wurde auch in Bezug auf die Trockensubstanz gemessen. Eine erhöhte Synthese von Carotinoiden könnte diese Erhöhung in der Trockenmasse erklären. Diese kann aber auch nur indirekt vom Salzgehalt abhängen.

Pflanzen, die unter Salzstress wachsen, haben ein reduziertes Blattflächenwachstum, was dazu führt, dass die Früchte aufgrund mangelnder Beschattung dem Sonnenlicht stärker ausgesetzt sind. Dadurch kann die Synthese schützender Carotinoide durch die daraus folgende hohe Lichtexposition hoch reguliert werden (Dumas et al., 2003).

Auch wenn es in der vorliegenden Arbeit tendenziell immer zu einer Erhöhung von β -Carotin mit erhöhten EC-Werten kam, beeinflussen weitere Wachstumsfaktoren diesen Parameter. Der Einfluss von Licht und Temperatur auf diesen Parameter ist stärker als der von Wasser- und damit Salzstress (Dumas et al., 2003). Die hohe Korrelation von Temperatur und β -Carotin im Versuchsjahr 2004 sowie der nicht signifikante Einfluss des Faktors Salz im Jahr 2005 machen dies deutlich.

Auf den ernährungsphysiologischen Wert der Tomate hat dieser nicht abgesicherte Zusammenhang von β -Carotin und Salzstress aber einen geringen Einfluss. β -Carotin trägt zwar zum Gesundheitswert von Tomaten bei. Die Tomate zählt aber im Gegensatz zu Lycopin nicht zu den Hauptnahrungsquellen für dieses Carotinoid (Shi et al., 2004). Hinzu kommt, dass β -Carotin ein Ausgangssubstrat für die Lycopinbiosynthese ist und mit fortschreitender Reife in den roten Farbstoff, der eine weitaus höhere antioxidative Kapazität hat als β -Carotin selbst, umgewandelt wird (Bramley, 2002; Sandmann, 2001). Ein Rückgang von β -Carotin kann sich also in einer Zunahme von Lycopin oder vorgelagerten Zwischenstufen auswirken, die hier nicht explizit erfasst wurden.

Um entwicklungsbedingte Unterschiede im Carotinoidgehalt auszuschließen und nur den Salzeinfluss zu testen, wurden auch für diese Analysen im Versuchsjahr 2005 gezielt Früchte der gleichen Farbstufe zur Untersuchung ausgewählt (Stufe 9 - 10 der ctifl). In der Literatur wird von Zusammenhängen des Farbstoffes Lycopin mit der Oberflächenfarbe der Tomate berichtet (Arias et al., 2000). Es existieren aber auch gegenteilige Untersuchungen, die einen sicheren Zusammenhang widerlegen (D'Souza et al., 1992). Die hier durchgeführte Überprüfung der Farbstufe zum Erntezeitpunkt zeigte zum einen, dass die vom menschlichen Auge wahrgenommenen Farben der vorgegeben Stufen 9 und 10 stark von den tatsächlich gemessenen Farbanteilen abweichen (3.10.5 Farbwerte, Abbildung 14). Zum anderen wird deutlich, dass die Farbe der geernteten Tomaten verschiedener EC-Stufen zum Erntetermin t_0 weitgehend gleich ist, also unterschiedliche Lykopingehalte nicht auf verschiedene Entwicklungsstadien, sondern auf die Salzstufen zurückgeführt werden können. Dass der EC-Wert im Gegensatz zu den Farbindizes a^* und b^* immer den größten Einfluss auf den Lycopin- aber auch den β -Carotingehalt hatte, bewies auch eine statistische Überprüfung.

Auch die übrigen getesteten Parameter zeigen keinen verstärkten Zusammenhang mit der Oberflächenfarbe der Tomaten. Auf alle Parameter hatte der Salzstress

immer mehr Einfluss als die Farbe, charakterisiert durch die Farbindizes a^* und b^* (Anhang 5).

Für das im Versuchsjahr 2005 untersuchte Vitamin E konnte eine signifikante Zunahme in Bezug auf 100 g frische Tomate mit steigenden EC-Werten festgestellt werden. In der Trockensubstanz kam es dagegen zu keinen signifikanten Unterschieden bei verschiedenen EC-Werten, so dass es auch bei diesem Parameter zu Konzentrationseffekten kam.

Mit Gehalten von 0,46 mg/100 g Frischsubstanz in der Kontrolle liegen die Gehalte der Sorte 'Durinta' sogar leicht über den Durchschnittswerten von 0,12 bis 0,4 mg an Tocopherol (Abushita et al., 1997). Durch höhere Salzgehalte in der Nährlösung können diese bei EC 13,5 noch um bis zu 67% gesteigert werden. Da die Vitamin E-Gehalte in Tomaten generell gering sind verglichen mit anderen Nahrungsmitteln, bedeutet eine Erhöhung des Tocopheralgehaltes vor allem wegen der verstärkenden Wirkung anderen Antioxidantien, eine erhebliche Steigerung des gesundheitlichen Nutzens (Beecher, 1998).

Auch die Phenole, gemessen mit dem Folin Ciocalteu-Test und ausgedrückt als Gallussäureäquivalente (GAÄ), stiegen mit höheren EC-Werten in Bezug auf die Frischsubstanz ausgehend von ca. 20,5 mg GAÄ (2004) und 22,2 mg GAÄ (2005) pro 100 g Frischgewicht um bis zu 20% in EC 10 im Jahr 2004 und um 40% in EC 10 und 67% in EC 13,5 im Versuchsjahr 2005 an. Auch hier wird ein Konzentrationseffekt beim Vergleich der Gehalte auf Basis von Trocken- und Frischsubstanz deutlich. Grundsätzlich liegen die Phenolgehalte von Tomaten zwischen 10 und 57 mg GAÄ/100 g FS, abhängig von der Sorte und den Anbaubedingungen (Kaur et al., 1986). Minoggio et al. (2003) haben bei einer Untersuchung von 30 verschiedenen Tomatenproben Gehalte zwischen 4,43 und 25,84 mg an Gesamtphenolen pro 100 g gefunden. Wachstumsfaktoren, wie Licht und Temperatur, können diese Schwankungsbreite neben der vorherrschenden genetischen Disposition zur Phenolbildung beeinflussen (Stewart et al., 2003; Dumas et al., 2003; Minoggio et al., 2003).

Da die Phenolbiosynthese vor allem durch die Einstrahlung gesteuert wird, kann es auch hier nicht nur wegen dem Konzentrationseffekt durch Salzstress, sondern auch aufgrund der stärkeren Lichtexposition der Früchte in hohen EC-Stufen aufgrund der

geringeren Blattmasse, zu einem starken Anstieg von phenolischen Bestandteilen kommen. Auch in den verschiedenen Entwicklungsstadien der Pflanze können die Phenolgehalte schwanken. Die hohe Korrelation der Trossnummer im Versuchsjahr 2004 macht dies deutlich. Trotz des höheren Einflusses der Trossnummer verglichen mit der Salzstufe, wurden aber mit steigenden EC-Werten am gleichen Erntetermin mehr Phenole angereichert und der ernährungsphysiologische Wert erhöht. Diese Wertsteigerung war im Versuchsjahr 2005 noch stärker ausgeprägt.

Gerade bei den Phenolen kann sich auch die unterschiedliche Fruchtgröße stark auf den Gehalt in den verschiedenen Salzstufen auswirken, da die meisten Flavonoide, die im Folin-Test mit erfasst werden, in der Schale der Früchte sitzen (Muir et al., 2001). Die Schale ist die erste Barriere, an der die Frucht zahlreiche Angriffe abwehren bzw. ungünstige Wachstumsbedingungen ausgleichen kann. Bei Salz- und Wasserstress wird dort durch Verkleinern der Oberfläche die Transpiration reduziert. Aufgrund des kleineren Radius der Früchte hat dadurch die Schale bei höheren EC-Werten einen größeren Anteil am Gesamtvolumen einer Tomate (Erklärung siehe unter Gliederungspunkt *4.7. Auswirkungen von Salzstress auf die Kompartimente Fruchtfleisch und Schale*). Da die gesamte Frucht als Basis für die Analysen diente, kann der höhere Schalenanteil salzbehandelter Früchte einen multiplikatoren Effekt auf das Ergebnis gehabt haben, weil in den Schalen der Früchte häufig mehr Phenole angereichert werden als im Fruchtfleisch (Hunt und Baker, 1980). Auch Stewart et al. (2000), welche den Gesamtphenolgehalt von Cherry- und Strauchtomaten verglichen und dabei höhere Gehalte in den kleineren Cherrytomaten gefunden haben, machen das größere Verhältnis von Schale zu Fruchtfleisch bei Tomaten mit einem kleineren Durchmesser für die gesteigerten Flavonidgehalte verantwortlich.

Der Folin Test misst colorimetrisch alle reduzierenden Verbindungen eines Extraktes. Dazu zählen neben phenolischen Bestandteile weitere Substanzen wie Vitamin C, Zucker oder Aminosäuren (Singleton et al., 1998). Manche dieser Substanzen können in geringen Mengen in dem hier als „Phenolextrakt“ eingesetzten Substrat aufgrund der wässrigen Extraktion enthalten und dadurch mit im Folin-Test erfasst worden sein und das Ergebnis beeinflusst haben.

Da der Test häufig zur Bestimmung der „Gesamtphenole“ eingesetzt und auch in der Literatur immer wieder als solcher diskutiert wird, wurde er auch in der vorliegenden

Arbeit angewandt. Um seine Wertigkeit, die nicht unumstritten ist (Georgé et al., 2005) zu überprüfen, wurde zusätzlich die Hochdruckflüssigkeitschromatographie (HPLC) eines methanolischen Extraktes zur Bestimmung der phenolischen Substanzen angewandt.

Bei der HPLC-Analytik bestätigte sich zwar der für die anderen Parameter gefundene Konzentrationseffekt in Bezug auf 100 g Frischsubstanz, aber nicht so deutlich wie bei anderen Parametern.

Verglichen wurden einige ausgewählte Phenolgruppen, in denen die in nennenswerten Mengen vorhandenen Einzelpeaks zusammengefasst wurden. Wie stark dabei der EC-Wert mögliche nicht identifizierte Peaks beeinflusst hat, die im einzelnen nicht besonders hoch waren, in ihrer Summe aber auch einen großen Anteil am Gesamtextrakt haben, wurde nicht weiter berücksichtigt. Die identifizierten Phenole stimmen grundsätzlich mit den Literaturangaben überein und auch die berechneten Mengen liegen in den angegebenen Schwankungsbreiten (Minoggio et al., 2003).

