

Aus dem Institut für Landnutzung, Phytomedizin
der Agrar- und Umweltwissenschaftlichen Fakultät

Zum Vorratsschutz mit Gasen –
Kohlenstoffdioxid zum Qualitätserhalt bei Feigen und
Sulfurylfluorid gegen vorratsschädliche Insekten

Dissertation

zur

Erlangung des akademischen Grades

doctor agriculturae (Dr. agr.)

an der Agrar- und Umweltwissenschaftlichen Fakultät

der Universität Rostock

vorgelegt von

M.Sc. hort. Deniz Baltaci, geb. am 11.11.1974 in Gelsenkirchen

Rostock, den 10.11.2008

Tag der mündlichen Verteidigung: 12.06.2009

1. Gutachterin : Prof. Dr. Bärbel Gerowitt
2. Gutachter : Prof. Dr. Christoph Reichmuth
3. Gutachter : Prof. Dr. Bernd Freier

...für meine Familie

INHALTSVERZEICHNIS

| | |
|---|------|
| Zusammenfassung | III |
| Abstract..... | VI |
| Abkürzungen | VIII |
| Abbildungsverzeichnis | IX |
| Tabellenverzeichnis | XII |
| Allgemeine Einleitung..... | 1 |
| 1. Kohlendioxidbehandlung getrockneter Feigen | 4 |
| 1.1. Einleitung und Problemstellung | 4 |
| 1.2. Material und Methoden | 8 |
| 1.2.1. Die Feige (<i>Ficus carica</i> L.) | 8 |
| 1.2.2. CO ₂ -Hochdruckbehandlung und Lagerung | 12 |
| 1.2.3. Sensorische Analyse | 15 |
| 1.2.4. Bestimmung des Feigendurchmessers | 17 |
| 1.2.5. Farbbestimmung mit L*a*b*-System..... | 17 |
| 1.2.6. Bestimmung der Trockensubstanz..... | 18 |
| 1.2.7. Bestimmung von pH-Wert und Citronensäuregehalt..... | 19 |
| 1.2.8. Zuckeranalyse..... | 19 |
| 1.2.9. Pektinanalyse..... | 20 |
| 1.2.10. a _w -Test | 22 |
| 1.2.11. Statistische Analyse..... | 24 |
| 1.3. Ergebnisse | 25 |
| 1.3.1. Sensorische Analyse behandelte und unbehandelte Feigen | 25 |
| 1.3.2. Feigendurchmesser | 32 |
| 1.3.3. Farbanalyse (L* a* b*) und Verbräunungsgrad CO ₂ -behandelte Feigen | 32 |
| 1.3.4. Trockensubstanz von Feigen nach CO ₂ -Behandlung | 35 |
| 1.3.5. Lösliche Trockensubstanz (°Brix) | 36 |
| 1.3.6. pH-Wert..... | 38 |
| 1.3.7. Citronensäuregehalt..... | 40 |
| 1.3.8. Zuckergehalt..... | 41 |
| 1.3.9. Gesamtpektinengehalt | 43 |
| 1.3.10. a _w -Wert..... | 44 |
| 2. Auswirkungen von Temperatur und Feuchte auf getrocknete Feigen | 45 |
| 2.1. Einleitung und Problemstellung | 45 |
| 2.2. Material und Methoden | 47 |
| 2.2.1. Feigen für die zweite Versuchreihe | 47 |

| | | |
|--------|---|-----|
| 2.2.2. | Lagerversuche bei unterschiedlichen Temperaturen und Feuchten | 48 |
| 2.2.3. | Bestimmung der sensorischen Qualitätsparameter | 50 |
| 2.3. | Ergebnisse | 52 |
| 2.3.1. | Niedrige rel. Luftfeuchtigkeit (20 – 25 %) bei 5°C und 25°C | 52 |
| 2.3.2. | Mittlere rel. Luftfeuchtigkeit (65 – 70 %) bei 5°C und 25°C | 54 |
| 2.3.3. | Hohe rel. Luftfeuchtigkeit (85 – 90 %) bei 5°C und 25°C | 56 |
| 2.3.4. | Trockensubstanz | 59 |
| 2.3.5. | Zuckergehalt | 61 |
| 3. | Sulfurylfluorid als alternativer Wirkstoff im Vorratsschutz | 63 |
| 3.1. | Einleitung und Problemstellung | 63 |
| 3.2. | Die Bekämpfungsmethoden im Vorratsschutz | 65 |
| 3.3. | Material und Methoden | 67 |
| 3.3.1. | Die Speichermotte <i>Ephestia elutella</i> und deren Anzucht | 67 |
| 3.3.2. | Der Erdnussplattkäfer <i>Oryzaephilus mercator</i> und dessen Anzucht | 72 |
| 3.3.3. | Sulfurylfluorid (SO ₂ F ₂) als Begasungsmittel | 74 |
| 3.3.4. | Berechnung der einzusetzenden Menge Sulfurylfluorid | 76 |
| 3.3.5. | FT-IR-Gasanalysator und die Begasung | 78 |
| 3.3.6. | Statistische Auswertung | 81 |
| 3.4. | Ergebnisse | 84 |
| 3.4.1. | Wirkung von Sulfurylfluorid auf die Speichermotte <i>Ephestia elutella</i> | 84 |
| 3.4.2. | Wirkung von Sulfurylfluorid auf die Erdnussplattkäfer <i>Oryzaephilus mercator</i> | 90 |
| 4. | Diskussion | 96 |
| 4.1. | Auswirkungen der CO ₂ -Behandlungen auf die Qualität getrockneter Feigen | 96 |
| 4.2. | Auswirkungen unterschiedlicher Lagerfeuchten und -temperaturen auf getrocknete Feigen während der Lagerung | 103 |
| 4.3. | Sulfurylfluorid als eine Alternative von Brommethan gegen Insekten und Motten | 108 |
| 4.3.1. | Widerstandsfähigkeit der Eier gegen Sulfurylfluorid | 108 |
| 4.3.2. | Speichermotte <i>Ephestia elutella</i> | 109 |
| 4.3.3. | Erdnussplattkäfer <i>Oryzaephilus mercator</i> | 110 |
| 5. | Schlussfolgerung | 113 |
| 6. | Literaturverzeichnis | 116 |
| | Anhang | 125 |
| | Danksagung | 141 |
| | Selbstständigkeitserklärung | 142 |
| | Lebenslauf | 143 |
| | Publikationsliste | 145 |

ZUSAMMENFASSUNG

Titel: Zum Vorratsschutz mit Gasen – Kohlenstoffdioxid zum Qualitätserhalt bei Feigen und Sulfurylfluorid gegen vorratsschädliche Insekten

Schlüsselwörter: getrocknete Feigen, Kohlenstoffdioxid, Qualitätssicherung, Sulfurylfluorid, Vorratsschutz, Speichermotte, *Ephesia elutella*, Erdnussplattkäfer, *Oryzaephilus mercator*

Diese Arbeit kombiniert die Untersuchungen verschiedener Effekte, die im Vorratsschutz wichtig sind: die Bekämpfung mit verschiedenen Wirkstoffen gegen alle Entwicklungsstadien der Schadinsekten, die Lagerung empfindlicher Produkte bei verschiedenen Temperaturen und relativen Luftfeuchtigkeiten und die Konsequenzen für die sensorischen Aspekte der Qualität gelagerter Produkte. Es werden neue Informationen über Qualitätsverluste der getrockneten Feigen präsentiert, die nach Hochdruck/CO₂-Behandlung gelagert wurden. Abgesehen von der Untersuchung der Auswirkungen von CO₂ auf die Qualität gelagerter Feigen schließt die Arbeit auch die Effekte der unterschiedlichen Temperaturen und relativen Luftfeuchtigkeiten während der Lagerung von Feigen ein. Die Studie umfasst Experimente über die Wirksamkeit von Sulfurylfluorid (SF) als alternatives Entwesungsmittel zu Methylbromid, das wegen seines ozonzerstörenden Effektes nicht mehr verwendet werden darf, gegen alle Entwicklungsstadien von zwei wichtigen Schadinsekten (*Ephesia elutella* und *Oryzaephilus mercator*).

Die Forschungsfragen des ersten Kapitels umfasst die Auszuckerung und Verbräunung getrockneter Feigen, die während der langfristigen Lagerung wirtschaftliche Verluste verursachen können. Ein- und zweimal mit CO₂ unter Hochdruck (20 bar 3 h) behandelte getrocknete Feigen wurden zusammen mit unbehandelten Feigen über sechs Monate bei 5°C und 15°C und bei 65 % r. Lf. gelagert. Repräsentative Feigenproben wurden alle vier Wochen für sensorische Untersuchungen entnommen und auf optische, physiologische und sensorische Eigenschaften untersucht. Die sensorischen Tests wurden von ungeschulten Pannelisten (Testpersonen) durchgeführt. Es wurde festgestellt, dass die CO₂-

Behandlung unter Hochdruck nicht zu statistisch signifikanten Unterschieden im Vergleich mit unbehandelten getrockneten Feigen führte.

Das zweite Kapitel beschäftigt sich mit den Effekten verschiedener Lagerungsbedingungen bei verschiedenen Temperaturen (5°C und 15°C) und relativen Luftfeuchtigkeiten (20 %, 65 %, 90 %) auf getrocknete Feigen. Besonders wurden die möglichen Gründe für die weithin bekannten Qualitätsschäden wie Auszuckerung und Verbräunung von getrockneten Feigen untersucht. Die Feigen wurden für einige Monate unter simulierten verschiedenen Praxis-Lagerbedingungen aufbewahrt. Die Feigen waren vorher mit CO₂ unter Hochdruck behandelt worden. Für die Experimente wurden sechs verschiedene Klimabedingungen für vier bzw. acht Wochen simuliert. Die verschiedenen Lagerfeuchten wurden durch Einsatz gesättigter wässriger Lösungen verschiedener Salze eingestellt. Druckluft wurde ununterbrochen durch Waschflaschen mit diesen Salzlösungen befeuchtet und in vier Plexiglasküvetten mit Feigenproben geleitet. Feigenproben wurden alle vier Wochen entnommen und auf sensorischen Eigenschaften und einige chemische Inhalte untersucht. Die Ergebnisse zeigten, dass die Lagerbedingungen eine deutliche Auswirkung auf die Qualität der Feigen ausübten. Besonders bei einer mittleren relativen Luftfeuchtigkeit von 65% bei 5°C sowie bei 25°C blieb die Qualität erhalten, während bei niedrigeren sowie höheren relativen Luftfeuchtigkeiten die Feigen ihre Qualität erheblich einbüßten.

Im dritten Kapitel wird die abtötende Wirkung von Sulfurylfluorid [SO₂F₂] (SF) auf Eier, Larven und Puppen der Speichermotte (*Ephestia elutella* HÜBNER) und des Erdnussplattkäfers (*Oryzaephilus mercator* FAUVEL), untersucht. Die Motten wurden in klimatisierten Kammern bei 25°C und die Käfer bei 28°C – beide bei 65 % r. Lf. – in den Laboren des Institutes für Vorratsschutz in Berlin gezüchtet. Sulfurylfluorid wurde als alternatives Entwesungsmittel für Methylbromid [CH₃Br] (MB) eingesetzt. In der vorliegenden Arbeit wurden die präimaginalen Lebensstadien, insbesondere ein bis vier Tage alte Eier, vier Wochen alte Larven und fünf Wochen alte Puppen von *E. elutella* untersucht. Die Versuche mit *E. elutella* erfolgten bei zwei unterschiedlichen Konzentrationen (11,6 g/m³, 21,3 g/m³) bei drei unterschiedlichen Temperaturen (15°C, 20°C, 25°C) und über drei unterschiedliche

Einwirkzeiten (18 h, 24 h, 48 h). Im Unterschied zu *E. elutella* wurden für *O. mercator* drei Konzentrationen (10 g/m³, 20 g/m³, 30 g/m³), drei Temperaturen (15°C, 20°C, 25°C) und drei Einwirkzeiten (24 h, 48 h, 72 h) eingesetzt. Alle Versuche wurden dreimal wiederholt. Ein FT-IR-Gerät wurde für die Begasung und die Konzentrationsmessung eingesetzt. Die Ergebnisse wurden später mit der Regressionsanalyse statistisch ausgewertet. Untersuchungen bei der Speichermotte zeigten, dass das Alter der Eier einen entscheidenden Einfluss auf die Wirksamkeit der Gase ausübte. Drei und vier Tage alte Eier waren bei niedriger SF-Konzentration widerstandsfähiger als ein- und zwei-Tage alte Eier. Auch die untersuchten prä-imaginalen Entwicklungsstadien des Erdnussplattkäfers waren bei einer niedrigen SF-Konzentration widerstandsfähiger. Alle untersuchten Entwicklungsstadien beider Vorratsschädlinge wurden unter der in Deutschland zugelassenen Dosierungsgrenze (1.500 gh/m³) abgetötet.

A B S T R A C T

Title: A study to stored products protection with gases – carbon dioxide to maintain the quality of figs and sulfuryl fluoride to control stored product pests

Keywords: dried figs, carbon dioxide treatment under high pressure, quality assurance, sulfuryl fluoride, stored product pests, warehouse moth, *Ephestia elutella*, Merchant Grain Beetle, *Oryzaephilus mercator*

This study tries to combine the research on various effects important in stored product protection: Pest control with various fumigants against all developing stages of insects and storage of sensitive products at various temperatures and relative humidities and consequences for sensorial aspects of the quality of stored products. It presents new information on quality losses of dried figs after treatment under high or low atmospheric pressure of CO₂. Apart from the investigation on the effects of the gas on the quality of stored figs, also the impact of different temperatures and relative humidities during storage of figs was subject of this study. The study included experiments on the efficiency of sulfuryl fluoride (SF), as an alternative fumigant to the ozone depleting and phased out methyl bromide on all developing stages of two important pest insects (*Ephestia elutella* and *Oryzaephilus mercator*).

The objects of the first chapter were the investigation of sugaring and browning of dried figs that appear during long term storage and cause significant economic losses. Therefore, dried figs treated one and two times with CO₂ under high pressure (20 bar for 3 hours) together with untreated figs were stored for six months at 5°C and 15°C, respectively, at 65 % r.h. Representative dried fig samples were taken for the sensory tests and laboratory analysis every four weeks. The samples were analysed according to their optical and physiological characteristics. The investigations were separated in two groups as sensory tests and laboratory analyses. The sensory tests were carried out by untrained panellists. It was determined that the treatment with CO₂ under high pressure - either one or two times – showed no significant differences in comparison with untreated dried figs.

The second chapter dealt with the effects of different storage conditions at various temperatures (5°C and 15°C) relative humidities (20 %, 65 %, 90 %) of dried figs on

the two quality parameters dry matter and sugar content. Especially the possible reasons for the well known quality damages such as sugaring and browning on dried figs were investigated. The figs were stored for several months under different simulated storage conditions. The investigated figs had been previously treated with CO₂ under high pressure. For the experiments, six different climatic conditions were installed for either four or eight weeks. The different target relative humidities were adjusted by use of saturated solutions of different salts in water. Pressurized air was continuously purged through gas washing bottles with these solutions and introduced into four experimental vessels with figs, connected with PVC tubing. Representative samples were taken every four weeks and analysed for their sensorial properties and same chemical contents. The results showed that the climatic storage conditions had a pronounced impact on the quality. Especially at the medium relative humidity of 65 % at 5°C as well as at 25°C the quality did not deteriorate whereas at lower as well as at higher relative humidities the figs lost their quality significantly.

In the third chapter, the efficacy of sulfuryl fluoride [SO₂F₂] against the eggs, larvae and pupae of the Warehouse Moth (*Ephestia elutella* HÜBNER), and the Merchant Grain Beetle (*Oryzaephilus mercator* FAUVEL), was investigated. The insects were cultivated in climatized chambers at 25°C and 28°C, respectively, and at 65 % relative humidity. In this study, the pre-mature life stages of the Warehouse Moth, especially one to four days old eggs, four weeks old larvae and five weeks old pupae were fumigated. The experiments were carried out at two different concentrations (11.6 g/m³, 21.3 g/m³) and three different temperatures (15°C, 20°C, 25°C) for three different exposure times (18 h, 24 h, 48 h), respectively. In addition, a third concentration of 30 g/m³ was applied for *O. mercator*. The exposure periods for this insect were slightly different (24 h, 48 h, 72 h). Each experiment was replicated three times. A Fourier Transmission Infrared Spectroscopy apparatus was used for determining the concentration. Subsequently, the results were statistically analysed by use of regression analysis. The investigations of the Warehouse Moth showed that the age of the eggs had a significant influence on the efficacy of the fumigation. The three and four day old eggs were more tolerant towards fumigation with low dosages of SO₂F₂ than one and two days old eggs. Also the investigated premature life stages of the Merchant Grain Beetle survived at low SO₂F₂ concentrations. All investigated developing stages of both species were controlled with ct products below the authorized German value of 1500 gh/m³.

ABKÜRZUNGEN

| | |
|-----------------|---|
| OB | ohne Behandlung |
| 1B | einmalige Behandlung |
| 2B | zweimalige Behandlung |
| AIS | Acid Insoluble Substance |
| a_w | activity of water, Wasseraktivität |
| JKI | Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, früher: (BBA) Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft |
| CO ₂ | Kohlenstoffdioxid, (im normalen Sprachgebrauch: Kohlendioxid) |
| CTP | Concentration × Time Product |
| EDTA | Ethylendiamintetraacetat |
| E. TS | Einwage TS in g |
| FAO | Food and Agriculture Organization of the United Nations |
| FT-IR | Fourier Transform Infrared Spectroscopy |
| Gal. A. | Galakturonsäure |
| HPLC | High Performance Liquid Chromatography |
| HP | High Pressure (HP-CO ₂ = CO ₂ Behandlung unter Hochdruck) |
| MB | Brommethan <i>od.</i> Methylbromid |
| M_{eff} | Effektive Mortalität |
| MHDP | Methylhydroxydiphosphonat |
| MK | Mortalität der Kontrollvariante |
| MW | Mittelwert |
| N | Stickstoff [<i>Chemie</i>], Anzahl der eingesetzten Tiere [<i>Statistik</i>] |
| ppm | parts per million |
| SD | Standard Deviation (Standardabweichung) |
| SF | Sulfurylfluorid <i>od.</i> Sulfuryldifluorid |
| TCA | Trichloroacetic acid |
| TS | Trockensubstanz |
| UN/ECE | United Nations Economic Commission for Europe |
| vpm | volume parts per million |
| Z | Anzahl gestorbener Tiere |

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

| | |
|--|----|
| Abb. 1: Die Früchte des Feigenbaums <i>Ficus carica</i> | 8 |
| Abb. 2: Die Feigenanbauregionen in der Türkei | 9 |
| Abb. 3: Unbehandelte getrocknete Feigen..... | 10 |
| Abb. 4: Beispiel für Feigen ohne Behandlung sowie nach ein- und zweimaliger Hochdruck- CO ₂ -Behandlung | 11 |
| Abb. 5: Hochdruckkammer der Abteilung des JKI für die Feigenbegasung mit CO ₂ | 14 |
| Abb. 6: Druck- und Temperaturkurve während der Hochdruck-CO ₂ -Behandlung | 15 |
| Abb. 7: Sensorische Prüfmethoden..... | 16 |
| Abb. 8: Getrocknete Feige, mit dem Korkbohrer ausgestochen | 23 |
| Abb. 9: Das Wescorgerät Model C-52 einschließlich switch box | 23 |
| Abb. 10: Messdaten vom aw-Test in Spannung (V) und Zeit (s) | 23 |
| Abb. 11: Feigen der Ernte 2004 für die Sensorik | 26 |
| Abb. 12: Die Ergebnisse der Feigen aus der Ernte 2004 | 26 |
| Abb. 13: Feigen der Ernte 2005 nach vier Wochen Lagerung bei 5°C..... | 27 |
| Abb. 14: Ergebnisse des Sensoriktests der für vier Wochen bei 5°C gelagerten Feigen | 27 |
| Abb. 15: Feigen der Ernte 2005 nach acht Wochen Lagerung bei 5°C | 28 |
| Abb. 16: Ergebnisse des Sensoriktests der bei 5°C gelagerten Feigen der Ernte 2005 nach acht Wochen | 28 |
| Abb. 17: Der Vergleich der Sensorik-Ergebnisse (Abb. 13 und 15) gemäß der optischen Eigenschaften nach vier und acht Wochen Lagerung bei 5°C | 29 |
| Abb. 18: Feigen der Ernte 2005 nach vier Wochen Lagerung bei 14°C..... | 29 |
| Abb. 19: Ergebnisse des Sensoriktests der bei 14°C gelagerten Feigen nach vier Wochen | 30 |
| Abb. 20: Feigen der Ernte 2005 nach acht Wochen Lagerung bei 14°C | 30 |
| Abb. 21: Ergebnisse des Sensoriktests der bei 14°C gelagerten Feigen nach acht Wochen..... | 31 |
| Abb. 22: Der Vergleich der Sensorik-Ergebnisse (Abb. 18 und 20) gemäß der optischen Eigenschaften nach vier und acht Wochen Lagerung bei 14°C | 31 |
| Abb. 23: Feigendurchmesser in mm (Ernte 2004 und der Ernte 2005 (n=30)) | 32 |
| Abb. 24: L*- und c*-Werte der Feigen der Ernte 2004 (n=15) | 33 |
| Abb. 25: L*-Werte der Feigen aus der Ernte 2005, die bei 5°C und 14°C gelagert wurden | 34 |
| Abb. 26: c*-Werte der Feigen aus der Ernte 2005, die bei 5°C und 14°C gelagert wurden..... | 35 |
| Abb. 27: Trockensubstanz (%) der Feigen der Ernte 2004 (n=30)..... | 36 |
| Abb. 28: Trockensubstanz (%) von Feigen aus der Ernte 2005 bei 5°C und 14°C Lagerung | 36 |
| Abb. 29: Lösliche Trockensubstanz (°Brix) von Feigen aus der Ernte 2004 (n=30)..... | 37 |
| Abb. 30: °Brix-Werte in Feigen aus 2005 nach vier bzw. acht Wochen Lagerung bei 5°C und 15°C | 38 |

| | |
|--|----|
| Abb. 31: Durchschnittliche pH-Werte in den Feigen der Ernte 2004 (n=30)..... | 39 |
| Abb. 32: pH-Werte der Feigen aus der Ernte 2005 nach Lagerung bei 5°C bzw. 14°C..... | 39 |
| Abb. 33: Citronensäuregehalt in Feigen aus der Ernte 2004 (n=15)..... | 40 |
| Abb. 34: Citronensäuregehalt (%) der Feigen aus der Ernte 2005 nach Lagerung bei 5°C bzw. 14°C..... | 41 |
| Abb. 35: Zuckergehalte (Glucose und Fructose mg/g TS) in Feigen der Ernte 2004..... | 42 |
| Abb. 36: Fructose und Glucose (mg/g TS) in Feigen der Ernte 2005 nach Lagerung bei 14°C..... | 43 |
| Abb. 37: Gesamtpektinengehalt (mg Gal. A /g TS) in Feigen der Ernte 2005 bei 14°C..... | 44 |
| Abb. 38: Die Ergebnisse der Kontrollvariante..... | 47 |
| Abb. 39: Feigen für die zweite Versuchsreihe ohne Verbräunung und Auszuckerung, links: ohne Behandlung; rechts: zweimal mit CO ₂ unter Hochdruck behandelte Feigen..... | 48 |
| Abb. 40: Plexiglasbüchsen mit Feigen, NaNO ₂ -Salzlösung, PVC Schläuchen und Luftdurchflussmesser..... | 50 |
| Abb. 41: Getrocknete Feigen nach acht Wochen Lagerung bei 20 – 25 % r. Lf. bei 5°C und 25°C..... | 52 |
| Abb. 42: Sensorische Eigenschaften getrockneter Feigen nach acht Wochen Lagerung bei 25°C und 20 % – 25 % r. Lf..... | 53 |
| Abb. 43: Sensorische Eigenschaften getrockneter Feigen nach acht Wochen Lagerung bei 5°C und 20 % – 25 % r. Lf..... | 54 |
| Abb. 44: Getrocknete Feigen nach acht Wochen Lagerung bei 65 – 70 % r. Lf. und 5°C bzw. 25°C..... | 55 |
| Abb. 45: Sensorische Ergebnisse bei 25°C nach acht Wochen Lagerung bei 65–70 % r. Lf..... | 55 |
| Abb. 46: Sensorische Ergebnisse bei 5°C nach acht Wochen Lagerung bei 65 – 70 % r. Lf..... | 56 |
| Abb. 47: Getrocknete Feigen nach acht Wochen Lagerung bei 85-90% r. Lf. bei 5°C bzw. 25°C..... | 57 |
| Abb. 48: Die sensorische Ergebnisse bei 25°C und 85 – 90 % r. Lf..... | 57 |
| Abb. 49: Die sensorische Ergebnisse bei 5°C und 85 – 90 % r. Lf..... | 58 |
| Abb. 50: Verbräunungs- und Auszuckerungsgrade für alle Varianten bei 25°C bzw. 5°C nach vier Wochen Lagerung..... | 58 |
| Abb. 51: Verbräunungs- und Auszuckerungsgrade für alle Varianten bei 25°C bzw. 5°C nach acht Wochen Lagerung..... | 59 |
| Abb. 52: Trockensubstanz (%) im Fruchtfleisch nach vier bzw. acht Wochen Lagerung bei 25°C..... | 60 |
| Abb. 53: Trockensubstanz (%) in der Fruchtschale nach vier bzw. acht Wochen Lagerung bei 25°C..... | 60 |
| Abb. 54: Trockensubstanz (%) im Fruchtfleisch nach vier bzw. acht Wochen Lagerung bei 5°C..... | 60 |
| Abb. 55: Trockensubstanz (%) in der Fruchtschale nach vier bzw. acht Wochen Lagerung bei 5°C..... | 60 |
| Abb. 56: Fructosegehalt (mg/g in TS) in allen Feigenproben nach achtwöchige Lagerung bei 5°C und 25°C. S: Fruchtschale, F: Fruchtfleisch, G: Gesamtfucht..... | 62 |
| Abb. 57: Glucosegehalt (mg/g in TS) in allen Feigenproben bei 5°C bzw. 25°C, nach achtwöchiger Lagerung. S: Fruchtschale, F: Fruchtfleisch, G: Gesamtfucht..... | 62 |
| Abb. 58: Exportmengen einiger landwirtschaftlicher Produkte der Türkei (1990 – 2005)..... | 65 |
| Abb. 59: Imagines der Speichermotten <i>E. elutella</i> (links) und ihrer Eier (rechts)..... | 67 |

| | |
|--|----|
| Abb. 60: <i>E. elutella</i> und ihre Entwicklungsstadien. Ei (1), Larve (2), Puppe (3) und Imago (4) | 68 |
| Abb. 61: Eiablagegefäß mit Eiern und Faltern von <i>E. elutella</i> | 71 |
| Abb. 62: Entwicklungsstadien des Erdnussplattkäfers <i>O. mercator</i> | 73 |
| Abb. 63: Chemische Formel und Strukturformel von Sulfurylfluorid sowie sterische Anordnung des Moleküls | 75 |
| Abb. 64: 10-ml-Spritze (oben) mit Verschluss und 150-ml-Gasmaus (unten) mit Septum | 78 |
| Abb. 65: Das FT-IR-Gerät Typ GASMET CR2000™ | 78 |
| Abb. 66: MIRAN Infrarot-Gasanalysator (C) mit elektrischer Pumpe (A) und einer Alarmhupe (B) | 79 |
| Abb. 67: Der Versuchsaufbau (FT-IR, Computer, Waschflaschen, Salzlösung, Uhr, Umwälzpumpe) | 80 |
| Abb. 68: Schematische Darstellung der Begasungsanlage und der Begasung | 80 |
| Abb. 69: Metallkäfige mit Plastikstöpseln in einer Waschflasche während der SF-Begasung | 81 |
| Abb. 70: Gläser (350 ml) mit Eiern, Larven und Puppen auf 50-ml-Kleie in der Klimazelle bei 25°C und 65 % r. Lf. | 81 |
| Abb. 71: Mortalität der 1 bis 4 Tage alten Eiern von <i>E. elutella</i> bei einer SF-Konzentration von 11,6 g/m ³ bei 15°C und 65% r. Lf. | 86 |
| Abb. 72: Mortalität der 1 bis 4 Tage alten Eiern von <i>E. elutella</i> bei einer SF-Konzentration von 11,6 g/m ³ und verschieden CT-Produkten bei 20°C und 65% r. Lf. | 86 |
| Abb. 73: Mortalität der 1 bis 4 Tage alten Eiern von <i>E. elutella</i> bei einer SF-Konzentration von 11,6 g/m ³ bei 25°C und 65% r. Lf. | 86 |
| Abb. 74: Mortalität der 1 bis 4 Tage alten Eiern von <i>E. elutella</i> bei einer SF-Konzentration von 21,3 g/m ³ , 15°C und 65% r. Lf. | 89 |
| Abb. 75: Mortalität der 1 bis 4 Tage alten Eiern von <i>E. elutella</i> bei einer SF-Konzentration von 21,3 g/m ³ , 20°C und 65% r. Lf. | 89 |
| Abb. 76: Mortalität der 1 bis 4 Tage alten Eiern von <i>E. elutella</i> bei einer SF-Konzentration von 21,3 g/m ³ , 25°C und 65% r. Lf. | 89 |
| Abb. 77: Mortalitätswerte (%) von <i>O. mercator</i> bei 15°C | 91 |
| Abb. 78: Mortalitätswerte (%) von <i>O. mercator</i> bei 20°C | 92 |
| Abb. 79: Mortalitätswerte (%) von <i>O. mercator</i> bei 25°C | 94 |
| Abb. 80: Sämtliche Mortalitätsraten der präimaginalen Lebensstadien von <i>O. mercator</i> bei drei Temperaturen und drei SF-Konzentrationen | 95 |

TABELLENVERZEICHNIS

| | |
|---|-----|
| Tab. 1: Die untersuchte Menge getrockneter Feigen aus den Ernten 2004 und 2005..... | 13 |
| Tab. 2: Behandlung und Lagerung der Feigen für die Untersuchungen 2004 | 13 |
| Tab. 3: Behandlung und Lagerung der Feigen für die Untersuchungen 2005 | 14 |
| Tab. 4: Kriterien für die sensorische Prüfung getrockneter Feigen mit hedonischer Notenskala..... | 17 |
| Tab. 5: a_w -Werte der Feigen aus den Ernten 2004 und 2005 nach Lagerung bei 14°C | 44 |
| Tab. 6: Versuche mit getrockneten Feigen unter verschiedenen Klimabedingungen | 48 |
| Tab. 7: Zeitplan für die Lagerung der Feigen in klimatisierten Kammern | 49 |
| Tab. 8: Salzlösungen zur Einstellung verschiedener relativer Luftfeuchten für definierte Klimabedingungen bei 5°C und 25°C..... | 50 |
| Tab. 9: Untersuchungskriterien und Beurteilungsskala für die sensorische Beurteilung..... | 51 |
| Tab. 10: Mortalitätsergebnisse von Sulfurylfluorid gegen verschiedene Insekten aus der Literatur | 70 |
| Tab. 11: Anzahl der eingesetzten Lebensstadien von <i>E. elutella</i> bei 3 Temperaturen, 3 Expositionszeiten und 3 Wiederholungen..... | 71 |
| Tab. 12: Versuchsplan für die SF-Begasungen gegen <i>O. mercator</i> mit eingesetzter Käferanzahl | 74 |
| Tab. 13: Chemische Eigenschaften von Sulfurylfluorid..... | 76 |
| Tab. 14: Verwendete Formeln für die nichtlineare Regressionsanalyse mit dem Computerprogramm TableCurve 2D™ | 83 |
| Tab. 15: Ergebnisse der SF-Begasung gegen <i>E. elutella</i> mit 11,6 g/m ³ bei 3 Temperaturen und 3 Einwirkzeiten | 85 |
| Tab. 16: Regressionskoeffizienten (r^2) und Formeln für die LD-Werte bei 11,6 g/m ³ SF- Dosierung gegen <i>E. elutella</i> | 85 |
| Tab. 17: Ergebnisse der SF-Begasungen gegen <i>E. elutella</i> mit 21,3 g/m ³ bei 3 Temperaturen und 3 Einwirkzeiten | 88 |
| Tab. 18: Regressionskoeffizienten (r^2) und Formeln für die LD-Werte bei 21,3 g/m ³ Sulfurylfluorid gegen Eistadien von <i>E. elutella</i> | 88 |
| Tab. 19: Mortalitätsergebnisse für <i>O. mercator</i> (Brutgemisch) bei 15°C..... | 90 |
| Tab. 20: Ergebnisse der Versuche mit Brutgemisch von <i>O. mercator</i> bei 20°C | 92 |
| Tab. 21: Mortalitätsergebnisse für <i>O. mercator</i> (Brutgemisch) bei 25°C..... | 93 |
| Tab. 22: Regressionskoeffizienten (r^2), Regressionsformeln, F-Statistiken, LD ₅₀ -, LD ₉₀ - und LD ₉₉ -Werte für <i>O. mercator</i> nach SF-Expositionen bei drei Temperaturen | 95 |
| Tab. 23: Post Hoc Tests der Mittelwerte für Helligkeit (L*-Werte) und Farbsättigung (c* -Werte) für Feigen aus der Ernte 2004; Faktor: CO ₂ -Behandlung | 125 |
| Tab. 24: Post Hoc Tests der Mittelwerte für Helligkeit (L*-Werte) für Feigen aus der Ernte 2005; Faktor: CO ₂ -Behandlung..... | 126 |
| Tab. 25: Post Hoc Tests der Mittelwerte der Feigen der Ernte 2005 für Helligkeit (L*-Werte); Faktor: Lagerzeit..... | 127 |

| | |
|---|-----|
| Tab. 26: Post Hoc Tests der Mittelwerte der Feigen der Ernte 2005 für Farbsättigung (c*-Werte); Faktor: CO ₂ -Behandlung | 128 |
| Tab. 27: Post Hoc Tests der Mittelwerte der Feigen der Ernte 2005 für Farbsättigung (c*-Werte); Faktor: Lagerzeit..... | 129 |
| Tab. 28: Einfaktorielle ANOVA für Helligkeit und Farbsättigung (L* und c*-Werte) der Feigen der Ernte 2005 für den Faktor Temperatur..... | 130 |
| Tab. 29: Post Hoc Tests der Mittelwerte für Qualitätsmerkmale der Feigen aus der Ernte 2004 für Trockensubstanz, °Brix, pH-Wert, Gehalte an Citronensäure, Fructose und Glucose; Faktor: CO ₂ -Behandlung | 130 |
| Tab. 30: Post Hoc Tests der Mittelwerte für die Qualitätsmerkmale der Feigen der Ernte 2005 für Trockensubstanz, °Brix, pH-Wert, Citronensäure, Gesamtpektin, Fructose und Glucose; Faktor: Lagerzeit..... | 131 |
| Tab. 31: Post Hoc Tests der Mittelwerte für die Qualitätsmerkmale der Feigen der Ernte 2005 für Trockensubstanz, °Brix, pH-Wert, Citronensäure, Gesamtpektin, Fructose und Glucose; Faktor: CO ₂ -Behandlung | 133 |
| Tab. 32: Einfaktorielle ANOVA für die Feigen aus der Ernte 2005; Faktor: Temperatur | 136 |
| Tab. 33: Post Hoc Test der Mittelwerte der Feigen der Klimaversuche für Fructose und Glucose für den Faktor Fruchtteile (Gesamtfeige, Fruchtfleisch und –schale) | 136 |
| Tab. 34: Post Hoc Test der Mittelwerte der Feigen der Klimaversuche für Fructose und Glucose für den Faktor relative Luftfeuchte | 137 |
| Tab. 35: Einfaktorielle ANOVA für Trockensubstanz, Fructose und Glucose in den Feigen des Klimaversuchs für den Faktor Temperatur | 138 |
| Tab. 36: Post Hoc Tests der Mittelwerte für Trockensubstanz, Fructose und Glucose in den Fruchtteilen der Feigen des Klimaversuch für den Faktor Fruchtteile..... | 139 |
| Tab. 37: Post Hoc Tests der Mittelwerte für Trockensubstanz, Fructose und Glucose in den Fruchtteilen der Feigen des Klimaversuch für den Faktor Lagerungsdauer..... | 140 |

ALLGEMEINE EINLEITUNG

Aufgrund des wachsenden Konsumbedarfs weisen die Lagerungs-, Transport-, Verarbeitungs- und Konservierungstechniken der Lebensmittel große wirtschaftliche Bedeutung auf. Neben der gesteigerten Produktion landwirtschaftlicher Erzeugnisse spielen Nacherntemaßnahmen für die Abdeckung des Nahrungsbedarfs eine große Rolle (ADLER 1992). Die Aufgabe des Vorratsschutzes ist nicht nur die Befreiung von und Vorbeugung gegen Schädlingsbefall, sondern auch die Sicherung der Qualität während der Lagerung von Lebensmitteln.