Bei den identifizierten Phenolgruppen kam es zu keiner durchgehenden Zunahme mit steigendem Salzgehalt, ausgehend von EC 3 bis EC 13,5 in Bezug auf die Frischsubstanz. Bei fast allen Peaks wurden aber Unterschiede zwischen den ersten beiden EC-Stufen (EC 3 und 6,5) und den höchsten EC-Werten (EC10 und 13,5) gemessen. EC 3 und EC 6,5 sowie EC 10 und EC 13,5 unterschieden sich dagegen nicht signifikant voneinander. Tendenziell ist der Gehalt einiger Phenole in EC 6,5 sogar geringer als in EC 3 und in EC 13,5 geringer als in EC 10.

Bei einem Vergleich auf Basis der Trockensubstanz konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Salzvarianten festgestellt werden. Es ist auch kein eindeutiger Trend in Bezug auf eine Zu- oder Abnahme durch die verschiedenen Salzstufen erkennbar. Wie auch bei den anderen wertgebenden Inhaltsstoffen wird daher die Neusynthese von bestimmten Phenolgruppen und damit eine Veränderung der Biosynthese, welche durch den Salzstress ausgelöst wird, ausgeschlossen. Lediglich die Flavonole hatten in Bezug auf die Trockensubstanz tendenziell einen höheren Gehalt bei EC-Werten von 10 und 13,5 dS/m. Hierzu kann der höhere Schalenanteil salzgestresster Früchte beigetragen haben, weil Substanzen dieser Stoffgruppe verstärkt in der Schale reifer Tomatenfrüchte vorkommen (Verhoeven et al., 2002).

Da die Phenolsynthese hauptsächlich über das Licht gesteuert wird (Dumas et al, 2003), können bereits geringe Änderungen dieses Faktors infolge der höheren Lichtexposition bei höheren EC-Werten die Ergebnisse neben der Wirkung von Salzstress beeinflusst haben. Aber auch die Versuchsumstände können zu unterschiedlicher Beschattung bzw. Einstrahlung geführt haben.

Im Jahr 2005 hat der Versuch, von dem die Proben für die HPLC-Analyse verwendet wurden, auf einer kleineren Gewächshausfläche stattgefunden als im Jahr 2004. Da alle Pflanzen einer Variante jeweils nebeneinander auf einem Tisch standen, kann z.B. eine Beschattung durch Gewächshausbauteile oder Pflanzen einer anderen Variante, die Phenolbiosynthese bei einzelnen Varianten erhöht oder erniedrigt und die tendenziell geringeren Gehalte in der Variante EC 6,5 in der Frischsubstanz mit verursacht haben.

Auch wenn die genauen Ursachen hierfür nicht geklärt werden können, werden zwei wichtige Erkenntnisse deutlich: Zum einen reicht der Folin-Test zur Beschreibung der Phenolgehalte nicht aus, da die genaue Analyse mittels HPLC die Ergebnisse des Folin-Tests nicht in der gleichen Deutlichkeit bestätigen kann. Der Folin-Test gibt lediglich Auskunft über die Menge an reduzierenden Substanzen eines Substrates.

Zum anderen zeigt sich, dass auch geringere Phenolgehalte, bestimmt durch die HPLC-Analyse, den ernährungsphysiologischen Wert unter Salzstress gewachsener Tomaten nicht mindern. Dies kann durchaus mit dem Folin-Test bestimmt werden, da reduzierende Substanzen mit einer hohen antioxidativen Kapazität einhergehen und diese bei gleichzeitigem Vorhandensein mehrerer potenzieller Antioxidantien, wie sie im hier extrahierten „phenolreichen Extrakt“ vorkommen, die Effektivität einzelner Antioxidantien sogar steigern kann.

Dass die antioxidative Kapazität unter Salzstress gewachsener Tomaten höher ist im Vergleich zur Kontrolle wird im folgenden Diskussionsteil *Antioxidative Kapazität gesundheitsrelevanter Inhaltsstoffe* deutlich.

4.6 Antioxidative Kapazität gesundheitsrelevanter Inhaltsstoffe

Um zu überprüfen, ob der Anstieg an sekundären Inhaltsstoffen auch mit einer gesteigerten antioxidativen Wirksamkeit einhergeht, wurden carotinoid- und phenolreiche Extrakte in ein ABTS-Entfärbassay eingesetzt. In beiden Extrakten

stieg die antioxidative Kapazität (AK) mit einer Zunahme der EC-Werte in der Nährlösung in allen Versuchen in Bezug auf 100 g Frischsubstanz an. Höhere Gehalte an Phenolen bzw. Carotinoiden, zu denen es durch Salzstress kommt, erhöhen also auch die antioxidativen Eigenschaften der Tomaten und sind ein Hinweis, dass diese Früchte gesundheitsfördernder sein können.

Für die Trockensubstanz wurde sowohl im Jahr 2004 als auch im Jahr 2005 ein entgegen gesetzter Trend bei der AK der Phenole, also abnehmende Gehalte, bzw. keine signifikanten Unterschiede zwischen den Varianten gemessen, was den auch für andere Parameter gefundenen Konzentrationseffekt bestätigt. Mit durchschnittlichen Gehalten von 4,5 mg TÄ/1 g Trockensubstanz liegen die hier gefundenen antioxidativen Kapazitäten der Phenole generell leicht über dem Durchschnitt von 2 – 3 mg TÄ/1 g TS (Kaur et al., 2003).

Um zu überprüfen, ob die extrahierten Phenole auch in einem anderen Testsystem antioxidative Eigenschaften aufweisen, wurden Extrakte aus dem Versuchsjahr 2005 in das Testsystem der Hydroxylamin-Oxidation eingesetzt. Auch hier führten EC-Werte von 6,5 und 10 tendenziell zu gesteigerten antioxidativen Wirksamkeiten in Bezug auf 100 g FS. Bei EC 13,5 war diese Steigerung sogar signifikant.

Da in diesem Testsystem die pathologische Situation der Ischämie und Reperfusion simuliert wird, kann es einen realistischeren Hinweis auf die Wirksamkeit eines Extraktes *in vivo* geben. In der Hydroxylamin-Oxidation reagieren die Antioxidantien des Extraktes mit dem auch im menschlichen Körper vorkommenden Superoxidradikal (Cos et al., 1998; Elstner, 1990). Im ABTS-System wird dagegen die antioxidative Wirksamkeit über die gehemmte Bildung des künstlich generierten ABTS-Radikals, das im menschlichen Körper nicht vorkommt, bestimmt (Cano et al., 2000). Auch wenn von *in vitro* Ergebnissen nicht direkt auf die antioxidative Wirksamkeit *in vivo* geschlossen werden kann, geben sie einen guten Hinweis auf die antioxidative Effektivität verschiedener Substrate (Kaur und Kapoor, 2001). Sie lassen die Vermutung zu, dass sich erhöhte antioxidative Kapazitäten auch beim Menschen positiv auf die Gesundheit auswirken können, sofern negative Auswirkungen z.B. durch übermäßige Supplementierung künstlich hergestellter (Einzel)substanzen ausgeschlossen werden können.

Da es zu keiner negativen Auswirkung durch Zufuhr von Vitaminen und sekundären Pflanzeninhaltsstoffen aus Obst und Gemüse kommen kann, hat selbst ein sehr hoher Tomatenkonsum nur positive Effekte auf die Gesundheit (Ferrari, 2004). Dies

trifft vor allem dann zu, wenn diese natürliche Quelle durch saline Anbaubedingungen mehr Antioxidantien enthält als herkömmliche Tomaten.

Auch bei der Analyse der antioxidativen Kapazität der Carotinoide im ABTS-System wurde in beiden Versuchsjahren die positive Auswirkung von erhöhten EC-Werten in der Nährlösung deutlich: Es kam zu steigenden Gehalten in der Frischsubstanz und leicht sinkenden bzw. gleich bleibenden Gehalten in der Trockensubstanz. D.h., dass auch die antioxidative Wirkung des Carotinoidextraktes in Bezug auf 100 g frische Tomate durch den Salzstress höher ist, weil die radikalfangenden Substanzen in weniger Wasser gelöst sind. Eine Erhöhung der antioxidativen Kapazität der Carotinoide unter salinen Bedingungen in 100 g Frischsubstanz fanden auch de Pascale et al. (2001) bei EC-Werten bis zu 8,5. Bei EC 15 kam es zu keinem weiteren Anstieg mehr.

Die radikalfangenden Eigenschaften des „carotinoidreichen Extraktes“ können neben den quantitativ untersuchten Carotinoiden *Lykopen* und *β-Carotin* durch weitere lipidlösliche Stoffe, z.B. das Vitamin E, aber auch andere Carotinoide wie Phytoen oder Neurosporen hervorgerufen worden sein (Beecher, 1998). Diese können aufgrund der lipophilen Extraktion ebenfalls in dem eingesetzten Substrat enthalten sein und dazu führen, dass die antioxidative Kapazität stärker ansteigt, als die Summe der untersuchten Einzelsubstanzen. Die Antioxidantien können sich gegenseitig in ihrer Wirkung unterstützen, weshalb ihre Zufuhr in Form von natürlichen Nahrungsmitteln, z.B. durch rohe aber auch gekochte Tomaten, weitaus wirksamer sein kann als die Supplementierung synthetischer Einzelsubstanzen (Liu, 2003).

Der Anstieg der AC CAR von 40% mit höheren EC-Werten im Versuchsjahr 2004 bestätigt diese These, da diese Zunahme größer ist als der Anstieg von Lykopen und *β-Carotin* zusammen. Dass das lipidlösliche Tocopherol einen starken Anstieg unter salinen Bedingungen erfährt und so die AC des carotinoidreichen Extraktes mit steigern kann, hat die Überprüfung der Vitamin E-Gehalte im Versuchsjahr 2005 gezeigt.

4.7 Der Einfluss von exogenen und endogenen Faktoren auf die Entwicklung der Pflanze

Neben dem Salzgehalt in der Nährlösung wird die Qualität einer Tomate auch von exogenen Wachstumsfaktoren wie Temperatur, Luftfeuchtigkeit oder den Strahlungsverhältnissen beeinflusst (Dumas, 2003). Abhängig von Jahreszeit und Klima, aber vor allem von der Entwicklung, also dem Alter der Pflanze an sich, kann es auch ohne eine Salzbehandlung zu unterschiedlichen Gehalten an Inhaltsstoffen sowie zu Veränderungen der äußeren Beschaffenheit der Tomatenfrucht kommen (Stanghellini, 1998; Dorais, 2001; Davies, 1981).

Um herauszufinden, ob der Einfluss der Entwicklung größer ist als die Auswirkungen einer Salzbehandlung, wurden im Versuchsjahr 2004 drei verschiedene Trosse den gleichen Analysen unterzogen und überprüft, ob es eine Korrelation zwischen der Trossnummer und den untersuchten Parametern gibt. Darüber hinaus wurde der mögliche Zusammenhang zwischen den untersuchten Qualitätskriterien und den wichtigsten Wachstumsfaktoren – der Temperatur, der Luftfeuchtigkeit und der Einstrahlung – untersucht.

Dabei wurde deutlich, dass der Trend „höhere Gehalte an erwünschten Inhaltsstoffen bei abnehmendem Ertrag mit steigenden EC-Werten“ im Verlauf einer Tomatenkultur weitgehend wiederkehrt, abhängig davon, wie hoch der Grundgehalt an gesundheitsrelevanten bzw. geschmacksgebenden Inhaltsstoffen zum Untersuchungszeitpunkt ist. Diese Feststellung lässt sich aus den Abbildungen 1 bis 11 ablesen. Dort ist die parallel verlaufende Entwicklung der untersuchten Größen in drei Trossen bei den untersuchten EC-Werten erkennbar. Gleichzeitig werden die verschieden hohen Grundgehalte an Inhaltsstoffen in der Kontrollvariante, abhängig von der Trossnummer, also von den bis zum Erntezeitpunkt eingewirkten Wachstumsbedingungen und dem pflanzeigenen Entwicklungsstadium deutlich. Die Höhe des Ausgangsgehaltes wird immer auch von exogenen Wachstumsfaktoren, sowie von endogenen Faktoren, also dem Alter und damit der Trossnummer, beeinflusst (Dumas, 2003). Die statistische Überprüfung der Ergebnisse, die in Anhang 2 zusammengefasst ist, verdeutlicht aber, dass der EC-Wert der Nährlösung, mit wenigen Ausnahmen immer den größten Einfluss auf die untersuchten Qualitätsparameter hatte.

Eine Ausnahme davon ist der *Vitamin C-Gehalt*, der hauptsächlich durch die relative Luftfeuchtigkeit beeinflusst wurde. Weiterhin der *Phenolgehalt* mit dem Haupteinfluss

Trossnummer und der β -Carotiningehalt, der vor allem durch die Temperatur Veränderungen fand. Auf die genauen Ursachen dieser Ausnahmen wurde in den vorhergehenden Diskussionspunkten bereits eingegangen.

Es bleibt aber festzuhalten, dass die durch das jeweilige Entwicklungsstadium der Tomate vorgegebene Qualität bzw. die durch das vorherrschende Klima zur jeweiligen Jahreszeit und die gegebenen Anbaubedingungen hervorgerufene Beschaffenheit der Früchte durch erhöhte EC-Werte bei den meisten hier untersuchten Parametern gesteigert werden kann.

Bei den Parametern Vitamin C, Phenole und β -Carotin konnte zumindest auch kein negativer Einfluss des Salzes festgestellt oder eine negative Wechselwirkung mit den Haupteinflussfaktoren gefunden werden. Die Gehalte an diesen Stoffen wurden durch den Salzeinfluss nicht signifikant erniedrigt. Sie waren mindestens noch genauso hoch wie in der Kontrolle oder tendenziell sogar erhöht. Negative Auswirkungen hoher EC-Werte bei verschiedenen Entwicklungsstadien bzw. Vorherrschen unterschiedlicher Wachstumsfaktoren an den untersuchten Früchten des hier beschriebenen Standortes in Bezug auf die erwünschte Inhaltsstoffe konnten damit, bei Beobachtungen über 2 Jahre (2004 und 2005) in unabhängigen Experimenten, ausgeschlossen werden .

4.8 Auswirkungen von Salzstress auf die Kompartimente Fruchtfleisch und Schale

Bei der Betrachtung der Gewichtsverteilung in den Kompartimenten Fruchtfleisch und Schale wird deutlich, dass die Schale bei höheren EC-Werten prozentual einen größeren Anteil am Gesamtgewicht hat als die Pulpa. Dafür ist zum einen die an den Salzstress angepasste Zellstruktur der Früchte, zum anderen eine veränderte Verteilung von Volumen zu Oberfläche bei kleinerem Fruchtdurchmesser ursächlich. Da bei Salzstress zwar das Zellwachstum, nicht aber die Zellteilung reduziert ist, werden die in einer frühen Entwicklungsphase angelegten Zellen anders auf die Frucht verteilt und bleiben aufgrund des Wassermangels kleiner.

Die Zellteilung findet hauptsächlich 10 Tage nach der Befruchtung statt, sie wird von den EC-Werten wenig beeinflusst. In der Phase des Zellwachstums hat der Salzgehalt aber eine deutliche Auswirkung auf ihre Beschaffenheit (Cuartero und Fernández-Muñoz, 1999). Vor allem in den äußeren Schichten bleiben die Zellen bei höheren EC-Werten kleiner und haben dickere Zellwände (Verkerke und Gielsen, 1991).

Am besten kann die unterschiedliche Verteilung des Gewichtes und damit der Zellen in der gesamten Frucht anhand von zwei Formeln erklärt werden.

Die Oberfläche der Frucht wächst mit der zweiten Potenz des Radius und geht vierfach in die Fläche ein ($A_0 = 4 * \pi * r^2$). Das Volumen steigt aber mit der dritten Potenz an und geht zu einem Dreiviertel mit in das Volumen ein ($V = 4/3 * \pi * r^3$).

Dadurch ist der Anteil an Schale bei einer kleineren Frucht aufgrund des geringeren Radius größer.

Der Anteil an Trockensubstanz (TS) in Schale und Pulpa zeigt die gleiche Verteilung wie das Gewicht bei erhöhten EC-Werten. Die TS war generell in der Schale immer höher als im Fruchtfleisch. Innerhalb eines Kompartimentes nahmen die prozentualen Gehalte mit höheren EC-Werten zu. Die Schale von EC 10 hatte also die höchste Trockensubstanz, das Fruchtfleisch von EC 3 die niedrigste.

Der höhere Trockensubstanzanteil der Schale trägt wieder dazu bei, dass vor allem bei den gesundheitsrelevanten Substanzen viel höhere Gehalte in der Schale als in der Pulpa gemessen wurden, weil sie konzentrierter sind.

Das Anlegen einer dickeren Schale ist ein allgemeiner Schutzmechanismus der Pflanze unter Stressbedingungen (Bargel und Neinhuis, 2005). Bei Salzstress wird

die Notwendigkeit einer dickeren Schutzschicht dadurch erhöht, dass sie den Wasserverlust durch die Transpiration einschränken kann.

Generell werden in der äußeren Schicht der Früchte viele Schutzpigmente, z.B. Flavonoide, angereichert (Muir et al., 2001; Stewart et al., 2003, Minoggio et al., 2003). Das ist ein weiterer Aspekt, der neben den bereits besprochenen physiologischen Änderungen durch Salzstress dazu beiträgt, dass das meiste Vitamin C und E, Lykopen, β -Carotin und die meisten Phenole in der Schale gemessen wurden. Durch den höheren Anteil der Schale an der Gesamtf Frucht unter hohen EC-Werten ist der absolute Gehalt an Antioxidantien bei erhöhten Leitfähigkeiten zusätzlich größer als in der Kontrolle.

Auch wenn die Schale alleine für den Verzehr nicht von Interesse ist, hat der höhere Schalenanteil und die erhöhten Gehalte an wertvollen Stoffen in der Schale bei hohen EC-Werten einen erheblichen Anteil an den Gesamtgehalten in der Frucht und ist damit von Bedeutung. Ein großer Teil der Wertsteigerung unter Salinität produzierter Früchte lässt sich durch diese, auch histologisch erkennbare, Unterschiede begründen.

Die histologischen Schnitte zeigen deutlich, dass die äußerste Schutzschicht, nämlich die Kutikula, dicker wird je höher der Salzgehalt ist (Abbildung 12). Durch das Einwachsen dieser Schicht in die darunter liegende Epidermis, bildet die Wachsschicht eine breitere Barriere, welche die Transpiration und damit die Wasserabgabe vermindert. Diese Veränderungen unterstützen die gefundenen Unterschiede in der Trockensubstanz und dem Wassergehalt und damit die erhöhte Qualität der Tomaten durch Salzstress durch Konzentrationseffekte.

4.9 Der Einfluss der Lagerung auf die Qualität unter hohen EC-Werten produzierter Früchte

In der bisherigen Interpretation der Ergebnisse ist deutlich geworden, dass unter hohen EC-Werten produzierte Tomaten zum Zeitpunkt der Ernte eine höhere Qualität haben als Kontrollfrüchte, was wiederholt in der Literatur bestätigt wird (Petersen et al., 1998; de Pascale et al., 2001; Cuartero und Fernández-Muñoz, 1999). Inwiefern der Anbau unter salinen Bedingungen die Lagerfähigkeit der Früchte beeinflusst, ist dagegen noch weitgehend unerforscht. Hier bieten bisherige wissenschaftliche Untersuchungen meist nur Informationen zur Festigkeit und dem „shelf life“ an sich, nicht aber über die Auswirkungen auf die Inhaltsstoffe. Da die Lagerung ein wichtiges Kriterium ist, das zur Gesamtbewertung der Qualität beiträgt, wurde in dieser Arbeit ein praxisnaher Lagerversuch mit Temperaturen von 12 °C und einer Lagerdauer von 12 Tagen mit genussreifen Früchten durchgeführt.

Überprüft wurde der Einfluss des *Salzgehaltes* und der *Lagerung* jeweils für sich alleine sowie deren Wechselwirkung. Grundsätzlich lässt sich festhalten, dass der *Salzgehalt* bei der statistischen Überprüfung des ersten Satzes aus dem Versuchsjahr 2005 mit Ausnahme des Parameters β -Carotin immer den größten Einfluss auf die untersuchten Größen hatte. Die *Lagerung* beeinflusste auch den Phenolgehalt und die Festigkeit signifikant. Weiterhin wurde eine hochsignifikante Wechselwirkung von *Salzstufe und Lagerung* bei dem Parameter „Brix“ festgestellt (Anhang 4).

Da der positive Einfluss des Salzes auch im Lager noch erhalten bleibt, ändert sich an den grundsätzlich höheren Gehalten der erwünschten Inhaltsstoffe auch nach einer Aufbewahrung salzbehandelter Früchte über 12 Tage nichts.

Wie sich einzelne Parameter entwickelt haben und bei welchen Größen durch Salzstress veränderte Stoffwechselforgänge stattgefunden haben, wird im folgenden Abschnitt erläutert.

Mit einem Gewichtsverlust von 2% wurde ein äußerst geringer Schwund der Tomaten in der Kontrolle festgestellt. Bei erhöhten EC-Werten betrug dieser sogar nur 1%, was an der dickeren Schale der Früchte liegen kann. Da Tomatenfrüchte ein

schwach transpirierendes Gewebe haben (Ho et al., 1987), neigen sie generell nicht zu hohen Gewichtsverlusten oder starken Welkeerscheinungen.