Eine eindeutige Definition für den Begriff „Vorratsschutz“ fällt bis heute schwer. ZACHER (1927) definierte den Pflanzenschutz als „die Bekämpfung von Feinden und Krankheiten der Kulturpflanzen in der Landwirtschaft“ und prägte den Begriff Vorratsschutz als Teil der „Rationalisierung im Güterverkehr, zu der gleichfalls die Vermeidung von Verlusten durch Tierfraß und Fäulnis gehört.“ REICHMUTH (1994) gab für Vorratsschutz dem deutschen Pflanzenschutzgesetz entsprechend folgende Definition: „Integrierter Vorratsschutz dient dem Schutz von Pflanzenerzeugnissen vor Schadorganismen. Dabei erfolgt eine Kombination von Verfahren, bei denen unter vorrangiger Berücksichtigung physikalischer, biologischer, lagertechnologischer sowie verpackungsschützender und lagerhygienischer Maßnahmen die Anwendung chemischer Pflanzenschutzmittel auf das notwendige Maß beschränkt wird. Dem Schutz der menschlichen Gesundheit und der Umwelt sowie geeigneten handelspolitischen Maßnahmen wird hohe Priorität eingeräumt.“

Getrocknete Feigen gehören zu den wichtigsten Exportgütern der Türkei mit ca. 45.000 Tonnen im Wert von ca. 160 Millionen USD im Jahr 2007. Deutschland war mit einem Importwert von 8.000 Tonnen einer der größten Feigenimporteure in Europa (ANONYM 2008). Bei der Produktion getrockneter Feigen werden verschiedene Gasbehandlungen zur Bekämpfung vorratsschädlicher Insekten und zur

Sicherung der Qualität der gelagerten getrockneten Feigen eingesetzt. Nach dem Einstellen der Produktion und der Anwendung von Methylbromid (Brommethan, MB, CH_3Br), das aufgrund seiner ozonzerstörenden Wirkung seit Dezember 2004 auch in Deutschland nicht mehr zugelassen ist, sollten alternative Wirkstoffe in den Markt eingeführt werden. Methylbromid wurde früher bei der Verarbeitung getrockneter Feigen in der Türkei häufig eingesetzt, darf aber seit 01.01.2008 nur noch mit einer staatlichen Sondergenehmigung verwendet werden (ANONYM 2004b). Als alternativer Wirkstoff gegen vorratsschädliche Insekten kommt auch Sulfurylfluorid (SF) in Frage, das seit Dezember 2004 in Deutschland für die Mühlenbegasung und die Entwesung von leeren Vorratslager eingesetzt wird und seit Januar 2005 auch für getrocknete Früchte zugelassen ist. Sulfurylfluorid wurde bereits unter dem Namen Vikane™ für den Materialschutz, z.B. für die Kirchenentwesung, eingesetzt. Als weitere Alternative für Methylbromid zur Qualitätssicherung getrockneter Feigen wird Kohlendioxid (CO_2) unter Hochdruck verwendet.

Die mit HP- CO_2 behandelten getrockneten Feigen werden in Deutschland den Konsumenten als „unbehandelt“ angeboten, weil CO_2 grundsätzlich nicht zu den synthetisch chemischen Pflanzenschutzmitteln gehört. Da die CO_2 -Behandlung keine toxische Dauerwirkung wie bei üblichen Pestiziden hat, müssen die Produkte aufgrund ihrer hohen Anfälligkeiten für Schädlinge und Krankheiten vorsichtig behandelt und gelagert werden, weil diese Waren besonders befallsgefährdet sind. Darüber hinaus werden bei biologisch behandelten Feigen Auszuckerungen und Verbräunungen beobachtet, die zu den wichtigen negativen Qualitätsmerkmalen gehören. Auszuckerung und Verbräunung während der Lagerung getrockneter Feigen, die nach 4-5 Monaten auf der Oberfläche der Feigen auftreten, stellen für die Trockenobstindustrie ein großes Problem dar. Es wird vermutet, dass solche Qualitätsverluste auf die Lagerungsbedingungen oder die Vorbehandlung der Feigen zurückzuführen sind. Im ersten Kapitel dieser Arbeit wurde daher der Frage nachgegangen, inwieweit die CO_2 -Behandlung die Qualität getrockneter Feigen negativ beeinflusst. Abgesehen von Auszuckerung und Verbräunung kämpft die Trockenobstindustrie gegen weitere Qualitätsverluste wie starke Aroma- und Geschmacksveränderungen, die während der langzeitigen (3-4 Monate) Lagerung bei den Feigen diagnostiziert werden. In der vorliegenden Arbeit wurde die Frage

bearbeitet, ob eine Behandlung mit HP-CO₂ diese Qualitätsverluste verhindern bzw. verzögern kann. Dieses Phänomen erforderte eine weitere eingehende Untersuchung zu den Auswirkungen verschiedener Klimabedingungen während der Lagerung, die im zweiten Kapitel dargestellt werden.

Getrocknete Feigen werden in den Trockenobstlagern normalerweise bei +10°C und 65 % r. Lf. in Pappkartons mit Plastikfolien umhüllt gelagert. Im zweiten Kapitel wurde die Frage gestellt, inwieweit die getrockneten Feigen auf einen direkten Kontakt mit der Lagerungsatmosphäre reagieren. Dadurch sollte die Frage geklärt werden, welcher von beiden Klimafaktoren (Temperatur und r. Lf.) die entscheidende Rolle für die o. g. Qualitätsverluste spielt. Um diese Frage zu beantworten, wurden verschiedene Klimakombinationen während der Lagerung simuliert. Währenddessen sollte geklärt werden, wie sich die optischen Merkmale der gelagerten Feigen mit der Lagerungszeit verändern.

Das dritte Kapitel beschäftigte sich mit der Frage der Wirksamkeit von Sulfurylfluorid (SF) gegen Larven, Puppen und Eier der Speichermotte *Ephesia elutella*, eine der wichtigsten vorratsschädlichen Motten, die auch gelagerte Feigen befallen. Zur Untersuchung der Wirksamkeit von Sulfurylfluorid wurde zudem der Erdnussplattkäfer, *Oryzaephilus mercator*, einbezogen, der ebenfalls auf Trockenobst vorkommt. Der einschlägigen Literatur zufolge sind die Eistadien vorratsschädlicher Insekten und Motten gegen eine Begasung mit Sulfurylfluorid besonders widerstandsfähig (KENAGA 1957). Frühere Veröffentlichungen zeigten, dass die Eier von *E. kuehniella* je nach ihrem Alter unterschiedlich widerstandsfähig waren (BELL und SAVVIDOU 1999). Nach bisherigen Erfahrungen sind auch die Käfer von *O. mercator* bei einer SF-Begasung empfindlicher als die Eier, weil das Gas durch Atmung der adulten Schädlinge besonders stark aufgenommen wird. Da die Atmung bei steigenden Temperaturen (> 20°C und < 35°C) intensiver wird, sterben die begasten Insekten bei erhöhten Temperaturen schneller. In der vorliegenden Arbeit wurde die Frage gestellt, inwieweit die Einwirkzeit, Temperatur und SF-Konzentration die Mortalität beeinflussen. Ebenfalls sollen die LD-Werte (LD₅₀, LD₉₅ und LD₉₉) ermittelt werden, damit auch die Empfindlichkeiten einzelner Lebensstadien gegen eine SF-Begasung untereinander verglichen werden konnten.

1. KOHLENDIOXIDBEHANDLUNG GETROCKNETER FEIGEN

1.1. Einleitung und Problemstellung

Der Erhalt der Qualität und die schädlingsfreie Lagerung getrockneter Früchte gehören zu den wichtigen Aufgaben des Vorratsschutzes. Das Verbot der Anwendung von Methylbromid löste für die Trockenobstindustrie die Suche nach alternativen Wirkstoffen aus, welche langzeitige und schädlingsfreie Lagerungen ermöglichen, aber ohne die Qualität des Produktes zu schädigen. Aufgrund der zunehmenden wirtschaftlichen Bedeutung der Bio-Produkte werden auch getrocknete Feigen immer mehr mit nicht-chemischen Methoden behandelt. Die CO₂-Behandlung unter Hochdruck gehört inzwischen zu den wichtigen ökologischen Methoden, weil CO₂ kein synthetisch-chemisches Pestizid ist. Diese Methode wird in den letzten Jahren in der Türkei stark nachgefragt. Da die Investitionskosten für eine Stahlhochdruckkammer mit ca. 2 Mio. € sehr hoch sind, können sich zurzeit allerdings nur große Firmen eine solche Hochdruckanlage leisten. Getrocknete Feigen werden in der Türkei praxisüblich von der Vertreiber- oder Exportfirma routinemäßig mit Hochdruck-CO₂ behandelt und per Container nach Deutschland transportiert. Bei Wareneingang in Deutschland wird ggf. nochmals eine weitere CO₂-Behandlung durchgeführt.

Bei der Suche nach neuen Verfahren zum Schutz von Vorräten gegen vorratsschädigende Insekten und Milben stieß man auf die Anwendung insektenabtötender Atmosphären aus Stickstoff (N₂) und Kohlendioxid (CO₂) und wenig Restsauerstoff (REICHMUTH et al. 1994; ADLER 1995; LINDGREN und VINCENT 1970, PERSON und SORENSON 1970, NIAZEE 1971). NAVARRO et al. (2001) und NAVARRO (2006) berichteten ebenfalls über die Wirkungs- und Funktionsweise des CO₂ bei gelagerten Vorräten. CO₂ ist zu 0,05 % in der Atmosphäre enthalten und tötet bei hohen Gehalten in Luft von 5 bis 10 vol.-% die meisten Lebewesen ab (CORINTH und RAU 1990). Bei traditioneller hermetischer Lagerung von Getreide unter atmosphärischem Druck sinkt der O₂-Gehalt durch Atmungsprozesse der

gelagerten pflanzlichen Produkte allmählich ab und somit auch die Anzahl der ggf. darin lebenden Vorratsschädlinge und Mikroorganismen, während die CO₂-Konzentration dementsprechend ansteigt. Die Anwendung von Kohlendioxid unter Hochdruck (HP-CO₂) wird als eine alternative Technik für die Lebensmittelpasteurisation angesehen (DEMIRBÜKER et al. 2005; GARCIA-GONZALEZ et al. 2007; SPILIMBERGO 2002). Am Mehlkäfer konnte beispielhaft gezeigt werden, dass CO₂ aufgrund seiner guten Diffusion eine kurze Invasionszeit besitzt und daher auch schnell einen narkoseähnlichen Zustand bewirkt (STAHL et al. 1985). Da CO₂ zusätzlich als Atemanaleptikum wirkt, erfolgt eine rasche Aufnahme und dadurch eine Selbstvergiftung (CORINTH und RAU 1990).

Nach KADER (1994) lässt sich Qualitätsminderung tropischer Früchte durch Anwendung einer kontrollierten Atmosphäre (CA, *Controlled Atmosphere*) verzögern. Die moderne CA-Lagerung erfolgt oft durch Anreicherung der Atmosphäre mit gasförmigen Komponenten und Verringerung des Gehaltes an Sauerstoff und Ethylen. So kann eine CO₂-Behandlung während der CA-Lagerung für die Verbesserung der Fruchtschale genutzt werden (KADER 1994).

Auszuckerung und Verbräunung sind für den Trockenobsthandel ein wichtiges Problem und führen oft zur Qualitäts- und Marktverlusten. Getrocknete Feigen werden zunehmend mit CO₂ behandelt. Die Behandlung hat einen doppelten Effekt: eine Verminderung des Wasserverlusts der Früchte und der trocknungsbedingten Verbräunung, die meistens als ein Resultat von Enzymaktivitäten auftritt. Die Erhöhung der stomatären Widerstandsfähigkeit hinsichtlich des Gasaustausches einschließlich der Diffusionen des Wasserdampfes führt zur Verminderung des phenolischen Metabolismus, insbesondere der Aktivitäten von Polyphenoloxidase (PPO) und Peroxidase (POD), den hauptsächlichen Enzymaktivitäten (RHODES et al. 1981). Dehydroascorbinsäure kann mit Aminosäuren über Scorbaminsäure und rotgefärbten Dimeren zu höhermolekularen Verbindungen reagieren. Es wird angenommen, dass diese Verbindungen z. B. für die unerwünschte Braunfärbung von Citrussäften und Trockenfrüchten überwiegend verantwortlich sind (FRANZKE 1998).

In dieser Arbeit wurde der Frage nachgegangen, ob die Verringerung des Sauerstoffgehalts der Lageratmosphäre durch Erhöhung des Kohlendioxidanteils während der Lagerung eine bräunungshemmende Wirkung hat. O'HARE et al. (1994)

meinten, dass die Lagerung von Rambutan-Früchten bei einem CO₂-Anteil von 9 bis 12 % an der Lageratmosphäre den Verbräunungsprozess verzögert und die Schalenhaltbarkeit verbessert. Auch der Wasserverlust war nach der CO₂-Behandlung geringer als bei den anderen unbehandelten Früchten (SOPEE et al. 2006). Die Verzögerung des Alterungsprozesses und der Vergilbung bei Blattgemüse und Kräuterpflanzen durch CO₂-Behandlung ist bereits dokumentiert (AHARONI und BEN YEHOOSHUA 1973; AHARONI et al. 1989, 1993; KADER et al. 1989). Außerdem zeigten die Untersuchungen über die Ozonbehandlung bei getrockneten Feigen in der Türkei, dass diese ebenfalls als ein Alternative zu Brommethan eingesetzt werden kann (ÖZTEKIN et al. 2006).

Eine modifizierte Atmosphäre mit erhöhtem CO₂- und verringertem O₂-Anteil bewirkt in den pflanzlichen Organen eine reduzierte metabolische Aktivität einschließlich reduzierter Respirationsrate und ist ein wichtiger Faktor für die Seneszenzverzögerung. Trotzdem kann eine CO₂-Behandlung in den einzelnen Zellen und Geweben Schäden verursachen, wenn man nicht bestimmte Grenzwerte beachtet (KENIGSBUCH et al. 2007). Bei Trockenfrüchten kann nach EMEKCI et al. (2004) allerdings eine kurzzeitige hochkonzentrierte CO₂-Behandlung eine große vorteilhafte Wirkung z. B. hinsichtlich der Haltbarkeit der Trockenfrüchte erzielen. Allein die Hochdruck-CO₂-Behandlung kann aber die Verbräunung und Auszuckerung der Trockenfrüchte nicht ganz verhindern, weil diese auch von den Lagerbedingungen –wie z. B. Temperatur und relative Luftfeuchte– abhängig sind.

Aufgrund der wirtschaftlichen Bedeutung sind die Qualitätsverluste in den türkischen getrockneten Bio-Feigen besonders zu untersuchen. Feigen werden mitunter mit physikalischen oder chemischen Methoden behandelt (DAMARLI et al. 1998; ÖZILGEN et al. 1997). Trotz aller Behandlungen wird bei den getrockneten Feigen in Deutschland nach einer drei- bis viermonatigen Lagerung eine starke Auszuckerung und Verbräunung festgestellt. In der vorliegenden Arbeit wurde der Einfluss der Hochdruck- und Vakuum-CO₂-Behandlung auf biochemische, physiologische (Gaswechsel) und sensorische Fruchtqualitätseigenschaften getrockneter Feigen untersucht. Eines der gravierendsten Probleme bei der Lagerung getrockneter Feigen ist die "Auszuckerung". Nach den Qualitätsstandards der Feigen (ANONYM 1967) liegt ein Auszuckerungsschaden vor, wenn sich auf der Feigenoberfläche weiße Zuckerkrystalle bilden, die das Aussehen beeinträchtigen. Aufgrund der hohen

wirtschaftlichen Bedeutung wurden auch in der Türkei zahlreiche Studien über die Vermeidung von Auszuckerungs- und Verbräunungsprozessen erstellt (AKSOY 1986; AKSOY 1994; COBANOGLU 2004). Die Auszuckerung entsteht durch die Ablagerungen gleicher Mengen von Glucose und Fructose, Spuren von Citronen- und Apfelsäure und Aminosäuren wie Lysin, Asparagin und Asparaginsäure auf der Fruchtoberfläche (MILLER und CHICHESTER 1959). Da frische Feigen normalerweise bis zum Verkauf eine kurze Lagerungszeit haben, wird der Prozess häufig erst an getrockneten Feigen beobachtet, die mehrere Monate in modifizierter Atmosphäre gelagert wurden. Da ein hoher CO₂-Gehalt in der Lageratmosphäre bei getrockneten Früchten die Respiration und die Enzymaktivitäten reduziert, geht man davon aus, dass durch CO₂-Anreicherung auch der Auszuckerungsprozess gehemmt bzw. verzögert wird (KADER 1986).

Ziel dieses Kapitels der vorliegenden Arbeit ist die Aufklärung von Ursachen der Auszuckerung und Verbräunung gelagerter getrockneter Feigen. In einem ersten Ansatz wurde zunächst ermittelt, inwieweit die Behandlung mit Hochdruck-CO₂ Auswirkungen auf biochemische, physiologische und sensorische Qualitätseigenschaften hat, um Rückschlüsse auf die Qualitätsmängel Auszuckerung und Verbräunung ziehen zu können. Für die chemisch-physikalischen Untersuchungen wurden sowohl unbehandelte Feigen als auch solche mit ein- bzw. zweimaliger vorangegangener Hochdruck-CO₂-Behandlung verwendet. Die Qualitätssicherung gelagerter Feigen wird in dieser Arbeit als eine Aufgabe des Vorratsschutzes dargestellt.

1.2. Material und Methoden

1.2.1. Die Feige (*Ficus carica* L.)

Die Kulturfeige *Ficus carica* L., Familie Moraceae, gehört zu den laubabwerfenden Gehölzen, besitzt einen dichten und stark verzweigten baumartigen Wuchs mit knorrig werdendem Stamm und erreicht eine Höhe bis zu 10 m. In den Hauptanbaugebieten, die sich in den Mittelmeerländern befinden, ist die Feige nicht nur Exportartikel, sondern ein wesentliches Nahrungsmittel für Mensch und Tier. Feigen werden in allen Mittelmeerländern vornehmlich in der Türkei, Spanien und Griechenland und in den USA produziert (ANONYM 2004a). Neben der Verwertung als frische und getrocknete Frucht wird sie für die Herstellung von Konfitüren, Backwaren und alkoholischen Getränken konserviert. Aus den Samen kann Öl gewonnen werden. Aus gerösteten Feigen wird der altbekannte Feigenkaffe oder ein Kaffeezusatz hergestellt (REHM 1989). Größtenteils werden sie in getrocknetem Zustand verkauft, weil frische Feigen aufgrund ihrer hohen Anfälligkeit für Krankheiten und der Nachreifung nach der Ernte eine kurze Haltbarkeit haben (PIGA et al. 2004).

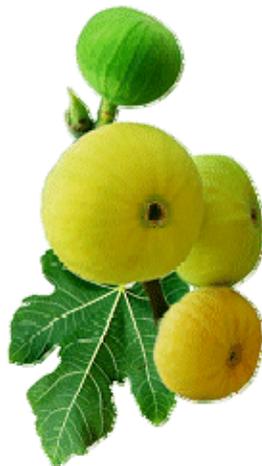


Abb. 1: Die Früchte des Feigenbaums *Ficus carica*

Feigen werden mehrmals im Jahr – von Mai bis September, manchmal im November und Dezember – geerntet, da sich die Früchte sowohl im Frühjahr als auch im Sommer und Herbst bilden können (REHM 1989). In der türkischen Ägäis werden die Feigen meistens im August und September geerntet. Die Reifegeschwindigkeit der Früchte ist je nach der Position am Baum unterschiedlich. Deshalb werden die Bäume in der Erntezeit mehrmals durchgepflückt.



Abb. 2: Die Feigenanbauregionen in der Türkei

Frische Feigen können im Kühllager bei 0°C bis 4°C mehrere Wochen aufbewahrt werden. In den Hauptanbaugebieten werden sie größtenteils getrocknet. Dafür lässt man sie lange am Baum reifen und schüttelt sie ab, wenn sie halbtrocken sind. Anschließend werden sie in der Sonne oder in Dehydrierungsanlagen getrocknet. Früher behandelten viele Betriebe Feigen gegen Schadinsekten mit Methylbromid, das nach den Beschlüssen des Montrealer Protokolls in Industriestaaten nicht mehr verwendet werden darf. In der Türkei wird gelegentlich auch die Schwefeldioxidbehandlung benutzt, um die Haltbarkeit der Feigen zu verbessern. Zum Trocknen im Freien werden die Früchte auf hölzerne Platten, Matten oder Betonböden gelegt. In der Türkei trocknen sie in 3 bis 5 Tagen an der Sonne, wenn die Wetterbedingungen geeignet sind. Vor dem Verpacken wird nach Größe und Qualität sortiert.

Anschließend werden die Früchte in kochendes Wasser oder Dampf getaucht, um sie weich, elastisch und haltbar zu machen. Dem Wasser wird Kochsalz beigegeben, um den Geschmack der Feigen zu verbessern. Die Art der Verpackung ist nach Anbaugebieten verschieden (REHM 1989).



Abb. 3: Unbehandelte getrocknete Feigen

Für die ersten Untersuchungen im Jahr 2004/2005 wurden unbehandelte Feigen der Sorte 'Smyrna' (Ernte: September 2004) als Referenzproben genommen (ohne Behandlung = OB). Als Versuchsmaterial ausgewählte getrocknete Feigen der Ernte 2004 wurden in der Türkei einmal über 4 Std. bei 25°C mit 20 bar CO₂ unter Hochdruck behandelt (einmalige Behandlung = 1B). Diese Behandlung erfolgte mit vorsortierten und verpackten Feigen in großen Überdruckkammern der türkischen Vertreiber- bzw. Exportfirma in Izmir. Drei Kartons dieser 1B-Feigen wurden noch einmal in Deutschland (Firma Neuform in Zarrentin) über 3 Std. mit 20 bar Hochdruck-CO₂ behandelt (zweimalige Behandlung = 2B). Jeweils 5 kg getrocknete Feigen pro Behandlung (insgesamt 15 kg) wurden für die Untersuchung geliefert. Diese wurden einen Tag in der Klimakammer im Berliner Labor bei 15°C gelagert und am nächsten Tag für die Untersuchungen ausgelagert.



Abb. 4: Beispiel für Feigen ohne Behandlung sowie nach ein- und zweimaliger Hochdruck-CO₂-Behandlung

Für die nächsten Untersuchungen im Jahr 2005/2006 standen insgesamt 14 Kartons à 12,5 kg getrockneter Feigen aus der Ernte September 2005 zur Verfügung. Davon waren 8 Kartons unbehandelt, 6 Kartons in der Türkei unter Vakuum mit CO₂ und bei der Zarrentiner Firma mit 20 bar Hochdruck-CO₂ behandelt. Die zusammengesetzten Feigen waren in Polyethylenfolie eingewickelt und in Kartons eingepackt. Die Lagerung in Berlin erfolgte zuerst für alle Varianten in einer Klimakammer bei 15°C ± 1°C und 65 % ± 5 % r. Lf. Die Werte der Temperatur und der r. Lf. wurden regelmäßig mit einem Thermohygrographen ermittelt. Nach zwei Wochen wurden 3 Kartons der unbehandelten Feigen in der Versuchshalle des Instituts für Vorratsschutz unter einem Druck von 20 bar über 2,5 Std. mit CO₂ behandelt (1B). Nach der Behandlung wurden je 3 Kartons mit Feigen aller Behandlungsvarianten bei einer Temperatur von 5°C bzw. 15°C in den Klimakammern 4 bis 16 Wochen lang gelagert. Bei der ersten Auslagerung nach vier Wochen wurden für drei Behandlungen je 2 kg Feigen entnommen. Die entsprechenden gleichartigen Probeentnahmen für die zweite und dritte Auslagerung wurden nach 8 bzw. nach 16 Wochen durchgeführt.

1.2.2. CO₂-Hochdruckbehandlung und Lagerung

Die zweite Untersuchung mit Feigen der Ernte 2005 begann wieder mit einer CO₂-Behandlung, allerdings nicht unter Hochdruck, sondern unter Vakuum. Die getrockneten Feigen, die in der Türkei mit CO₂ unter Vakuum über 2,5 Std. behandelt worden waren, wurden in Berlin erneut mit 20 bar Hochdruck-CO₂ über 2,5 Std. behandelt. Für diese zweite CO₂-Behandlung wurde die CO₂-Hochdruckanlage der Abteilung Vorratsschutz des JKI eingesetzt.

Die aus 2 cm dicken Stahl konstruierte zylinderförmige Hochdruckkammer der Firma AIR LIQUIDE besitzt einen Durchmesser von 90 cm und eine Länge von 150 cm (Abb. 5 links C und rechts). Das elektronische Steuerungssystem der CO₂-Hochdruckanlage (Abb. 5 links B) ermöglicht es, die Zeit- und Drucksollwerte vor der Behandlung präzise einzustellen. An die Anlage waren 9 miteinander verbundene CO₂-Zylinderflaschen (Flaschenbündel) der Firma AIR LIQUIDE angeschlossen (Abb.5 links A). Insgesamt drei Feigenproben in geschlossenen Kartons à 12,5 kg wurden in die Hochdruckkammer eingebracht (Abb. 5 rechts). Nach dem Einstellen der Zeit- und Drucksollwerte führte das elektronische Steuersystem die CO₂-Begasung automatisch durch. Der Druck von 20 bar wurde in 13 Minuten stetig aufgebaut und am Ende der Behandlung in 8,5 Minuten wieder abgebaut (Abb. 6). Der Behandlungsprozess dauerte insgesamt 2,5 Std.. Die innere Temperatur des Gases in der Druckkammer erhöhte sich während des Druckaufbaus bis 32°C, ging nach 1,5 Std. auf 20°C zurück und blieb dann konstant.

Zur Kontrolle wurden die unbehandelten Feigen zusammen mit den behandelten Proben bei 5°C bzw. 14°C und bei einer r. Lf. von 65 % vier Monate lang gelagert. Die Auslagerungen erfolgten nach 4, 8 und 16 Wochen. Die Lagerungen erfolgten für die Feigen der Ernte 2004 bei 14°C, die Feigen der Ernte 2005 bei 5°C und 14°C. Wegen der eingeschränkten Verfügbarkeit des Versuchsmaterials wurden bei den ersten und zweiten Feigenpartien unterschiedliche Probenumfänge entnommen. Während beim ersten Versuch mit den Feigen der Ernte 2004 jeweils 30 repräsentative Feigen von jeder Behandlung ausgewählt wurden, wurden beim zweiten Versuch mit den Feigen aus der Ernte 2005 jeweils 40 Feigen pro Behandlungsvariante entnommen.

Tab. 1: Die untersuchte Menge getrockneter Feigen aus den Ernten 2004 und 2005

| Ernte | Ware | Ausgangsmaterial Feigen (kg) | | Stück für jede Behandlung (n) |
|-------|------|------------------------------|--------|----------------------------------|
| | | 5°C | 14°C | |
| 2004 | OB | - | 3×5 | 30 |
| | 1B | - | 3×5 | 30 |
| | 2B | - | 3×5 | 30 |
| 2005 | OB | 1×12,5 | 2×12,5 | 2×20=40 |
| | 1B | 1×12,5 | 2×12,5 | 2×20=40 |
| | 2B | 1×12,5 | 2×12,5 | 2×20=40 |

Tab. 2: Behandlung und Lagerung der Feigen für die Untersuchungen 2004

| Feige 2004 | | | |
|----------------------|----------------------------------|---|---|
| Ernte: 09/ 2004 | OB | 1B | 2B |
| Behandlung Türkei | - | - | CO ₂ HP 20 bar / 4 h September 04 |
| Behandlung Zarrentin | - | CO ₂ HP 20 bar / 2,5 h Oktober 2004 | CO ₂ HP 20 bar/2,5 h Oktober 2004 |
| Behandlung Berlin | - | - | - |
| Lagerung Zarrentin | 9 Monate bei 14°C + 65% r. F. | 9 Monate bei 14°C + 65% r. F. | 9 Monate bei 14°C + 65% r. F. |
| Lagerung Berlin | - | - | - |
| Probeentnahme | 3×5 kg = 15 kg | 3×5 kg = 15 kg | 3×5 Kg = 15 kg |

Tab. 3: Behandlung und Lagerung der Feigen für die Untersuchungen 2005

| Feige 2005 | | | |
|-----------------------------|--------------------------------|--|---|
| Ernte: 09/2005 | OB | 1B | 2B |
| Behandlung Türkei | - | - | CO ₂ Vakuum September 2005 |
| Behandlung Zarrentin | - | - | CO ₂ HP 20 bar / 2,5 h Oktober 2005 |
| Behandlung Berlin | - | CO ₂ HP 20 bar / 2,5 h November 2005 | - |
| Lagerung Zarrentin | 1 Monat bei 14°C, 65% r. F. | 1 Monat bei 14°C, 65% r. F. | 1 Monat bei 14°C, 65% r. F. |
| Lagerung Berlin | 4 Monate bei 5°C und 14°C | 4 Monate bei 5°C und 14°C | 4 Monate bei 5°C und 14°C |
| Probeentnahme | 3×2 kg /14°C 3×1 kg /5°C | 3×2 kg /14°C 3×1 kg /5°C | 3×2 kg /14°C 3×1 kg /5°C |

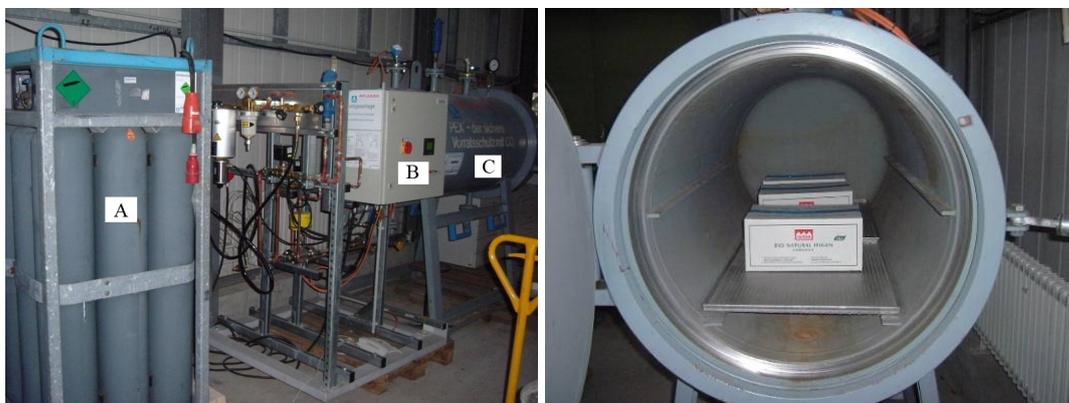


Abb. 5: Hochdruckkammer der Abteilung des JKI für die Feigenbegasung mit CO₂

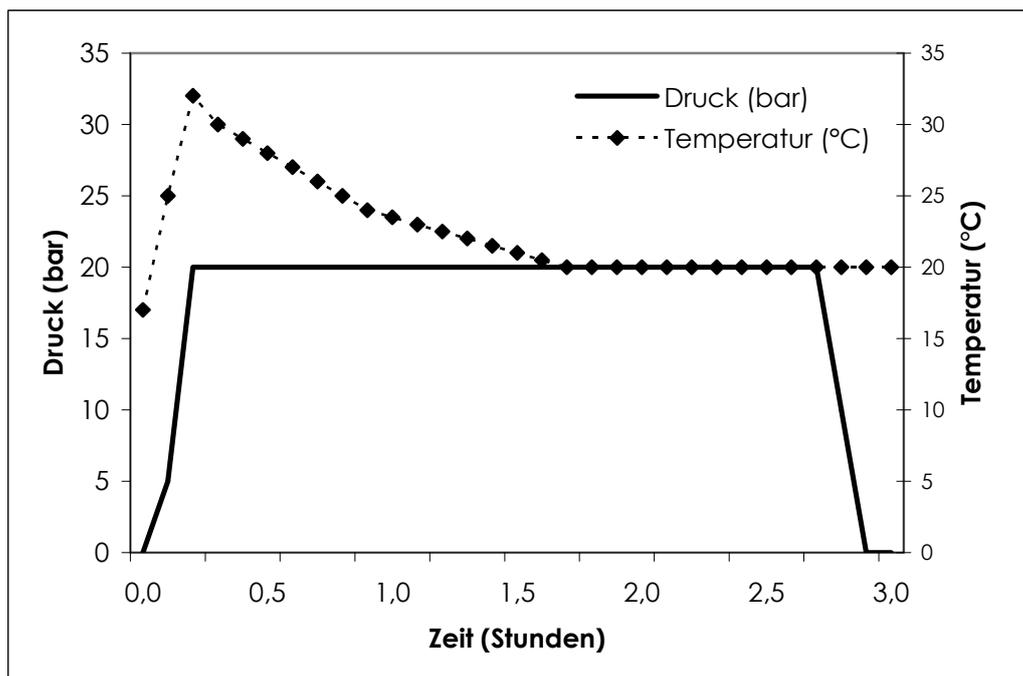


Abb. 6: Druck- und Temperaturkurve während der Hochdruck-CO₂-Behandlung

1.2.3. Sensorische Analyse

Die Lebensmittelsensorik nahm ihren Ursprung in den 40'er Jahren in den skandinavischen Ländern. Etwa zur gleichen Zeit, vor allem in den 50'er Jahren, setzten in den USA und einzelnen europäischen Ländern intensive Studien ein. Die Lebensmittelindustrie nutzte im Rahmen der Qualitätsprüfung und -beurteilung zunehmend die Lebensmittelsensorik aus (FLIEDNER und WILHEMI 1993).

Es wurden zwischenzeitlich viele sensorische Prüfmethode hinsichtlich der Beurteilung der Produktqualität entwickelt. Da getrocknete Feigen während der Lagerung hinsichtlich ihrer Qualitätsattribute unterschiedliche Merkmale enthalten, wurden in der vorliegenden Arbeit in Anlehnung an DERNDORFER (2006) die deskriptiven Prüfungen herangezogen (Abb. 7). Deskriptive Prüfungen sind objektive Verfahren, bei denen Testpersonen Produkte mit Attributen beschreiben und die Intensität jedes Attributes anhand einer Skala beurteilen. Daraus resultieren so genannte Produktprofile, die den Vergleich von Produkten ermöglichen (DERNDORFER 2006).

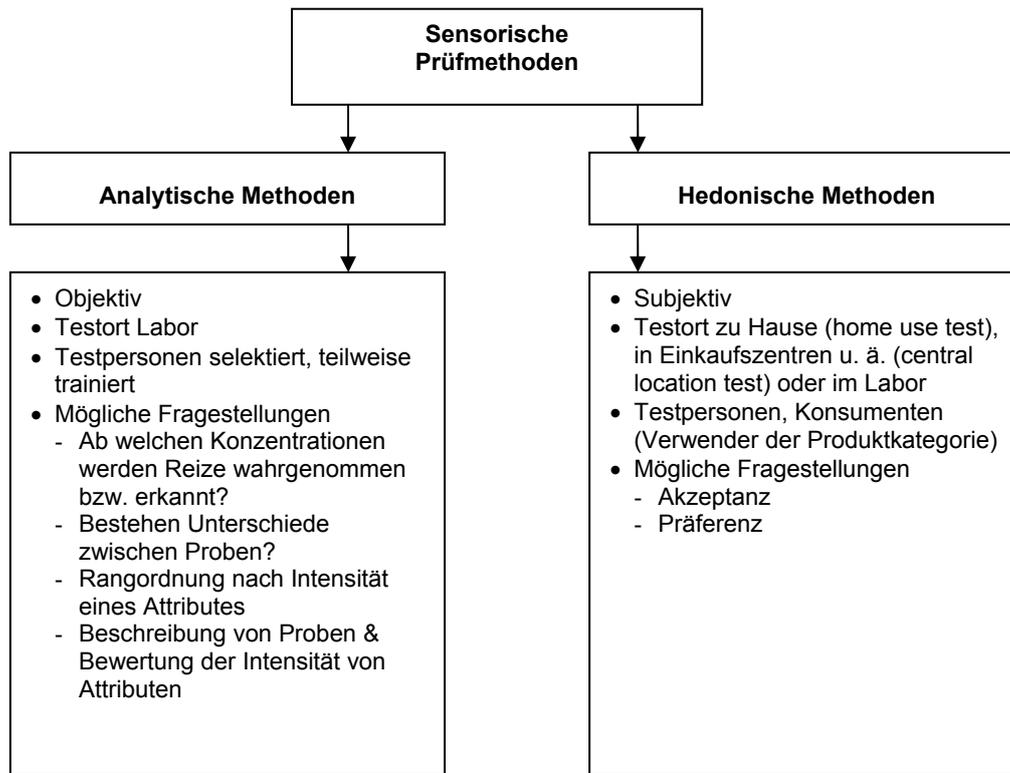


Abb. 7: Sensorische Prüfmethoden

Für die sensorische Analyse der getrockneten Feigen wurden aus jeder Behandlung repräsentative Stichproben ($n=10$ Feigen) mit dreimaliger Wiederholung entnommen. Die Proben wurden im Labor des „Lehr- und Forschungsgebiets Produktqualität/Qualitätssicherung“ des Instituts für Gartenbauwissenschaften an der Humboldt-Universität zu Berlin sensorisch mit einem deskriptiven Panel aus ungeschulten Panellisten (Tester) in Anlehnung an die "Bewertende Prüfung mit Skale" nach DIN 10952 (BUSCH-STOCKFISCH 2002) bonitiert. Das Panel bestand aus fünf bis sechs Panellisten. Die Teilnehmer wurden vor dem Test kurz über den Inhalt der sensorischen Prüfung informiert. Der Sensoriktest startete mit allen Beteiligten gleichzeitig und dauerte etwa eine Stunde. Es wurden die Seh-, Geruchs-, Tast- und Geschmackssinne eingesetzt. Der Test begann üblicherweise mit der Beurteilung des optischen Aussehens, es folgten das Tasten und die Verkostung der Feigen. Für letztere wurden die Proben mit einem Messer in Stücke geteilt, damit jede Testperson ein Stück von derselben Feige testen konnte. Die Auswahl der Qualitätskriterien (außer Verbräunung und Auszuckerung) erfolgte in Anlehnung an die Empfehlungen für Qualitätsstandards der "United States Standards for Grades of Dried Figs"

(ANONYM 2001). Die Testpersonen bewerteten ihre Eindrücke anhand einer Skala. Die Ergebnisse sind als hedonische Notenskala in Tab. 4 dargestellt und wurden für die vorliegende Arbeit gemäß DIN 10952 in Form von Spinnendiagrammen präsentiert.