Ein schnelleres Weichwerden durch veränderte Stoffwechselforgänge als Folge des eingewirkten Salzstresses ist dagegen denkbar. Um dies zu überprüfen wurde die Veränderung der Festigkeit an sich untersucht, aber auch die Stoffwechselaktivität der Tomaten anhand ihrer CO_2 -Bildungsraten im Lagerzeitraum gemessen.

Grundsätzlich wurde eine Abnahme der Festigkeit durch die Lagerung festgestellt. Der signifikante Einfluss des Faktors *Lager* bestätigt diesen Zusammenhang (Anhang 4). Die Festigkeit nahm um ca. 10% in den Varianten EC 6,5 und EC 10 ab. Etwas höher fiel die Abnahme mit 17% in der Kontrolle aus. Früchte der Variante EC 13,5 verloren während der 12-tägigen Lagerung 22% ihrer Festigkeit. Da deren Festigkeit aber zum Einlagerungszeitpunkt weit über der Feste von der Kontrolle lag, waren selbst unter der höchsten Salzstufe gewachsene Früchte nach der Lagerung noch fester als die Tomaten der Kontrollvariante. Zwischen der Kontrolle und den EC-Stufen 6,5 und 10 wurden nach der Lagerung keine signifikanten Unterschiede in Bezug auf die Festigkeit festgestellt.

Da das shelf life einer Frucht vor allem an ihrer noch vorhandenen Festigkeit gemessen wird, stimmen die hier gefundenen Ergebnisse mit ähnlichen Untersuchungen überein. Malash et al. (2002) und Mizrahi et al. (1988) konnten auch keine negativen Auswirkungen auf das shelf life von Tomaten, die bei EC-Werten von 6 dS/m bzw. 13 dS/m wuchsen, feststellen.

In der biologischen Oxidation werden komplexe Moleküle wie Zucker, Stärke oder organische Säuren zur Energiegewinnung und Aufrechterhaltung des Stoffwechsels in den Früchten abgebaut. Dabei bleiben einfache Moleküle wie Wasser und Kohlendioxid als Restprodukte übrig (Kader and Saltveit, 2003). Die Kohlendioxidbildung wird als Indikator für die Stoffwechselaktivität verwendet. CO_2 Bildungsraten zwischen 5 und 10 ml je kg und Stunde werden als niedrig angesehen. Höhere CO_2 Bildungsraten deuten auf eine verstärkte biologische Oxidation hin (Kader and Saltveit, 2003).

Bei der Variante EC 13,5 wurden in dieser Arbeit 13 ml $\text{CO}_2/\text{kg} \cdot \text{h}$ und bei der Kontrolle 9 ml $\text{CO}_2/\text{kg} \cdot \text{h}$ gemessen. Es kam also bei hohen EC-Werten zu einer stärkeren CO_2 -Produktion. Das kann auf einen vermehrten Abbau von Zuckern und Säuren hindeuten.

Der Brix-Wert stieg in den Varianten EC 10 und EC 13,5 aber prozentual an, d.h. dass die Zucker hier nicht zur Energiegewinnung verwendet wurden. Der Abbau an organischen Säuren war während der Lagerung bei höheren EC-Werten größer als in der Kontrolle. Die Atmungsaktivität war in diesen Versuchsvarianten also höher. Generell nahmen die titrierbaren Säuren während des Lagerns ab. Die Lagerung alleine hatte ebenso wie der Faktor Salz einen signifikanten Einfluss auf die Gehalte an titrierbaren Säuren (Anhang 4).

Für die Anreicherung von Zuckern während der Lagerung bei Früchten die unter erhöhten Salzgehalten in der Nährlösung produziert wurden, sind verschiedene Ursachen denkbar:

Sie kann zum einen das Phänomen einer osmotischen Samendehydrierung innerhalb der reifenden Frucht sein (Ben-Yehoshua und Rodov, 2003). Ein schnelles Eintreten in die generative Phase und damit das Freisetzen von Samen kann gerade für Pflanzen, die unter extremen Stressbedingungen wachsen als Mittel zum Überleben von großer Bedeutung sein und mit fortschreitender Reife Priorität erlangen. Zum anderen kann die fortschreitende Anreicherung von Zuckern nach der Ernte noch als eine späte (osmotische) Anpassung an das erlittene Wasserdefizit nachwirken.

Bei den Zuckern wurde neben dem signifikanten Einfluss der Salzstufe auch eine Wechselwirkung von Lagerung und Salzstress festgestellt (Anhang 4).

Da es während der Lagerung im zweiten Satz nicht zum Anstieg von Zuckern bei hohen EC-Werten kam, können weitere hier nicht untersuchte Faktoren die festgestellte Entwicklung im ersten Satz hervorgerufen haben. Im zweiten Satz des Jahres 2005 kam es sogar zu einem leichten Abbau von Zuckern, auch die Säuregehalte gingen zurück.

Es bleibt also festzuhalten, dass die Stoffwechselaktivität, gemessen als CO₂-Produktion, in den Varianten 10 und 13,5 signifikant höher war als in der Kontrolle und in EC 13,5. Infolgedessen wurde mehr Substrat, z.B. in Form von Zuckern oder Säuren, veratmet.

Da hohe Gehalte von Zuckern und Säuren einen intensiven Geschmack bei Tomaten bewirken (Cuartero und Fernández-Muñoz, 1999), könnte sich ein Abbau negativ auf die Qualität auswirken. Bei Betrachtung der absoluten Gehalte wird aber deutlich, dass auch nach der Lagerung noch immer viel höhere Zucker- und Säuregehalte in den Früchten enthalten sind, die unter salinen Bedingungen produziert wurden, im

Vergleich zur Kontrolle. Der Geschmack ist dadurch auch nach der Lagerung weiterhin intensiver als in der Kontrolle.

In allen Salzvarianten kam es zu einer Abnahme von β -Carotin während des Lagerns. Der Einfluss der Lagerung ist bei diesem Parameter signifikant und übertrifft selbst die Wirkung des Salzes (Anhang 4). Dass β -Carotin grundsätzlich während der Reife und somit während der Lagerung abnehmen kann, berichten auch Meredith und Purcell (1966).

Es ist weiterhin möglich, dass β -Carotin im Reifeverlauf weiter umgesetzt wird zu Lykopen. Der extreme Anstieg des Lykopen in der Kontrolle (70%) während der Lagerung unterstützt diese Theorie. Allerdings ist im Gegenzug dazu eine Abnahme des β -Carotins in der Kontrollvariante nicht feststellbar. Eine Synthese beider Stoffe aus weiter vorgelagerten Stufen in der Carotinoidbiosynthese ist denkbar (Sandmann, 2001; Bramley, 2003).

Für den unterschiedlichen Ab- bzw. Aufbau der einzelnen Carotinoide können verschiedene Faktoren verantwortlich sein. Ein Einfluss kann die Reife sein.

Obwohl versucht wurde, durch die Überprüfung der Farbe mit dem Colorimeter gleich reife Tomaten auszuwählen und eine weitgehende Übereinstimmung der Koordinaten zum Zeitpunkt t_0 vorlag (Abbildung 15), folgt die Farbentwicklung im Lager keinem nachvollziehbaren Trend. Auffallend ist, dass in der Kontrolle, wo es zu einem starken Anstieg von Lykopen kam, auch die gemessenen Farbanteile nach der Lagerung sehr hoch waren (Abbildung 14). Allerdings wurde weder für das Lykopen noch für andere Parameter ein starker Einfluss der Farbindizes a^* und b^* festgestellt. Die Indizes a^* und b^* korrelieren immer schwächer mit den untersuchten Parametern als der EC-Wert (Anhang 5).

Die Entwicklung der analysierten Größen wurde also nur schwach von der Farbe und damit von der Reife, sondern stärker von der Salzstufe beeinflusst.

Die Gehalte an β -Carotin unterscheiden sich nach der Lagerung nicht signifikant von der Kontrolle. Der Lykopengehalt ist bei der Variante EC 13,5 auch nach 12 Tagen Aufbewahrungszeit noch höher als bei herkömmlich produzierten Früchten. Tomaten der Variante 6,5 und 10 aus dem ersten Satz haben tendenziell einen geringeren Lykopenanteil als die Kontrolle. Im zweiten Satz wurde für beide Parameter eine leichte Abnahme durch die Lagerung festgestellt (Anhang 3). Da der Abbau bei hohen EC-Werten aber nicht stärker war als in der Kontrolle, hatten die Früchte der

Varianten EC 6,5; 10 und 13,5 im zweiten Satz auch nach 12 Tagen noch mehr Lykopin und β -Carotin als die Kontrolle (Anhang 3). Die Lagerung führt also in Bezug auf die Carotinoide nicht zu schlechteren Qualitäten.

Ihre antioxidative Wirksamkeit und damit die gesundheitsfördernden Eigenschaften der Tomate sind auch nach der Lagerung noch erhöht.

Dass zeigt sich bei der Überprüfung der antioxidativen Kapazität des Carotinoideextraktes (AK CAR) im ABTS-System. Diese war nach der Lagerung in den Salzvarianten noch immer höher als in der Kontrolle, obwohl es in der Variante EC 6,5 zu einer Abnahme der AK um 9% kam. Eine Zunahme war dagegen bei den Varianten EC 10 und EC 13,5 um 2 bzw. 9% feststellbar. Hier kann sich der starke Anstieg von Vitamin E während der Lagerung mit ausgewirkt haben. Vitamin E stieg bei EC 6,5 um 1%, in der Variante EC 10 um 9% und in EC 13,5 sogar um 11% an. Da im hier untersuchten „Carotinoideextrakt“ generell lipidlösliche Substanzen enthalten sind, ist eine Erhöhung der AK CAR durch den Tocopherolanstieg in den Varianten EC 10 und EC 13,5 trotz des Carotinoid-Abbaus erklärbar.

Vitamin E steigt in Tomaten mit zunehmender Reife und dadurch auch während der Lagerung grundsätzlich an (Abushita et al., 1997). Dies zeigte sich auch bei der statistischen Auswertung, wo ein signifikanter Einfluss des Faktors Lagerung bestätigt wurde. Auch eine signifikante Wechselwirkung von Lagerung und Salzstufe konnte nachgewiesen werden (Anhang 4). Ein erhöhter EC-Wert hat also nachweislich einen positiven Einfluss auf die Entwicklung von Vitamin E während der Lagerung.

Die Phenolgehalte nahmen während der Lagerung grundsätzlich ab. Der signifikante Einfluss des Faktors Lagerung bestätigt dies. Da der Abbau der Phenole während der Lagerung bei erhöhten EC-Werten stärker war, konnte auch eine signifikante Wechselwirkung von Salzstufe und Lagerung neben dem bereits erwähnten signifikanten Einfluss des Salzes im Folin-Test festgestellt werden (Anhang 4).