Tab. 4: Kriterien für die sensorische Prüfung getrockneter Feigen mit hedonischer Notenskala

| Beurteilungskriterien | Beurteilungsskala | | |
|--------------------------|---------------------|--------|----------|
| | 0 -----> 3 -----> 5 | | |
| a. Optische Erscheinung | schlecht | mittel | sehr gut |
| b. Verbräunungsgrad | stark | mittel | Schwach |
| c. Auszuckerung | stark | mittel | Schwach |
| d. Gesamteindruck Aroma | schlecht | mittel | sehr gut |
| e. Süße | fehlt | mittel | Intensiv |
| f. Gesamteindruck Textur | unangenehm | mittel | Angenehm |
| g. Faserigkeit | stark | mittel | Schwach |
| h. Saftigkeit | fehlt | mittel | Intensiv |

1.2.4. Bestimmung des Feigendurchmessers

Die Größe der Feigen stellt nach türkischen und amerikanischen Standards (ANONYM 2001 und 2002) ein wichtiges Kriterium zur Bestimmung der Qualitätsstufe und der -klasse dar. Für die vorliegenden Untersuchungen wurden von jeder Behandlungsvariante 30 Stichproben entnommen. Jede Feige wurde an zwei Punkten im Äquatorialbereich mit einer digitalen Schieblehre vermessen. Mit den Messdaten wurden die Mittelwerte sowie die Standardabweichungen berechnet.

1.2.5. Farbbestimmung mit L*a*b*-System

Um über einen objektiven Indikator den Verbräunungsgrad der Feigen zu bestimmen, wurde in der vorliegenden Arbeit das L*a*b*-Farbmaß-System des Croma-Meter 200b von MINOLTA herangezogen, das alle Farben des sichtbaren Farbspektrums in einen genormten Zahlencode umwandelt. Der L*-Wert (Indikator

für Helligkeit) sowie die Farbspektren a^* (Grün-Rot) und b^* (Blau-Gelb) wurden an jeweils 15 Feigen pro Behandlung an jeweils drei Messpunkten pro Frucht (zwei Messpunkte im Äquatorialbereich der Frucht und einen Messpunkt an der Fruchtbasis) ermittelt. Die Farbsättigung (C^* -Wert) wurde nach MC GUIRE (1992) mit der Formel $C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$ berechnet.

1.2.6. Bestimmung der Trockensubstanz

In getrockneten Feigen sollte der Wassergehalt nicht höher als 25 % sein (ANONYM 2002b). Die Trockensubstanz-Analysen (TS-Analysen) wurden im Labor des Lehrgebiets Produktqualität/Qualitätssicherung des Instituts für Gartenbauwissenschaften an der Humboldt-Universität zu Berlin durchgeführt. Von den zerkleinerten Feigen wurden etwa 40 – 50 g schwere Stücke in Aluminiumdosen gewogen und 48 Std. bei 105°C im Trockenschrank bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Anschließend wurden die getrockneten Feigenproben noch einmal gewogen und die Mittelwerte mit der Standardabweichung berechnet. Auf diese Weise wurde der Wasserverlust und damit die TS der getrockneten Feigen bestimmt. Als Formel wurde

$$TS (\%) = \frac{n. T. (g)}{v. T. (g)} \times 100$$

eingesetzt, wobei n. T. für "Gewicht nach dem Trocknen" und v. T. für "Gewicht vor dem Trocknen" der Feigen steht.

Zur Bestimmung der wasserlöslichen Trockensubstanz (= °Brix = **B**rechungsindex für Zucker) wurden pro Behandlung 10 g zerstückelte Feigen mit 40 ml destilliertem Wasser versetzt und mit einem Ultra-Turrax zerkleinert, so dass ein 20%-iges Homogenat entstand. Die neun Homogenate wurden jeweils 10 Minuten bei 14°C bei 7000 U min⁻¹ zentrifugiert. Jedem Homogenat wurde mit einer Pipette 5-ml-Lösung entnommen und in dieser Probe mit dem Refraktometer (ATOPO PR-101) der °Brix bzw. Zuckergehalt (%) ermittelt.

1.2.7. Bestimmung von pH-Wert und Citronensäuregehalt

Wie bei der °Brixmessung wurden 9 Homogenate à 5 ml zentrifugiert und zunächst der pH-Wert der Proben mit einem pH-Meter (pH-Meter 526, Fa. WTW) ermittelt. Anschließend wurden die Homogenate mit 0,05 N NaOH bis zu pH 8,2 titriert. Die Hauptsäure (Citronensäuregehalt in %) wurde in dem 20%-igen Homogenat der Feigen berechnet. Darüber hinaus wurde das Zucker-Säure-Verhältnis errechnet.

1.2.8. Zuckeranalyse

Zur genauen Ermittlung des Einflusses der CO₂-Behandlungen auf den Zuckergehalt der getrocknete Feigen wurden die Gehalte an Glucose, Fructose und Saccharose mit Hilfe der Hochdruckflüssigkeitschromatographie (HPLC, Firma Bischoff Leonberg) in Anlehnung an die Methode von FISCHER (1999) bestimmt. Trennsäule: Waters-Spherisorb Amino 3,0 µm; 250 × 3,0 mm; Fließmittel: 85%-iges Acetonitril; Detektion: RI-Detektor.

Zur Probenvorbereitung wurden ca. 150 g zerstückelte getrocknete Feigen in eine Alufolie gewickelt und in flüssigem Stickstoff ca. 30 min bei ca. -196°C eingefroren. Für die Ethanolextraktion wurden ca. 6 g gefrorenes Probenmaterial mit 25 ml 80%-igem Ethanol versetzt, das Gesamtgewicht ermittelt und mit dem Ultra-Turrax auf der höchsten Rotationsstufe homogenisiert. Während des Rührens wurde ca. 8 g Homogenat mit einer Spritze abgenommen und in ein vorgewogenes 10 ml-Zentrifugenröhrchen dosiert. Anschließend wurde das Probematerial 20 min im Schüttelwasserbad bei 70°C gemischt. Anschließend erfolgte über 15 min eine Zentrifugierung bei 3000 U/min. Die Überstände wurden in 50 ml Erlenmeyerkolben überführt. Die Pellets wurden mit 5 ml 80%-igem Ethanol aufgerührt. Die Ethanolextraktion wurde dreimal wiederholt. Nach der letzten Extraktion und Zugabe von 2 ml Aquadest (HPLC-Wasser) wurden die Proben mit Parafilm verschlossen und der Rest des Homogenats in Schraubgläschen bis zur Weiterverarbeitung im Gefrierschrank bei -6°C aufbewahrt.

Die Überstände wurden jeweils in einen 50 ml Rundkolben überführt und der Erlenmeyerkolben mit 2×1 ml 80%-igem Ethanol gespült. Anschließend erfolgte bei 40°C Wasserbadtemperatur ein Einengen am Rotationsverdampfer: zunächst bei ca. 120 mbar und später bei ca. 30 mbar.

Die bis zur Trocknung eingeengte Probe wurde in 1,4 ml HPLC-Wasser aufgenommen und im Schwingschüttler bei 4×15 min gelöst. Die Enteiweißung wurde durch Zugabe von 0,7 ml gesättigter Bleiacetat-Lösung erreicht. Es erfolgte die Überführung in ein 10 ml Zentrifugengefäß und Zentrifugieren für ca. 20 min bei 3000 U / min. Der Überstand wurde in zwei mit ca. 0,7 g Mischbettionenaustauscher V gefüllte Eppendorf Pipetten gefüllt. Anschließend wurden diese im Ständer 30 min im Schwingschüttler kräftig bewegt (alle fünf Minuten erfolgte ein fünfminütiger Stillstand). Die Flüssigkeit wurde mit einer Pipette abgenommen und sehr langsam durch Altech Clean Säulen (18°C) in ein 2 ml Eppendorf-Gefäß gepresst. Die Proben wurden bis zur Verwendung eingefroren. Die aufbereiteten Proben wurden in der HPLC-Anlage analysiert. Die Feigenproben wurden aufgrund des hohen Zuckergehaltes 1:10 mit Aquadest verdünnt.

1.2.9. Pektinanalyse

Zur Bestimmung der wasserlöslichen, unlöslichen und EDTA-löslichen Pektinfraktion erfolgte die Zellwandextraktion nach MCCOMB und MCCREADY (1952), BLUMENKRANTZ und ASBOE-HANSEN (1973) und HUYSKENS (1991).

20-25 g tiefgefrorenes Probenmaterial wurde mit einem Gemisch aus 50 ml 99%-igem Aceton und 50 ml 75%-igem Ethanol versetzt und 5 min mit dem Ultra-Turrax homogenisiert. Anschließend wurde das Material 30 min gekocht und mit Blaubandfilter Nr. 589/3 (Durchmesser 150 mm), vakuumfiltriert. Die Filtrerrückstände wurden zweimal mit 99%-igem Aceton, zweimal mit 20 ml Ethanol und zuletzt nochmals mit 150 ml 99%-igem Aceton gewaschen. Der weiße Rückstand wurde quantitativ vom Filter in ein vorgewogenes Wagegläschen überführt und 24 Std. bei 70°C getrocknet.

Die getrocknete Substanz (AIS) wurde gewogen, gemahlen und als AIS für weitere Pectinextraktionen verwendet. 100 mg AIS-Probe wurden mit 20 ml Aquadest versetzt und bei Raumtemperatur eine Stunde mit dem Magnetrührer gerührt. Anschließend wurde der pH-Wert mit verdünnter Essigsäure (Verdünnungsverhältnis 1:2) auf 4,5 eingestellt. Die Probe wurde mit 0,1 ml Pektinaseverdünnung versetzt. Das entsprach 20 µg Pektinase (Pectinex Ultra SP-L, Fa. Novo Nordisk Ferment, CH). Nach einstündiger Reaktionszeit wurden die Proben bei 11000 U/min zentrifugiert (Biofuge / 22 R / Heraeus). Quantitativ wurde der Überstand nach Durchlaufen von Miracloth-Filtern in 50 ml Messkolben überspült und mit 0,5%-iger EDTA (pH 4,5) aufgefüllt. Es erfolgte nochmalige Filtration durch Faltenfilter. Die Pellets wurden anschließend für die Bestimmung der EDTA-löslichen Pektinfraktion verwendet.

Für die spektralphotometrische Bestimmung wurden von jeder Probe 0,2 ml (n = 3) abgenommen und mit 0,8 ml 0,5%-iger EDTA (pH 6,0) versetzt. Diesen Proben wurde unter Rühren eiskalte konzentrierte Schwefelsäure zugesetzt, woraufhin sie 10 Minuten im Wasserbad gekocht und anschließend abgekühlt wurden. Nach Zugabe von 0,1 ml 0,15%-iger MHDLP-Lösung wurden die Proben kräftig über Kopf geschüttelt. 20 Minuten später erfolgte die photometrische Messung bei 520 nm (UV/VIS-8730). Dabei wurde der Gehalt an Galakturonsäure (Gal. A.) bestimmt. Als Standard diente D-Galakturonsäure (5 µg zu 80 µg/ml; Sigma D 4288).

Die Berechnung erfolgte mit folgenden Formeln;

$$\mu\text{g Gal. A.} / \text{mg AIS} = \frac{50 \times \mu\text{g Gal. A. (Messwert)}}{\text{ml Probe} \times 100} \quad \text{(nur bei einer Probennahme von 0,2 ml von 50 ml)}$$

$$\mu\text{g Gal. A.} / \text{mg TS} = \frac{\mu\text{g Gal. A. (pro mg AIS)} \times \text{g AIS ges.}}{\text{g E. TS}}$$

1.2.10. a_w -Test

Die Wasseraktivität (auch a_w -Wert oder activity of water) ist ein Maß für frei verfügbares Wasser in einem Material. Sie ist definiert als Quotient des Wasserdampfdrucks über einem Material (p) zu dem Wasserdampfdruck über reinem Wasser (p_0) bei einer bestimmten Temperatur ($a_w = p/p_0$). Der a_w -Wert ist ein wichtiges Maß für die Haltbarkeit von Lebensmitteln, da insbesondere Mikroorganismen, die potentiell schädlich sein könnten (Verderbniserreger, Schimmelpilze), für Stoffwechselaktivitäten freies Wasser benötigen. Bei Mangel an freiem Wasser werden die Wachstumsprozesse von Mikroorganismen verlangsamt, empfindliche Mikroben können gar sterben (BROWN 1990). Die Untersuchungen des a_w -Wertes wurden am Institut für Agrartechnik in Potsdam-Bornim durchgeführt. Mit dem Korkbohrer wurden Stücke aus der Feige gestochen und in einen tiefen Probenhalter der Wescor C-52 Kammern eingefügt. Die Messung erfolgte psychrometrisch mit einem Wescorgerät (C-52 einschl. switch box und HR33T). Hierbei wurde ein Thermoelement über einem weiteren, in dem 2. Probenhalter des Wescor befindlichen und mit destilliertem Wasser getränkten Filterpapier 180 s abgekühlt, über die Feigenscheibe gebracht, die in dieser Zeit mit Alufolie dicht abgedeckt und solange weiter gekühlt wurde, bis der Signalanstieg fast maximal war. Dann erfolgte die eigentliche psychrometrische Messung.



Abb. 8: Getrocknete Feige, mit dem Korkbohrer ausgestochen



Abb. 9: Das Wescogerät Model C-52 einschließlich switch box

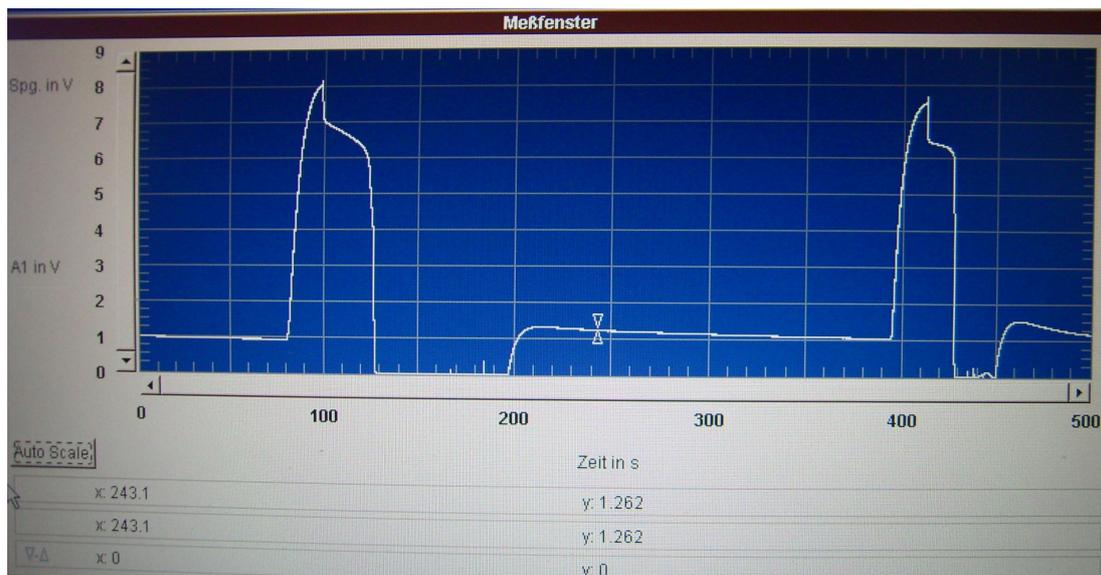


Abb. 10: Messdaten vom aw-Test in Spannung (V) und Zeit (s)

1.2.11. Statistische Analyse

Die Ergebnisse der sensorischen Analyse aller Panellisten bzw. Testpersonen wurden in eine Notenskala eingetragen und mit Hilfe von MS Office Excel™ in einem Spinnendiagramm dargestellt. Da die einzelnen Merkmale getrockneter Feigen wie optische Erscheinung, Verbräunung, Auszuckerung, usw. gleichzeitig und nicht unabhängig bonitiert wurden, wurde keine statistische Analyse durchgeführt. Die Ergebnisse wurden als Mittelwerte ohne Streuung dargestellt.

Die Ergebnisse der Laboruntersuchungen (L*a*b*-Farbe, Zucker, pH-Werte, Citronensäure, °Brix, Trockensubstanz, Pektin, a_w) wurden durch Ermittlung der Mittelwerte und der Standardabweichungen ausgewertet. Mit Hilfe des Student's Zweistichproben t-Test wurde unter der Annahme unterschiedlicher Varianzen die 95%-ige Signifikanz ($\alpha = 0,05$) geprüft. Darüber hinaus wurde eine ein- bzw. mehrfaktorielle ANOVA ($\alpha = 0,05$) mit Pos Hoc Tests mit Hilfe der Statistiksoftware SPSS 13.0 für Windows™ durchgeführt. Grafische Darstellungen und Tabellen wurden mit Microsoft Office Excel™ erstellt.

1.3. Ergebnisse

1.3.1. Sensorische Analyse behandelter und unbehandelter Feigen

Zum Zeitpunkt der Untersuchung waren die Feigen der Ernte 2004 bereits 9 Monate lang bei der Importeurfirma bei 14°C gelagert worden. Die optische Erscheinung dieser Feigen wurde von den Panellisten als mangelhaft eingestuft. Alle Feigen wiesen eine ledrige Haut und nicht mehr die feigentypische Farbe auf.

An Feigen ohne Behandlung waren starke Auszuckerungen sichtbar. Die innere Struktur war einheitlich faserig und trocken. Das Aroma war jedoch feigentypisch, die Feigen schmeckten süß. Die unbehandelten Proben dieser Feigen wiesen eine starke Auszuckerung, aber eine niedrige Verbräunung auf. Während die Noten für Verbräunung bei 4,5 lagen, lagen sie für Auszuckerung bei ca. 0,5. Die Noten für das Aroma, die Süße, die Textur, die Faserigkeit und die Saftigkeit lagen zwischen 1,5 und 3,5 (Abb. 10 und 11).

Die Feigen, welche lediglich einmal mit Hochdruck-CO₂ behandelt worden waren, waren ungleichmäßig ausgefärbt und zeigten hellere und dunklere Flecken (Abb. 10). Sie waren durchweg stark ausgezuckert, hatten einen noch ausgeprägteren süßen Geschmack (Note = 4) als die unbehandelten Proben und eine saftige Konsistenz (Note = 4). Die Noten für Verbräunung und Auszuckerung lagen jeweils bei 2,5 und 3. Die Textur, Faserigkeit und Saftigkeit wurde jeweils mit 3 benotet (Abb. 11).

Die Feigen mit zweimaliger Hochdruck-CO₂-Behandlung zeigten eine geringfügige Auszuckerung (Note = 5), waren aber stark verbräunt (0,5) und hatten eine weiche Gewebestruktur. Das Probenmaterial hatte im Gegensatz zu den unbehandelten Proben und den Proben mit einmaliger Behandlung einen bitteren Geschmack (Note = 0) und eine saftige Konsistenz. Das Fruchtfleisch wies keine Fasern auf und hatte eine klebrige Struktur.



Abb. 11: Feigen der Ernte 2004 für die Sensorik

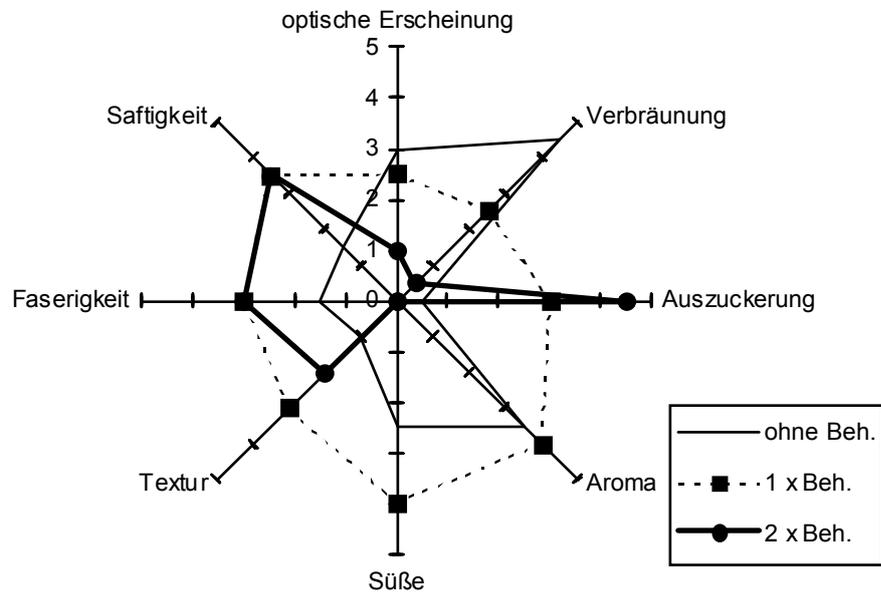


Abb. 12: Die Ergebnisse der Feigen aus der Ernte 2004

Bei erster Auslagerung nach vier Wochen wurden alle Proben der Feigen aus der Ernte 2005 in allen Kriterien überdurchschnittlich gut bewertet. Die sensorischen Untersuchungen zeigten, dass die Qualität dieser Feigen bei 5°C nach vierwöchiger Lagerung nicht stark beeinträchtigt waren. Die unbehandelten Feigen wurden in allen Kriterien, außer Verbräunung, stets mit über 4 bonitiert. Hier wurden besonders die einmal behandelten Feigen niedriger benotet (Abb. 13 und 14).



Abb. 13: Feigen der Ernte 2005 nach vier Wochen Lagerung bei 5°C

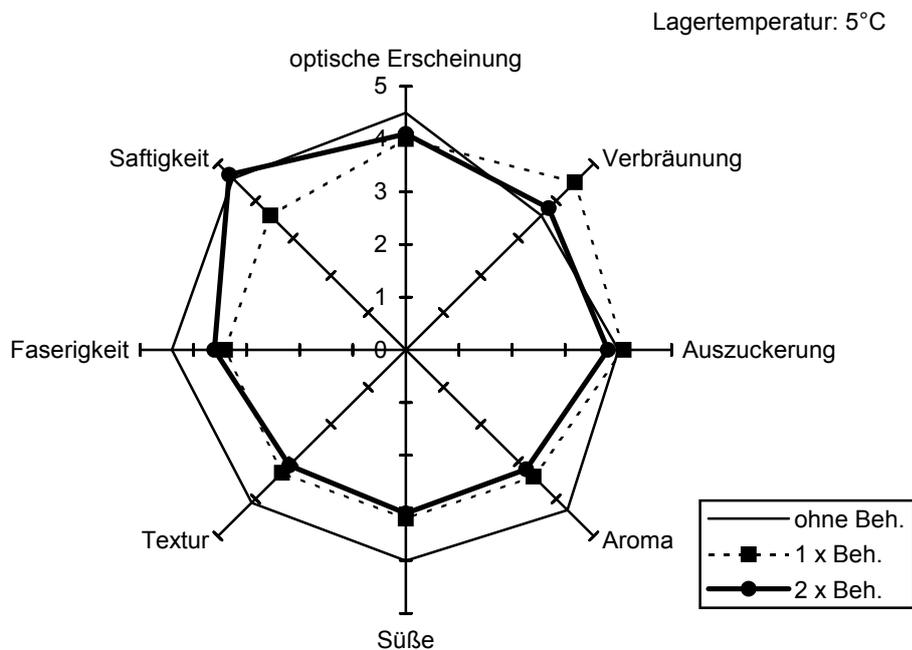


Abb. 14: Ergebnisse des Sensoriktests der für vier Wochen bei 5°C gelagerten Feigen

Nach der zweiten Auslagerung wurden bei den Feigen, die bei 5°C gelagert wurden, einige Veränderungen festgestellt. Obwohl die Feigen nach vier- und achtwöchiger Lagerung bei 5°C beinahe ununterscheidbar aussahen (vergl. Abb. 13 und 15), wurden die sensorischen Eigenschaften der gelagerten Feigen im Vergleich dazu niedriger bewertet (vergl. Abb. 14 und 16). Den Ergebnissen der sensorischen Analyse zufolge waren nach achtwöchiger Lagerung die unbehandelten Proben (Kontrolle) nicht besser als die behandelten. Das Diagramm zeigt, dass die nach acht Wochen untersuchten Eigenschaften deutlich schlechter als nach vierwöchiger Lagerung beurteilt wurden (Abb. 17).



Abb. 15: Feigen der Ernte 2005 nach acht Wochen Lagerung bei 5°C

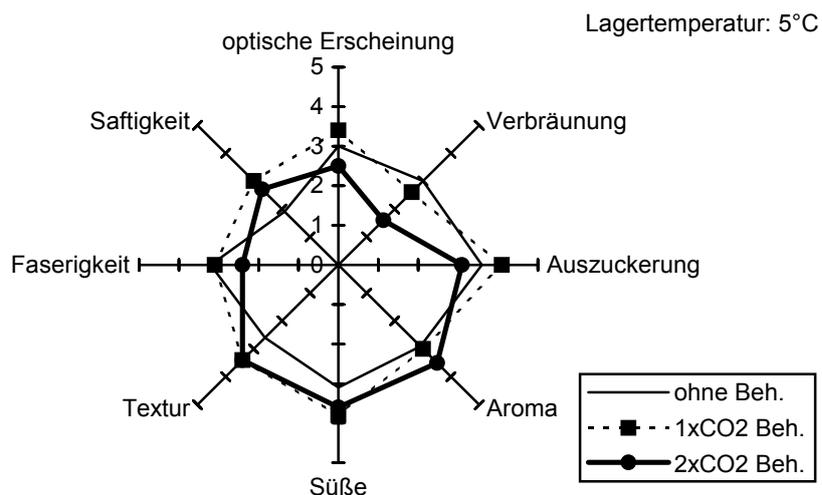


Abb. 16: Ergebnisse des Sensoriktests der bei 5°C gelagerten Feigen der Ernte 2005 nach acht Wochen

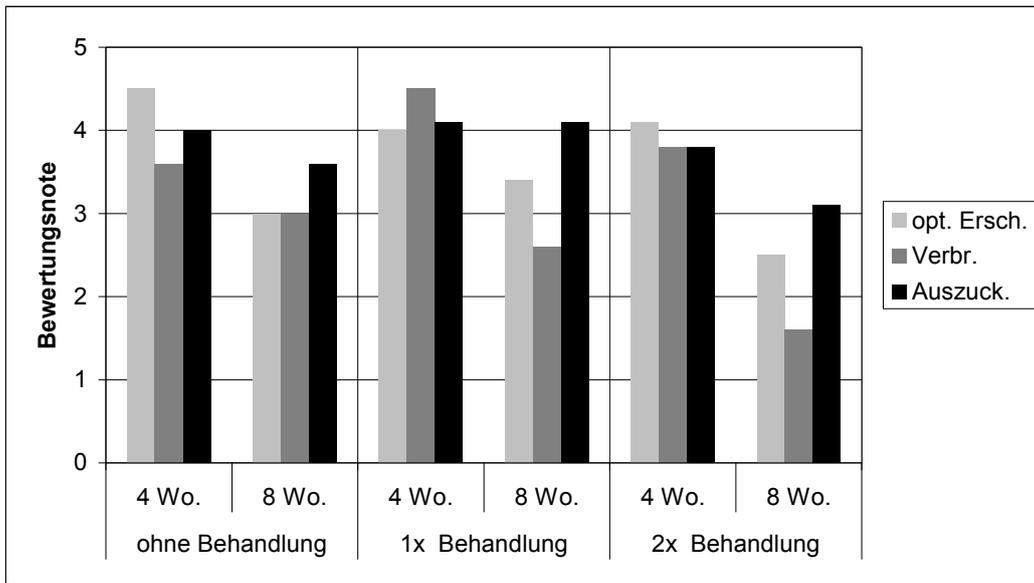


Abb. 17: Der Vergleich der Sensorik-Ergebnisse (Abb. 13 und 15) gemäß der optischen Eigenschaften nach vier und acht Wochen Lagerung bei 5°C

Die Untersuchungen der Feigen des Erntejahres 2005 zeigten nach vier Wochen Lagerung bei 14°C im Vergleich zu den bei 5°C gelagerten Feigen etwas schlechtere Eigenschaften, sahen aber ununterscheidbar aus (Abb. 17). Die unbehandelten Feigen wiesen hier die besten Noten auf. Die Noten der unbehandelten Proben für alle sensorischen Kriterien, außer Auszuckerung, Aroma und Süße lagen zwischen 3 und 4. Die behandelten Feigen wurden dagegen mit schlechteren Noten bewertet.



Abb. 18: Feigen der Ernte 2005 nach vier Wochen Lagerung bei 14°C

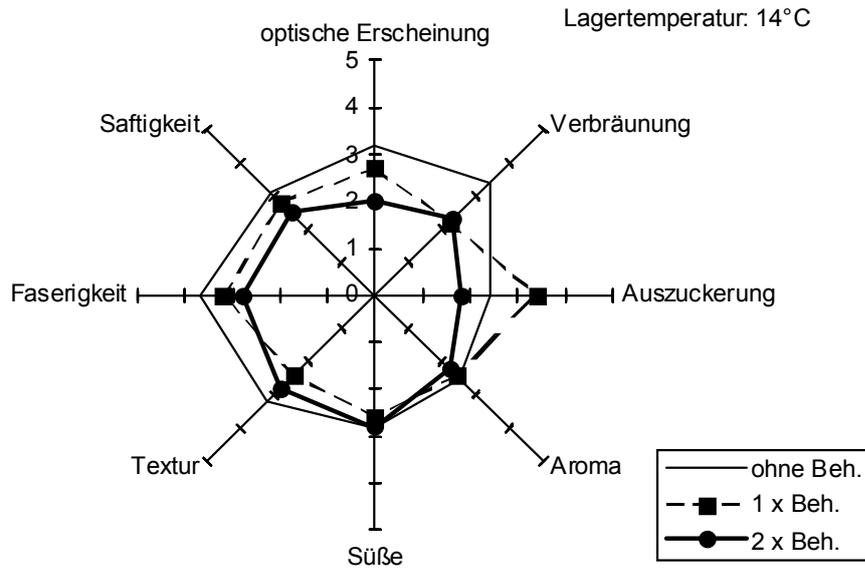


Abb. 19: Ergebnisse des Sensoriktests der bei 14°C gelagerten Feigen nach vier Wochen

Die Feigen der Ernte 2005 zeigten nach achtwöchiger Lagerung bei 14°C ein stark verbräuntes optisches Aussehen (Abb. 20). Während die Noten für Verbräunung bei allen Varianten unter 3 lagen, erhöhte sich die Noten für Auszuckerung etwas (zwischen 2,5 und 4). Andere Kriterien waren überwiegend im Mittelbereich (Abb. 21).



Abb. 20: Feigen der Ernte 2005 nach acht Wochen Lagerung bei 14°C

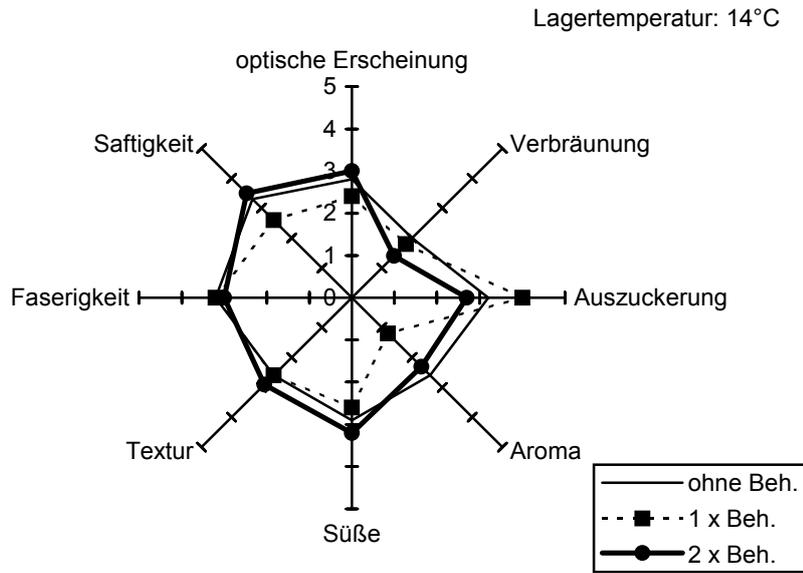


Abb. 21: Ergebnisse des Sensoriktests der bei 14°C gelagerten Feigen nach acht Wochen

Die optischen Eigenschaften der Feigen aus vier- und achtwöchiger Lagerung bei 14°C waren unterschiedlich. Die einmal mit CO₂ behandelten Feigen bekamen deutlich bessere Noten für Auszuckerung (Abb. 22).

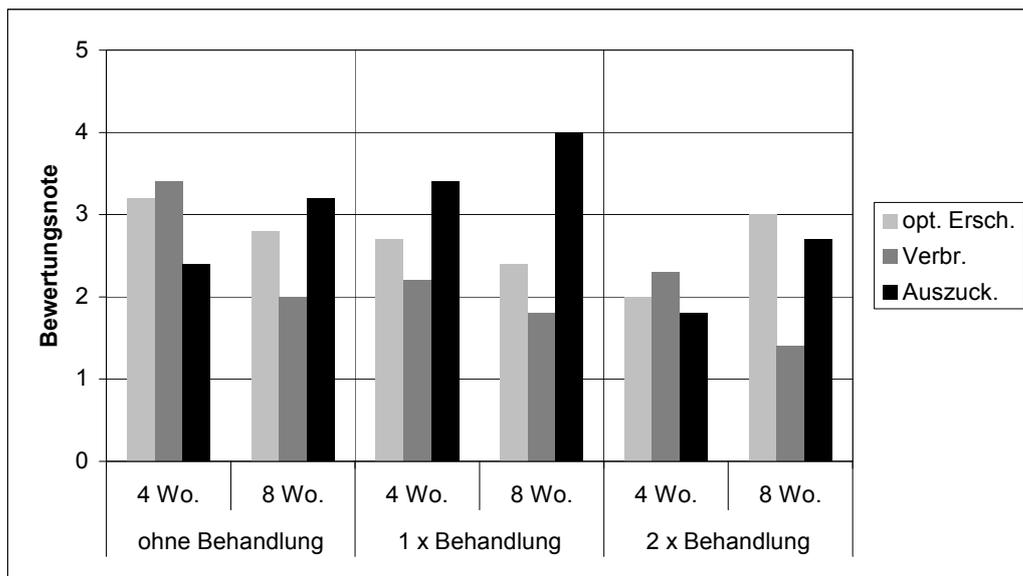


Abb. 22: Der Vergleich der Sensorik-Ergebnisse (Abb. 18 und 20) gemäß der optischen Eigenschaften nach vier und acht Wochen Lagerung bei 14°C

1.3.2. Feigendurchmesser

Die Feigen aus der Ernte 2004 waren etwas größer als die Feigen des Folgejahres, zeigten aber keine signifikanten Unterschiede (Abb. 23). Beide Feigenvarianten hatten eine einheitliche Standardgröße, die in den Feigenstandards definiert wird (ANONYM, 1967 und ANONYM, 2002b).

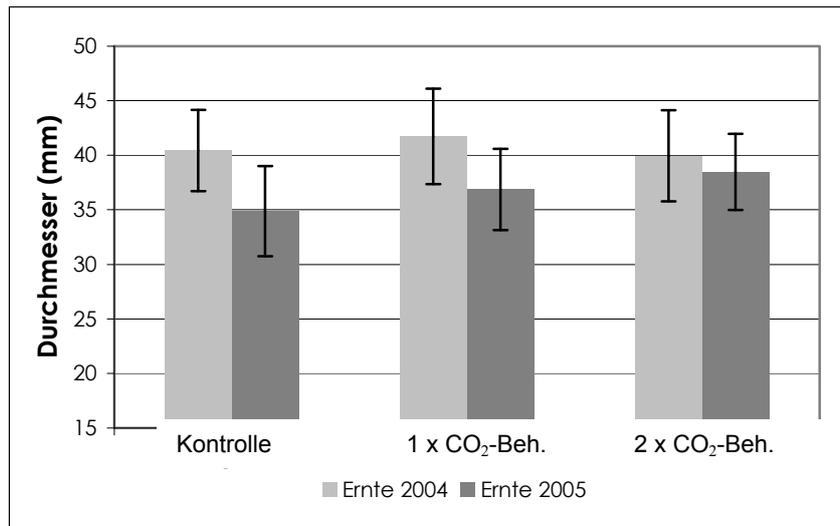


Abb. 23: Feigendurchmesser in mm (Ernte 2004 und der Ernte 2005 (n=30))

1.3.3. Farbanalyse (L^* a^* b^*) und Verbräunungsgrad CO₂-behandelter Feigen

Die Farbmessungen mit dem $L^*a^*b^*$ -System, deren Ergebnisse Indikatoren für den Verbräunungsgrad darstellen, zeigten, dass die Helligkeit (L^* -Werte) der Feigen mit zunehmender Anzahl der CO₂-Behandlungen tendenziell abnahm (Abb. 24); statistisch waren die Unterschiede aber nicht signifikant. Somit waren Feigen ohne Behandlung der Tendenz nach heller, d. h. sie zeigten keine Verbräunungen im Vergleich zu den Feigen nach zweifacher CO₂-Behandlung, die zu leicht dunkel ausgefärbten bzw. verbräunten Feigen führte. Bei der Farbsättigung (c^* -Wert) konnten ebenfalls keine statistisch gesicherten Unterschiede für die unterschiedlich behandelten Feigen ermittelt werden, d.h. die Kohlendioxidbehandlung zeigte insgesamt keine deutlichen Auswirkungen auf die Verbräunung.

Die Ergebnisse zeigten, dass beide Feigenproben aus den Ernten 2004 und 2005 während der Lagerung dunkler geworden waren. Ebenfalls zeigten die Feigen bei höherer Lagertemperatur und mit einmaliger CO₂-Behandlung höhere Verbräunungen als solche nach anderen Behandlungen und Lagerbedingungen. Die Abb. 24 zeigt, dass die Feigen aus der Ernte 2004 nach neunmonatiger Lagerung bei 14°C die niedrigste Helligkeit (L*-Wert) bzw. höchste Verbräunung aufwiesen.

Die Farbsättigung variierte zwischen den unterschiedlichen Behandlungsvarianten. Sie war bei einmal behandelten Feigen niedriger als bei den anderen Feigen. Die Unterschiede bzgl. der Farbsättigung zwischen den einmal und zweimal bzw. nicht behandelten Feigen waren signifikant ($\alpha=0,05$) (Abb. 24).

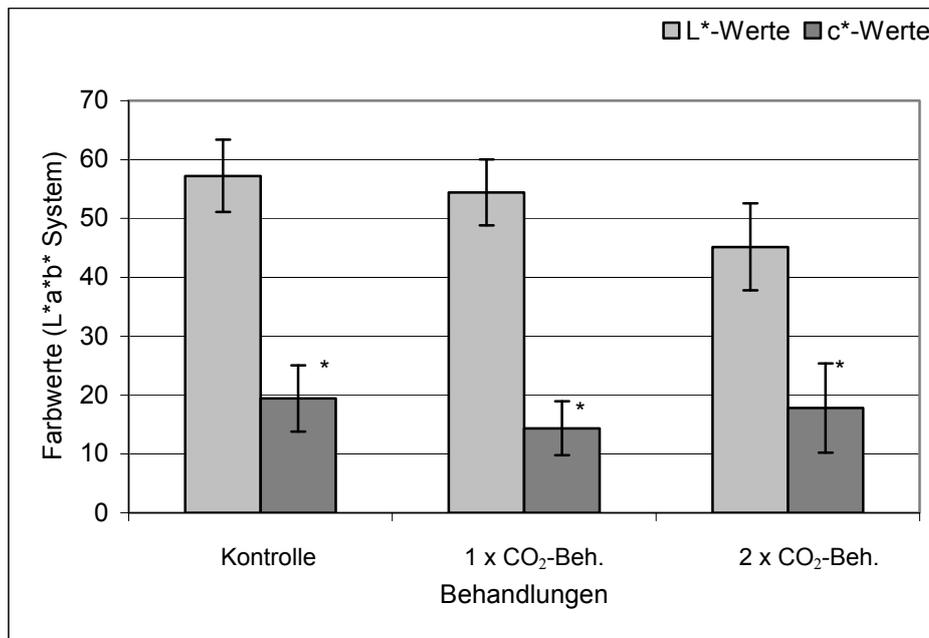


Abb. 24: L*- und c*-Werte der Feigen der Ernte 2004 (n=15)

*. Signifikant, $\alpha = 0,05$

Im Gegensatz hierzu blieben die Feigen der Ernte 2005 bei 5°C über einen Zeitraum von vier bis acht Wochen Lagerzeit hell, wurden jedoch nach 16 Wochen bei 5°C bzw. bei 14°C etwas dunkler. Alle Behandlungen der Feigen aus der Ernte 2005 waren für die Helligkeit (L*-Wert) signifikant ($\alpha = 0,05$), wobei die Lagerzeit für die Helligkeit keine signifikante Wirkung zeigte.

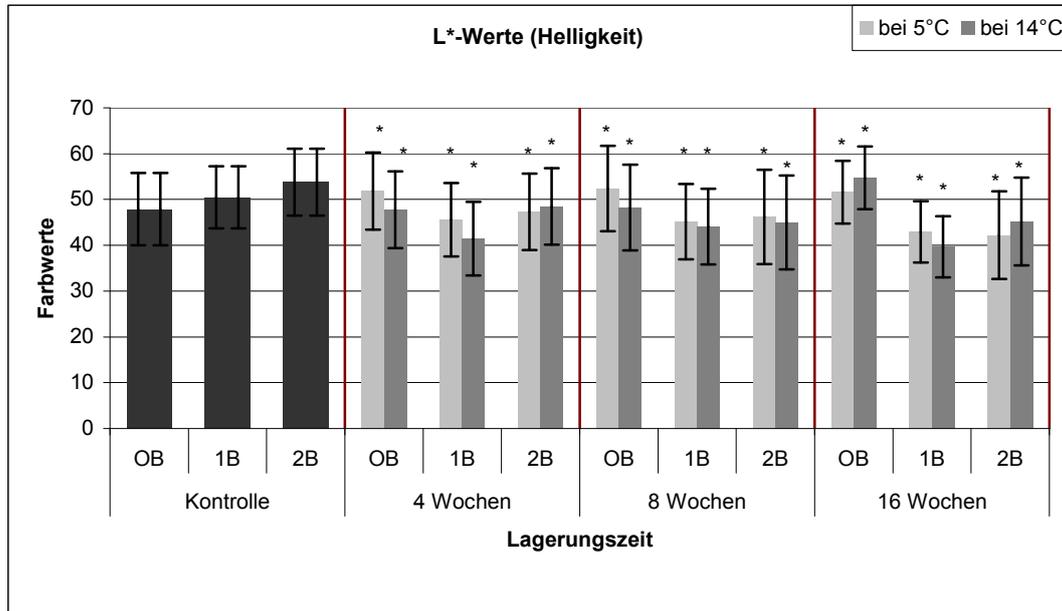


Abb. 25: L*-Werte der Feigen aus der Ernte 2005, die bei 5°C und 14°C gelagert wurden
 OB = ohne Beh., 1B = einmalige CO₂-Beh., 2B = zweimalige CO₂-Beh., (n=15)
 *. Signifikant, $\alpha = 0,05$

Die Farbsättigung (c*-Wert) war bei den Feigen der Ernte 2005 nach 16 Wochen dementsprechend niedriger (Abb. 24). Die unbehandelten Feigen zeigten signifikante Unterschiede gegenüber den ein- und zweimal behandelten Feigen ($\alpha = 0,05$). Auch hier hatte die Lagerzeit keine signifikante Wirkung auf die Farbsättigung (c*-Wert) auf dem Niveau 0,05.

Ein Post Hoc Test wurde für die Temperatur bei den L*- und c*-Werten nicht durchgeführt, weil weniger als zwei Temperaturgruppen untersucht wurden. Eine einfaktorielle ANOVA zeigte aber, dass die Temperatur für beide Werte signifikant war ($\alpha = 0,05$).

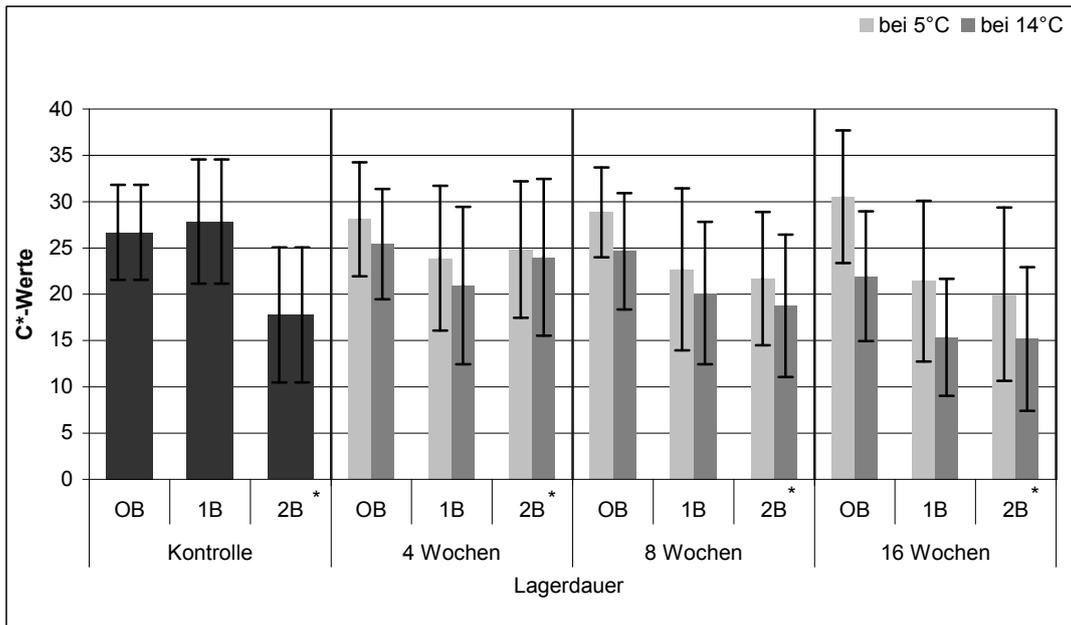


Abb. 26: c*-Werte der Feigen aus der Ernte 2005, die bei 5°C und 14°C gelagert wurden
 OB = ohne Beh., 1B = einmalige CO₂-Beh., 2B = zweimalige CO₂-Beh. (n=15)
 *. Signifikant, $\alpha = 0,05$

1.3.4. Trockensubstanz von Feigen nach CO₂-Behandlung

Die Trockensubstanz der Feigen mit zweimaliger CO₂-Behandlung war statistisch gesehen mit 73,99 % gegenüber ohne und einmaliger Behandlung am höchsten. Sie wiesen die geringsten Wassergehalte gegenüber den nicht behandelten Varianten auf, die eher niedrige Trockensubstanzgehalte mit höheren Wassergehalten enthielten. Die Effekte der zweimaligen CO₂-Behandlung bei den Feigen aus 2004 waren gegenüber den unbehandelten und einmal behandelten Feigen auf dem Niveau 0,05 signifikant (Abb. 27).

Die Feigen aus der Ernte 2005 hatten nach 16-wöchiger Lagerung bei 14°C ein bis zwei Prozent mehr Trockensubstanz als die bei 5°C gelagerten Feigen. Die Unterschiede waren aber statistisch nicht signifikant. Die Lagerzeit und die Temperatur hatten auf die Trockensubstanzgehalte der Feigen der Ernte 2005 keinen signifikanten Einfluss ($\alpha=0,05$) (Abb. 28).

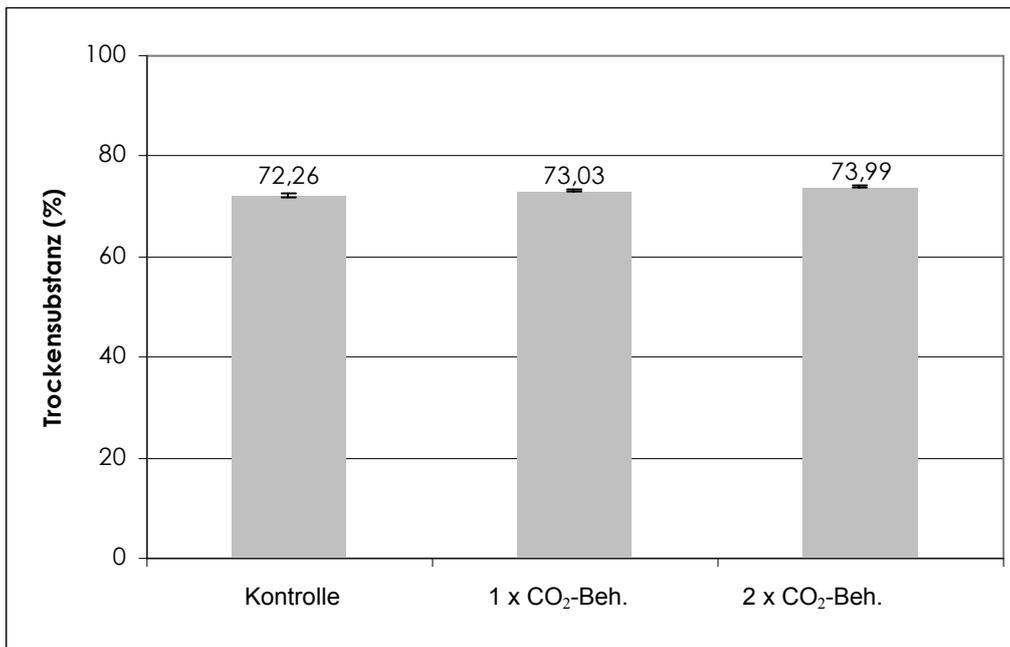


Abb. 27: Trockensubstanz (%) der Feigen der Ernte 2004 (n=30)

keine Signifikanz auf der Stufe $\alpha = 0,05$

Fehler! Es ist nicht möglich, durch die Bearbeitung von Feldfunktionen Objekte zu erstellen.

Abb. 28: Trockensubstanz (%) von Feigen aus der Ernte 2005 bei 5°C und 14°C Lagerung

OB = ohne Beh., 1B = einmalige CO₂-Beh., 2B = zweimalige CO₂-Beh. (n=15)

* Signifikant, $\alpha = 0,05$

1.3.5. Lösliche Trockensubstanz (°Brix)

Die lösliche Trockensubstanz, bestimmt als °Brix= **Berechnungsindex** für Zucker, wurde von der CO₂-Behandlung und der Lagerungszeit beeinflusst. Der erste Versuch mit den Feigen aus der Ernte 2004 zeigte, dass die Feigen ohne CO₂-Behandlung höhere °Brix-Werte (80,2 %) hatten als mit CO₂-Behandlung (71,8 % bzw. 73,5 %) (Abb. 29). Statistische Analysen zeigten keinen signifikanten Unterschied zwischen den Proben der Feigen aus der Ernte 2004 ($\alpha = 0,05$) bezüglich des °Brix-Wertes. Dagegen verdeutlicht Abb. 29, dass die behandelten Feigen aus der Ernte 2004 geringere °Brix-Werte aufwiesen als die unbehandelten Früchte.

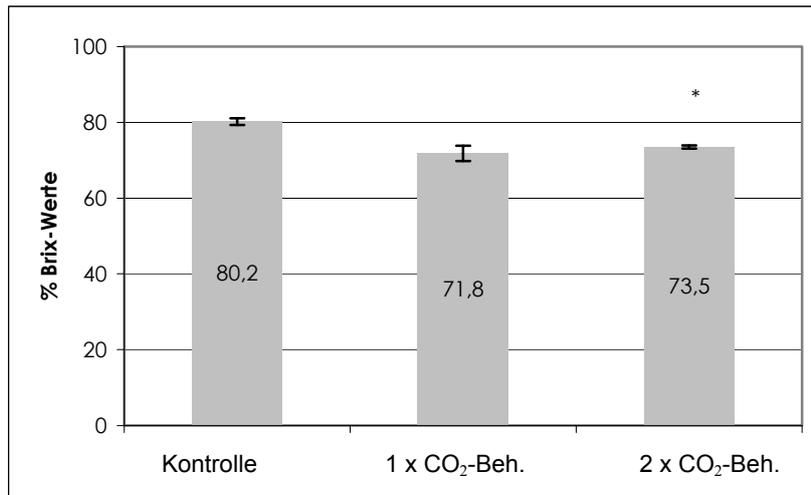


Abb. 29: Lösliche Trockensubstanz (°Brix) von Feigen aus der Ernte 2004 (n=30)

*. Signifikant, $\alpha = 0,05$

Die °Brix-Werte der Feigen aus 2005 waren im Gegensatz zur vorjährigen Ernte bei allen Behandlungen und Temperaturen fast gleich (Abb. 30). Der höchste °Brix-Wert (67,5 %) wurde in den Kontrollproben der zweimaligen CO₂-Behandlung und der niedrigste °Brix-Wert (59,3 %) in den einmal behandelten Feigen nach der Lagerung bei 5°C festgestellt. Während die Behandlungen für die °Brix-Werte der Feigen der Ernte 2005 nicht zu signifikanten Unterschieden führten, waren die Einflüsse der Lagerzeiten für alle Varianten signifikant ($\alpha = 0,05$). Die ANOVA ($\alpha = 0,05$) zeigte, dass auch die Lagertemperatur bei den °Brix-Werten zu signifikanten Unterschieden führte.

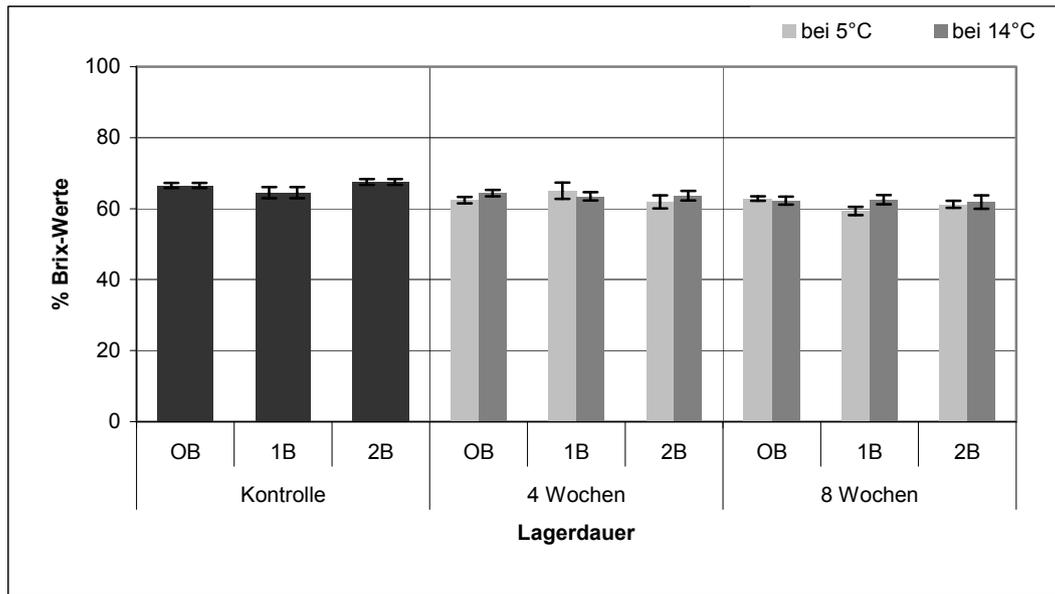


Abb. 30: °Brix-Werte in Feigen aus 2005 nach vier bzw. acht Wochen Lagerung bei 5°C und 15°C
 OB = ohne Beh., 1B = einmalige CO₂-Beh., 2B = zweimalige CO₂-Beh. (n=15)
 keine Signifikanz auf der Stufe $\alpha = 0,05$

1.3.6. pH-Wert

Die pH-Werte aller untersuchten Proben der Feigen aus der Ernte 2004 waren niedriger als 5 und wurden als sauer eingestuft ($\text{pH} < 7$). Während die unbehandelten und einmal behandelten Feigen mit 4,95 gleiche pH-Werte aufwiesen, zeigten die zweimal behandelten Feigen mit 4,77 etwas niedrigere pH-Werte (Abb. 31). Die statistische Analyse zeigte, dass die zweimalige CO₂-Behandlung einen signifikanten Einfluss auf den pH-Wert der Feigen aus der Ernte 2004 hatte ($\alpha = 0,05$). Die pH-Werte der Feigen der Ernte 2005 wiesen ebenfalls niedrigere pH-Werte auf ($\text{pH} < 7$) (Abb. 32). Der höchste pH-Wert trat bei den Kontrollvarianten mit zweimaliger CO₂-Behandlung auf und lag bei 5,08. Der niedrigste pH-Wert wurde dagegen bei den einmal CO₂-behandelten Feigen nach achtwöchiger Lagerung bei 5°C festgestellt und lag bei 4,46. Die pH-Werte der Kontrollvariante waren gegenüber 4- und 8-Wochen gelagerten Feigen auf dem Niveau 0,05 signifikant. Außerdem führte auch die zweimalige CO₂-Behandlung zu signifikanten Unterschieden ($\alpha = 0,05$). Die einfaktorielle ANOVA auf dem Niveau 0,05 zeigte, dass die Temperatur für alle Varianten keinen signifikanten Einfluss hatte.

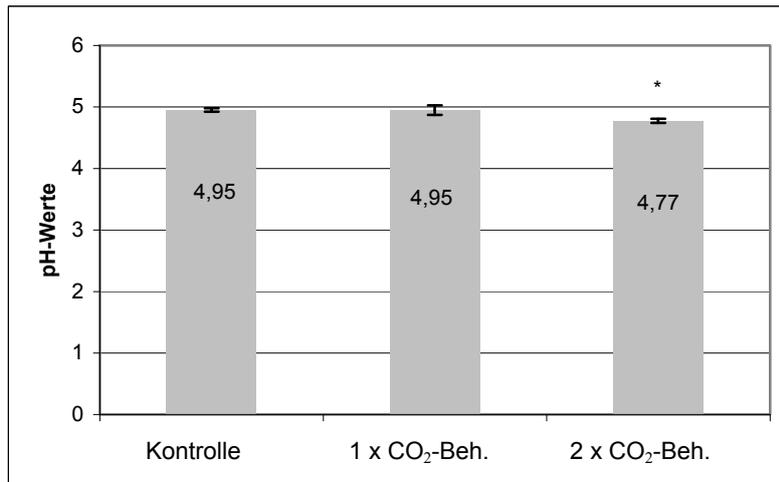


Abb. 31: Durchschnittliche pH-Werte in den Feigen der Ernte 2004 (n=30)
 *. Signifikant, $\alpha = 0,05$

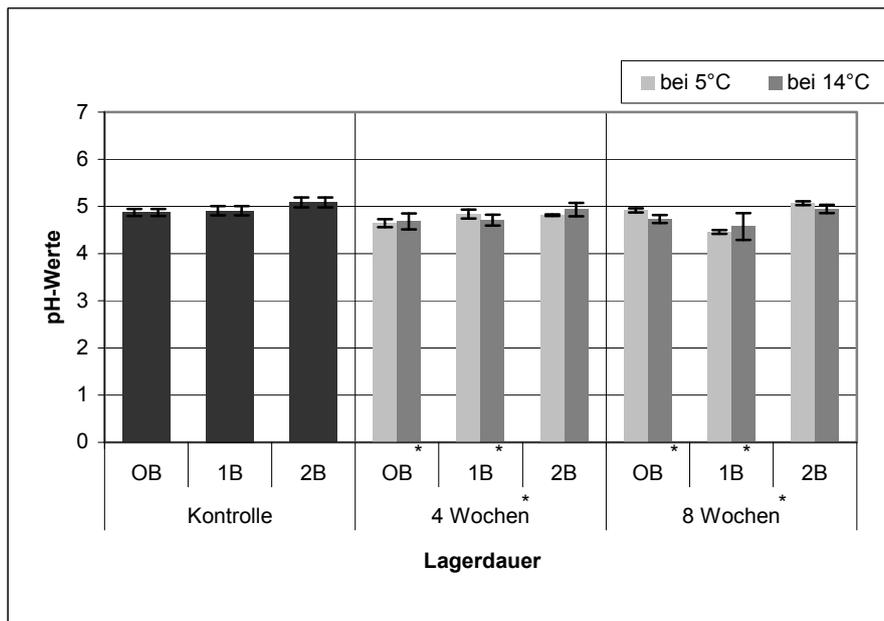


Abb. 32: pH-Werte der Feigen aus der Ernte 2005 nach Lagerung bei 5°C bzw. 14°C
 OB = ohne Beh., 1B = einmalige CO₂-Beh., 2B = zweimalige CO₂-Beh. (n=15)
 *. Signifikant, $\alpha = 0,05$

1.3.7. Citronensäuregehalt

Die Feigen der Ernte 2004 zeigten tendenziell mit Zunahme der Anzahl der Hochdruck-CO₂-Behandlungen zunehmende Gehalte an Citronensäure. Die zweimalige CO₂-Behandlung führte in den Feigen zu einem Höchstwert von 0,87 % Citronensäure im Vergleich zur Kontrolle (0,67 %) und einmaliger CO₂-Behandlung (0,82 %) (Abb. 33). Die CO₂-Behandlung hatte statistisch betrachtet keinen signifikanten Einfluss auf die Citronensäuregehalte der Feigen der Ernte 2004 ($\alpha = 0,05$). Allerdings streuten die Ergebnisse der Werte nach zweimaliger Behandlung stark (Abb. 33).

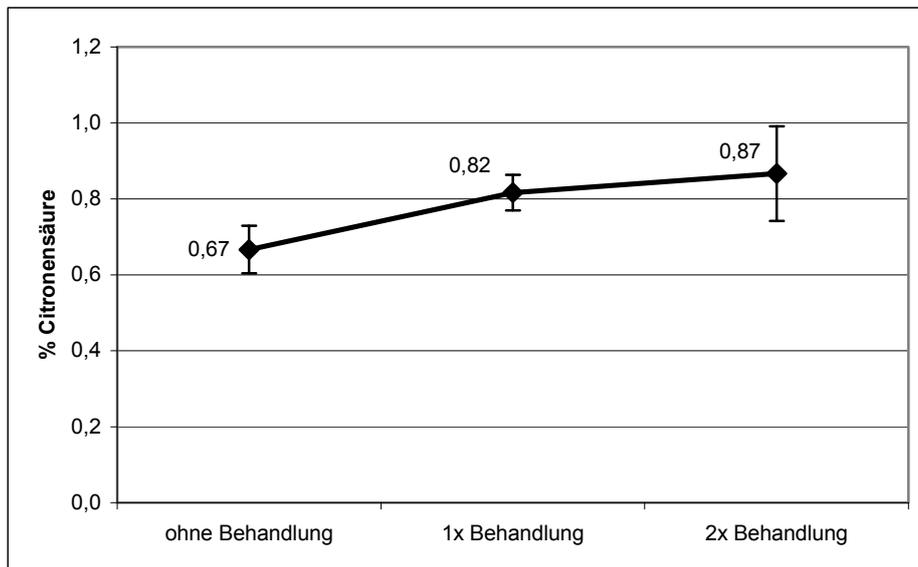


Abb. 33: Citronensäuregehalt in Feigen aus der Ernte 2004 (n=15)
keine Signifikanz auf der Stufe $\alpha = 0,05$

Im Gegensatz zu Ergebnissen mit Feigen aus der Ernte 2004 enthielten die Feigen aus 2005 nach ein- und zweimaliger Behandlung einen höheren Citronensäuregehalt. Die unbehandelten und einmal behandelten Feigen der Ernte 2005 enthielten mehr Citronensäure als die zweimal behandelten Feigen. Die unbehandelten Feigen wiesen nach vierwöchiger Lagerung bei 14°C den höchsten Citronensäuregehalt auf (0,79 %) (Abb. 34).

Den niedrigsten Citronensäuregehalt wiesen die zweimal behandelten Feigen nach achtwöchiger Lagerung bei 5°C auf. Er lag bei 0,54 %. Statistisch betrachtet waren

die Lagerzeit und die Temperatur für den Einfluss auf den Gehalt an Citronensäure der Feigen aus der Ernte 2005 nicht signifikant ($\alpha = 0,05$). Die unbehandelten und zweimal behandelten Feigen wiesen dagegen zu den einmal behandelten Feigen signifikante Unterschiede auf ($\alpha = 0,05$).

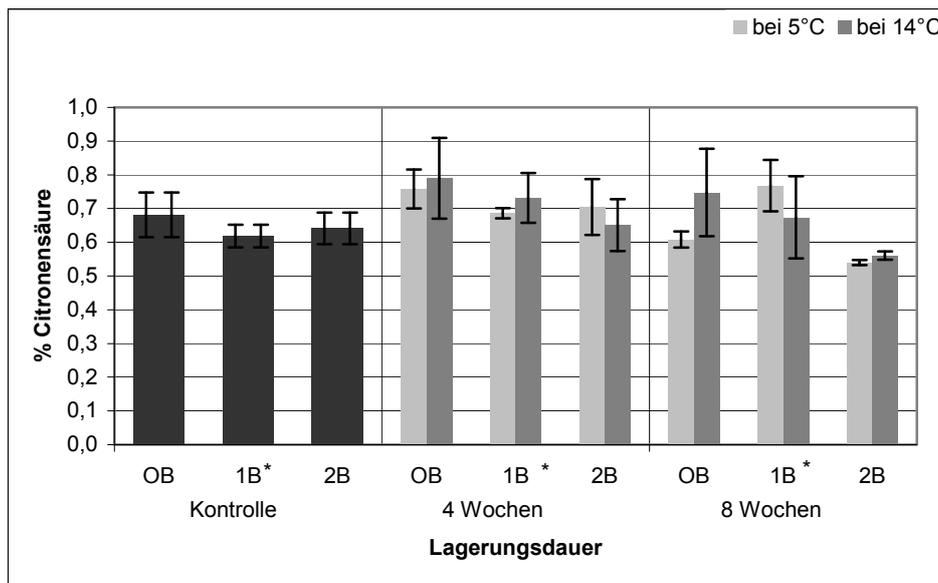


Abb. 34: Citronensäuregehalt (%) der Feigen aus der Ernte 2005 nach Lagerung bei 5°C bzw. 14°C

OB = ohne Beh., 1B = einmalige CO₂-Beh., 2B = zweimalige CO₂-Beh. (n=15)

* Signifikant, $\alpha = 0,05$

1.3.8. Zuckergehalt

Die Zuckeranalyse der Feigen aus 2004 ergab in allen Proben den Nachweis des Fehlens von Saccharose. Die Fructose- und Glucosegehalte zeigten statistisch gesichert höhere Werte bei unbehandelten Kontrollfeigen gegenüber beiden Behandlungsvarianten. Zucker mit einer sehr frühen Retentionszeit wie Rhamnose, Xylose und Arabinose konnten ausgeschlossen werden, da die eingesetzte Trennsäule für Hauptzucker (Glucose und Fructose) bestimmt war. Die statistische Auswertung zeigte, dass die CO₂-Behandlung keine signifikante Wirkung auf den Fructose- und Glucosegehalt der untersuchten Proben hatte ($\alpha = 0,05$). Die längere Lagerzeit und eine CO₂-Behandlung unter Hochdruck zeigten nur einen geringen Einfluss auf die Zuckergehalte. Die unbehandelten Feigen aus 2004 enthielten die

höchsten Gehalte an Fructose (248,46 mg/g TS) und Glucose (248,91 mg/g TS). Die einmal CO₂-behandelten Feigen enthielten die niedrigsten Gehalte an Fructose (200,47 mg/g TS) und Glucose (209,24 mg/g TS) (Abb. 35).

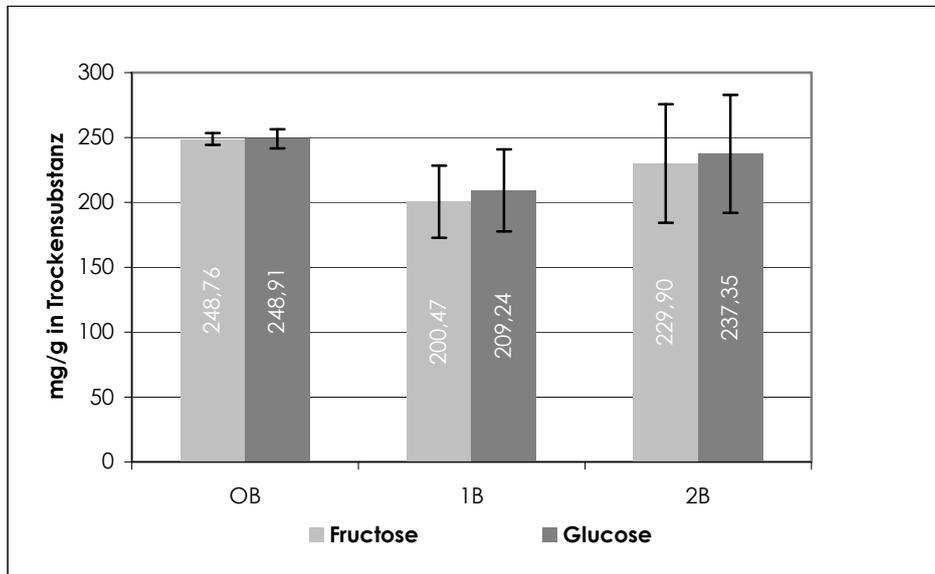


Abb. 35: Zuckergehalte (Glucose und Fructose mg/g TS) in Feigen der Ernte 2004
 OB = ohne Beh., 1B = einmalige CO₂-Beh., 2B = zweimalige CO₂-Beh. (n=30)
 keine Signifikanz auf der Stufe $\alpha = 0,05$

Nach der Behandlung und der Lagerung haben die Gehalte an Glucose und Fructose in den getrockneten Feigen abgenommen. Die vierwöchige Lagerung von Proben nach einmaliger CO₂-Behandlung (unter Hochdruck) zeigte die höchsten Gehalte an Glucose (278 mg/g TS) und Fructose (251 mg/g TS). Die unbehandelten Feigen wiesen nach achtwöchiger Lagerung dagegen die niedrigsten Gehalte an Glucose (232 mg/g TS) und Fructose (212 mg/g TS) auf. Die Gehalte an Glucose und Fructose in den Feigen erhöhten sich nach vierwöchiger Lagerung, nahmen aber nach achtwöchiger Lagerung wieder ab. Nach den statistischen Untersuchungen übte aber die Lagerungsdauer keine signifikante Wirkung auf die Fructose- und Glucosegehalte der Feigen 2005 aus. Dennoch war die einmalige CO₂-Behandlung für den Glucosengehalt gegenüber unbehandelten und zweimal CO₂-behandelten Feigen signifikant ($\alpha = 0,05$).

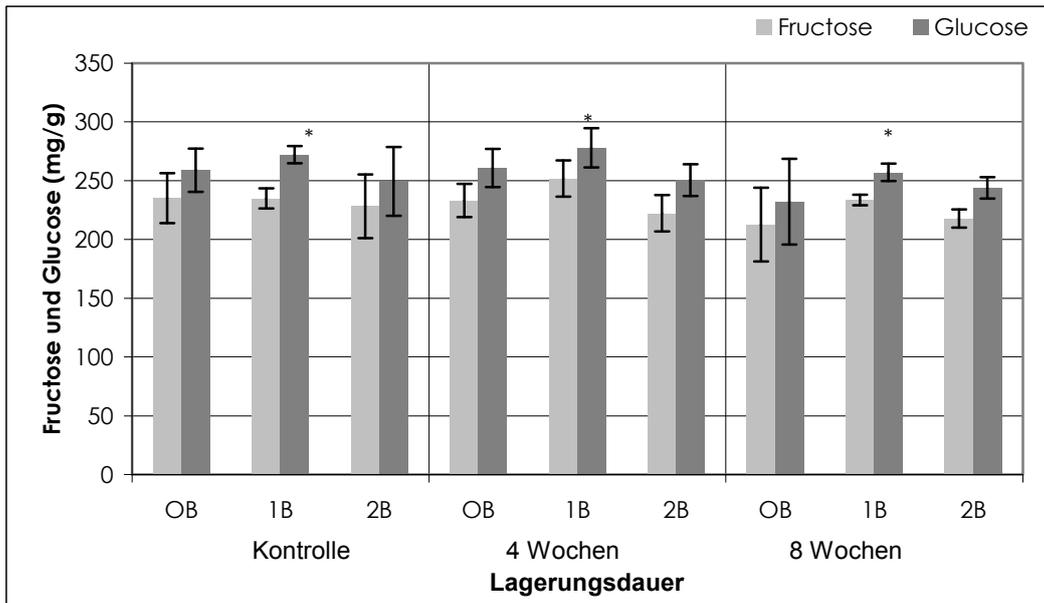


Abb. 36: Fructose und Glucose (mg/g TS) in Feigen der Ernte 2005 nach Lagerung bei 14°C

OB = ohne Beh., 1B = einmalige CO₂-Beh., 2B = zweimalige CO₂-Beh. (n=15)

* Signifikant, $\alpha = 0,05$

1.3.9. Gesamtpektingehalt

Aus technischen Gründen konnte das Gesamtpektin nur in den Feigen der Ernte 2005 bei der Lagertemperatur von 14°C untersucht werden. Die Untersuchungen zeigten, dass der Pektingehalt bei den ungelagerten Kontrollfeigen niedriger als in Feigen nach vier- und achtwöchiger Lagerung war. Der niedrigste Pektingehalt (29,66 mg/g TS) bei ungelagerten Feigen wurde bei den einmal behandelten Kontrollvarianten festgestellt. Diese Feigen zeigten nach vierwöchiger Lagerung den maximalen Pektingehalt von 38,79 mg/g TS im allen untersuchten Proben. Ein- und zweimalig mit CO₂-behandelte Feigen enthielten untereinander signifikant unterschiedlich viel Pektin, wobei die Ergebnisse bei unbehandelten Feigen gegenüber den CO₂-behandelten Feigen nicht signifikant waren ($\alpha = 0,05$) (Abb. 37).

Die untersuchten Feigen aller Behandlungen wiesen bei der ersten Auslagerung nach vier Wochen höhere Pektinwerte auf, enthielten jedoch nach acht Wochen wieder niedrigere Gehalte. Die vier- und achtwöchigen Lagerungen hatten keine statistisch signifikante Auswirkung auf den Gehalt an Gesamtpektin ($\alpha=0,05$) (Abb. 37).