Grundsätzlich können Flavonoide während der Reife zunehmen (Hunt and Baker, 1980), aber auch von gleich bleibenden bzw. abnehmenden Gehalten wird berichtet (Buta and Spaulding, 1997). Aufgrund der höheren Ausgangsgehalte bei den Salzvarianten führte der Abbau aber nicht zu geringeren absoluten Gehalten. Auch nach einer Aufbewahrung von 12 Tagen waren die Phenolgehalte in den Früchten, die bei EC 6,5; 10 und 13,5 wuchsen, noch höher als in der Kontrolle.

Die höheren Phenolgehalte bei gesteigerten EC-Werten führten dazu, dass auch nach der Lagerung die antioxidative Kapazität des Extraktes (AK PHE) bei EC 13,5 und EC 10 im Vergleich zur Kontrolle signifikant erhöht war. Zwischen EC 6,5 und EC 3 gab es weder vor noch nach der Lagerung einen signifikanten Unterschied in der AK der Phenole.

4.10 Gesamteinschätzung

Durch die Produktion von Tomaten unter hohen Salzgehalten in der Nährlösung nehmen die Gehalte an erwünschten Inhaltsstoffen, also sowohl geschmacks- als auch gesundheitsrelevante Substanzen, in der Frischsubstanz der Früchte zu. Auch während einer Lagerphase von 12 Tagen zeigt diese Produktionsmethode keine negativen Auswirkungen auf die Qualität. Dies betrifft sowohl die antioxidativ wirksamen Inhaltsstoffe und den Geschmack, als auch die Festigkeit. Die Feste wird durch Salzstress, bei den hier getesteten Salzkonzentrationen bis zu 13,5 mS/m, nicht nachweislich vermindert.

Ursächlich für die Zunahme von Geschmack und die Steigerung der gesundheitsfördernden Substanzen ist ein Konzentrationseffekt, zu dem es durch zahlreiche physiologische Veränderungen kommt. Die Früchte akkumulieren unter Einwirken von Salzstress weniger Wasser, haben eine höhere Trockensubstanz und einen höheren Schalenanteil, wodurch gerade die von der Pflanze zum Schutz gebildeten „Sekundärmetaboliten“ vermehrt vorhanden sind.

Geschmacksgebende und gesundheitsfördernde Inhaltsstoffe in Gemüse zu erhöhen, rückt in den letzten Jahren immer mehr in das Interesse von Züchtern, Anbauern und Konsumenten. Bei den Tomaten gibt es erste Ansätze diesem Interesse mit Methoden der Gentechnik nachzukommen. Es wurden sowohl Versuche unternommen, die Expression der Carotinoide zu steigern (Rosati et al., 2000), aber auch der Phenolgehalt soll durch entsprechende Veränderungen der Biosynthese gezielt erhöht werden (Bramley, 2002). Die Selektion und das Anbieten von „Hochgeschmackssorten“, wie sie von diversen Saatgutproduzenten bezeichnet werden, zeigt die Bemühung, wohlschmeckende Sorten zur Verfügung zu stellen und dem neuen Qualitätsbewusstsein einiger Verbrauchergruppen gerecht zu werden.

Da die wenigsten Verbraucher die Gentechnik, deren Einsatz in vielen Ländern ohnehin nicht erlaubt ist, als Maßnahme zur Erhöhung der Qualität akzeptieren und auch die besten Sorten nur bei einem fachgerechten Anbau ihr volles Potenzial entfalten können, werden produktionsökologische Maßnahmen bei der Tomatenproduktion immer wichtiger.

Der gezielte Einsatz von Salzstress kann eine Maßnahme sein, die Qualität der Tomaten durch Kulturmaßnahmen gezielt zu steigern.

Allerdings geht diese Qualitätssteigerung mit einer erheblichen Minderung des Einzelfruchtgewichtes und damit des Ertrages einher. Dieser Rückgang, der ca. 20% bei einem EC-Wert von 6,5 bereits bis zu 50% bei EC-Werten von 10 dS/m und mehr beträgt, kann sicher nur bis zu einer bestimmten Salzstufe über höhere Verkaufspreise aufgrund der besseren Qualität kompensiert werden.

Auch wenn die große Masse nicht bereit ist dieses „Mehr“ an Qualität zu bezahlen, können derart produzierte Tomaten ihnen Platz in einem Premiumsortiment finden und den Ansprüchen qualitätsbewusster Verbraucher dauerhaft gerecht werden. Dabei kann zwar der gesteigerte Gehalt gesundheitsfördernder Inhaltsstoffe weder vom Verbraucher wahrgenommen werden noch darf er beworben werden. Aber der intensivere Geschmack im Vergleich zu herkömmlich produzierten Tomaten wird ein ausreichendes Argument zum Wiederkauf sein.

Vor allem in erdelosen Kultursystemen können durch den gezielten Einsatz von Salz gleich bleibend hohe Qualitäten entsprechend der vorherrschenden Klimabedingungen produziert werden, weil sie einen schnellen Zugriff auf die Produktion und eine umgehende Wirkung entsprechender Kulturmaßnahmen ermöglichen.

5 Zusammenfassung

In dieser Arbeit wurde untersucht, welchen Einfluss Salzstress auf die Qualität der Früchte von Tomaten hat. Dazu wurden in einem Gewächshausversuch Tomatenpflanzen unter verschiedenen hohen Salzkonzentrationen (EC 3, EC 6,5, EC 10, EC 13,5) kultiviert. Verglichen wurden die genussreifen, roten Früchte, um eine Einschätzung der Qualität zum Zeitpunkt des Verzehrs geben zu können.

Da auch die Lagerfähigkeit und die Entwicklung der Früchte während des Lagerns wichtige Qualitätskriterien sind, wurden neben Analysen zum Zeitpunkt der Ernte die gleichen Untersuchungen nach einer 12-tägigen Aufbewahrung unter praxisüblichen Bedingungen gemacht. Da der Salzgehalt die Physiologie von Fruchtfleisch und Schale verändert und diese Änderung die Qualität der Früchte beeinflusst, wurden diese beiden Kompartimente in einem weiteren Teilversuch separat analysiert.

Als Qualitätskriterien wurden die folgenden Größen und Eigenschaften festgelegt:

1. Äußere Beschaffenheit der Früchte: *Einzelfruchtgewicht, Trockensubstanz (Wassergehalt), Festigkeit.*
2. Geschmack: *Zucker, Säure.*
3. Ernährungsphysiologisch wertvolle Inhaltsstoffe und Eigenschaften: *Carotinoide (Lycopin und β -Carotin), Vitamin C und E, phenolische Bestandteile, antioxidative Kapazität carotinoid- und phenolreicher Extrakte.*

Es konnte gezeigt werden, dass die Gehalte geschmacksgebender und ernährungsphysiologisch wertvoller Inhaltsstoffe bezogen auf die Frischsubstanz mit steigenden EC-Werten zunehmen. Da keine Steigerungen dieser Inhaltsstoffe in der Trockensubstanz der Früchte festgestellt werden konnten, ist der höhere Gehalt in den frischen Früchten nicht auf eine aktive Neusynthese dieser Stoffe als Folge des Salzstresses, sondern auf einen Konzentrationseffekt zurückzuführen. Die gebildeten Inhaltsstoffe sind bei Früchten, die unter Salzstress wuchsen, in weniger Wasser gelöst und damit konzentrierter, da die Früchte salzgestresster Pflanzen weniger Wasser akkumulieren und eine höhere Trockensubstanz haben.

Weiterhin wurde deutlich, dass Früchte, die unter Salzstress wachsen, einen höheren Schalenanteil haben. Da in diesem Kompartiment vor allem die ernährungsphysiologisch wertvollen Inhaltsstoffe angereichert werden, wird der

Gehalt dieser Stoffe bei Einwirken hoher Leitfähigkeiten in der Nährlösung zusätzlich erhöht.

Der Lagerversuch hat gezeigt, dass Salzstress keine negativen Auswirkungen auf die Lagerfähigkeit bzw. die Entwicklung der Inhaltsstoffe bei einer praxisüblichen Aufbewahrung hat. Damit kann ein negativer Einfluss von Salzstress auf die Qualität der Früchte bis zu dem hier untersuchten EC-Wert von 13,5 dS/m auf allen Stufen der Vermarktung ausgeschlossen werden.

Die Kultur von Tomaten unter erhöhten EC-Werten kann somit als produktionsökologische Maßnahme eingesetzt werden, um die Qualität der Früchte gezielt zu steigern. Inwiefern diese Qualitätssteigerung den Rückgang des Einzelfruchtgewichtes und damit den Ertragsverlust ausgleichen kann, wird der Markt beantworten.

6 Literaturverzeichnis

- Abushita, A. A.; Hebshi, E. H.; Daood, H. G.; Biacs, P. A. (1997): Determination of antioxidant vitamins in tomatoes. *Food Chem.*, 60, 207-212.
- Adams, P. and Ho, L.C. (1986): Effects of constant and fluctuating salinity on the yield, quality and calcium status of tomatoes. *J. Hort. Sci.*, 64, 725-732.
- D'Amico, M.L.; Izzo, R.; Navari-Izzo, F.; Tognonoi, F.; Pardossi, F. (2003): Sea Water Irrigation: Antioxidants and Quality of Tomato Berries (*Lycopersicon esculentum* Mill., *Acta Hort.*, 609, 59-65.
- Arias, R.; Tung-Ching, L.; Logendra, L.; Janes, H. (2000): Correlation of lycopene measured by HPLC with the L*, a*, b* color readings of a hydroponic tomato and the relationship of maturity with color and lycopene content. *J. Agric. Food Chem.* 48, 1697-1702.
- Auerswald, H.; Schwarz, D.; Kornelson, C.; Krumbein, A.; Brückner, B. (1999): Sensory analysis, sugar and acid content of tomato at different EC values of the nutrient solution. *Sci. Hort.*, 82, 227-242.
- Bargel, H. und Neinhuis, C. (2005): Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) fruit growth and ripening as related to the biochemical properties of fruit skin and isolates cuticule. *J. Exp. Bot.*, 56 (413), 1049-1060.
- Bayr, S. (2006): Der Einfluss von Salzstress auf die Histologie von Tomatenfrüchten. Unveröffentlichte Ergebnisse Lehrstuhl für Gemüsebau, TUM, in Arbeit.
- Beecher, G. R. (1998): Nutrient content of tomatoes and tomato products. *S. Exp. Biol. and Med.*, 218, 98-100.
- Belda, R.M.; Fenlon, J.S.; Ho, L. (1996): Salinity effects on the xylem vessels in tomato fruit among cultivars with different susceptibilities to blossom-end rot. *J. of Hort. Science*, 71 (2), 173-179.
- Ben-Yehoshua, S. und Rodov, V. (2003): Transpiration and Water Stress. In *Postharvest Physiology and Pathology of Vegetables*; J. A. Bartz, Brecht, J.K., Ed.; Marcel Denker, Inc.: New York, 2003, 111-159.
- Bramley, P. M. (2003): Regulation of carotenoid formation during tomato fruit ripening and development. *J. Exp. Bot.*, 53(377), 2107-2113.

- Britsos, C.A. (2000): Cellular distribution, metabolism and regulation of the xanthine oxidoreductase enzyme system, *Chemico-Biol. Interact.*, **129**, S. 195- 208.
- Brückner, B. und Auerswald, H. (2000): Instrumental Data-consumer acceptance. In *Fruit & Vegetable quality*; Shewfelt, R. L and Brückner, B., Eds.; Technomic Publishing Company, Inc.: Lancaster, Pennsylvania, 178-198.
- Buta, J.G.und Spaulding; D.W. (1997): Endogenous levels of phenolics in tomato fruit during growth and maturation. *J. Plant Growth Regul.*, 16, 43-46.
- Cano, A.; Acosta, M.; Arnao, M.B. (2000): A method to measure antioxidant activity in organic media: application to lipophilic vitamins. *Redox Rep.*, 5, 356-370.
- Cos, P.; Ying, L.; Calomme, M.; Hu, J.P.; Cimanga, K.; Van Poel, B.; Pieters, L.; Vlietnick, A.J.; Van den Berghe, D. (1998): Structure- Activity Relationship and Classification of Flavonoids as Inhibitors of Xanthine Oxidase and Superoxide Scavengers. *J. of Nat. Products*, 61 (1), 71- 76.
- Cuartero, J. und Fernández-Muñoz, R. (1999): Tomato and salinity. *Sci. Hort.*, 78, 83-125.
- Dalton, F. N. und Poss, J.A. (1990): Water transport and salt loading: a unified concept of plant response to salinity. *Acta Hort.*, 278, 187-194.
- Davey, M. W.; Dekempeneer, E.; Keulemans, J. (2003): Rocket-powered high-performance liquid chromatographic analysis of plant ascorbate and glutathione. *Anal. Biochem.* 316, 74-81.
- Davies, J.N. und Hobson, G.E. (1981): The constituent of tomato fruit - the influence of environment, nutrition, and genotype; *Rev. of Food Sci. and Technol.* 1, 208-280.
- Dorais, M.; Papadopoulos, A.P.; Gosselin, A. (2001): Influence of electric conductivity management on greenhouse tomato yield and fruit quality. *Agronomie* 21, 367-383.
- Dumas, Y.; Dadomo, M.; Di Lucca, G.; Grolier, P. (2003): Effects of environmental factors and agricultural techniques on antioxidant content of tomatoes. *J. Sci. Food Agric.*, 83, 369-382.
- Ehret, D. L. und Ho, L. (1986): The effects of salinity on dry matter partitioning and fruit growth in tomatoes grown in nutrient film culture. *J. Hort. Sci.*, 61(3), 361-367
- Elstner, F.E. (1990): *Der Sauerstoff: Biochemie, Biologie, Medizin*, BI-Wissenschafts-Verlag Mannheim; Wien; Zürich.

- Food and Agricultural Organisation of the United Nations (2004): Agricultural data FAOSTAT.<<http://faostat.fao.org/faostat/collections?version=ext&hasbulk=0&subset=agriculture>> 1. Feb. 2004
- Ferrari, C. K. B. (2004): Functional foods, herbs and nutraceuticals: towards biochemical mechanisms of healthy aging. *Bioger.*, 5, 275-289.
- Georgé, S.; Brat, P.; Alter, P.; Amiot, M.J. (2005): Rapid determination of polyphenols and Vitamin C in plant-derived products. *J. of Agr. and Food Chem.*, 53, 1370-1373.
- Giovannucci, E. (2002): A review of epidemiologic studies of tomatoes, lycopene, and prostate cancer. *Exp Biol Med.*, 227, 852-859.
- González-Fernández, J.J. und Cuartero, J. (1993): Evolución de la producción de cuatro entradas de tomate cultivadas con sal. *Actas de Horticult.*, 10, 1067–1072.
- Guichard, S.; Bertin, N.; Leonardi, C.; Gary, C. (2001): Tomato fruit quality in relation to water and carbon fluxes, *Agronomie*, 21, 385-392.
- Hart, D.J. und Scott, K.J. (1995): Development and evaluation of an HPLC method for the analysis of carotenoids in foods, and the measurement of the carotenoid content of vegetables and fruits commonly consumed in UK. *Food Chem.*, 54, 101-111.
- Hasegawa, P. M.; Bressan, R. A.; Zhu, J.-K.; Bohnert, H. J. (2000): Plant cellular and molecular responses to high salinity. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.*, 51, 463-499.
- Hill, R. und Koenig, R.T. (1999): Water Salinity and Crop Yield, AG-425.3, Utah State University, März 2004, <http://extension.usu.edu/files/agpubs/ag425-3.pdf>.
- Ho, L.C.; Grange, R.I.; Picken, A.J. (1987): An analysis of the accumulation of water and dry matter in tomato fruit. *Plant, Cell and Env.*, 10, 157-162.
- Hunt, G.M.; Baker, E.A. (1980): Phenolic constituents of tomato fruit cuticles. *Phytochem.*, 19, 1415-1419.
- Johnson, E. J. (2002): The role of carotenoids in human health. *Nutr. Clinic. Care*, 5(2), 56-65.
- Kader, A. A. und Saltveit, M.E. (2003): Respiration and Gas Exchange. In *Postharvest Physiology and Pathology of Vegetables*; J. A. Bartz, Brecht, J.K., Ed.; Marcel Denker, Inc.: New York, 7-29.

- Kaur, C. und Kopoor, H.C. (2001): Review: Antioxidants in fruits and vegetables - the millennium's health. *Intern. J. of Food Sci. and Technol.*, 36, 703-725.
- Kaur, R.; Lister, C. E.; Savage, G. P. (2003): Antioxidant components of tomato: Effect of cultivar and size. In *Mineral nutrition of higher plants*; H. Marschner, Ed.; Academic Press Jovanovich, Harcourt Brace: London, Orland, San Diego, New York, Boston, Sydney, Tokyo, Toronto, 1-29.
- Kris-Etherton, P.M.; Hecker, K.D.; Bonanome, A.; Coval, S.M.; Binkoski, A.E.; Hilpwert, K.F.; Griel, A.E.; Etherton, T.D. (2002): Bioactive Compounds in Foods: Their Role in the Prevention of Cardiovascular Disease and Cancer. *Am. J. of Med.*, 113 (9B), 71-88.
- Lavelli, V. (2002): Comparison of the Antioxidant Activities of Extra Virgin Olive Oils, *J. of Agr. and Food Chem.*, 50, 7704-7708.
- Liu, R. H. (2003): Health benefits of fruit and vegetables are from additive and synergistic combinations of phytochemicals. *Am. J. Clin. Nutr.*, 78, 517-520.
- Di Mascio. P.; Kaiser, S.; Sies, H. (1989): Lycopene as the most efficient biological carotenoid singlet oxygen quencher. *Arch. Biochem. Biophys.*, 274, 532 – 538.
- Munns, R. (2002): Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell and Env.*, 25, 239-250.
- Maggio, A.; Pascale de, S.; Angelino, G.; Ruggiero, C.; Barbieri, G. (2004): Physiological response of tomato to saline irrigation in long-term salinized soils. *Europ. J. Agr.*, 21, 149-159.
- Malash, N.; Ghaibeh, A.; Abdelkarim, G.; Yeo, A.; Flowers, T.; Ragab, R.; Cuartero, J. (2002): Effect of Irrigation Water Salinity on Yield and Fruit Quality of Tomato, *Acta Hort.*, 573, 423-434.
- Malundo, T.M.M.; Shewfelt, R.L.; Scott, J.W. (1995): Flavor Quality of fresh tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) as affected by sugar and acid levels, *Postharvest Biol. Technol.*, 6, 103–110.
- Meredith, F. I. und Purcell, A.E. (1966): Changes in the Concentration of Ripening Homestead Tomatoes. *Proc. Am. Soc. Hortic. Sci.*, 89, 544-548.
- Milde, J., 2004. Kooperative Wirkung pflanzlicher Antioxidantien in pathologisch relevanten Arteriosklerose- und Arthritismodellen, Dissertation TUM.
- Minoggio, M.; Bramati, L.; Simonetti, P.; Gardana, C.; Lemoli, L.; Santangelo, E.; Mauri, P. L.; Spigno, P.; Soressi, G. P.; Pietta, P. G. (2003): Polyphenol

- pattern and antioxidant activity of different tomato lines and cultivars. *Ann. Nutr. Metab.*, 47, 64-69.
- Mizrahi, Y. (1982): Effect of salinity on tomato fruit ripening. *Plant Physiol.*, 69; 966-970.
- Mortensen, A. und Skibsted, L.H. (1997): Importance of carotenoid structure in radical-scavenging reactions. *J. Agric. and Food Chem.*, 45, 2970-2977.
- Muir, S. R.; Collins, G. J.; Robinson, S.; Hughes, S.; Bovy, A.; de Vos, C. H. R.; Tunen van, A. J.; Verhoeyen, M. E. (2001): Overexpression of petunia chalcone isomerase in tomato results in fruit containing increased levels of flavonols. *Nat. Biotech.*, 19, 470-474.
- Munns, R. (2002): Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell and Env.*, 25, 239-250.
- Neumüller, M. (2005): Die Hypersensibilität der Europäischen Pflaume (*Prunus domestica*L.) gegenüber dem Scharkavirus (*Plum pox virus*). Dissertation Universität Hohenheim.
- OECD-Leitfaden: Guidance on objective tests to determine quality of fruits and vegetables and dry and dried products.
- De Pascale, S.; Maggio, A.; Fogliano, V.; Ambrosino, P.; Ritieni, A. (2001): Irrigation with saline water improves carotenoids content and antioxidant activity of tomato. *J. Hort. Sci & Biotech.*, 76(4), 447-453.
- De Pascale, S.; Maggio, A. (2003): Effect of salt stress on water relations and antioxidant activity in tomato. *Acta Hort.*, 613, 39-46.
- Petersen, K.; Willumsen, J.; Kaak, K. (1998): Composition and taste of tomatoes as affected by increased salinity and different salinity sources. *J. Hort. Sci. & Biotech.*, 73 (2), 205-215.
- Plaut, Z.; Grava, A.; Yehezkel, C.; Matan, E. (2004): How do salinity and water stress affect transport of water, assimilates and ions to tomato fruits? *Physiolog. Plant.*, 122, 429-442.
- Pietta. P.-G. (2000): Flavonoids as Antioxidants, *J. of Nat. Prod.* 63(7), S. 1035-1042.
- Pusch, K. (2005): Einfluss produktionsökologischer Maßnahmen auf Qualität und Quantität antioxidativer Inhaltsstoffe in Tomatenkompartimenten, Bachelorarbeit. Lehrstuhl für Gemüsebau, unveröffentlichte Ergebnisse.