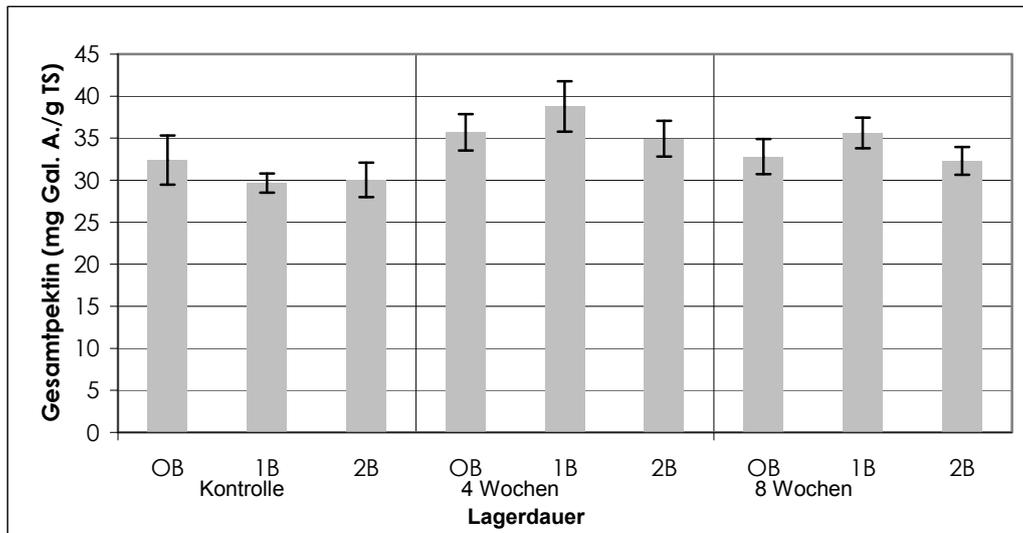


Abb. 37: Gesamtpektin (mg Gal. A./g TS) in Feigen der Ernte 2005 bei 14°C
 OB = ohne Beh., 1B = einmalige CO₂-Beh., 2B = zweimalige CO₂-Beh. (n=15)
 keine Signifikanz auf der Stufe $\alpha = 0,05$

1.3.10. a_w -Wert

Die unbehandelten Proben der Feigen der Ernte 2004 wiesen die höchsten a_w -Werte auf, wobei die einmal CO₂-behandelten Feigen die mittleren und die zweimal behandelte Feigen die niedrigsten a_w -Werte aufwiesen (Tab. 5). Die CO₂-Behandlung hatte keine signifikante Auswirkung auf die a_w -Werte der Feigen ($\alpha=0,05$). Auch die Lagerdauer zeigte bei beiden Versuchsreihen mit Feigen aus 2005 keinen statistisch signifikanten Unterschied im Hinblick auf den a_w -Wert. Hier zeigten die Feigen nach achtwöchiger Lagerung die höchsten, nach vierwöchiger Lagerung die mittleren und nach zweimonatiger Lagerung die niedrigsten a_w -Werte (Tab. 5).

Tab. 5: a_w -Werte der Feigen aus den Ernten 2004 und 2005 nach Lagerung bei 14°C

| | | a_w -Wert |
|---------------------|----------------------------------|------------------|
| Versuch 2004 | CO₂-Behandlung | |
| | OB | 0,99 +0,01/-0,07 |
| | 1B | 0,97 +0,03/-0,04 |
| | 2B | 0,89 ±0,07 |
| Versuch 2005 | Lagerung | |
| | Kontrolle | 0,79 ±0,09 |
| | Auslagerung nach 1 Monat | 0,83 ±0,10 |
| | Auslagerung nach 2 Monaten | 0,90 ±0,16 |

keine Signifikanz auf der Stufe $\alpha = 0,05$

2. AUSWIRKUNGEN VON TEMPERATUR UND FEUCHTE AUF GETROCKNETE FEIGEN

2.1. Einleitung und Problemstellung

Dieses Kapitel befasst sich mit dem Problem Auszuckerung und Verbräunung getrockneter Feigen. Bisherige Untersuchungen zeigten, dass die Lagerbedingungen für den Qualitätserhalt getrockneter Feigen eine entscheidende Rolle spielen, wobei insbesondere die relative Luftfeuchte und die Temperatur während der Lagerung als qualitätsbestimmende Faktoren wirksam sind. ASHMAN (1970) meinte, dass eine 60%-ige relative Luftfeuchte die Ablagerung von Zuckerkrystallen begünstigt und bei getrockneten Feigen zu einer schlechten Qualität führt. Außerdem besteht seiner Meinung nach bei höherer Lagerungsfeuchte die Gefahr von Pilzwachstum, weshalb Feigen in trockener Atmosphäre bei 0°C – 4°C gut aufbewahrt werden können. Durch das Trocknen der Feigen wird die Entwicklung von Bakterien, Pilzen und Hefen eingeschränkt und die Enzymaktivität verlangsamt. Nach den UN/ECE Standards soll der Wassergehalt getrockneter Feigen nicht über 26 % liegen, es sei denn, sie wurden mit Konservierungsmitteln behandelt. In diesem Fall soll der Wassergehalt der Frucht weniger als 30 % betragen. Ein vermindertes Volumen und ein niedriger Wassergehalt verbessern die Haltbarkeit der Fruchtschale und damit die Vermarktungsfähigkeit. Dadurch sinken auch die Transport- und Lagerungskosten deutlich (AKSOY et al. 2003; AKSOY et al. 2004).

Nach HOLLAND et al. (1992) und PEARSON (1962) sollen getrocknete Feigen etwa 13 % bis 22 % Wasser und ca. 60 % Zucker enthalten. Wegen des hohen Zuckergehalts können Zuckerkrystalle während der Lagerung als weiße Ablagerungen auf der Oberfläche oder als Granulate im Fruchtfleisch auftreten und folglich eine niedrige Qualität verursachen. AKSOY und DOKUZOĞUZ (1983) berichteten, dass der Wassergehalt getrockneter Feigen, die in einem mit

Polyethylenfolie beschichteten Zellulosehydrat (Zellglas) verpackt waren, bei einer 180-Tage-Lagerung in einer Kühlkammer nur um 0,8 % abnahm, während bei Zimmertemperatur eine Absenkung der Wassergehalte um 2,5 % erfolgte. Der Gewichtsverlust im Zellglas bei einer gleichen Lagerungsdauer kann je nach Zustand der getrockneten Feigen zwischen 5,8 % und 7,5 % schwanken. MEYVACI et al. (2003) stellten zudem fest, dass getrocknete Früchte während der Verarbeitung und Verpackung empfindlich auf Verpackungsmaterial und Lagerbedingungen reagierten. PIXTON und WARBURTON (1976) und PAZIR et al. (1991) vertraten die Auffassung, dass die optimale Lagertemperatur für getrocknete Feigen unterhalb 21°C, vorzugsweise zwischen 0°C und 4°C liege. Da bisherige Untersuchungen nur begrenzte Informationen über die Lagerung behandelter Trockenfeigen liefern, war eine eingehende Untersuchung mit CO₂-behandelten getrockneten Feigen erforderlich, um optimale Lagerbedingungen für CO₂-behandelte Feigen zu ermitteln. Ziel dieses Kapitels ist es, optimale qualitätserhaltende Klimabedingungen für eine langzeitige Lagerung Hochdruck-CO₂-behandelter getrockneter Feigen zu bestimmen. Bisherige Untersuchungen zeigten, dass die häufigsten Qualitätsverluste auf Klimabedingungen während der Lagerung zurückzuführen sind. Aufgrund zunehmender Nachfrage nach biologisch-ökologisch behandelten getrockneten Feigen reichen manchmal die handelsüblichen Lagerungsbedingungen für ein langfristiges Produktangebot nicht aus. Die Steuerung der atmosphärischen Luftfeuchtigkeit während der Lagerung durch den Einsatz von Schwefelsäure (H₂SO₄) oder Kaliumhydroxid (KOH) wird verbreitet angewendet. Ferner können alternativ diverse gesättigte Salzlösungen je nach Höhe der angestrebten r. Lf. benutzt werden (SOLOMON 1952 und MADGE 1961). Im Rahmen dieses Kapitels wurden getrocknete Feigen bei unterschiedlichen Klimabedingungen gelagert, um den Effekt hoher und niedriger relativer Luftfeuchten bei Lagertemperaturen von 5°C und 25°C zu testen. Anschließend wurden die Ergebnisse der untersuchten Varianten miteinander verglichen und die Auswirkungen hoher, mittlerer und niedriger r. Lf. festgestellt. Dieser Versuch sollte zeigen, inwieweit die Qualität getrockneter Feigen vom Lagerungsklima beeinflusst werden kann. Es sollten einige Kriterien für eine optimale Lagerung bei Erhalt der Qualität getrockneter Feigen dargestellt werden.

2.2. Material und Methoden

2.2.1. Feigen für die zweite Versuchreihe

Als Versuchsmaterial wurden im September 2005 geerntete 2 Kartons mit je 12,5 kg getrockneten Feigen der Art 'Smyrna' eingesetzt, die in der Türkei 3 Std. mit CO₂ unter Vakuum und in Zarentin unter Hochdruck über 2,5 Std. bei 20 bar behandelt worden waren. Als Referenzdaten für den Vergleich der Lagerungseffekte wurden die Daten zu den in Tabelle 9 aufgeführten sensorischen Qualitätsparametern der ungelagerten Feigen herangezogen. Diese zeigen, dass die für diese Versuchsreihe verwendeten Feigen in allen Kriterien wesentlich bessere Eigenschaften als die Ausgangsmaterialien der Ernte 2004 aufwiesen (Abb. 38 und 39). Die Kontrollvariante zeigte bei der sensorischen Untersuchung überdurchschnittlich gute Merkmale. Die äußere Erscheinung war feigentypisch und lag im Standardbereich. Die getrockneten Feigen waren nicht auszuckert und nicht verbräunt, hatten einen süßen Geschmack, ein faserfreies saftiges Fruchtfleisch, eine angenehme Textur und ein feigentypisches Aroma. Bei manchen Feigen wurden klein- bis mittelgroße Scheckungen, Erntewunden und uneinheitliche Größen festgestellt, sie zeigten aber keine Auszuckerung und keine Verbräunung.

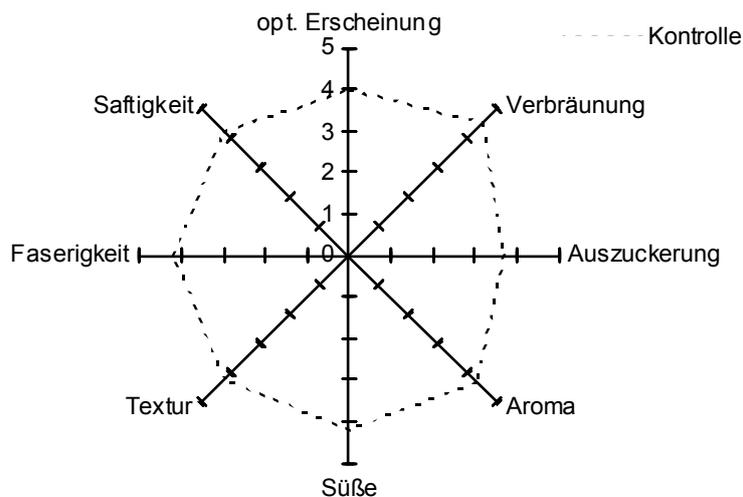


Abb. 38: Die Ergebnisse der Kontrollvariante



Abb. 39: Feigen für die zweite Versuchsreihe ohne Verbräunung und Auszuckerung, links: ohne Behandlung; rechts: zweimal mit CO₂ unter Hochdruck behandelte Feigen

2.2.2. Lagerversuche bei unterschiedlichen Temperaturen und Feuchten

Die Feigen wurden bis zum Versuchsbeginn in Berlin bei der Zarrentiner Firma über 8 Monate bei 10°C und 60% r. Lf. gelagert. Vorsortierte Feigen wurden für Experimente mit 6 Varianten (2 Temperaturen × 3 Luftfeuchten) aufgeteilt.

Tab. 6: Versuche mit getrockneten Feigen unter verschiedenen Klimabedingungen

| Varianten der Lagerung | Temperatur (°C) | r. F. (%) |
|---|-----------------|-----------|
| 1. hohe Temperatur und niedrige r. Lf. | 25 | 20 – 25 |
| 2. hohe Temperatur und oberste Gleichgewichtsfeuchte* | 25 | 65 – 75 |
| 3. hohe Temperatur und hohe r. Lf. | 25 | 85 – 90 |
| 4. niedrige Temperatur und niedrige r. Lf. | 5 | 20 – 25 |
| 5. niedrige Temperatur und oberste Gleichgewichtsfeuchte* | 5 | 65 – 75 |
| 6. niedrige Temperatur und hohe r. Lf. | 5 | 85 – 90 |

* Das Maß der sich einstellenden obersten Gleichgewichtsfeuchte ist vom Ausgangsmaterial abhängig und führte daher zu geringfügig abweichenden r. Lf.-Werten

Tab. 7: Zeitplan für die Lagerung der Feigen in klimatisierten Kammern

| Lagerung | Dauer |
|-----------------|-------------------|
| Kontrolle | Tag 0 |
| Auslagerung I | Tag 30 (4 Wochen) |
| Auslagerung II | Tag 60 (8 Wochen) |

Für die Untersuchungen wurden pro Variante 4 Küvetten (1.000 ml) aus Plexiglas mit 2 gasdichten Verschlüssen und klappbarem Deckel mit Bajonettverschluss verwendet (Abb. 40). PVC-Schläuche mit 8 mm Außendurchmesser wurden an der Seite und am Deckel der Küvette in vorher gebohrte Löcher mit Kunststoffkleber eingedichtet. Jede Küvette wurde mit 400 g Probenmaterial gefüllt, d. h. für jede Versuchsvariante wurden 1.600 g Feigen getestet. Die relative Luftfeuchtigkeit in den Küvetten wurde mit Luft geregelt, die vorher zur Befeuchtung durch eine geeignete Salzlösung geleitet wurde. Die Strömungsgeschwindigkeit der Luft wurde mit einem Ventil so geregelt, dass in etwa die gewünschte r. Lf. eingestellt wurde. Durch den Schlauch im Deckel wurde die Luft hinausgeblasen. Dadurch wurde in jeder Küvette eine konstante Luftströmung erzeugt, justiert mit einem Durchflussmesser. Die Versuchstemperaturen wurden in zwei justierten Klimazellen geregelt, die für diesen Versuch im Berliner Institut auf 5°C bzw. 25°C eingestellt wurden. Zur Erfassung optisch wahrnehmbarer Veränderungen wurden die Proben, ohne sie zu öffnen, dreimal wöchentlich fotografiert. Die Werte für die Temperatur sowie die relative Luftfeuchtigkeit wurden für jede Variante von zwei in die Ware eingebrachten Datenloggern in 30-Min-Intervallen erfasst und mit dem Computer ausgewertet. Darüber hinaus wurden bei beiden Temperaturen in hermetisch geschlossenen 2-Liter-Exsikkatoren mit ca. 1 kg Feigen die Gleichgewichtsfeuchten bestimmt. Die Exsikkatorlogger wurden mittels Infrarotauge durch die Glaswand ausgelesen.

Tab. 8: Salzlösungen zur Einstellung verschiedener relativer Luftfeuchten für definierte Klimabedingungen bei 5°C und 25°C

| Gesättigte Salzlösung | relative Luftfeuchte (%) |
|-----------------------|--------------------------|
| NaOH | 20-25 |
| NaCl | 65-70 |
| KCl* | 80-85 |
| H ₂ O | 80-90 |

* KCl wurde später durch destilliertes Wasser ersetzt

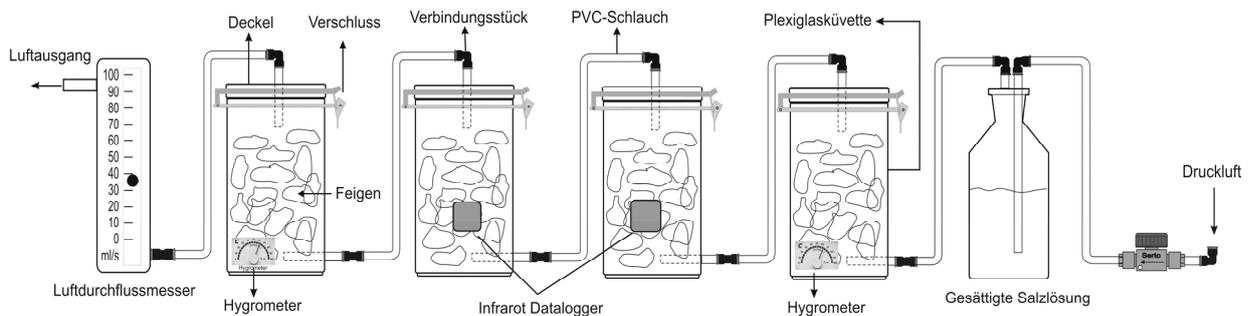


Abb. 40: Plexigasküvetten mit Feigen, NaNO₂-Salzlösung, PVC Schläuchen und Luftdurchflussmesser

2.2.3. Bestimmung der sensorischen Qualitätsparameter

Die sensorische und die Zuckeranalyse wurden jeweils 30 und 60 Tage nach dem Lagerungsbeginn durchgeführt. Für jede Auslagerung wurden jeweils 2 Küvetten mit insgesamt ca. 800 g Feigen entnommen. Zuerst wurden die Feigen optisch und sensorisch untersucht und die Ergebnisse in einem Spinnendiagramm dargestellt. Der sensorischen Beurteilung lagen 8 Kriterien zu Grunde, zu quantifizieren auf einer Notenskala von 1 bis 5. Die Methodik der optischen und sensorischen Beurteilung wurde im ersten Kapitel (1.2.3.) ausführlich beschrieben. Hier wurden die sensorischen Eigenschaften von 5 untrainierten Panellisten bewertet.

Tab. 9: Untersuchungskriterien und Beurteilungsskala für die sensorische Beurteilung

| Beurteilungskriterien | Beurteilungsskala | | |
|---------------------------------|-------------------|----------|----------|
| | 0 -----> | 3 -----> | 5 |
| a. Optische Erscheinung | schlecht | mittel | sehr gut |
| b. Verbräunungsgrad | stark | mittel | Schwach |
| c. Auszuckerung | stark | mittel | Schwach |
| d. Gesamteindruck Aroma | schlecht | mittel | sehr gut |
| e. Süße | fehlt | mittel | Intensiv |
| f. Gesamteindruck Textur | unangenehm | mittel | Angenehm |
| g. Faserigkeit | stark | mittel | Schwach |
| h. Saftigkeit | fehlt | mittel | Intensiv |

Das Probenmaterial wurde anschließend für die Bestimmung der Trockensubstanz und des Zuckergehaltes eingesetzt. Dafür wurden von jeder Variante, außer den Varianten 20 – 25 % r. Lf., 10 Feigen von jeder Variante, zufällig ausgewählt und die Fruchtschale mit einem Messer vom Fruchtfleisch getrennt. Die Varianten bei 20 - 25 % wurden als Gesamtfeigen entnommen, weil eine Schalen- und Fruchtfleischtrennung wegen des niedrigen Wassergehaltes unmöglich war. Die getrennten Anteile wurden gewogen, im Autoklaven bei 104°C über 48 Std. erhitzt, anschließend wieder gewogen und so die gesamte Trockensubstanz bestimmt (siehe 1.2.7., Seite 19). Die Zuckerbestimmung erfolgte wie im ersten Kapitel dieser Arbeit (s. 1.2.9., Seite 20)

2.3. Ergebnisse

2.3.1. Niedrige rel. Luftfeuchtigkeit (20 – 25 %) bei 5°C und 25°C

Die Lagerung bei niedriger r. Lf. (20 – 25 %) verursachte bei den Feigen einen erheblichen Wasserverlust. Aufgrund der extremen Vertrocknung konnte die Fruchtschale nicht vom Fruchtfleisch getrennt werden und daher wurden die Feigen jeweils als Ganzes untersucht. Die sensorischen Untersuchungen konnten deshalb nicht vollständig durchgeführt werden. Vor allem waren die Verkostung und die Erfassung von Aroma, Süße und Textur der Feigen schwierig. Die Temperaturen wirkten auf die Proben unterschiedlich. Während die Feigen bei 5°C extrem hart und unflexibel waren, waren sie bei 25°C vergleichsweise weich und flexibel.

Beide Varianten waren leicht ausgezuckert und hatten ein eher feigentypisch-optisches Aussehen. Insbesondere die bei 5°C gelagerten Feigen wiesen weniger Verbräunungen auf, wobei bei 25°C relativ dunklere Farbe zu beobachten war. Einige Feigen waren teilweise gescheckt und gemustert.



Abb. 41: Getrocknete Feigen nach acht Wochen Lagerung bei 20 – 25 % r. Lf. bei 5°C und 25°C

Die bei 25°C und 20 – 25 % r. Lf. gelagerten getrockneten Feigen erhielten bezüglich aller sensorischen Kriterien niedrige Noten. Nach der gesamten Lagerungszeit war der Verbräunungsprozess relativ langsamer als andere Prozesse. Die untersuchten Proben waren nicht saftig, sehr faserig und hatten eine unangenehme Textur. Darum wurde bei diesen Kriterien die Note Null vergeben. Obwohl die Auszuckerung nach der zweiten Auslagerung etwas geringer war, wurde sie mit 2 benotet. Das Aroma war nicht zu beurteilen, weil die Feigen für die Kostprobe ungeeignet waren. Die Feigen bei 5°C waren ähnlich hart und trocken wie die Feigen bei 25°C. Die Qualität nach Lagerung bei 5°C war insgesamt besser als bei 25°C. Die Fruchthaut der untersuchten Proben war sehr trocken und die Textur war untypisch für Feigen. Die Untersuchungen nach vier und acht Wochen ergaben, dass die optische Erscheinung der bei 20-25 % r. Lf. gelagerten Feigen mit der niedrigsten Note (0-1) und die Verbräunung und Auszuckerung mit 2 bis 2,5 bewertet wurden. Die Auszuckerung war bei 25°C nach acht Wochen interessanterweise geringer als nach vier Wochen und wurde deshalb höher benotet. Die Saftigkeit, Faserigkeit und Textur wurden bei 25°C mit 0 bewertet, während sich bei 5°C zwischen 2 und 3 befanden. Alle sensorischen Bewertungsnoten der Feigen bei 5°C lagen über 1 (Abb. 42 und 43).

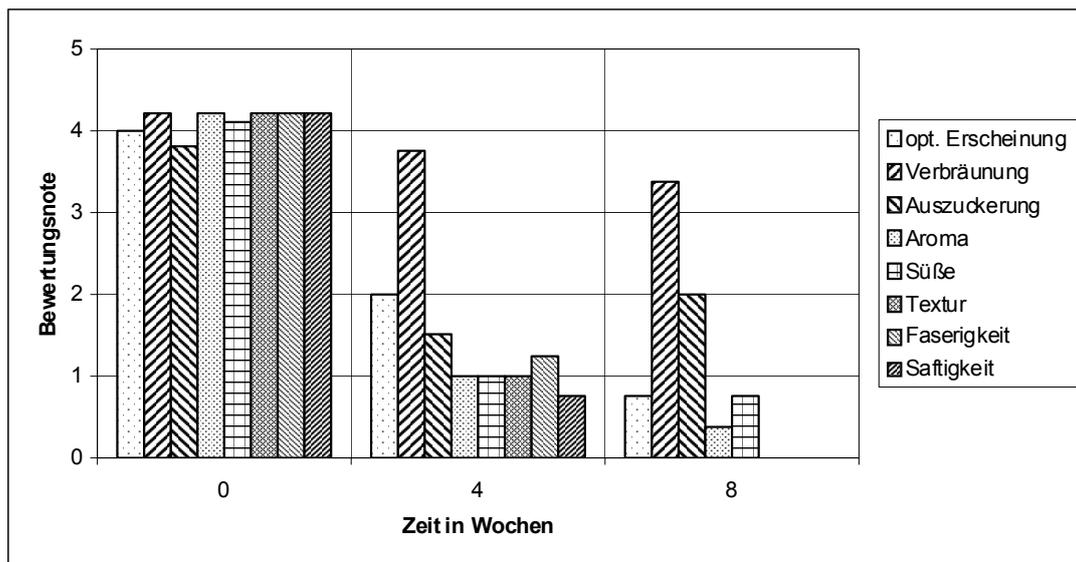


Abb. 42: Sensorische Eigenschaften getrockneter Feigen nach acht Wochen Lagerung bei 25°C und 20 % – 25 % r. Lf.

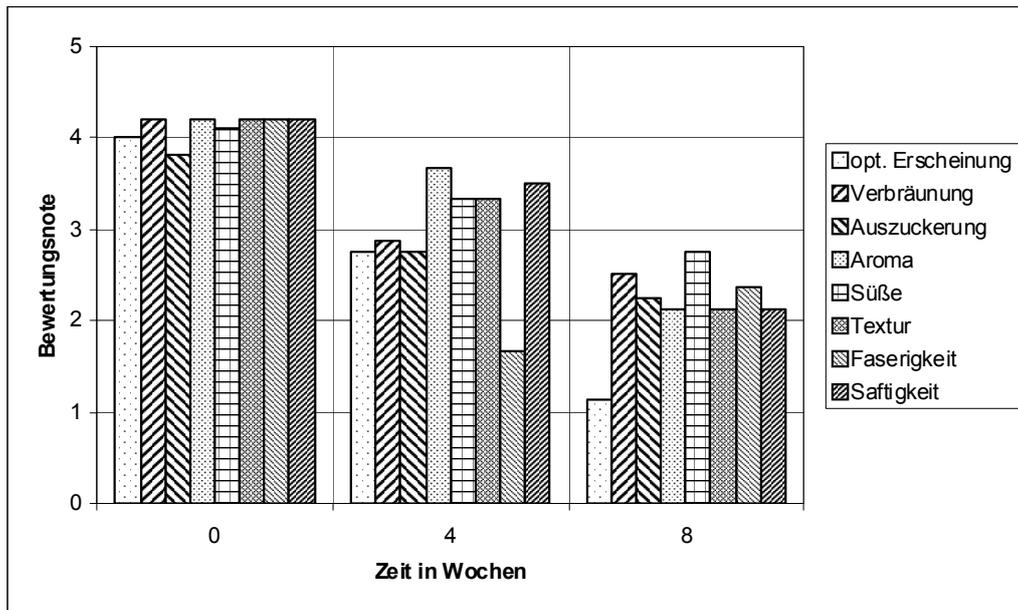


Abb. 43: Sensorische Eigenschaften getrockneter Feigen nach acht Wochen Lagerung bei 5°C und 20 % – 25 % r. Lf.

2.3.2. Mittlere rel. Luftfeuchtigkeit (65 – 70 %) bei 5°C und 25°C

Beide bei mittlerer r. Lf. gelagerten Feigenmaterialien hatten eine weiche Fruchthaut und einen süßen Geschmack. Während die bei 5°C gelagerten Feigen eine leichte Auszuckerung und wenig Verbräunung zeigten, wiesen die Feigen bei 25°C keine Auszuckerung, aber eine dunklere Außenfarbe auf (Abb. 44). Die Feigen bei 25°C hatten ein durchschnittliches Aroma und eine durchschnittlich angenehme Textur. Die Süße war wesentlich besser und es gab wenig Faserigkeit. Insgesamt wurde die optische Erscheinung nach acht Wochen mit 1,3 bewertet (Abb. 45). Die bei 5°C und 65 – 70 % r. Lf. gelagerten Feigen erhielten nach vier Wochen Lagerung durchschnittliche Qualitätswerte. Sie zeigten aber nach acht Wochen unterdurchschnittliche Qualitätsmerkmale und wurden in allen Kriterien schlechter als 1,5 bewertet (Abb. 46). Diese Untersuchung zeigte, dass eine niedrige Temperatur von 5°C gegenüber 25°C eine deutlich negative Auswirkung auf die Qualität der Feigen bzw. deren Einschätzung durch Testpersonen hatte.



Abb. 44: Getrocknete Feigen nach acht Wochen Lagerung bei 65 – 70 % r. Lf. und 5°C bzw. 25°C

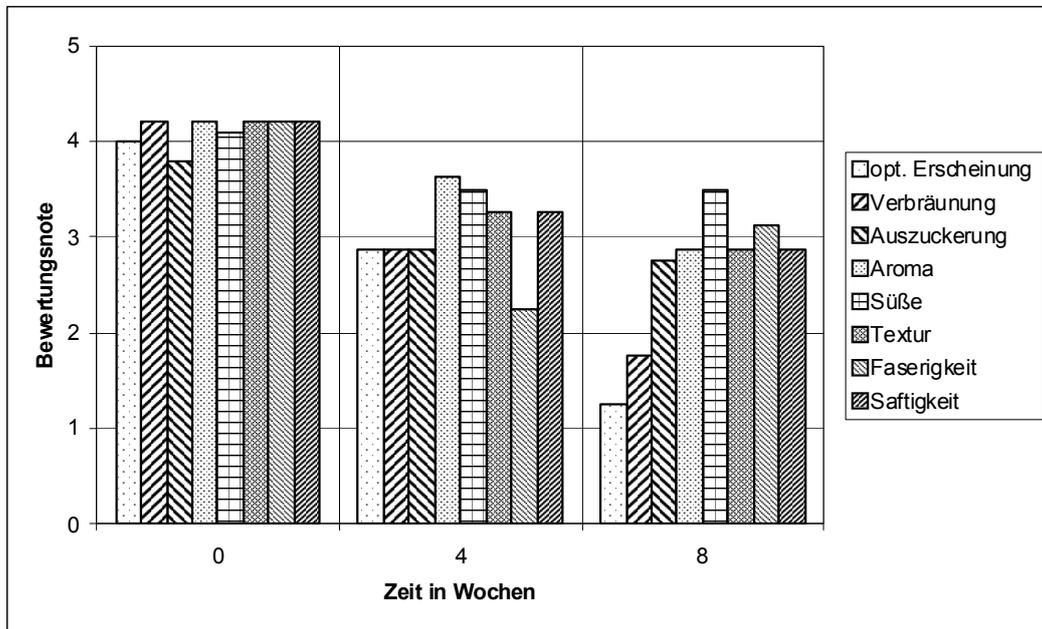


Abb. 45: Sensorische Ergebnisse bei 25°C nach acht Wochen Lagerung bei 65–70 % r. Lf.

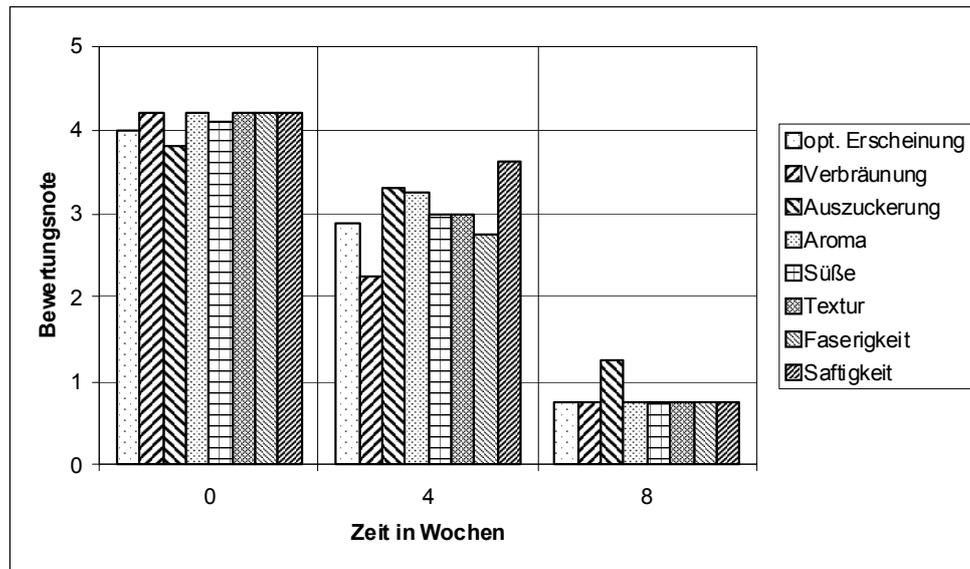


Abb. 46: Sensorische Ergebnisse bei 5°C nach acht Wochen Lagerung bei 65 – 70 % r. Lf.

2.3.3. Hohe rel. Luftfeuchtigkeit (85 – 90 %) bei 5°C und 25°C

Die bei hoher r. Lf. und 5°C bzw. 25°C gelagerten Feigenproben waren extrem verdunkelt und saftig. Aufgrund der Alkoholbildung waren sie für die Untersuchung nicht geeignet. Es wurde diagnostiziert, dass die hohe Luftfeuchtigkeit bei den gelagerten getrockneten Feigen einen Gärungsprozess auslöste. Die Bilder zum Vergleich der beiden Varianten zeigen (Abb. 47), wie sehr die bei 25°C gelagerten Feigen verdunkelt waren. Das Fruchtfleisch hatte eine als unangenehm empfundene Struktur und einen schlechten Geschmack mit alkoholischem Aroma. Die sensorischen Noten für diese Feigen mit 25°C Lagerungstemperatur lagen nach acht Wochen in allen Kriterien unter 1 (Abb. 48).

Die bei 5°C gelagerten Feigen wurden etwas besser bewertet als die vier bzw. acht Wochen bei 25°C gelagerten Feigen (Abb. 48 und 49). Die Verbräunung war nach vier Wochen sogar geringer als bei den nichtgelagerten Feigen, nahm aber nach acht Wochen wieder zu (Abb. 50 und 51). Textur und Geschmack wurden nicht als angenehm empfunden. Die Feigen rochen nach achtwöchiger Lagerung nach Gärung und Alkohol. Für die Kostprobe waren sie kaum verträglich.



Abb. 47: Getrocknete Feigen nach acht Wochen Lagerung bei 85-90% r. Lf. bei 5°C bzw. 25°C

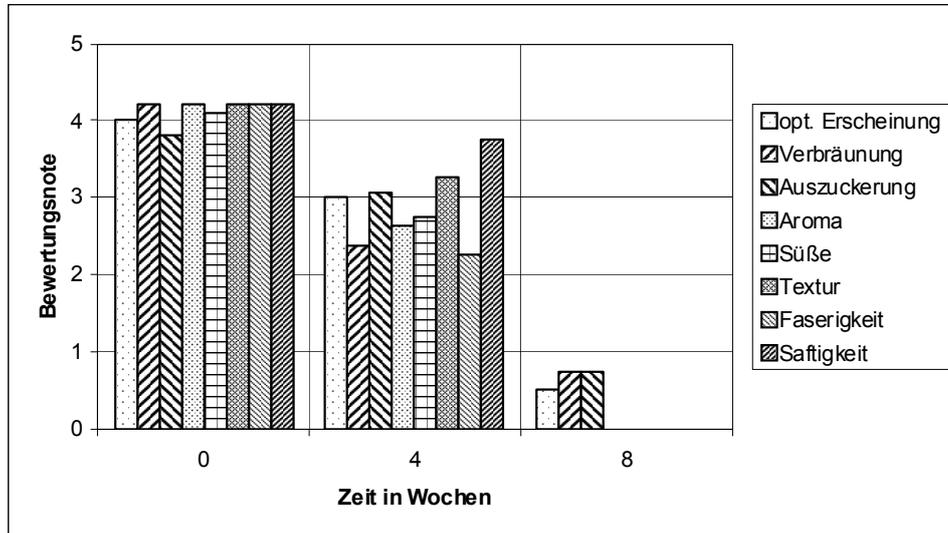


Abb. 48: Die sensorische Ergebnisse bei 25°C und 85 – 90 % r. Lf.

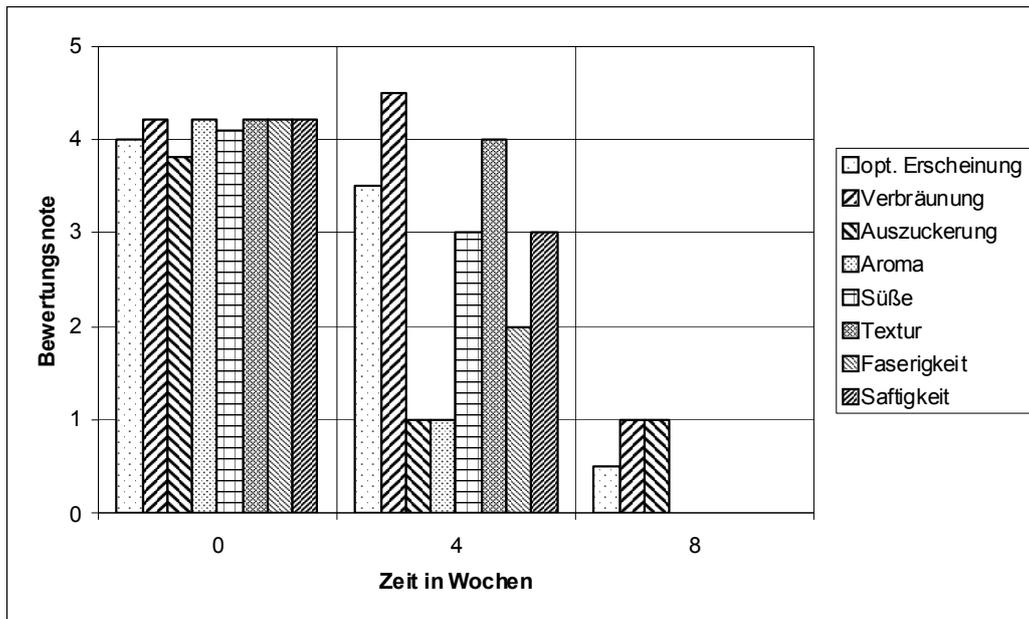


Abb. 49: Die sensorische Ergebnisse bei 5°C und 85 – 90 % r. Lf.