- Rao, A.V. und Agarwal, S. (2000): Role of antioxidant lycopene in cancer and heart disease; *J. of Am. Coll. of Nutr.*, 19(5), 563-569.
- Rosati, C.; Aquilani, R.; Dharmapuri, S.; Pallara, P.; Marusic, C.; Tavazza, R. (2002): Metabolic engineering of beta-carotene and lycopene content in tomato fruit. *Plant J.*, 24(3), 413-419.
- Rühmann, S. (2005): Induktion von Sekundärstoffen in *Vitis vinifera* Kalluskulturen durch Hefe-Elicitoren. Dissertation Lehrstuhl für Obstbau, TUM.
- Sander, L. C.; Sharpless, K.E., Craft, N.E., Wise, S.A. (1994): Development of engineered stationary phases for the separation of carotenoid isomers. *Anal. Chem.*, 66, 1667-1674.
- Sandmann, G. (2001): Carotenoid biosynthesis and biotechnological application, *Arch. of Biochem. and Biophys.*, 385, 4-12.
- Singleton, V. L., Orthofer, R.; Lamuela-Raventós, R.M. (1998): Analysis of Total Phenols and Other Oxidation Substrates and Antioxidants by Means of Folin-Ciocalteu Reagent. *Meth. Enzymol.*, 299, 152-178.
- Shi, J. und Le Maguer, M. (2000): Lycopene in Tomatoes: Chemical and Physical Properties Affected by Food Processing. *Crit. Rev. in Food Sci. and Nutr.* 40(1), 1-42.
- D'Souza. M.C.; Singha, S.; Ingle, M. (1992): Lycopene concentration of tomato fruit can be estimated from chromaticity values. *Hort Sci.*, 27, 465-466.
- Stanghellini, C.; Van Meurs, W.Th.M.; Corver, F.; Van Dullemen, E.; Simonse, L. (1998): Combined effect of climate and concentration of the nutrient solution on a greenhouse tomato crop. *Acta Hort.*, 458, 231-237.
- Stewart, A.J.; Bozonnet, S.; Mullen, W.; Jenkins, G.; Lean, M.E.J.; Crozier, A (2000): Occurrence of flavonols in tomatoes and tomato-based products. *J. Agric. Food Chem.*, 48, 2663-2669.
- Stahl, W. und Sies, H. (1992): Uptake of lycopene and its geometrical isomers is greater from heat-processed than from unprocessed tomato juice in humans. *J. of Nutr.*, 122, 2161-2166.
- Taiz, L. und Zeiger, E. (1998): Stress Physiology: Water Deficit and Drought Resistance. In *Plant Physiology*; Taiz, L. und Zeiger, E., Eds.; Second Edition.; Sinauer Associates, Inc. Publishers: Sunderland, Massachusetts, 725-734.
- Tijsskens, L.M.M. und Evelo, R.G. (1994): Modelling colour of tomatoes during postharvest storage. *Posth. Biol. and Technol.*, 4, 85-89.

- Tura, D. und Robards, K. (2002): Sample handling strategies for the determination of biophenols in food and plants. *J. Chromatogr. A.*, 975, 71-93.
- Verhoeven, M. E.; Bovy, A.; Collins, G.; Muir, S.; Robinson, S.; Vos de, C. H. R.; Colliver, S. (2002): Increasing antioxidant levels in tomatoes through modification of the flavonoid biosynthetic pathway. *J. Exp. Bot.*, 2099-2106.
- Verkerke, W. und Gielesen, W. (1991): Hoge EC Verbetert stevigheid, *Groenten + Fruit/Glasgroenten*, 1, 38-39.
- Watzl, B. und Leitzmann, C. (1999): Einführung. In Watzl, B. und Leitzmann, C.: *Bioaktive Substanzen in Lebensmitteln*, Hippokrates Verlag GmbH, Stuttgart, 2. Auflage, 11- 23.
- Wold, A.-B.; Rosenfeld, H. J.; Holte, K.; Baugerod, H.; Blomhoff., R.; Haffner, K. (2004): Color of post-harvest ripened and vine ripened tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mill.) as related to total antioxidant capacity and chemical composition. *Int. J. Food Sci. and Technol.*, 39, 295-302.

7 Anhang

Anhang 1: Versuchsjahr 2004, Einfluss von Salzstress auf Parameter der Fruchtqualität (EFG, Brix, Feste, Vit C, TS, AK CAR, LYC, β -CAR, PHE, AK PHE (ABTS) und Vit E). Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse. p-Werte ≤ 0.05 werden als signifikant bezeichnet.

	p (n)
EFG	0,000 (90)
TS	0,000 (3)
Feste	0,000 (45)
Brix	0,000 (45)
TitS	0,000 (4)
Vit C	0,000 (4)
LYC	0,019 (4)
β-CAR	0,001 (4)
PHE	0,001 (6)
AK CAR	0,001 (6)
AK PHE	0,000 (6)

Anhang 2: Versuchsjahr 2004, Ergebnisse der schrittweisen Regressionsanalyse zwischen abhängigen (EFG, Brix, TitS, Vit C, LYK, β -CAR, AK CAR, AK PHE und PHE) und unabhängigen Variablen (EC Wert, Tross Nummer, Globalstrahlung, Temperatur und relativer Luftfeuchtigkeit) ausgedrückt durch den Pearson'schen Korrelations Koeffizienten (P) und die Signifikanz (p). p-Werte ≤ 0.05 werden als signifikant bezeichnet.

Pearson'scher Korrelations Koeffizienten (P)

Unabhängige Variable	EC-Wert	Tross	Einstrahlung [W/m ²]	rel.Luftfeuchte [%]	Temperatur [°C]
EFG	-0,939	-0,156	0,281	0,224	-0,034
°Brix	0,884	0,441	-0,223	-0,440	0,365
TitS	0,673	-0,530	0,130	0,483	-0,504
Vit C	0,404	-0,650	0,489	0,703	-0,463
LYK	0,816	-0,518	0,174	0,488	-0,471
β -CAR	0,407	-0,648	-0,144	0,488	-0,759
Feste	-0,546	-0,155	0,155	0,155	-0,155
PHE	0,543	0,769	-0,352	-0,756	0,655
AK CAR	0,816	0,310	0,288	-0,160	0,467
AK PHE	0,918	-0,183	0,059	0,171	-0,167

Signifikanz (p)

Unabhängige Variable	EC-Wert	Tross	Einstrahlung [W/m ²]	rel.Luftfeuchte [%]	Temperatur [°C]
EFG	0,000	0,344	0,232	0,281	0,465
°Brix	0,001	0,118	0,282	0,118	0,167
TitS	0,023	0,071	0,369	0,094	0,083
Vit C	0,141	0,029	0,091	0,017	0,105
LYK	0,004	0,076	0,327	0,091	0,100
β -CAR	0,138	0,030	0,356	0,091	0,009
Feste	0,131	0,385	0,385	0,385	0,385
PHE	0,065	0,008	0,176	0,009	0,028
AK CAR	0,004	0,208	0,226	0,340	0,102
AK PHE	0,000	0,319	0,440	0,330	0,334

Anhang 3: Lagerversuch 2005, 2. Satz, Einfluss von Lagerung auf Brix, Feste, TitS, Vit C, LYK, β -CAR, AK CAR, AK PHE, PHE und Vit E bezogen auf 100 g Frischsubstanz. Signifikanzniveau 0,05%.

EC	Brix [°Brix]			
	FR, t0		FR, S	
3	4,2	± 0,3 d	3,8	± 0,3 d
6,5	4,8	± 0,4 c	4,7	± 0,4 c
10	6,1	± 0,7 b	5,8	± 0,6 b
13,5	7,7	± 0,8 a	7,8	± 0,5 a
p (n)	0,000 (15)		0,000 (15)	

EC	Feste [hPa]				TS [%]			
	FR, t0		FR, S		FR, t0		FR, S	
3	55,4	± 14,0 b	41,1	± 8,5 b	5,1	± 0,7 c	5,0	± 0,3 c
6,5	49,0	± 10,0 b	42,1	± 7,4 b	5,9	± 0,1 c	5,5	± 0,1 bc
10	52,2	± 18,6 b	38,6	± 7,5 b	7,7	± 0,3 b	7,1	± 0,4 ab
13,5	66,8	± 14,9 a	45,4	± 8,6 a	9,6	± 0,5 a	8,4	± 1,2 a
p (n)	0,000 (15)		0,012 (15)		0,000 (3)		0,001 (3)	

EC	VitC [mg]				TitS [mg]			
	FR, t0		FR, S		FR, t0		FR, S	
3	9,0	± 1,0 a	9,4	± 1,0 a	339,6	± 23,4 c	354,8	± 62,2 b
6,5	7,5	± 0,7 ab	8,2	± 2,1 a	375,8	± 17,9 c	376,1	± 64,2 b
10	6,5	± 1,1 b	8,0	± 2,2 b	516,8	± 16,1 b	385,9	± 16,6 ab
13,5	7,2	± 1,1 b	8,4	± 1,3 a	605,6	± 55,8 a	461,4	± 43,7 a
p (n)	0,002 (6)		0,499 (6)		0,000 (6)		0,009 (6)	

EC	AK CAR [mg TÄ]				LYK [mg]			
	FR, t0		FR, S		FR, t0		FR, S	
3	4,9	± 2,0 b	6,0	± 1,2 b	3,2	± 1,6 b	3,2	± 0,7c
6,5	4,6	± 1,5 b	5,4	± 0,6 b	3,4	± 0,6 b	3,7	± 0,2 bc
10	8,5	± 1,4 a	5,6	± 0,7 b	4,4	± 0,6 ab	4,3	± 1,2 b
13,5	10,8	± 1,8 a	8,1	± 1,4 a	5,6	± 0,8 a	5,4	± 0,2 a
p (n)	0,000 (6)		0,001 (6)		0,001 (6)		0,000 (6)	

EC	β -CAR [mg]				PHE [mg GAÄ]			
	FR, t0		FR, S		FR, t0		FR, S	
3	0,36	± 0,04 b	0,32	± 0,01 b	26,9	± 1,7 c	23,1	± 1,4 d
6,5	0,33	± 0,03 b	0,32	± 0,01 b	28,3	± 3,1 c	25,6	± 1,0 c
10	0,43	± 0,02 a	0,37	± 0,01 a	35,4	± 1,4 b	28,9	± 1,3 b
13,5	0,43	± 0,02 a	0,34	± 0,01 b	48,1	± 2,0 a	36,3	± 1,8 a
p (n)	0,000 (6)		0,000 (6)		0,000 (6)		0,000 (6)	

EC	AK PHE [mg TÄ]				Vit E [mg]			
	FR, t0		FR, S		FR, t0		FR, S	
3	26,9	± 0,9 c	24,8	± 0,6 c	0,7	± 0,0 d	0,6	± 0,0 d
6,5	26,1	± 0,9 c	25,4	± 0,9 c	0,8	± 0,0 c	0,8	± 0,0 c
10	33,2	± 1,0 b	30,1	± 2,3 b	1,0	± 0,0 b	1,0	± 0,0 b
13,5	38,9	± 1,3 a	34,1	± 1,8 a	1,3	± 0,0 a	1,2	± 0,0 a
p (n)	0,000 (6)		0,000 (6)		0,000 (6)		0,000 (6)	

Anhang 4: Lagerversuch, Versuchsjahr 2005, Satz 1, Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalyse von der Wirkung der Haupteffekte Lagerung (Lag), EC-Wert (EC) und deren Interaktion (Lag x EC) auf Parameter der Fruchtqualität (EFG, Brix, Feste, Vit C, TS, AK CAR, LYK, β -CAR, PHE, AK PHE und Vit E). p-Werte ≤ 0.05 werden als signifikant bezeichnet. Signifikante Wechselwirkungen sind durch Fettdruck hervorgehoben.