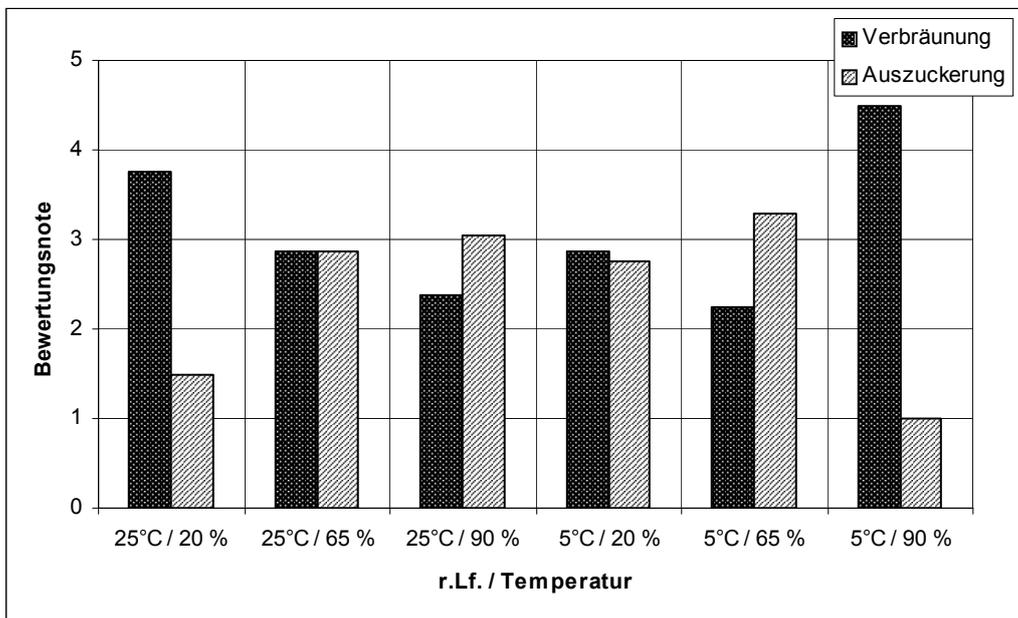


Abb. 50: Verbräunungs- und Auszuckerungsgrade für alle Varianten bei 25°C bzw. 5°C nach vier Wochen Lagerung

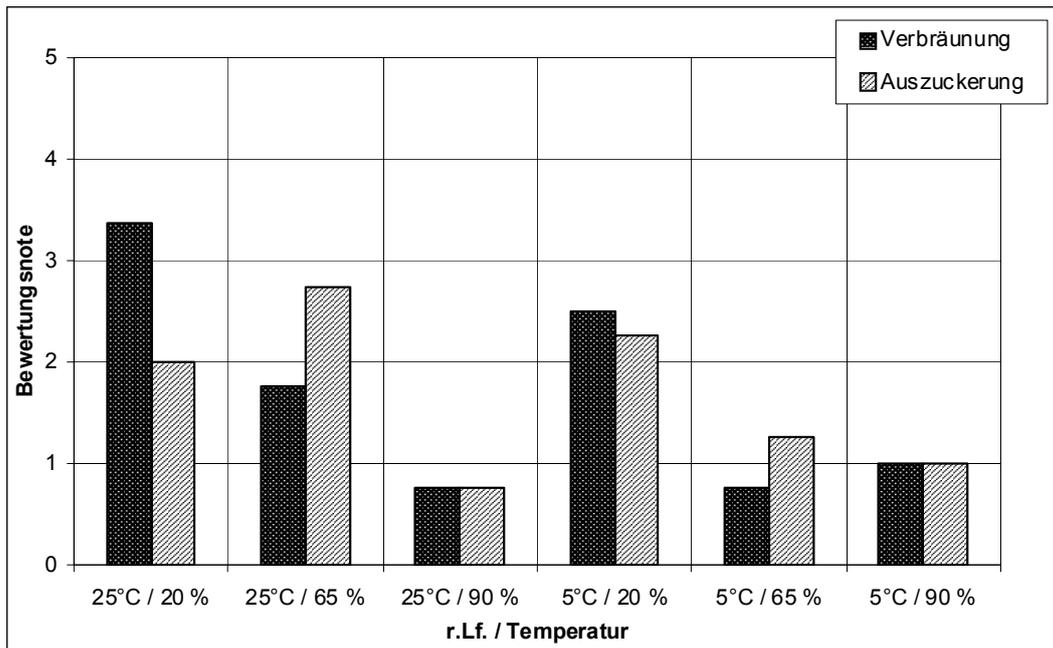


Abb. 51: Verbräunungs- und Auszuckerungsgrade für alle Varianten bei 25°C bzw. 5°C nach acht Wochen Lagerung

2.3.4. Trockensubstanz

In den Fruchtteilen der Feigen (Schalen und Fleisch), die bei 20 – 25 % r. Lf. und bei 25°C gelagert wurden, wurde nach vier und acht Wochen ca. 80 % Trockensubstanz festgestellt. Diese Feigen enthielten in beiden Fruchtteilen bei 60 – 65 % Lagerfeuchte etwa 70 % und bei 85 – 90 % Lagerfeuchte etwa 65 % Trockensubstanz (Abb. 52 und 53). Die bei 5°C gelagerten Feigen hatten vergleichsweise weniger Trockensubstanz. Auch bei 5°C besaßen die Proben bei 20 – 25 % r. Lf. den höchsten Anteil an Trockensubstanz (73 – 78 %). Die Feigen bei der Lagerfeuchte von 60 % – 65 % und 85 – 90 %, wiesen jeweils 70 % und 65 – 70 % Trockensubstanz auf (Abb. 54 und 55). Bei der Varianzanalyse für Trockensubstanz in den Fruchtteilen ($\alpha = 0,05$) zeigten die Temperatur, r. Lf. und die Lagerungszeit keinen signifikanten Unterschied.

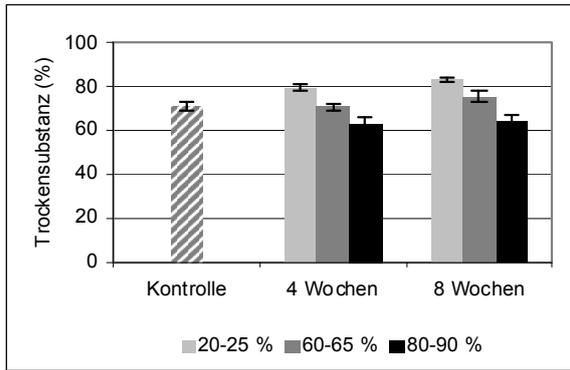


Abb. 52: Trockensubstanz (%) im Fruchtfleisch nach vier bzw. acht Wochen Lagerung bei 25°C keine Signifikanz auf der Stufe $\alpha = 0,05$

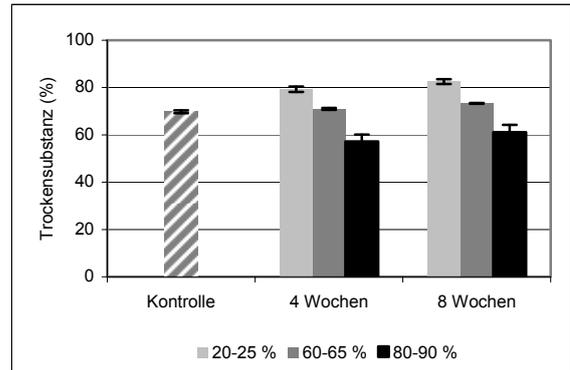


Abb. 53: Trockensubstanz (%) in der Fruchtschale nach vier bzw. acht Wochen Lagerung bei 25°C keine Signifikanz auf der Stufe $\alpha = 0,05$

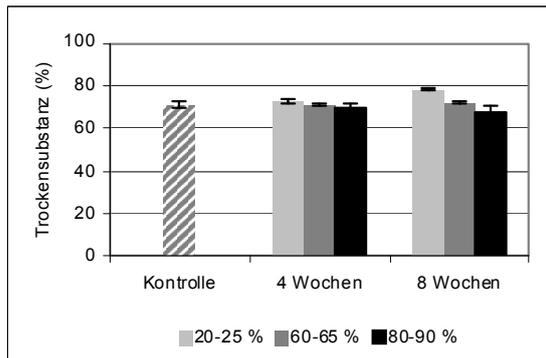


Abb. 54: Trockensubstanz (%) im Fruchtfleisch nach vier bzw. acht Wochen Lagerung bei 5°C keine Signifikanz auf der Stufe $\alpha = 0,05$

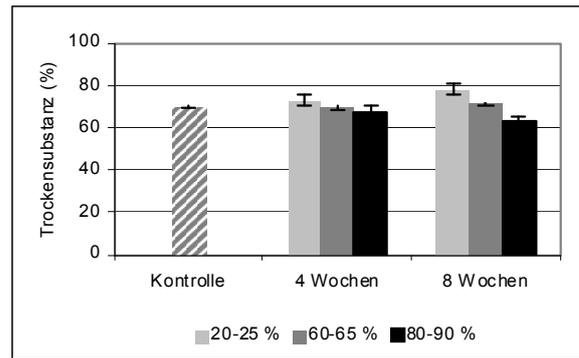


Abb. 55: Trockensubstanz (%) in der Fruchtschale nach vier bzw. acht Wochen Lagerung bei 5°C keine Signifikanz auf der Stufe $\alpha = 0,05$

2.3.5. Zuckergehalt

Die Fructose und Glucose (mg/g) in der Trockensubstanz nahm nach vier Wochen Lagerzeit bei höheren Temperaturen und hoher r. Lf. leicht zu, und nach acht Wochen wieder ab. Der Zuckergehalt in der Gesamtfeige erhöhte sich nach vier und acht Wochen, obwohl er in den anderen Fruchtteilen nach achtwöchiger Lagerung wieder abnahm. Die Feigen bei 5°C Lagertemperatur wiesen nach vierwöchiger Lagerung weniger Zuckergehalte auf, die aber nach achtwöchiger Lagerung etwas zunahmen.

Auch die Glucosegehalte nahmen bei dieser Variante nach vier bzw. acht Wochen deutlich zu. Nach den Untersuchungen wurden zwischen den Gehalten im Fruchtfleisch und der Fruchtschale keine signifikanten Unterschiede festgestellt. Das Fruchtfleisch der Feigen nach Lagerung bei 25°C und bei 80 – 90 % r. Lf. enthielt nach vierwöchiger Lagerung im Vergleich die höchsten Gehalte an Fructose (330 mg/g) und Glucose (345 mg/g) (Abb. 55 und 56). Die niedrigsten Gehalte an Fructose (229 mg/g) und Glucose (239 mg/g) waren bei 25°C Lagertemperatur und bei einer r. Lf. von 65 – 70 % jeweils nach vier- bzw. achtwöchiger Lagerung wieder im Fruchtfleisch zu finden (Abb. 56 und 57). Die Werte für Fructose und Glucose in der Kontrollvariante waren gegenüber den gelagerten Varianten größer und signifikant ($\alpha = 0,05$). Die entsprechenden Werte der Gesamtfeige zeigten gegenüber anderen Fruchtteilen (Schale und Fleisch) signifikant niedrigere Werte für Fructose und Glucose ($\alpha = 0,05$).

Die statistischen Untersuchungen (Tukey-HSD und LSD) wiesen darauf hin, dass der Einfluss der Lagerung bei hoher r. Lf. (85 – 90 %) für Fructose und Glucose in allen Varianten signifikant war ($\alpha = 0,05$). Die Unterschiede zwischen vier- und achtwöchiger Lagerung waren auf diesem Niveau nicht signifikant. Die einfaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) auf dem Niveau 0,05 zeigte, dass die Temperatur für beide Zuckerfraktionen statistisch unwichtig war und nicht zu signifikant unterschiedlichen Werte führte.

Die Ergebnisse zeigten, dass die hohe r. Lf. und hohe Temperatur auf den Zuckergehalt der getrockneten Feigen einen steigernden Effekt hatte. Insgesamt wiesen die Feigen bei 25°C Lagertemperatur einen höheren Zuckergehalt auf als die bei 5°C gelagerten Feigen.

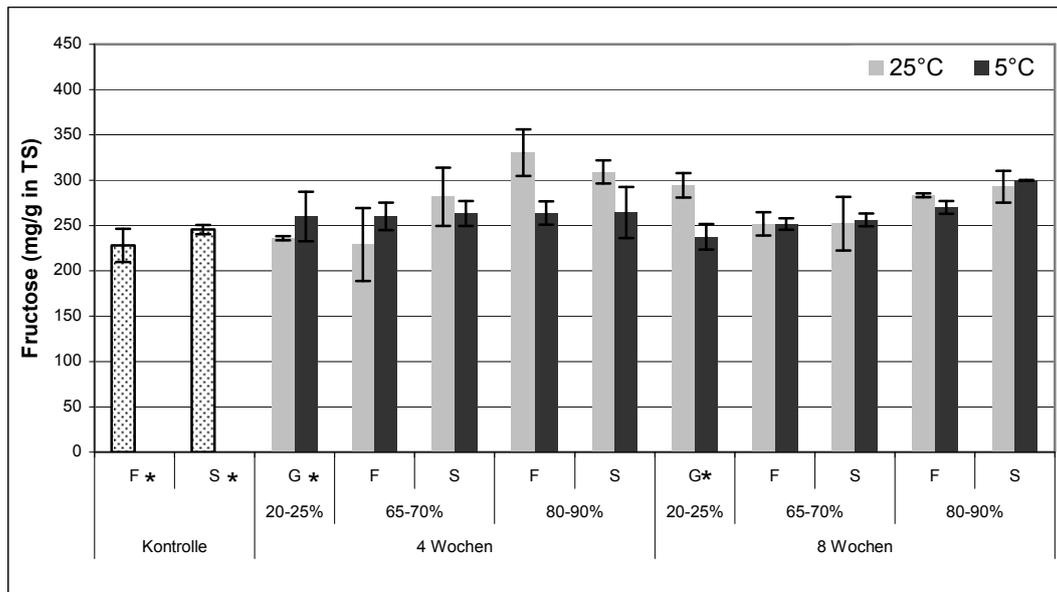


Abb. 56: Fructosegehalt (mg/g in TS) in allen Feigenproben nach achtwöchige Lagerung bei 5°C und 25°C. S: Fruchtschale, F: Fruchtfleisch, G: Gesamtf Frucht
* Signifikant, $\alpha = 0,05$

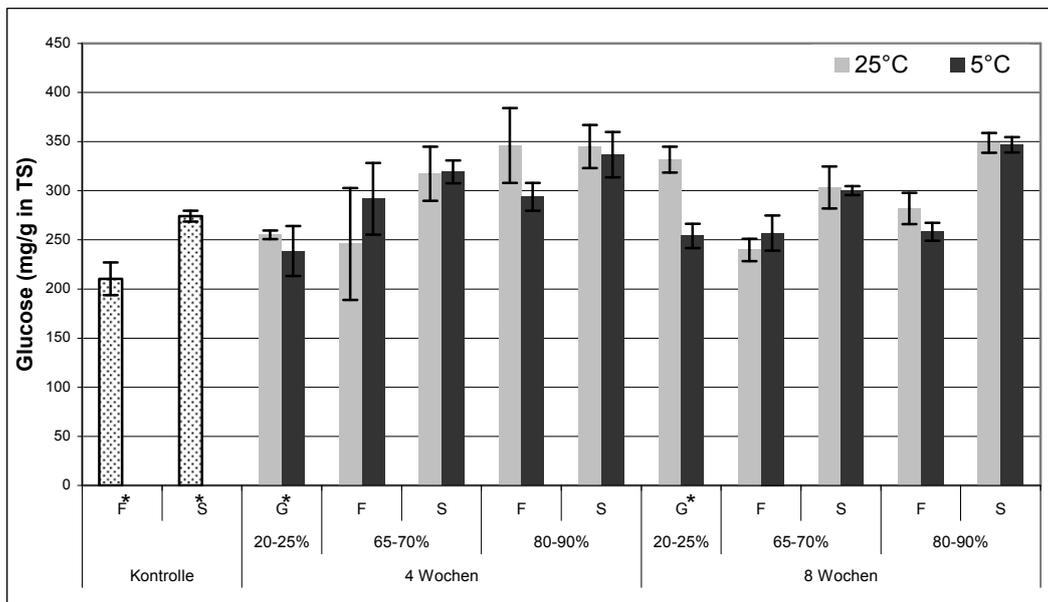


Abb. 57: Glucosegehalt (mg/g in TS) in allen Feigenproben bei 5°C bzw. 25°C, nach achtwöchiger Lagerung. S: Fruchtschale, F: Fruchtfleisch, G: Gesamtf Frucht
* Signifikant, $\alpha = 0,05$

3. SULFURYLFLUORID ALS ALTERNATIVER WIRKSTOFF IM VORRATSSCHUTZ

3.1. Einleitung und Problemstellung

Erst als der Mensch sesshaft wurde, einzelne Hütten, später Dörfer und schließlich (vor etwa 10.000 Jahren) größere Städte baute und es zur Arbeitsteilung kam, begann er Vorräte anzulegen. Die primitive Aufbewahrung der Nahrung förderte einen starken Schädlingsbefall und massenhafte Vermehrung von Schadtieren, deren ökologische Valenz und deren Nahrungsspektrum ihnen das Leben in den Vorräten, aber auch in den Abfällen ermöglichten (STEIN 1986).

Der Nachernteverlust von Nahrungsmitteln in Entwicklungsländern beträgt ca. 25 %, d.h. rund ein Viertel der gesamten produzierten Nahrungsmittel erreicht den Verbraucher nicht, weil sie während Ernte, Transport und Lagerung beschädigt werden bzw. verloren gehen (ANONYM 1989). Aufgrund der unkontrolliert wachsenden Bevölkerung sollten alle Möglichkeiten zur Verbesserung der weltweiten Lebensmittelproduktion und -versorgung genutzt werden. Die Schätzungen des Umfangs der Ernte- und Lagerverluste machen deutlich, dass ein verbesserter Schutz der Vorräte notwendig ist, um den steigenden Nahrungsbedarf zu decken.

Die Lebensmittelindustrie beschäftigt sich zunehmend mit effektiven Bekämpfungsmethoden, um durch Vorratsschädlinge entstandene Wert-, Qualitäts-, und Mengenverluste zu verringern. Eine wirkungsvolle Bekämpfung von Schädlingen ist für den Handel von großer Bedeutung, insbesondere für landwirtschaftliche Produkte wie Rosinen, Feigen, Pistazien und Haselnusskerne. Trockenfrüchte und Nüsse gehören wegen ihrer wirtschaftlichen Bedeutung zu den besonders wichtigen Vorräten. Im Jahr 2005 wurden weltweit 9,24 Millionen Tonnen Nüsse produziert. Die Exportwerte für Rosinen und getrocknete Feigen lagen insgesamt bei ca. 974 Millionen USD, bei einer Exportmenge von ca. 833.000 Tonnen (FAO Statistical Database for 2005).

Trotz Verbesserungen der Transport- und Lagerungstechniken müssen neben Vermeidungsstrategien von Schädlingsbefall wirksame und für Anwender und Konsumenten sichere Möglichkeiten für eine Schädlingsbekämpfung auch nach einem Schädlingsbefall zur Verfügung stehen. Früher wurden gewöhnlich die Wirkstoffe Acrylnitril, Ethylendibromid, Schwefelkohlenstoff und Tetrachlorkohlenstoff eingesetzt (MONRO 1969; STEIN 1986; FIELDS et al. 2001). Danach waren Phosphorwasserstoff, Methylbromid und Blausäure von der Industrie weltweit häufig bevorzugte Wirkstoffe. Abgesehen von der hohen Wirksamkeit dieser Produkte ist das Risiko für Menschen und Umwelt durch häufige Anwendung der Gifte hoch, aufgrund strenger Vorschriften aber in vertretbaren Grenzen zu halten. In Deutschland wurde früher Methylbromid zum Teil auch gemischt mit Blausäure für die Mühlen- und Lagerhausentwesung verwendet (REICHMUTH 1992). Methylbromid hinterlässt bei der Behandlung fetthaltiger Produkte wie Nüssen und Kakaobohnen für die menschliche Gesundheit schädliche Rückstände von anorganischem und organischem Bromid (FRANZ 1991). Deshalb war der Gaseinsatz bei einer Warenpartie auf wenige Anwendungen begrenzt. Gemäß dem Montrealer Protokoll wird Methylbromid wegen seiner ozonschädigenden Wirkung seit Ende 2004 nicht mehr routinemäßig verwendet, in den Entwicklungsländern darf es bis 2015 nur mit beschränkter Verwendung eingesetzt werden (ANONYM 1994 und 2006).

Einige Länder wie die Türkei haben sich für eine vorzeitige Beendigung der Methylbromidanwendung entschieden, da sie sich beim Export in die EU den hiesigen Import- und Handelsbedingungen stellen müssen. Hierzu gehören die Qualitätsstandards der Produkte, so auch deren phytosanitärer Zustand wie die Freiheit von Schaderregern und Rückständen. Beim Import landwirtschaftlicher Erzeugnisse, z. B. getrockneter Feigen, nach Deutschland treten immer wieder einige Insektenarten auf, die zur Zurückweisung der Ware, zu Geldeinbußen für den türkischen Exporteur oder zu sofortigen Bekämpfungsmaßnahmen führen. Darüber hinaus besteht die Gefahr, dass begaste Waren wegen überhöhter Rückstände von Begasungsmitteln als mangelhaft und nicht verkehrsfähig eingestuft werden. Das erfordert weitgehende Untersuchungen bzgl. effektiver Bekämpfungsmöglichkeiten gegen vorratsschädliche Tiere.

In diesem Kapitel wird die Wirksamkeit von Sulfurylfluorid gegen preimagonale Entwicklungsstadien der Speichermotte, *Ephesia elutella* (HÜBNER) und des Erdnussplattkäfers, *Oryzaephilus mercator* (FAUVEL), untersucht. *E. elutella* gehört

zu den wichtigsten vorratsschädlichen Insekten in zentraleuropäischen Lägern für Getreide und andere Vorräte (REES 2004). Auch *O. mercator* ist ein wichtiger Schädling von ölhaltigen pflanzlichen Produkten (MEJULE et al. 1990).

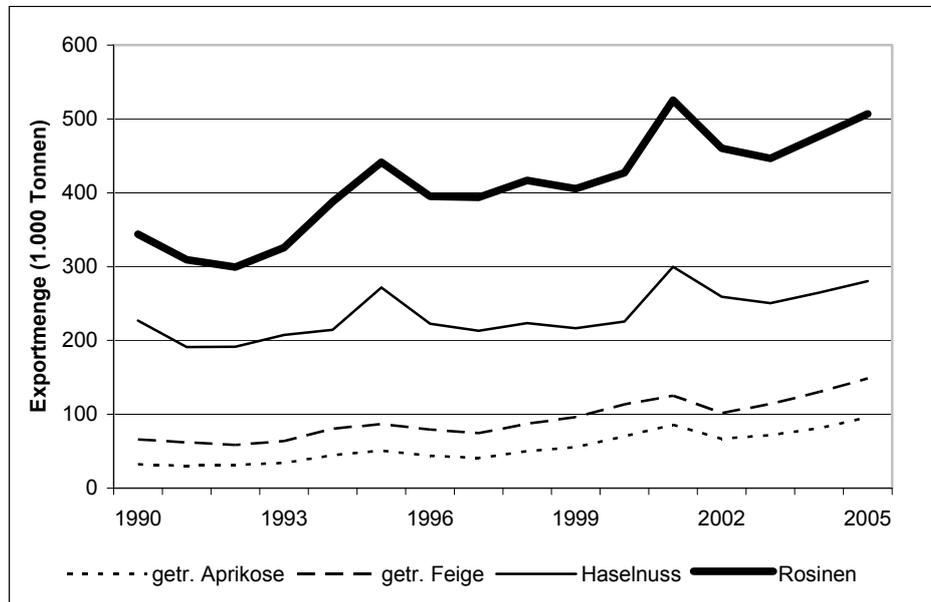


Abb. 58: Exportmengen einiger landwirtschaftlicher Produkte der Türkei (1990 – 2005)

3.2. Die Bekämpfungsmethoden im Vorratsschutz

Die Empfindlichkeit der Schadinsekten gegen Kälte und Hitze wird seit langem bei der Anwendung physikalischer Methoden im Vorratsschutz ausgenutzt. Die Kältebehandlung wird von mehreren Autoren vorgeschlagen, um z.B. die Kälteempfindlichkeit der Eier verschiedener Mottenarten zur ihrer Bekämpfung auszunutzen (STRATIL und REICHMUTH 1981). Eine Kältebehandlung der Fertigprodukte ermöglicht Lebensmittelbetrieben ein nichtchemisches und rückstandsfreies Bekämpfungsverfahren. Schokoladenhersteller nutzen es zur Qualitätserhaltung wärmeempfindlicher Produkte (STRATIL und REICHMUTH 1981).

In leeren Vorratslägern und Räumen der lebensmittelverarbeitenden Industrie können durch Aufheizen auf 45°C bis 60°C vorratsschädliche Insekten abgetötet werden. Das Verfahren wird in Deutschland kommerziell angeboten und ersetzt insbesondere in kleineren Mühlen (Vol. $\leq 40.000 \text{ m}^3$) die Begasung mit Methylbromid (ANONYM 2006). In den Mühlen sind Temperaturen von 50°C über mehrere Std. für eine vollständige Entwesung ausreichend. Aufgrund der im Vergleich mit chemischen

Anwendungen höheren Kosten werden Kälte- bzw. Hitzebehandlungen für die Entwesung von Räumen, Museen und Sammlungen eher zweitrangig eingesetzt. Zudem beschränkten elektronische und andere hitzeempfindliche Geräte und Gegenstände von vornherein den Einsatz (REICHMUTH et al., 1996). Neben Kälte- und Hitzeanwendungen werden seit Menschengedenken gasförmige Stoffe zur Entwesung von Vorräten, aber auch zur Bekämpfung krankheitsübertragender Tiere wie Mücken, Wanzen und Ratten eingesetzt. Schwefel und seine Oxide gehörten zu den bevorzugten Begasungsmitteln, die auch bei der Vorratslagerung zum Einsatz kamen (REICHMUTH 1981).

Methylbromid wurde erstmals von LE GOUPIL (1932) als Insektizid erwähnt. Aufgrund seiner tödlichen Wirkung gegen vorratsschädliche Insekten, die für viele Pflanzenarten keine Schäden verursachen, wurde es in den dreißiger Jahren schnell für die Quarantänebehandlung eingeführt. Weltweit diente Methylbromid neben der Bodenentwesung auch der Bekämpfung von Schädlingen in Lebens- und Futtermitteln, verarbeitetem Holz und hölzernen Kunstwerken (REICHMUTH 1998).

Auch Phosphorwasserstoff (PH_3) ist hochwirksam gegen Getreideschädlinge; er gilt von der Rückstandsbildung her als relativ unproblematisch, da er in der Luft mit Sauerstoff und Wasser zu Phosphorsäure reagiert (REICHMUTH 1981; REICHMUTH et al. 1985; HASHEM 1990). Jedoch hat PH_3 eine hohe Wirbeltiertoxizität (LC_{50} Ratte bei 4 Std. Inhalation: 15 mg/m^3 , ANONYM 1988). Es besteht die Gefahr der Entwicklung von gegen PH_3 resistenten Schädlingspopulationen (MONRO et al. 1972).

Die Verwendung von Stäuben zur Bekämpfung von Arthropoden im Vorratsschutz ist keineswegs eine neue Methode. Der Einsatz in Form von Sand, Tonerden oder Aschen ist bereits seit Jahrhunderten bekannt (EBELING 1971). Zacher griff die Thematik als erster im vorigen Jahrhundert neu auf und untersuchte detailliert die Wirkungsweise von inerten Stäuben sowie Metalloxiden auf vorratsschädliche Insekten (ZACHER und KUNIKE 1931). Neu entwickelte Arten der Diatomeenerde (Fossil Shield[®]) können alternativ zu synthetischen chemischen Insektiziden im Vorratsschutz eingesetzt werden (PRASANTHA 2003; KORUNIC 1997). Bis heute konnte der genaue Wirkungsmechanismus von Diatomeenerden auf Insekten nicht geklärt werden (MEWIS und ULRICHS 2001).

3.3. Material und Methoden

3.3.1. Die Speichermotte *Ephestia elutella* und deren Anzucht

E. elutella (HÜBNER) wird auch Tabakmotte genannt. Die Falter sind ca. 10 mm lang. Ihre Flügelspannweite beträgt etwa 15 mm. Die braungrauen oder blaugrauen, gemusterten Vorderflügel sind etwas glänzend, haben helle Querbinden, die wenig gezackt und dunkel gesäumt sind. Die Hinterflügel haben eine weißgraue Farbe. Die gelblichen Eier sind ca. 0,5 mm groß, längsoval und mit skulpturierter Oberfläche. Die ausgewachsene Larve ist bis zu 15 mm lang. Ihre durchscheinende Färbung hängt vom Futter ab und kann weiß, gelblich, rosa oder bräunlich sein. Kopf und Nackenschild der Larve sind braun, ihre Körperoberfläche trägt bräunliche Flecken, in deren Zentrum meist Borsten sitzen, deren Anordnung und Größe mit Hilfe des Binokulars zur Artbestimmung herangezogen werden. Die Verpuppung der Wanderlarve, es ist das fünfte Larvenstadium, erfolgt in einem dichtgesponnenen, weißen Kokon außerhalb des Nährsubstrats. Die dunkelbraune Puppe lässt am Hinterende bei genauer Betrachtung aufgrund morphologischer Unterschiede eine Geschlechtsbestimmung zu (REICHMUTH 1997).



Abb. 59: Imagines der Speichermotten *E. elutella* (links) und ihrer Eier (rechts)

Befallen werden in Lägern Getreide verschiedener Arten, Kakaokerne, Schokolade, Schokoladenprodukte, Samen, Kerne von Nüssen verschiedener Arten, Tierfutter, Trockenobst und im Freiland Stroh (Strohdächer) und Heu, was ihr auch den Namen Heumotte einbrachte. In deutschen Getreidelägern sind Speichermotten die vorherrschenden Kleinschmetterlinge. Durch Symbionten im Darm können die Larven selbst Tabak verdauen, ohne am Nikotin zu verenden. Ein Weibchen legt bis zu 300 Eier in die Nähe eines Substrats auf Getreidekörner. Die Eier rieseln bis zu etwa 5 cm tief in das Getreide zwischen den Körnern. Die Entwicklung zur nächsten Faltergeneration dauert im Sommer etwa sechs Wochen. In einem Jahr entwickeln sich im Berliner Klima etwa zwei Generationen. Der Falterflug erfolgt überwiegend in der wärmeren Jahreszeit zwischen Mai und September. Die im Herbst ausgewachsenen Larven überwintern als Diapauselarven und verpuppen sich im Frühjahr. Die Puppe lagert in Ritzen in ihrem Kokon (REICHMUTH 1997).

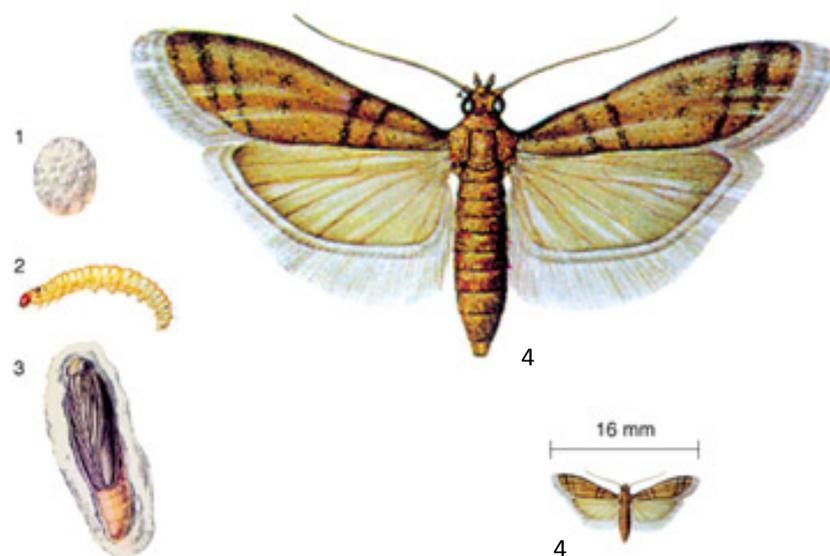


Abb. 60: *E. elutella* und ihre Entwicklungsstadien. Ei (1), Larve (2), Puppe (3) und Imago (4)

Das Schadbild der Speichermotten ähnelt dem der Mehlmotten. Die Larven, das einzige Fressstadium dieser Tiere, bevorzugen trockene oder getrocknete Produkte und Waren und besiedeln vorwiegend den Oberflächenbereich befallener Produkte, wohl um dem schlüpfenden Falter einen leichten Abflug und eine schnelle Partnerfindung zu ermöglichen. In Fabrikations- und Verpackungsräumen in Schokoladen- und Süßwarenfabriken, aber auch durch Befall von Lebensmittelpackungen auf dem Vertriebsweg verursachen sie besonders unangenehme Schäden.

Die fakultative Diapause kurz vor der Verpuppung wird in Verbindung mit der Temperatur vor allem durch die Helligkeit beeinflusst. Bei langer Dunkelperiode tritt ein großer Teil der Population in die Diapause ein; bei dauerhaftem Langtag (über 15 Std. Beleuchtung) geht die Entwicklung konstant vor sich. STEIN (1986) berichtet, dass unter den Bedingungen einer Lagerhalle ab September mit dem Eintritt der Diapause gerechnet werden muss.

Während der Diapause ist die Speichermottenlarve gegen Hitze, Feuchte und Insektizide extrem tolerant (ASHWORTH 1993). Eine fakultative Diapause im Larvenstadium kann die normale Entwicklung wesentlich verlängern. Während die Lebensphase von Ei bis Puppe bei Zimmertemperatur jeweils etwa 2 bis 2,5 Wochen beträgt, kann die Dauer des Larvenstadiums bei diesen Bedingungen zwischen 2 bis 10 Monaten schwanken. Die Lebensdauer der Falter kann günstigstenfalls (bei Aufnahme von Wasser) 2 bis 3 Wochen betragen (STEIN 1986). Bisherige Untersuchungen zeigten (Tab. 10), dass die Wirksamkeit von Sulfurylfluorid gegen Insekteneier durch Verlängerung der Expositionszeit erhöht werden kann, während die Larven, Puppen und Imagos bei kürzeren Expositionszeiten viel empfindlicher sind (BELL et al. 1999; SCHNEIDER und HARTSELL 1999; REICHMUTH et al. 1999; SCHÖLLER und HASSAN 2001).

Tab. 10: Mortalitätsergebnisse von Sulfurylfluorid gegen verschiedene Insekten aus der Literatur

| Art | Eialter (Tag) | Temp (°C) | CTP (g,h/m ³) | Mort (%) | LD ₅₀ (g,h/m ³) | LD ₉₅ (g,h/m ³) | LD ₉₉ (g,h/m ³) | Zitat |
|------------------------------|---------------|-----------|---------------------------|----------|--|--|--|-------------------------------|
| <i>Ephestia kuehniella</i> | 1-2 | 15 | | | 1.898 | 3.507 | 4.524 | Bell, et al. (1999) |
| | 2-3 | 15 | | | 678 | 3.428 | 6.710 | |
| | 1-2 | 25 | | | 507 | 851 | 1.054 | |
| | 2-3 | 25 | | | 265 | 579 | 800 | |
| | 1 | 20 | 240 | 95 | | | | Reichmuth, et al. (1999) |
| | 1 | 20 | 480 | 100 | | | | |
| | 2 | 20 | 240 | 18 | | | | |
| | 2 | 20 | 480 | 100 | | | | |
| | 3 | 20 | 960 | 93 | | | | |
| | 3 | 20 | 1.440 | 100 | | | | |
| <i>Plodia interpunctella</i> | 1, 2 | 15 | 640 | 100 | | | | Schneider und Hartsell (1999) |
| | 3 | 15 | 640 | 97,5 | | | | |
| | 1, 2 | 20 | 1.043 | 100 | | | | |
| | 3 | 20 | 1.043 | 98,0 | | | | |
| | 1, 2 | 25 | 1.180 | 100 | | | | |
| | 3 | 25 | 1.180 | 98,0 | | | | |

Die Anzucht der in der vorliegenden Arbeit eingesetzten Speichermotten *E. elutella* erfolgte in den Laboren des Berliner Instituts für Vorratsschutz des Julius Kühn-Institutes. Seit Jahren vorrätig gehaltene Insektenzuchten dienten als Grundlage für die Anzucht der Motten. Im Berliner Institut wurde die Speichermotte für die Versuche mit Sulfurylfluorid üblicherweise bei 25°C und 65 % r. Lf. aufgezogen, um ihre Entwicklung zu beschleunigen. Als Nährsubstanz wurden 200 ml Getreidekleie für jedes Zuchtglas verwendet. Auch eine Papprolle wurde als Eiablage für die Verpuppungswiege der Larve benutzt. In jedem Zuchtglas wurden ca. 250 erwachsene *E. elutella* für vier Wochen angesetzt und anschließend wieder abgesiebt.

Die in Wärmezellen gezüchteten Speichermotten wurden eine Woche vor der Begasung aus den Zuchtgläsern entnommen und in das Eiablagegefäß gebracht, das oben und unten mit einem Siebgitter (Maschenweite: 1 mm) geteilt war (Abb. 61).

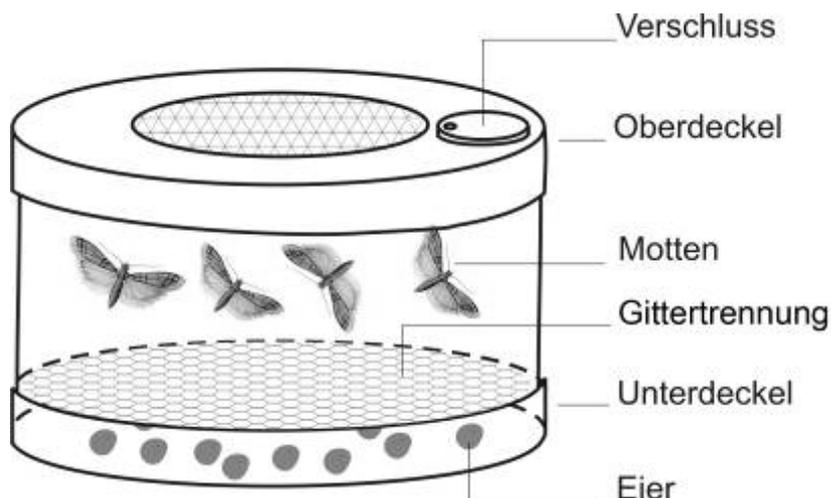


Abb. 61: Eiablagegefäß mit Eiern und Faltern von *E. elutella*

Vier Tage vor der Begasung wurden täglich für 3 Temperaturvarianten und 3 Expositionszeiten je 50 Eier auf je 5-ml-Getreidekleie in neun kleinen Metallkäfigen (Länge: 5 cm, Breite: 1,5 cm, Maschenweite: 0,1 mm) gezählt. Am Tag der Begasung wurden je 30 Larven bzw. je 30 Puppen ebenfalls mit 5-ml-Nährsubstrat in jeweils neun weitere Metallkäfige (Maschenweite: 0,4 mm) gegeben. Die beschrifteten Metallkäfige wurden mit einem Plastikstöpsel geschlossen und in 500-ml-Waschflaschen gelegt. Diese wurden mit Aufsätzen verschlossen, die vorher mit Ventilen und Schläuchen verbunden wurden.