	Lag	EC	Lag x EC
EFG	0,458	0,000	0,980
Brix	0,486	0,000	0,000
Feste	0,000	0,000	0,058
TS	0,418	0,000	0,664
Vit C	0,116	0,000	0,167
TitS	0,009	0,000	0,046
AK CAR	0,551	0,000	0,172
LYC	0,084	0,000	0,096
β -CAR	0,018	0,284	0,427
PHE	0,000	0,000	0,061
AK PHE	0,063	0,000	0,002
Vit E	0,004	0,000	0,026

Anhang 5: Versuchsjahr 2005, Satz 1, Ergebnisse der schrittweisen Regressionsanalyse zwischen abhängigen (EFG, Brix, Feste, Vit C, TS, AK CAR, LYK, β -CAR, PHE AK PHE und Vit E) und unabhängigen Variablen (a, b und EC Wert) ausgedrückt durch den Pearson'schen Korrelations Koeffizienten (P) und der Signifikanz (p). p-Werte ≤ 0.05 werden als signifikant bezeichnet. Signifikante Wechselwirkungen sind durch Fettdruck hervorgehoben.

Abhängige Variable	Unabhängige Variable					
	a		b		EC	
	Pearson	p	Pearson	p	Pearson	p
EFG	0,291	0,000	0,489	0,000	-0,847	0,000
Brix	-0,376	0,000	-0,576	0,000	0,892	0,000
PF	-0,018	0,780	-0,113	0,800	0,323	0,000
DM	-0,436	0,033	-0,576	0,003	0,950	0,000
Vit C	-0,023	0,879	-0,170	0,247	0,610	0,000
TA	-0,223	0,127	-0,323	0,025	0,771	0,000
AK CAR	-0,377	0,008	-0,551	0,000	0,784	0,000
LYC	-0,062	0,676	-0,204	0,165	0,682	0,000
β -CAR	0,211	0,151	-0,008	0,958	0,270	0,064
PHE	-0,238	0,103	-0,388	0,006	0,856	0,000
AK PHE	-0,280	0,054	-0,423	0,003	0,878	0,000
Vit E	-0,497	0,000	-0,609	0,000	0,878	0,000
Reife (t0, Lager)	0,385	0,000	-0,364	0,000		

8 Danksagung

Zu allererst möchte ich mich bei Herrn Professor Schnitzler bedanken, der mir die Tomaten ans Herz gelegt und dieses Thema überlassen hat. Herr Schnitzler hat mir durch die Finanzierung dieser Arbeit sowie einer Stelle an seinem Lehrstuhl die besten Voraussetzungen für die reibungslose Durchführung dieser Arbeit geschaffen. Dafür, aber vor allem auch für die großzügigen Möglichkeiten, dass ich an vielen nationalen und internationalen Symposien sowie Veranstaltungen im Rahmen des *ecoponics*-Projektes teilnehmen durfte, bei denen ich viele neue Erfahrungen und Eindrücke sammeln konnte, möchte ich mich bei Ihnen Herr Schnitzler aufrichtig bedanken. Ihre Förderung und Unterstützung hat mich bereits während meines Studiums auf viele interessante und neue Wege geführt. Ich hoffe und wünsche mir, dass Sie diese Wege auch weiter begleiten und wir noch viele Strecken davon zusammen gehen können, auf denen ich von Ihrem Wissen und Ihren Erfahrungen lernen kann.

Einem weiteren großartigen Weggefährten - Herrn Dr. Markus Woitke, ohne dessen Unterstützung ich diese Arbeit niemals durchführen hätte können - gilt mein ganz besonderer Dank. Lieber Markus, für Deine ständige Hilfe jeglicher Art bei der Durchführung dieser Arbeit und für die Einführung in die „Welt der Wissenschaft“, für Dein Vertrauen, Deine Verlässlichkeit, Deine Unterstützung - nicht nur bei Fragen zum Lykopin, sondern auch zum Leben - und zahlreichen guten Gesprächen ganz lieben Dank. Du hast mir für viele Dinge die Augen geöffnet und meine Welt sehr bereichert. Ich hoffe und wünsche mir, dass wir unsere gemeinsam gewachsenen Ideen zusammen verwirklichen können und den Weg, den wir gefunden haben, zusammen fortsetzen, weil es so sein soll. Vielen Dank auch an Deine Familie, Evi, Hannah, Freija und Rayk, die durch Deinen permanenten Einsatz für diese Arbeit oft auf Dich verzichten mussten und diesen hohen zeitlichen Aufwand akzeptiert haben.

Herrn Prof. Dieter Treutter vielen Dank für die Zweitkorrektur und die Möglichkeit, einen Teil der praktischen Arbeiten in seinem Fachgebiet durchführen zu können. In diesem Zusammenhang ein Dankeschön an den Obstbau, insbesondere an Frau Dr. Susanne Rühmann und Herrn Dr. Michael Neumüller, für die Hilfe bei der Durchführung der Phenolbestimmung und den histologischen Untersuchungen.

Für die Betreuung im Labor und die Beantwortung vieler Fragen zur Chemie in dieser Arbeit bedanke ich mich bei Frau Dr. Johanna Grassmann.

Vielen Dank an alle Gärtner des Lehrstuhls für Gemüsebau, die mir durch ihre stetige Hilfe im Gewächshaus das Ausgangsmaterial für diese Arbeit geliefert haben. Auch allen weiteren Mitarbeitern und Kollegen des Gemüsebaus vielen Dank für jegliche Hilfe und Unterstützung, insbesondere im Labor.

Bei meinen Praktikantinnen, Bachelorantinnen und Master Studentinnen Nikola Schulze, Karina Pusch, Kerstin Gössel und Susanne Bayr bedanke ich mich herzlich für die Unterstützung und praktische Hilfe beim Sammeln von Ergebnissen.

Bei Julia Gebhard möchte ich mich für das Korrekturlesen dieser Arbeit bedanken.

Mein größter Dank gilt meinen Eltern Maria und Heinrich Krauß für ihre stetige liebevolle Unterstützung und ihr großes Bemühen mir jegliche Lasten während der Durchführung dieser Arbeit abzunehmen. Ohne Euch wäre mir mein Studium und diese Arbeit nicht möglich gewesen. Für diese Hilfe und für ALLES was ihr täglich für mich getan habt und tut, danke ich Euch.

9 Lebenslauf

Persönliche Daten

Name: Sandra Iris Krauß

Geburtsdatum: 9. Dezember 1976

Geburtsort: München

Schulische Ausbildung

1984 bis 1987: Grundschule an der Raiffeisenstraße in Unterschleißheim

1989 bis 1996: Gymnasium Unterschleißheim

Berufliche Ausbildung

1996 bis 1999: Ausbildung zur Versicherungskauffrau bei der Versicherungskammer
Bayern

Studium

1999 bis 2004: Studium der Gartenbauwissenschaften an der Technischen
Universität München

Thema der Diplomarbeit: *Der Einfluss von UV-B Stress auf Qualität und Quantität
antioxidativer Inhaltsstoffe von Perilla Red*

Derzeitige Tätigkeit

Seit April 2004: Wissenschaftliche Mitarbeiterin/Doktorandin am Lehrstuhl für
Gemüsebau der Technischen Universität München

Liste der Publikationen

Krauß, S., Schnitzler, W.H., Graßmann, J., and Voitke, M. (2006). The Influence of
Different Electrical Conductivity Values in a Simplified Recirculating Soilless
System on Inner and Outer Fruit Quality Characteristics of Tomato. *Journal of
Agricultural and Food Chemistry* 54, 441-448.

Krau, S., Schnitzler, W.H., Graßmann, J., and Voitke M. (2006). Content and Antioxidative Capacity of Carotenoids, α -Tocopherol and Polyphenolics in Compartments from Tomatoes Grown under Saline Conditions. *Acta Horticulturae*, in press.

Krau, S., Schnitzler, W.H., Graßmann, J., and Voitke M. (2006). Fruit quality characteristics of tomatoes at different EC values in a simplified recirculating soilless system. *Acta Horticulturae*, in press.

Krau, S., Graßmann, J., Voitke M, Schnitzler, W.H. (2006). The influence of elevated EC-levels in the nutrient solution on post harvest quality of tomatoes. *Acta Horticulturae*, in press.

Schnitzler, W.H., Krauss, S. (2006). Quality and Health promoting Compounds of Tomato Fruit under Salinity, Intern. Symposium on Vegetable Safety and Human Health, Beijing, China, Aug. 21-23, 2006, *Acta Horticulturae*, submitted.

Posterbeiträge

Krauß, S., Schnitzler, W.H., Graßmann, J., and Voitke M. (2006). Fruit quality of tomatoes grown in a simplified recirculating soilless system under saline conditions – an issue for WUE? 2005, WUE med, Rome.

Tagungsbeiträge

Krauß, S., Graßmann, J., Voitke M, Schnitzler, W.H. (2005). Produktionskologische Maßnahmen zur Steigerung des ernährungsphysiologischen Wertes von Tomaten, Tagung der Deutschen Gesellschaft für Qualitätsforschung (DGQ), Karlsruhe

Krauß, S., Voitke M, Graßmann, J., Schnitzler, W.H. (2005). Der Einfluss des Salzgehaltes auf die Qualität hydroponisch produzierter Tomaten, Tagung der Deutschen Gartenbauwissenschaftlichen Gesellschaft für Geisenheim, BHGL Tagungsband 24, S.19.

Krauß, S., Schnitzler, W.H., Graßmann, J., and Voitke M. (2006) Beinrächtigen hohe EC Werte in der Nährlösung die Qualität von Tomaten im Lager? Tagung der Deutschen Gesellschaft für Qualitätsforschung (DGQ), Wädenswill.