Tab. 11: Anzahl der eingesetzten Lebensstadien von *E. elutella* bei 3 Temperaturen, 3 Expositionszeiten und 3 Wiederholungen

| Stadien | Dosierung (g/m ³) | Temperaturen (°C) | Exposition (h) | Wdh. | Anzahl | Summe der eingesetzten Tiere |
|------------------------------------|-------------------------------|-------------------|----------------|------|--------|------------------------------|
| Eier 1 | 11,6±1,6 21,3±1,3 | 15; 20; 25 | 18; 24; 48 | 3 | 50 | 2.700 |
| Eier 2 | 11,6±1,6 21,3±1,3 | 15; 20; 25 | 18; 24; 48 | 3 | 50 | 2.700 |
| Eier 3 | 11,6±1,6 21,3±1,3 | 15; 20; 25 | 18; 24; 48 | 3 | 50 | 2.700 |
| Eier 4 | 11,6±1,6 21,3±1,3 | 15; 20; 25 | 18; 24; 48 | 3 | 50 | 2.700 |
| Larven | 11,6±1,6 | 15; 20; 25 | 18; 24; 48 | 3 | 30 | 810 |
| Puppen | 11,6±1,6 | 15; 20; 25 | 18; 24; 48 | 3 | 30 | 810 |
| Summe eingesetzter Insekten | | | | | | 12.420 |

11,6 ± 1,6 g/m³ und 21,3 ± 1,3 g/m³ Sulfurylfluorid wurden jeweils für drei Temperaturen und drei Expositionszeiten bei drei Wiederholungen verwendet. Die genaue Berechnung der eingesetzten SF-Dosierung wird in 1.3.4. erklärt. Das FT-IR pumpte das eingespritzte Gas bis zu einem konstanten Konzentrationsniveau. Die gezielte Konzentration wurde vorwiegend nach einer zweiten oder dritten Dosierung erreicht. Die Nachdosierung erfolgte ungefähr 10 Minuten nach dem Beginn der Eingasung. Nach der Begasung wurden die Flaschen in die drei Klimakammern (15°C, 20°C, 25°C) gestellt und dort 18; 24 bzw. 48 Std. aufbewahrt. Die Temperatur und r. Lf. während der Aufbewahrung in den Klimazellen wurden mit dem Datalogger gemessen und registriert.

Nach 18, 24 und 48 Std. wurden die Flaschen 15 Min. gelüftet, wobei die Konzentration des Sulfurylfluorid gemessen wurde. Anschließend wurde das Gemisch aus Eiern, Larven, Puppen und Kleie aus den Metallkäfigen genommen und in separate Gläser (350 ml) überführt. Die Gläser wurden danach mit einem Stück Stoff bedeckt, mit einem Gummiband verschlossen und in Klimazellen mit 25°C und 65 % r. Lf. gestellt, um die Entwicklung überlebender Tiere zu beschleunigen. Die Entwicklung der Eier, Larven und Puppen wurden wöchentlich bis zur 12. Woche auf Überlebende kontrolliert.

3.3.2. Der Erdnussplattkäfer *Oryzaephilus mercator* und dessen Anzucht

In der Körperform ähnelt der *O. mercator* dem Getreideplattkäfer (*O. surinamensis*) bis auf den Seitenrand des Kopfes hinter dem Auge, der zahnähnlich ausgebildet ist und kaum die halbe Augenzlänge erreicht. Der erwachsene Käfer ist maximal 3 mm groß und hat eine braune Farbe. Die Larven des Erdnussplattkäfers sind gelblich glänzend und bis zu 4 mm groß. Der Erdnussplattkäfer beschränkt sich in seiner Verbreitung vorzugsweise auf tropische Gebiete. Unter günstigen mikroklimatischen Bedingungen in warmen Getreidepartien oder Wärmenestern in Getreide kann sich seine Befallsdichte innerhalb eines Monats auf das 25-fache steigern. Unter mitteleuropäischen klimatischen Bedingungen überlebt der Erdnussplattkäfer im Freien nicht. Er befällt öl- und fetthaltige pflanzliche Produkte wie Erdnüsse, Kopra, Mandeln, Muskatnüsse, Ölkuchen, Trockenfrüchte und seltenes Getreide

(REICHMUTH 1997). Die Weibchen können bis 400 Eier über eine Zeitdauer von 6 bis 10 Wochen legen. Die Eier sind 0,3 bis 0,7 mm groß und werden in das larvale Nahrungsmittelsubstrat gelegt (STEIN 1986).

Hohe Temperaturen werden für die Entwicklung bevorzugt. Unter 17°C findet keine Vermehrung mehr statt. Die Dauer der Eientwicklung liegt zwischen 13 Tagen bei 20°C und etwa 3 Tagen bei 35°C. Auch die Entwicklung seiner 4 Larvenstadien ist relativ kurz und kann bei 30°C in 15 Tagen durchlaufen werden; bei 35°C sind es sogar nur knapp 10 Tage. Die Puppe benötigt bei dieser Temperatur für die Entwicklung zur Imago 3 Tage. Bei Zimmertemperatur kann sich eine Generation in etwa vier Wochen entwickeln (STEIN 1986). Für eine effektive Bekämpfung müssen befallene Produkte vernichtet werden. Mitunter sind Begasungen eine gute Möglichkeit, um Befälle in Lebensmittelwerken zu beseitigen. In Bäckereien und ähnlichen Betrieben werden nach einer gründlichen Reinigung durch Schädlingsbekämpfer geeignete Kontaktinsektizide ausgebracht. Zur Bereitstellung der zu untersuchenden Entwicklungsstadien wurden alle zwei Wochen junge Käfer beiderlei Geschlechts bei 28°C und 65 % r. Lf. auf Getreidekleie gesetzt. Die Zuchten wurden in 2-Liter-Gläsern im Zuchtlabor des Berliner Instituts aufgezogen.

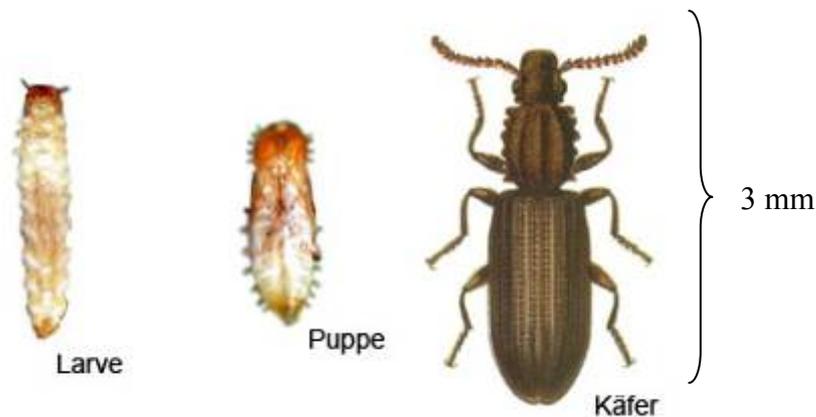


Abb. 62: Entwicklungsstadien des Erdnussplattkäfers *O. mercator*

Erfahrungen im Rahmen dieser Arbeit zeigten, dass die begasten Käfer gleich nach der Begasung mit 10 g/m³ Sulfurylfluorid starben, weshalb die Untersuchungen auf Eier, Larven und Puppen fokussiert wurden. Zur Vorbereitung des Brutgemischs wurden pro Temperatur, Einwirkzeit und SF-Konzentration sowie für jede der drei

Wiederholung jeweils 30 Käfer aus den Zuchtgläsern entnommen. Die gezählten Käfer wurden eine Woche lang in Metallkäfigen mit ca. 5 ml Getreidekleie bei 25°C und 65 % r. Lf. in einer klimatisierten Kammer aufbewahrt. Zwecks Bestimmung der Mortalität von Eiern, Larven und Puppen wurden die Käfer der Kontrollvariante vor der Begasung herausgenommen. Alle Proben wurden jeweils nach 12 Wochen den Klimazellen entnommen und die Anzahl der geschlüpften Eier festgestellt.

Tab. 12: Versuchsplan für die SF-Begasungen gegen *O. mercator* mit eingesetzter Käferanzahl

| Temperatur (°C) | Konzentration (g/m ³) | Einwirkzeit (Std.) | Wdh. | Anzahl der Käfer | Summe der eingesetzten Käfer |
|---|-----------------------------------|--------------------|------|------------------|------------------------------|
| 15 | 10; 20; 30 | 24; 48; 72 | 3 | 30 (×27) | 810 |
| 20 | 10; 20; 30 | 24; 48; 72 | 3 | 30 (×27) | 810 |
| 25 | 10; 20; 30 | 24; 48; 72 | 3 | 30 (×27) | 810 |
| Gesamtsumme der eingesetzten Käfer | | | | | 2.430 |

3.3.3. Sulfurylfluorid (SO₂F₂) als Begasungsmittel

Sulfurylfluorid (SO₂F₂, Abk. SF) ist ein nach Pflanzenschutzgesetz und auch Biozidgesetz zugelassener toxischer Wirkstoff und wird verbreitet gegen Termiten und andere strukturelle Schädlinge angewendet (EBELING 1987). Das Gas wird auch für die Entwesung vorratsschädlicher Insekten verwendet und als eine Alternative zu Methylbromid im Vorratsschutz gesehen. Früher wurde Sulfurylfluorid hauptsächlich für die Entwesung von Trockenholztermite benutzt (REICHMUTH et al. 1997). Seit Dezember 2004 ist Sulfurylfluorid in Deutschland für die Anwendung in Mühlen, leeren Vorratslagern und bei getrockneten Früchten registriert (DRINKALL et al. 2005; REICHMUTH et al. 2003). Es ist eine biologisch aktive anorganische Substanz, geruchlos, farblos, nicht-korrosiv und nicht-entflammbar

(DRINKALL et al. 2003; REICHMUTH et al. 1997). Sulfurylfluorid hat eine niedrige Löslichkeit in Wasser (750 ppm bei 25°C), einen hohen Dampfdruck (15,98 bar bei 21,1°C) und einen niedrigen Siedepunkt (-55,4°C), welcher die Durchdringungsfähigkeit des Gases erhöht (SCHNEIDER 1993) (Tab. 13). Insektenschädlinge werden vom Sulfurylfluorid, das als aktiven Bestandteil Fluor enthält, durch die Zerstörung des Glycolysekreislauf und den damit einhergehenden Verlust metabolischer Energie getötet (MEIKLE et al. 1963). Die Wirksamkeit des Sulfurylfluorid hängt von der Einatmungsintensität der Insekten und der Expositionszeit ab (KENAGA 1957). In der vorliegenden Arbeit wurde 99,8%-iges reines Sulfurylfluorid Gas ProFume™ eingesetzt, das als flüssiges Gas mit Überdruck im kommerziellen Metallzylinder von der Fa. Dow AgroSciences geliefert wurde.

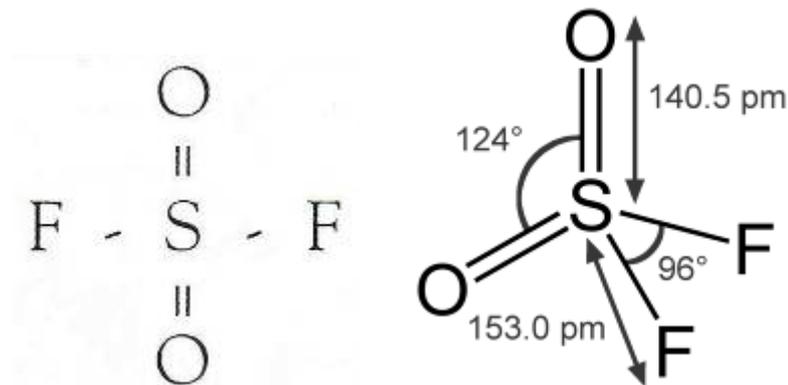


Abb. 63: Chemische Formel und Strukturformel von Sulfurylfluorid sowie sterische Anordnung des Moleküls

Tab. 13: Chemische Eigenschaften von Sulfurylfluorid

| Bezeichnung der aktiven Substanzen | |
|---|---|
| UIPAC Bezeichnung: | Sulfurylfluorid |
| CAS Bezeichnung: | Sulfurylfluorid |
| CAS Registry Nummer: | 2699-79-8 |
| Allgemeine Bezeichnung: | Sulfurylfluorid |
| Struktur und empirische Formel: | SO ₂ F ₂ (s. Abb. 6) |
| Physikalische Eigenschaften | |
| Molekulargewicht: | 102,1 mol |
| Geruch: | Geruchlos |
| Farbe | Farblos |
| Relative Dichte: | 4,18 mg/ml bei 25°C und 760 mm Hg |
| Schmelzpunkt: | -136,7°C (-93,7°F) bei 760 mm Hg |
| Siedepunkt: | -55,2°C (-67°F) bei 760 mm Hg |
| Dampfdruck: | 15,5 bar bei 20°C 32 bar bei 50°C |
| Druckdichte (Luft=1) | 3,5 bei 20°C |
| Octanol-Wasser Verteilungskoeffizient (log KOW): | 0,14 bei 20°C |
| Flammpunkt: | Nicht entflammbar |
| Löslichkeit in Wasser: | 750 mg/kg bei 25°C |
| Lösungsmittel-Löslichkeit: | 1-Octanol 14 g/l Heptan 22 g/l Ethylacetan 59 g/l Methanol 33 g/l Aceton 71 g/l |

3.3.4. Berechnung der einzusetzenden Menge Sulfurylfluorid

Die eingesetzte Menge an Sulfurylfluorid wurde mit der einfachen Dreisatzformel berechnet. Das Gesamtvolumen der drei Waschflaschen und der gesättigten Salzlösungsflasche betrug ca. 2.000 ml (à 500 ml). Auch Volumina der FT-IR-Pumpe mit ca. 40 ml und der ca. 50 cm langen PVC-Schläuche mit einem Durchmesser von 8 mm wurden berücksichtigt. Mit Ventilen und Flaschenaufsätzen ergab sich ein Gesamtvolumen von ca. 2.500 ml.

Die Berechnung der Menge an Sulfurylfluorid zur Erreichung einer Zielkonzentration von 11,6 mg/ml lautet wie folgt:

$$x = \frac{2500 \text{ ml}}{1000 \text{ ml}} \cdot 11,6 \text{ mg} = 29 \text{ mg Sulfurylfluorid im Gesamtvolumen.}$$

Wenn die Dichte des reinen Sulfurylfluorid $\rho_{SF(100\%)} = 4,18 \text{ mg / ml}$ ist (ANONYM 2002a), dann hat das 98,9%-ige Sulfurylfluorid eine Dichte von $\rho_{SF(98,9\%)} = 4,13 \text{ mg / ml}$.

Die eingegebene SF-Menge (ml) wurde durch die Gleichung $y = \frac{29 \text{ mg}}{4,13 \text{ mg}} \cong 7,02 \text{ ml}$

berechnet. Für die Berechnung der höheren Dosierung von 21,3 g/m³ wurde ebenfalls die gleiche Rechenmethode verwendet.

In einer 150-ml-Gasmaus (Abb. 61) wurde mit Hilfe eines elektrischen Kompressors Vakuum erzeugt und das reine Sulfurylfluorid aus der angekoppelten Zylinderflasche in die Gasmaus mit einem Druck von 2 bar abgefüllt. Anschließend wurde die berechnete Menge mit einer Spritze in die Flaschen eingegeben. Bei der ersten Eingabe wurden etwa 4 bis 5 ml reines Gas eingespritzt.

Die nachgegebene SF-Menge (ml) für die gezielte Dosierung (11,6 g/m³ bzw. 21,3 g/m³) wurde üblicherweise gemäß der Dreisatzformel bestimmt und die Nachdosierung erfolgte nach etwa 10 Min. Da das eingespritzte Gas nicht sofort in jeder Flasche gleicher Menge verteilt werden kann, wurde die Luft-Gas-Mischung zirkuliert um ein konstantes Konzentrationsniveau.



Abb. 64: 10-ml-Spritze (oben) mit Verschluss und 150-ml-Gasmaus (unten) mit Septum

3.3.5. FT-IR-Gasanalysator und die Begasung

Bestimmung der SF-Konzentration bei der Laborbegasung wurde mit einem FT-IR-Gasanalysator (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) vom Typ GASMET CR2000™ der Firma ANSYCO GmbH durchgeführt. Die r. Lf. wurde vorher mit einer gesättigten Salzlösung auf 65 % eingestellt. Hierfür wurde ca. 30 Minuten vor der Begasung ein Kompressor eingeschaltet und die von der Salzlösung im Kreislauf befeuchtete Luft durch die Flaschen gepumpt. Temperatur und r. Lf. wurden in 30-Minuten-Intervallen von einem Datenlogger erfasst.



Abb. 65: Das FT-IR-Gerät Typ GASMET CR2000™

Damit man bei einer Gasundichtigkeit sofort reagieren kann, wurde aus Arbeitssicherheitsgründen ein zweiter Infrarot-Gas-Analysator (MIRAN, Firma WILKS) mit einer Alarmanlage bereitgestellt. Da der MIRAN keine eigene Pumpe hatte, wurde an ihn ein elektrischer Kompressor mit einem ca. 5 m langen Schlauch angeschlossen, damit die Innenraumluft durch den MIRAN zirkulieren konnte. Die kritische Grenze für die SF-Konzentration wurde im Versuchslabor auf 2 vpm eingestellt, so dass sich die Alarmanlage bei einer Raumkonzentration von mehr als 2 vpm automatisch einschaltete.

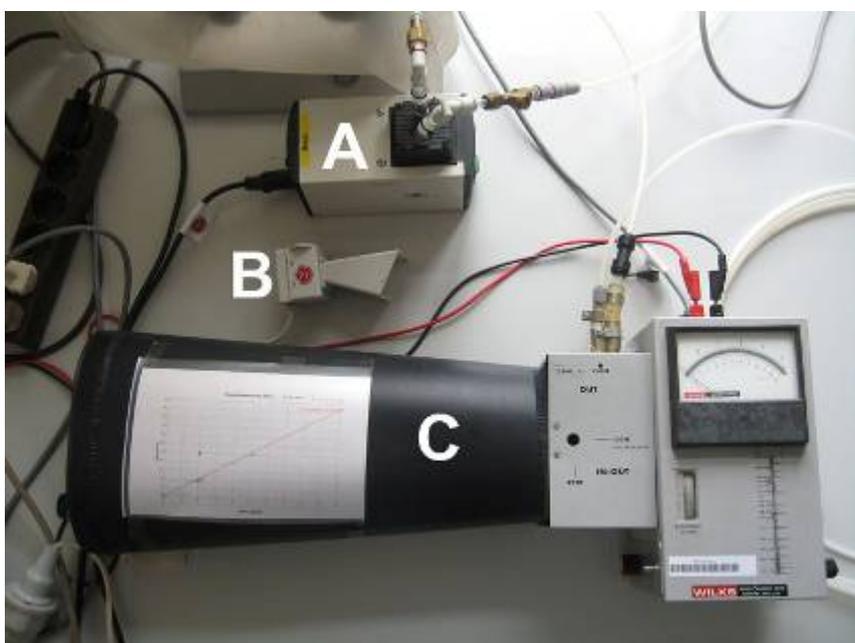


Abb. 66: MIRAN Infrarot-Gasanalysator (C) mit elektrischer Pumpe (A) und einer Alarmpumpe (B)

Die Begasung erfolgte im Labor bei Zimmertemperatur. Die 500-ml-Waschflaschen wurden mit PVC-Schläuchen zusammen und an das FT-IR-Gerät gekoppelt. Eine gesättigte Salzlösung mit NaNO_2 wurde dazwischen geschaltet, um in den Flaschen die relative Luftfeuchtigkeit auf ca. 65 % einzustellen (SOLOMON 1952). Das FT-IR-Gerät pumpte die Luft mit einem integrierten Kompressor durch die PVC-Schläuche und die Waschflaschen und registrierte die SF-Konzentration in 5-Sek.-Intervallen auf einem Computer. Während der Zirkulation wurde Sulfurylfluorid mit einer gasdichten Spritze je nach gewünschter Konzentration durch das Septum eingespritzt. Für die gezielte Konzentration wurde die SF-Konzentration wie in 1.3.4.

berechnet. Die gesamte Begasung dauerte ca. 20 Minuten. Anschließend wurden die Flaschenventile verschlossen und die PVC-Schläuche entkoppelt.



Abb. 67: Der Versuchsaufbau (FT-IR, Computer, Waschflaschen, Salzlösung, Uhr, Umwälzpumpe)

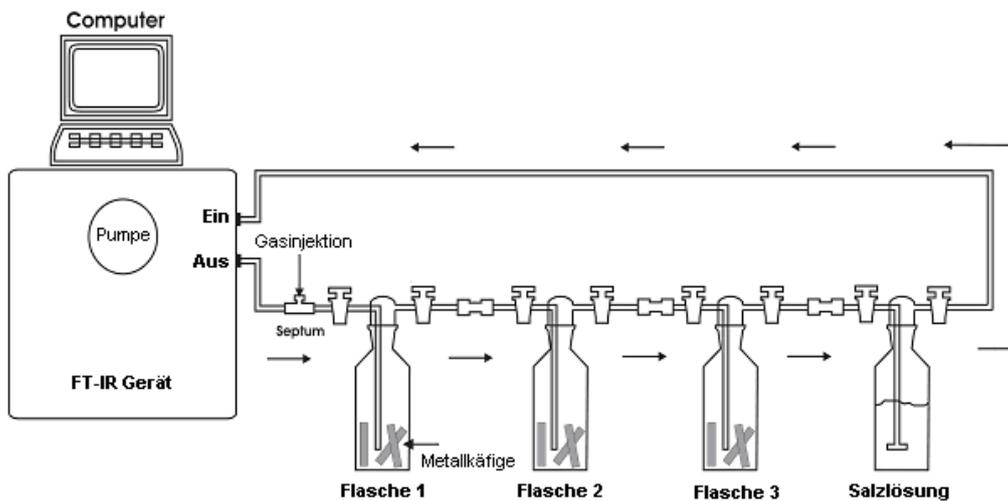


Abb. 68: Schematische Darstellung der Begasungsanlage und der Begasung



Abb. 69: Metallkäfige mit Plastikstöpseln in einer Waschflasche während der SF-Begasung



Abb. 70: Gläser (350 ml) mit Eiern, Larven und Puppen auf 50-ml-Kleie in der Klimazelle bei 25°C und 65 % r. Lf.

3.3.6. Statistische Auswertung

Zur Berechnung der prozentualen Mortalität (M) wurde die Formel; $M(\%) = \frac{x-y}{x} \cdot 100$ eingesetzt, wobei x für die lebenden Tiere der Kontrollvariante und y für die lebenden Tiere der Behandlungsvariante steht. Damit wurden die Ergebnisse der geschlüpften Tiere nach ABBOTT (1925) mit der Anzahl der abgestorbenen Tiere der unbehandelten Kontrollprobe korrigiert.

Außer dieser Formel gilt $M_{\text{eff}} = 100 \cdot \frac{100 \cdot \frac{Z}{N} - \overline{MK}}{100 - \overline{MK}}$ %, wobei M_{eff} den Tod durch

Einfluss des Wirkstoffs (effektive Mortalität), \overline{MK} den Tod durch natürliche Ursachen (Mortalität in der Kontrollprobe), Z die Anzahl der gestorbenen Tiere und N die der insgesamt eingesetzten Tiere darstellt (NOACK und REICHMUTH 1978).

Eine Probitanalyse wurde wegen der hohen Anzahl von Ergebnissen mit 100%-iger Mortalität nicht durchgeführt. Das Konzept der Probitanalyse erfasst aufbauend auf der Gauß'schen Glockenkurve bzw. seines Integrals nur endliche Messwerte.

Optimal ist die Probitanalyse für die Bestimmung der LD₅₀ geeignet. Die Bestimmung des LD₅₀-Wertes wurde damals von TREVAN (1927) entwickelt, um die Toxizität der eingesetzten Drogen und Medikamente einzuschätzen. Er verwendete den LD₅₀-Test, weil die Verwendung des Todes als "Ziel" den Vergleich zwischen Chemikalien, die den Körper auf sehr unterschiedliche Weise vergiften, ermöglichte.

Die Suche nach alternativen Wegen für die annäherungsweise Bestimmung der gezielten LD-Werte ergab, dass das verwendete Computerprogramm TableCurve bestens dafür geeignet ist, da es auch nicht lineare Regressionen mit einer Vielzahl möglicher mathematischer Formeln ermöglicht. Das Programm prüft mit hoher Geschwindigkeit verschiedenste Kombinationen von Koeffizienten komplexer Formeln und ermittelt für den jeweiligen Datensatz die (beste) Regression und gestattet, interpolierte Festwerte (LD₅₀, LD₉₅ und LD₉₀) einschließlich der Vertrauensbereiche zu berechnen. Um für den jeweiligen Messbereich die beste Approximierung zu finden, wurde die Formel mit dem Regressionskoeffizient ausgewählt, der am dichtesten bei 1,0 lag (s. Tabellen 16 und 18). Dabei wurden die Formeln bzw. Gleichungen je nach deren Eignung für die Kurvenanpassung eingesetzt. Bei der Auswahl der Formeln wurden die Werte der Regressionskoeffizienten (r^2) und die geometrische Form der Kurven in Betracht gezogen. Die Formeln sind in Tabelle 14 aufgelistet.

Tab. 14: Verwendete Formeln für die nichtlineare Regressionsanalyse mit dem Computerprogramm TableCurve 2D™

| | |
|---------------------------------|---|
| a) Gaussian Cumulative: | $y = \frac{a}{2} \left[1 + \operatorname{erf} \left(\frac{x-b}{\sqrt{2c}} \right) \right]$ |
| b) Sigmoid: | $y = \frac{a}{1 + \exp \left(-\frac{x-b}{c} \right)}$ |
| c) Logistic Dose Response Peak: | $y = \frac{4ax^{-c-1}b^{c+1}c^2}{(c-1+cx^{-c}b^c+x^{-c}b^c)^2}$ |
| d) Logistic Dose Response: | $y = \frac{a}{1 + \left(\frac{x}{b} \right)^c}$ |
| e) Single Term Linear Function: | $y = a + b\sqrt{x}$ |
| f) Logistic power Peak: | $y = \frac{a}{d} \left[1 + \exp \left(\frac{x+c \ln d - b}{c} \right) \right]^{-\frac{d-1}{d}} \exp \left(\frac{x+c \ln d - b}{c} \right) (d+1)^{\frac{d+1}{d}}$ |
| g) Two Term Linear Function: | $\ln y = a + bx + c\sqrt{x}$ |
| h) Lorentzian Cumulative: | $y = \frac{a}{\pi} \left[\arctan \left(\frac{x-b}{c} \right) + \frac{\pi}{2} \right]$ |
| i) Power (abc): | $y = a + bx^c$ |
| j) Two Term Function: | $y = a + bx + c\sqrt{x}$ |

3.4. Ergebnisse

3.4.1. Wirkung von Sulfurylfluorid auf die Speichermotte *Ephestia elutella*

Bereits die niedrige Konzentration (11,6 g/m³) reichte für die komplette Abtötung der Larven und Puppen während der 20-minütigen Eingasung aus. Diese Lebensstadien wurden deshalb für die Versuche mit höherer Konzentration nicht herangezogen.

Die untersuchten Eistadien waren bei 15°C empfindlicher als die Eier bei 20°C und 25°C. Die Ergebnisse zeigten, dass die ein bis drei Tage alten Eier in der 48-stündigen Einwirkzeit bei 15°C komplett abgetötet wurden. Obwohl die Einwirkzeiten von 18 und 24 Std. bei dieser Temperatur für eine komplette Entwesung nicht genügten, waren alle eingesetzten zwei und einen Tag alten Eier jeweils nach 18 und 24 Std. abgetötet. Die niedrigste Mortalitätsrate mit 83,6 % ± 1,5 % wurde bei dieser Temperatur und 18-stündiger Einwirkzeit bei den 4 Tage alten Eiern beobachtet.

Die ein bis vier Tage alten Eier wiesen bei 20°C und 18 Std. Expositionszeit keine vollständige Mortalität auf. Bei dieser Temperatur zeigten nur die 24- und 48stündige Einwirkzeit bei ein und zwei Tage alte Eier eine komplette Mortalität. Bei den vier Tage alten Eiern wurde mit 80,5 % ± 1,5 % die niedrigste Mortalität erreicht. Obwohl nur bei der 48-stündigen Einwirkzeit alle einen Tag alten Eier abgetötet waren, zeigten die Eier bei den 18- und 24-stündigen Expositionsauern stets eine hohe (96,2 % und 98,5 %) Mortalitätsquote.

Eine 100%-ige letale Wirkung von Sulfurylfluorid auf die Eistadien wurde bei 25°C nur nach 48-stündiger Expositionszeit bei den einen Tag alten Eiern beobachtet. Die sonst höchste Mortalitätsrate bei dieser Temperatur lag wieder bei den einen Tag alten Eiern in der 18- und 24-stündigen und bei 2 bis 4 Tage alten Eiern in der 48-stündigen Expositionszeit. Bei dieser Konzentration (11,6 g/m³) waren die 3 Tage alten Eier bei 20°C mit einer Mortalitätsrate von 73,1 % ± 9,1 % die tolerantesten Eistadien (Tab. 15 und 16).

Tab. 15: Ergebnisse der SF-Begasung gegen *E. elutella* mit 11,6 g/m³ bei 3 Temperaturen und 3 Einwirkzeiten

| Dosierung (g/m ³) | | 11,6 ± 1,6 g/m ³ | | | |
|-------------------------------|---------|-----------------------------|------------|------------|------------|
| Expositionszeit (h) | | 0 | 18 | 24 | 48 |
| CTP (gh/m ³) | | 0 | 208 | 278,4 | 556,8 |
| Temperatur | Stadien | MW ± SD | MW ± SD | MW ± SD | MW ± SD |
| 15°C | Eier 1 | 14,7 ± 3,4 | 98,4 ± 2,2 | 100 | 100 |
| | Eier 2 | 14,7 ± 4,1 | 100 | 99,3 ± 1,0 | 100 |
| | Eier 3 | 8,0 ± 1,6 | 93,4 ± 3,7 | 98,6 ± 1,0 | 100 |
| | Eier 4 | 22,7 ± 1,9 | 83,6 ± 1,5 | 88,7 ± 4,6 | 96,5 ± 1,3 |
| | Larven | 8,9 ± 5,7 | 100 | 100 | 100 |
| | Puppen | 10,0 ± 2,7 | 100 | 100 | 100 |
| 20°C | Eier 1 | 21,3 ± 6,6 | 99,2 ± 1,2 | 100 | 99,2 ± 1,2 |
| | Eier 2 | 18,7 ± 6,2 | 92,5 ± 5,6 | 96,7 ± 3,2 | 100 |
| | Eier 3 | 12,0 ± 4,3 | 87,2 ± 3,3 | 86,4 ± 2,7 | 98,5 ± 2,1 |
| | Eier 4 | 24,7 ± 4,1 | 81,3 ± 4,1 | 80,5 ± 1,5 | 90,5 ± 4,7 |
| | Larven | 12,2 ± 4,2 | 100 | 100 | 100 |
| | Puppen | 13,3 ± 4,7 | 100 | 100 | 100 |
| 25°C | Eier 1 | 12,0 ± 5,9 | 96,2 ± 3,7 | 98,5 ± 1,1 | 100 |
| | Eier 2 | 10,0 ± 2,8 | 81,5 ± 6,8 | 91,2 ± 6,2 | 98,6 ± 2,0 |
| | Eier 3 | 8,7 ± 4,1 | 73,1 ± 9,1 | 92,0 ± 1,7 | 97,8 ± 1,7 |
| | Eier 4 | 7,3 ± 4,1 | 77,4 ± 6,3 | 94,9 ± 2,9 | 99,2 ± 1,1 |
| | Larven | 3,3 ± 0 | 100 | 100 | 100 |
| | Puppen | 6,7 ± 4,7 | 100 | 100 | 100 |

Tab. 16: Regressionskoeffizienten (r²) und Formeln für die LD-Werte bei 11,6 g/m³ SF-Dosierung gegen *E. elutella*

| Dosierung (g/m ³) | 11,6 | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 15 | | | | 20 | | | | 25 | | | |
| Temp. (°C) | | | | | | | | | | | | |
| Eialter (Tag) | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Formel | b | e | e | e | a | b | h | e | e | e | g | c |
| R.-koef. (r ²) | 0,99 | 0,84 | 0,88 | 0,93 | 0,99 | 0,98 | 0,98 | 0,91 | 0,86 | 0,92 | 0,97 | 0,98 |
| F-Statistik | 1460,4 | 54,4 | 71,8 | 136,1 | 441,1 | 252,2 | 218,1 | 104,7 | 62,1 | 116,4 | 158,8 | 202,6 |
| LD ₅₀ (gh/m ³) | 62,9 | 41,8 | 60,5 | 45,9 | 48,3 | 76,9 | 44,7 | 50,5 | 50,5 | 73,7 | 94,2 | 130,7 |
| LD ₉₅ (gh/m ³) | 167,5 | 319,2 | 338,8 | 414,7 | 150,2 | 235,5 | 429,9 | 505,5 | 331,4 | 394,8 | 332,3 | 278,9 |
| LD ₉₉ (gh/m ³) | 223,6 | 356,4 | 374,4 | 465,4 | 201,0 | 350,7 | 683,1 | 568,9 | 368,3 | 435,6 | 540,1 | 559,1 |

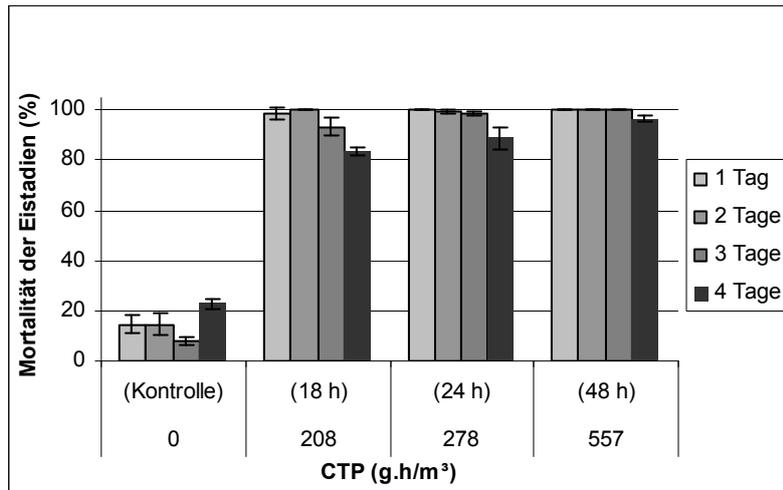


Abb. 71: Mortalität der 1 bis 4 Tage alten Eiern von *E. elutella* bei einer SF-Konzentration von 11,6 g/m³ bei 15°C und 65% r. Lf.

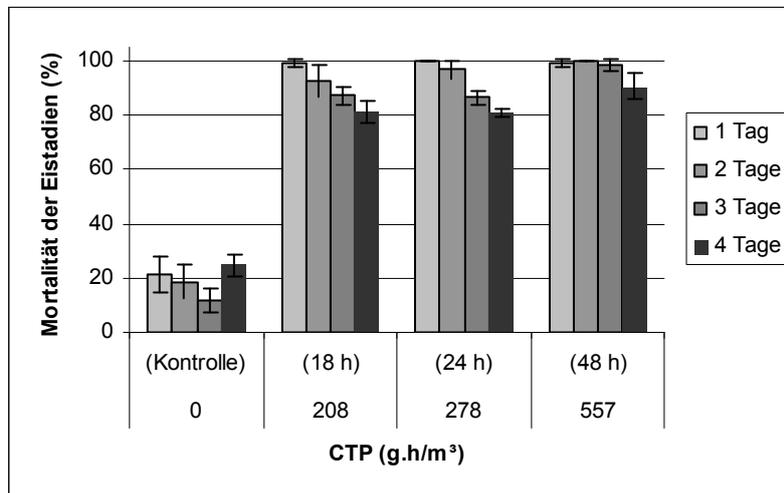


Abb. 72: Mortalität der 1 bis 4 Tage alten Eiern von *E. elutella* bei einer SF-Konzentration von 11,6 g/m³ und verschiedenen CT-Produkten bei 20°C und 65% r. Lf.

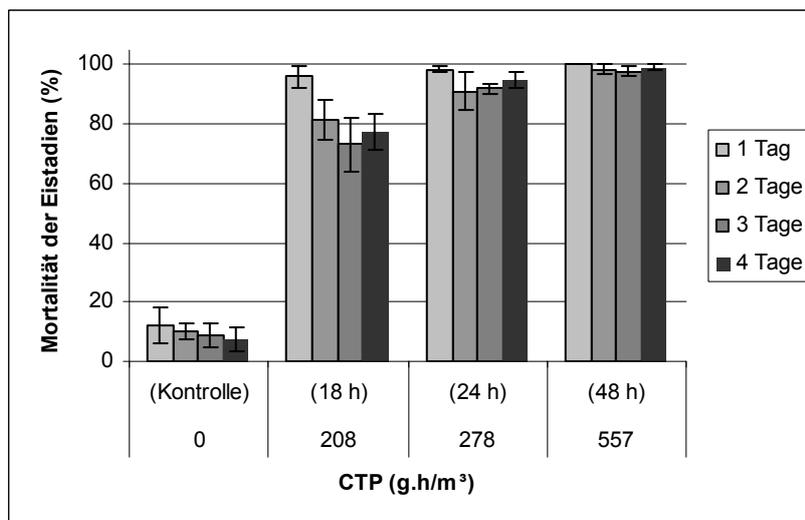


Abb. 73: Mortalität der 1 bis 4 Tage alten Eiern von *E. elutella* bei einer SF-Konzentration von 11,6 g/m³ bei 25°C und 65% r. Lf.

Bei höherer Konzentration (21,3 g/m³) und 15°C waren die einen Tag alten Eier von *E. elutella* bei allen Einwirkzeiten sehr empfindlich. Diese Eistadien folgten in steigender Empfindlichkeit den zwei Tage alten Eiern bei 24- und 48-stündigen Einwirkzeit. Dagegen waren die drei und vier Tage alten Eier bei 15°C und allen Einwirkzeiten sehr tolerant. Die vier Tage alten Eier von *E. elutella* waren während der 18-stündigen Exposition extrem tolerant, so dass die Mortalität 63,7 % ± 3,9 % nicht überstieg (Tab. 17 und 18).

Die Ergebnisse der mittleren Temperaturvariante (20°C) wiesen auf eine insgesamt zunehmende Mortalitätsquote gegenüber den Resultaten bei 15°C hin. Alle eingesetzten Eistadien waren bei 20°C nach 48-stündiger Einwirkzeit komplett abgetötet. Die mittlere Einwirkzeit von 24 Std. reichte dagegen für eine vollständige Abtötung aller Eistadien nicht aus, einige vier Tage alte Eier überlebten (Mortalität = 96,4 % ± 1,0 %). Die kürzeste Einwirkzeit von 18 Std. war nur für die einen Tag alten Eier komplett tödlich. Die vier Tage alten Eier waren mit einer Mortalität von 85,6 % ± 1,4 % bei 18-stündiger Einwirkzeit die tolerantesten.

Die Eistadien waren bei 25°C und allen Einwirkzeiten sehr empfindlich. Alle Eistadien waren nach den mittleren und langen Einwirkzeiten von 24 bzw. 48 Std. vollständig abgetötet. Die kürzeste Expositionszeit von 18 Std. bei 25°C war für drei und vier Tage alte Eier für eine 100%-ige Entwesung nicht ausreichend. Die 3 Tage alten Eier waren mit einer Mortalität von 95,6 % ± 1,7 % am widerstandsfähigsten. Für drei Tage alte Eier bei 15°C konnte das Regressionsprogramm TableCurve 2D™ keine LD₉₉-Werte ermitteln, weil die Mortalitätsrate bei diesen Eistadien äußerst niedrig war.

Tab. 17: Ergebnisse der SF-Begasungen gegen *E. elutella* mit 21,3 g/m³ bei 3 Temperaturen und 3 Einwirkzeiten

| Expositionszeit (h) | | 0 | 18 | 24 | 48 |
|--------------------------|---------|------------|------------|------------|------------|
| CTP (gh/m ³) | | 0 | 383,4 | 511,2 | 1022,4 |
| Temperatur | Stadien | MW ± SD | MW ± SD | MW ± SD | MW ± SD |
| 15°C | Eier 1 | 10,0 ± 1,6 | 100 | 100 | 100 |
| | Eier 2 | 8,0 ± 1,6 | 96,4 ± 1,0 | 100 | 100 |
| | Eier 3 | 8,0 ± 1,6 | 84,0 ± 2,3 | 84,1 ± 2,6 | 99,3 ± 1,0 |
| | Eier 4 | 8,0 ± 1,6 | 63,7 ± 3,9 | 82,6 ± 5,1 | 95,7 ± 1,8 |
| 20°C | Eier 1 | 9,3 ± 2,5 | 100 | 100 | 100 |
| | Eier 2 | 10,7 ± 3,4 | 94,8 ± 2,0 | 100 | 100 |
| | Eier 3 | 10,7 ± 2,5 | 91,0 ± 1,9 | 100 | 100 |
| | Eier 4 | 7,3 ± 2,5 | 85,6 ± 1,4 | 96,4 ± 1,0 | 100 |
| 25°C | Eier 1 | 6,0 ± 3,3 | 100 | 100 | 100 |
| | Eier 2 | 4,7 ± 0,9 | 100 | 100 | 100 |
| | Eier 3 | 9,3 ± 2,5 | 95,6 ± 1,7 | 100 | 100 |
| | Eier 4 | 8,0 ± 3,3 | 97,1 ± 0,9 | 100 | 100 |

Tab. 18: Regressionskoeffizienten (r²) und Formeln für die LD-Werte bei 21,3 g/m³ Sulfurylfluorid gegen Eistadien von *E. elutella*

| Temp. (°C) | 15 | | | | 20 | | | | 25 | | | |
|---------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Eialter (Tag) | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Formel | <i>f</i> | <i>f</i> | <i>a</i> | <i>i</i> | <i>f</i> | <i>f</i> | <i>A</i> | <i>b</i> | <i>j</i> | <i>f</i> | <i>b</i> | <i>b</i> |
| R.-koef. (r ²) | 0,99 | 0,99 | 0,99 | 0,97 | 0,99 | 0,99 | 0,99 | 0,99 | 0,99 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| F-Statistik | 6067,4 | 4549,9 | 262,8 | 167,1 | 2640 | 984,0 | 2318 | 2824 | 1432 | 19659 | 2840 | 2412 |
| LD ₅₀ (gh/m ³) | 88,7 | 169,5 | 155,1 | 147,2 | 90,5 | 170,1 | 185,2 | 225,4 | 45,3 | 131,8 | 164,1 | 158,2 |
| LD ₉₅ (gh/m ³) | 206,8 | 363,5 | 716,1 | 960,5 | 207,1 | 385,6 | 423,2 | 485,1 | 330,7 | 285,3 | 372,3 | 346,8 |
| LD ₉₉ (gh/m ³) | 271,5 | 448,1 | * | 1078,5 | 270,9 | 465,7 | 505,4 | 624,3 | 406,9 | 322,8 | 474,5 | 444,7 |

* Aufgrund der niedrigen Mortalitätsrate lagen zur Berechnung dieser Werten keine Daten vor

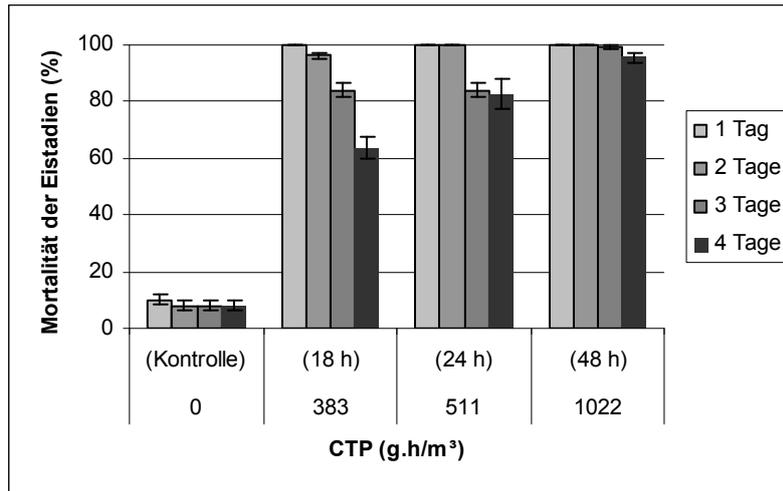


Abb. 74: Mortalität der 1 bis 4 Tage alten Eiern von *E. elutella* bei einer SF-Konzentration von 21,3 g/m³, 15°C und 65% r. Lf.

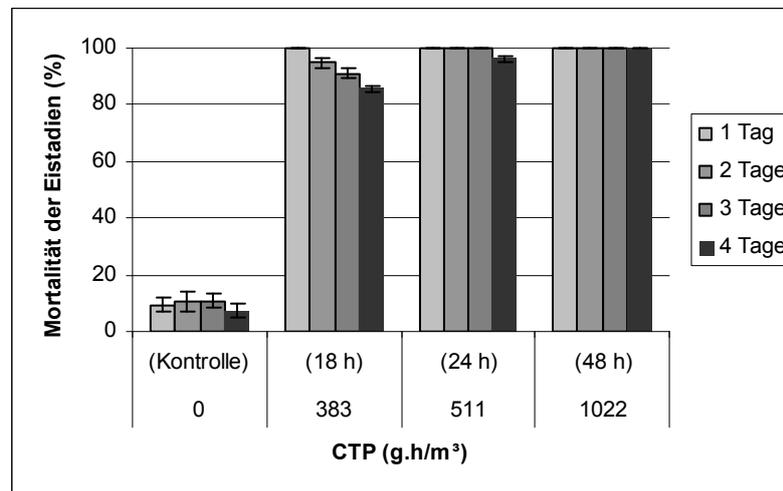


Abb. 75: Mortalität der 1 bis 4 Tage alten Eiern von *E. elutella* bei einer SF-Konzentration von 21,3 g/m³, 20°C und 65% r. Lf.

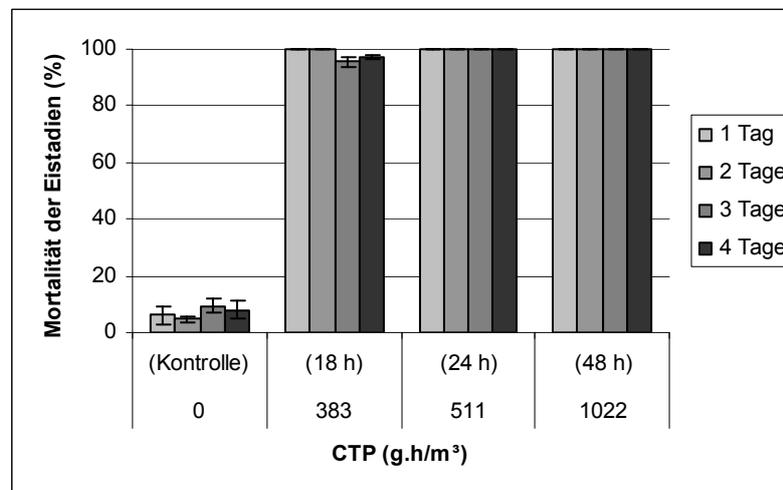


Abb. 76: Mortalität der 1 bis 4 Tage alten Eiern von *E. elutella* bei einer SF-Konzentration von 21,3 g/m³, 25°C und 65% r. Lf.

3.4.2. Wirkung von Sulfurylfluorid auf die Erdnussplattkäfer *Oryzaephilus mercator*

Die Untersuchungen ergaben, dass die Käfer von *O. mercator* schon bei der niedrigeren SF-Konzentration sehr empfindlich reagierten; bei einer Dosierung von 10,4 g/m³ waren alle Käfer bereits nach ca. 20 Min. getötet.

Hingegen waren die präimaginalen Entwicklungsstadien von *O. mercator* bei 15°C sehr tolerant. Vollständige Mortalität mit der niedrigen und mittleren Dosis (10,4 g/m³ bzw. 21,2 g/m³) wurde erst nach 72-stündiger Einwirkzeit erzielt. Die höhere Dosis von 30,8 g/m³ war bei 48-stündiger Einwirkzeit für die komplette Abtötung ausreichend. Bei niedriger Konzentration von 10,4 g/m³ und einer Exposition von 24 Std. stellte sich mit 23,8 % die niedrigste Mortalitätsrate gegenüber den anderen Entwicklungsstadien ein. Eine grafische Darstellung der Mortalitätsrate von *O. mercator* bei 15°C zeigt, wie die Mortalität abhängig von der SF-Konzentration ansteigt (Abb. 77).

Tab. 19: Mortalitätsergebnisse für *O. mercator* (Brutgemisch) bei 15°C

| Temperatur (°C) | Dosierung (g/m ³) | Exposition (Std.) | CTP (gh/m ³) | Mortalität (%) | SD |
|-----------------|-------------------------------|-------------------|--------------------------|----------------|-----|
| 15 | 10,4 | 0 | 0 | 0 | |
| | | 24 | 249,6 | 23,8 | 7,7 |
| | | 48 | 499,2 | 65,7 | 8,9 |
| | | 72 | 748,8 | 100 | 0 |
| | 21,2 | 0 | 0 | 0 | |
| | | 24 | 508,8 | 61,6 | 6,8 |
| | | 48 | 1017,6 | 72,3 | 2,4 |
| | | 72 | 1526,4 | 100 | 0 |
| | 30,8 | 0 | 0 | 0 | |
| | | 24 | 739,2 | 89,8 | 5,8 |
| | | 48 | 1478,4 | 100 | 0 |
| | | 72 | 2217,6 | 100 | 0 |

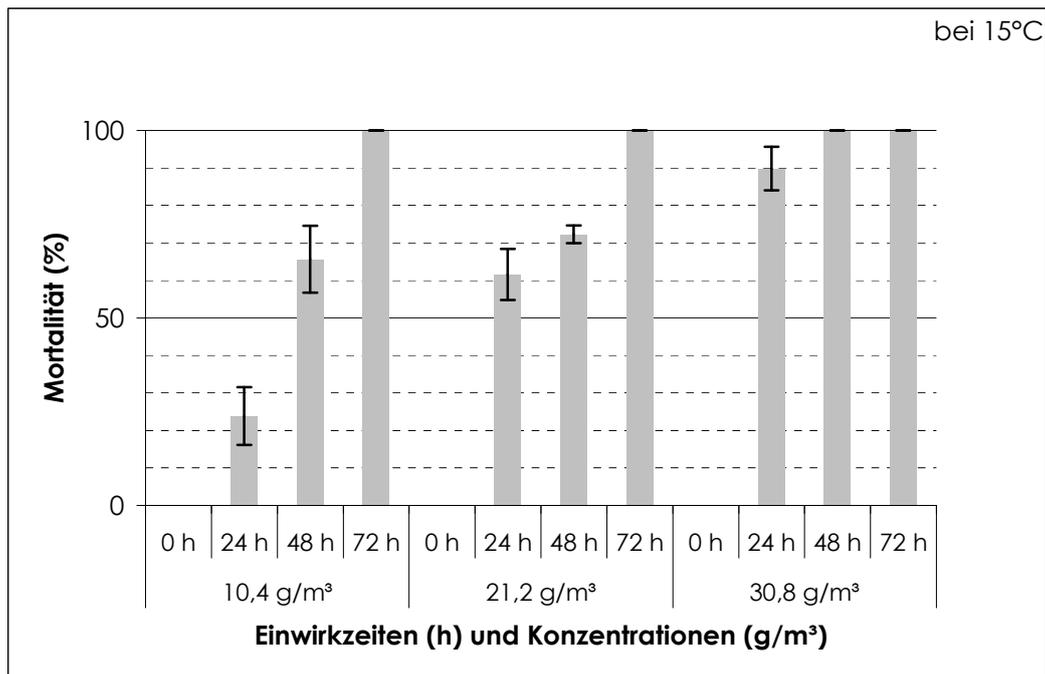


Abb. 77: Mortalitätswerte (%) von *O. mercator* bei 15°C

Die Begasungen mit Sulfurylfluorid bei einer mittleren Temperatur von 20°C führten im Vergleich zu denen mit niedrigerer Temperatur von 15°C bei allen drei Konzentrationen zu einer relativ höheren Mortalitätsrate. Niedrige und mittlere SF-Konzentrationen von 10,4 g/m³ und 21,2 g/m³ reichten aber auch bei 20°C nicht für eine komplette Tötung aller Eier, Larven und Puppen aus. Dagegen führten dieselben Konzentrationen nach einer 72-stündigen Einwirkzeit zu einer 100%-igen Mortalität. Die Versuche mit der mittleren Konzentration von 21,2 g/m³ und 48 Std. bei 20°C zeigten, dass über 95 % ($\alpha = 0,05$) der Lebensstadien abgetötet wurden.

Die präimaginalen Entwicklungsstadien von *O. mercator* waren bei einer hohen SF-Konzentration von 30,8 g/m³ bei 20°C und 48-stündiger Exposition besonders empfindlich, d. h. alle Lebensstadien starben ab. Bei gleicher Temperatur, einer niedrigeren Konzentration von 10,4 g/m³ und einer Exposition von 24 Std. ergab sich mit 53 % ($\alpha = 0,05$) eine wesentlich niedrigere Mortalität. Alle Ergebnisse zeigten, dass sämtliche Entwicklungsstadien nach 72 Std. bei 20°C mit SF-Konzentrationen oberhalb von 10 g/m³ vollständig abgetötet werden können.

Tab. 20: Ergebnisse der Versuche mit Brutgemisch von *O. mercator* bei 20°C

| Temperatur (°C) | Dosierung (g/m³) | Exposition (Std.) | CTP (gh/m³) | Mortalität (%) | St.abw. | |
|-----------------|------------------|-------------------|-------------|----------------|---------|--|
| 20 | 10,4 | 0 | 0 | 0 | | |
| | | 24 | 249,6 | 53,0 | 5,0 | |
| | | 48 | 499,2 | 81,1 | 6,1 | |
| | | 72 | 748,8 | 100 | 0 | |
| | 21,2 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | | 24 | 508,8 | 88,0 | 3,4 | |
| | | 48 | 1017,6 | 95,7 | 1,4 | |
| | | 72 | 1526,4 | 100 | 0 | |
| | 30,8 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | | 24 | 739,2 | 94,7 | 2,1 | |
| | | 48 | 1478,4 | 100 | 0 | |
| | | 72 | 2217,6 | 100 | 0 | |

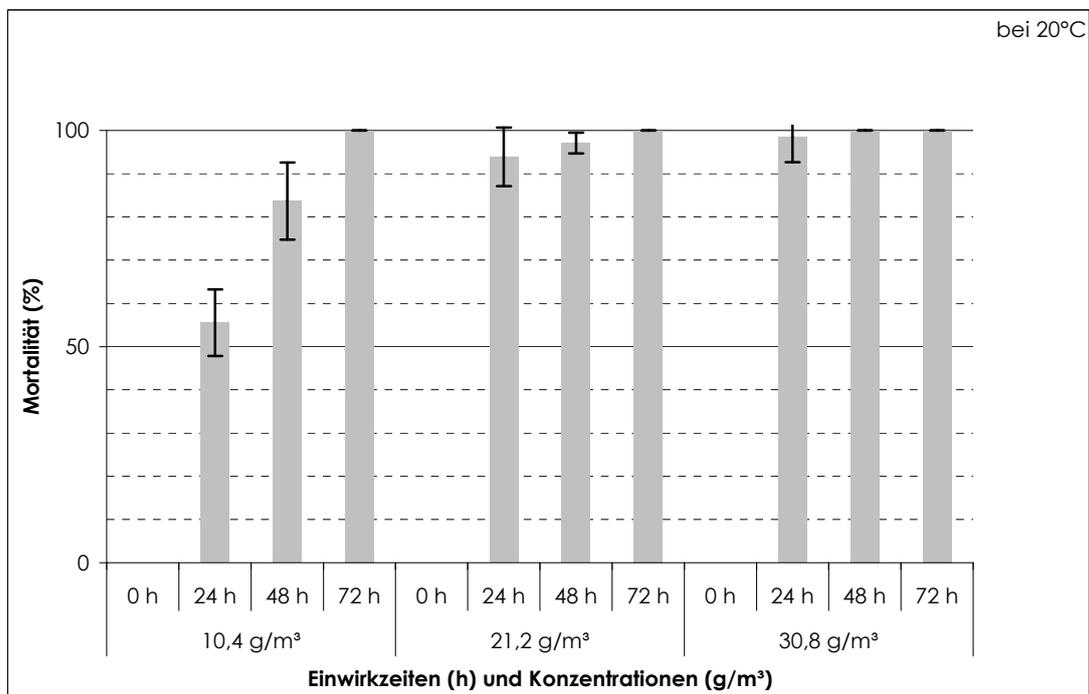


Abb. 78: Mortalitätswerte (%) von *O. mercator* bei 20°C

Die präimaginalen Entwicklungsstadien von *O. mercator* waren bei 25°C gegenüber allen SF-Konzentrationen empfindlicher als bei den niedrigeren Vergleichstemperaturen. Die mittleren und höheren SF-Konzentrationen waren bei 25°C wirksamer. Bei 48-stündiger Exposition mit 30,8 g/m³ wurden alle Tiere getötet. Wie bei den anderen getesteten Temperaturen wurden alle eingesetzten Insekten und ihre Lebensstadien nach einer Expositionsdauer von 72 Std. bei 30,8 g/m³ vollständig abgetötet. Auch die mittlere Konzentration (21,2 g/m³) erzielte in 24 Std. eine Mortalität von 93,9 %. Die Ergebnisse zeigten, dass eine Begasung mit mindestens 20 g/m³ Sulfurylfluorid bei 25°C in 48 Std. eine 95%-ige Mortalität bewirkt. Eine erhöhte Konzentration und verlängerte Einwirkungszeit steigern die Mortalitätsrate.

Tab. 21: Mortalitätsergebnisse für *O. mercator* (Brutgemisch) bei 25°C

| Temperatur (°C) | Dosierung (g/m ³) | Exposition (Std.) | CTP (gh/m ³) | Mortalität (%) | St.abw. |
|-----------------|-------------------------------|-------------------|--------------------------|----------------|---------|
| 25 | 10,4 | 0 | 0 | 0 | |
| | | 24 | 249,6 | 55,6 | 2,1 |
| | | 48 | 499,2 | 83,7 | 2,3 |
| | | 72 | 748,8 | 100 | 0 |
| | 21,2 | 0 | 0 | 0 | |
| | | 24 | 508,8 | 93,9 | 1,5 |
| | | 48 | 1017,6 | 97,1 | 0,9 |
| | | 72 | 1526,4 | 100 | 0 |
| | 30,8 | 0 | 0 | | |
| | | 24 | 739,2 | 98,4 | 0,4 |
| | | 48 | 1478,4 | 100 | 0 |
| | | 72 | 2217,6 | 100 | 0 |

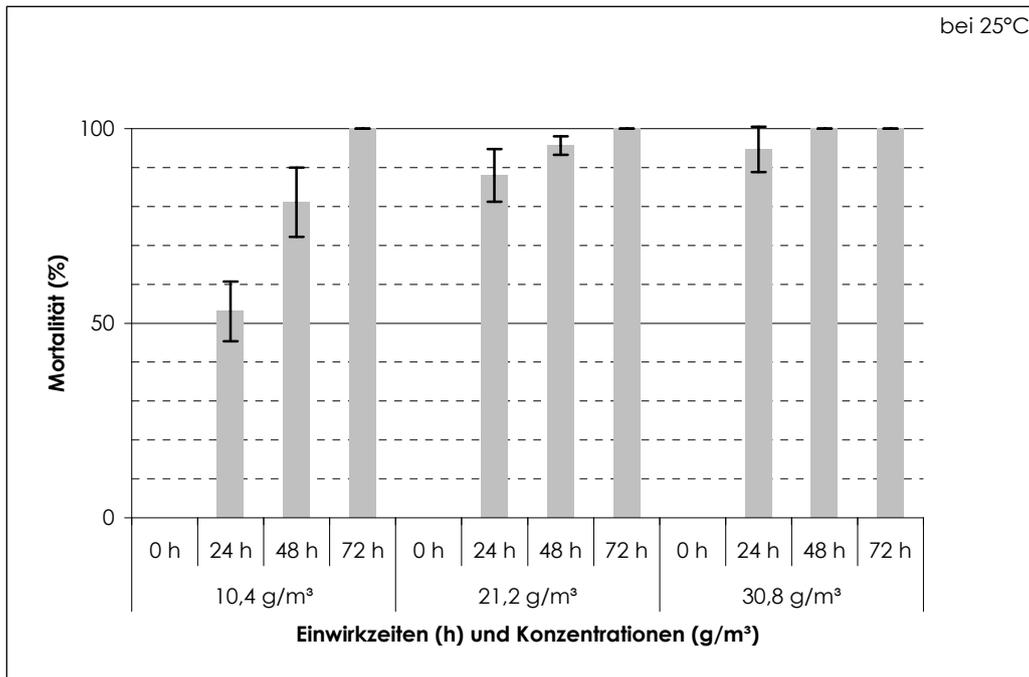


Abb. 79: Mortalitätswerte (%) von *O. mercator* bei 25°C

Die statistischen Auswertungen mit Hilfe der TableCurve 2D™ Software ermöglichten die Berechnung von LD₅₀-, LD₉₀- und LD₉₉-Werten, Regressionskoeffizienten (r^2) und F-Statistiken. Die Regressionsanalyse zeigte, dass die LD₅₀-Werte bei 15°C bei 306 gh/m³, bei 20°C bei 235 gh/m³ und bei 25°C bei 224 gh/m³ lagen. Auch die LD₉₅- und LD₉₉-Werte sanken mit der Erhöhung der Expositionstemperatur. Tabelle 21 zeigt, dass die Dosierung für LD₉₉ bei 15°C ca. 1.139 gh/m³, bei 20°C ca. 1.050 gh/m³ und bei 25°C ca. 872 gh/m³ betrug.

Tab. 22: Regressionskoeffizienten (r^2), Regegressionsformeln, F-Statistiken, LD₅₀-, LD₉₀- und LD₉₉-Werte für *O. mercator* nach SF-Expositionen bei drei Temperaturen

| Temperatur (°C) | 15 | 20 | 25 |
|---------------------------------------|-------|-------|------|
| Formel (s. Anhang Tab. 22) | g | b | b |
| Regressionskoeffizient (r^2) | 0,91 | 0,99 | 0,99 |
| F-Statistik | 49 | 1.103 | 955 |
| LD ₅₀ (gh/m ³) | 306 | 235 | 225 |
| LD ₉₅ (gh/m ³) | 1.008 | 715 | 623 |
| LD ₉₉ (gh/m ³) | 1.139 | 1.051 | 872 |

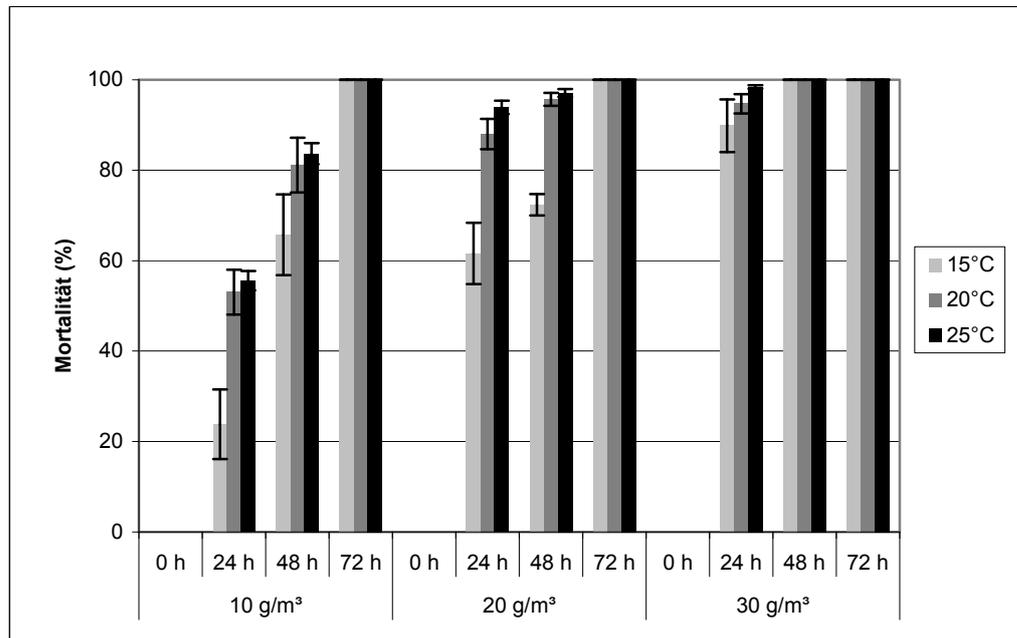


Abb. 80: Sämtliche Mortalitätsraten der präimaginalen Lebensstadien von *O. mercator* bei drei Temperaturen und drei SF-Konzentrationen

4. DISKUSSION

4.1. Auswirkungen der CO₂-Behandlungen auf die Qualität getrockneter Feigen

In der vorliegenden Arbeit wurde der Einfluss von CO₂-Behandlungen unter Hochdruck bzw. unter Vakuum auf getrocknete Feigen untersucht. Das Prinzip der Lagerung unter modifizierter Atmosphäre mit reduziertem O₂- bzw. erhöhtem CO₂-Gehalt wurde unter 2.1 beschrieben. Verminderter O₂- bzw. erhöhter CO₂-Gehalt während der Lagerung beeinflussen die Respirationsaktivität, die Ethylensynthese und damit verbunden die Alterung bzw. die Reifung der Früchte (COLELLI und KADER 1994). Im Prinzip verringern erhöhte CO₂-Gehalte die Respirationsrate und verursachen die Umstellung einiger Enzymaktivitäten im Atmungsmetabolismus. Generell kann man sagen, dass ein über 20%-iger CO₂-Gehalt (abhängig von der Expositionszeit, dem Produkt und dem O₂-Gehalt) eine Ethanol- und Acetaldehydansammlung in den Geweben verursachen kann (KADER 1986). Je nach Produkt und CO₂-Gehalt treten unterschiedliche Effekte auf die Ethylenproduktion auf. Stress nach der Erhöhung von CO₂-Gehalten kann in Feigen die Ethylenproduktion fördern. Auf der anderen Seite wird die Ethylenaktivität durch die Erhöhung des CO₂-Gehaltes in der Lageratmosphäre gemindert (YANG 1985). Der Abbau von Zucker und organischen Säuren sowie folglich auch der Chlorophyllabbau und die Carotenoidsynthese werden durch eine CO₂-Anreicherung verlangsamt (COLELLI und KADER 1994).

Die Auswirkungen einer Hochdruck-CO₂-Behandlung auf die Qualität getrockneter Feigen wurden in zwei Etappen in einem Zeitraum von 2 Jahren untersucht. Hauptsächlich wurden unbehandelte, einmal und zweimal unter Hochdruck CO₂-behandelte getrocknete Feigen miteinander verglichen. Einzelne Qualitätsparameter wie Auszuckerung, Verbräunung, Aussehen, Geschmack, Aroma, Textur, Zucker-/Säuregehalt und Trockensubstanz wurden in Betracht gezogen.

Aufgrund der späten Lieferung (Erhalt des Probenmaterials Juni 2005) im ersten Teil des Projektes (Feigen der Ernte September 2004) waren keine verlässlichen Aussagen möglich, da zu diesem Zeitpunkt kein Vergleichsmaterial vorhanden war. Des Weiteren war keine unmittelbare Vergleichbarkeit zwischen den beiden Untersuchungen (Feigen aus 2004 und Feigen aus 2005) möglich, da nach der Ernte in der Türkei (mit Vakuum) und Deutschland (mit Hochdruck) unterschiedliche Behandlungen der Proben durchgeführt wurden. Somit können die Versuche nur mit Vorbehalt betrachtet und interpretiert werden. Dennoch gaben die Ergebnisse einen Überblick über die möglichen Auswirkungen der CO₂-Behandlung auf die Auszuckerung und Verbräunung getrockneter Feigen, während anschließender Lagerung bei unterschiedlichen Temperaturen und rel. Luftfeuchten.

Die Untersuchungen der Feigen aus 2004 zeigten bereits zu Beginn der ersten Analysen nach neunmonatiger Lagerung (September 2004 – Juni 2005) bei der Zarentiner Firma eine gescheckte und dunkle Außenfarbe und eine starke Auszuckerung. Bei sensorischen Untersuchungen konnte festgestellt werden, dass diese Feigen ohne anschließende CO₂-Behandlung im Vergleich zu den mit Hochdruck/CO₂-behandelten Feigen weniger Verbräunungen aufwiesen. Besonders nach hochdosierten CO₂-Behandlungen kam es zu starken Verbräunungen. Ähnliche Ergebnisse über die Auswirkungen einer Hochdruck/CO₂-Behandlung auf getrocknete Feigen wurden bereits von MEYVACI et al. (2003) dokumentiert.

Im Unterschied hierzu traten bei den unbehandelten Feigen während der Lagerung starke Auszuckerungen auf, was bei den CO₂-behandelten Feigen nicht zu sehen war. Ähnliche Ergebnisse über Auszuckerung von Feigen wurden auch von KADER (1986) berichtet. Als Grund gab KADER an, dass eine zusätzliche CO₂-Anreicherung eine hemmende Wirkung auf die Enzymaktivität ausübt und dadurch die Auszuckerung verringert. Diese Theorie wurde bei den in der vorliegenden Studie untersuchten Feigen aus 2004 zum großen Teil bestätigt. Dennoch waren die CO₂-behandelten Feigen dunkler als die nicht behandelten. Die Ergebnisse der Farbmessung ergaben, dass Feigen ohne oder nach einmaliger CO₂-Behandlung eine höhere Helligkeit aufwiesen als die zweimal mit CO₂ behandelten. Allerdings muss

man bei der Farbmessung beachten, dass das für die Farbuntersuchung verwendete Croma-Meter nur optisch erfassbare Oberflächenfarben messen kann. Da die Feigen z. T. mit einer weißen Zuckerschicht umhüllt waren, können die Farbwerte dieser Feigen von den sensorischen Ergebnissen abweichen. Der tatsächliche Verbräunungsgrad wurde deshalb bei den wenig ausgezuckerten Feigen gemessen.

Ferner wurde festgestellt, dass den Feigen nach ein- und zweimaliger CO₂-Behandlung das feigentypische Aroma fehlte. Sie wiesen einen leicht bitteren Geschmack auf. Die unbehandelten Feigen hatten dagegen ein typisches Feigenaroma und einen angenehmen Geschmack. Die negativen Einflüsse der CO₂-Behandlungen auf Aroma und Geschmack in den Feigen können auf Enzymaktivitäten zurückgeführt werden, die nach einer CO₂-Behandlung stattfinden können. Weitere eingehende Untersuchungen zu den Aroma- und Geschmacksänderungen der mit CO₂ behandelten Feigen sind erforderlich.

Die Ergebnisse wurden zum Teil auch auf analytischer Ebene festgestellt: Feigen ohne Behandlung zeigten relativ höhere °Brix-Werte und höhere Gehalte der Zuckerfraktionen Fructose und Glucose. Dadurch lässt sich die hohe Auszuckerung unbehandelter Feigen erklären. Des Weiteren war der Zuckergehalt von Feigen der Ernte 2004 durchschnittlich höher als bei den Feigen aus 2005. Dieses Ereignis kann auf unterschiedliche Vegetations- und Klimabedingungen der Anbaugebiete in der Türkei oder unterschiedliche Lagerdauer der Feigen in Deutschland zurückgeführt werden. In beiden Fällen nahm der Zuckergehalt der einmal mit CO₂ behandelten Feigen gegenüber unbehandelten Feigen leicht ab, war aber bei den zweimal behandelten wieder etwas höher. Der höhere Zuckergehalt ergab sich bei den zweimal behandelten Feigen vermutlich durch die CO₂-Behandlung.

Unerwünschte Textureigenschaften wie starke Faserigkeit und Trockenheit waren vermutlich auf die langen Lagerzeiten zurückzuführen. In der Trockensubstanz der Pflanzen finden sich die meisten Kohlenhydrate wieder. Die Trockensubstanz besteht aus circa 10 – 30 % Pektinen, 25 – 50 % Cellulose sowie 10 – 15 % Hemicellulose. Ebenfalls enthalten sind Stärke, Strukturproteine und Lignine (ULRICHS 2000). Die Trockensubstanzgehalte der unbehandelten, ein- und zweimal

behandelten Feigen des ersten Projektteils lagen jeweils bei 72,26 %, 73,03 % und 73,99 %. Die unbehandelten und einmal behandelten Feigen zeigten zueinander signifikante Unterschiede ($\alpha = 0,05$). Die leicht steigenden höheren Trockensubstanzgehalte bei den behandelten Feigen, die wohl auf intensivere Stoffwechselprozesse schließen lassen, lassen ebenfalls die Vermutung zu, dass dies eine Ursache der vergleichsweise starken Verbräunungen sein könnte. Die Zunahme des Trockensubstanzgehaltes könnte die Folge einer Vermehrung der Strukturkohlenhydrate in getrockneten Feigen sein.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass bereits die unbehandelten Proben der Feigen aus 2004 zum Zeitpunkt des Probenerhalts sowohl einen hohen Verbräunungsgrad als auch starke Auszuckerungserscheinungen aufwiesen. Des Weiteren waren sie durch unerwünschte Textureigenschaften (starke Faserigkeit, Trockenheit) gekennzeichnet. Das Aroma des untersuchten unbehandelten Probenmaterials wurde jedoch positiv als feigentypisch bewertet. Die Auszuckerung wurde ausschließlich durch eine zweimalige CO₂-Behandlung vermindert, hingegen konnte der Verbräunungsgrad durch die CO₂-Behandlung nicht beeinflusst bzw. nicht verhindert werden. Die einmalige Behandlung der Feigen mit Kohlendioxid führte jedoch zum Eindruck eines süßen Geschmacks, zu einer höheren Saftigkeit und zu einer besseren Konsistenz im Vergleich zu den unbehandelten bzw. zweimal behandelten Feigen.

Die Feigen aus dem Erntejahr 2005 wurden etwa einen Monat nach der Ernte (September 2005) ausgeliefert und zunächst eine Woche bei 5°C und 14°C gelagert. Anschließend wurden sie als Referenz im Labor auf ihre chemisch-physikalischen Eigenschaften unter besonderer Berücksichtigung der Auszuckerung und Verbräunung untersucht und mit den bisherigen Ergebnissen der Feigen aus 2004 verglichen. Zunächst muss erwähnt werden, dass diese Feigen aus 2005 anders als die Feigen aus 2004 auch bei tiefer Temperatur (5°C) gelagert wurden. Die Lagerzeit bei den Feigen der Ernte 2005 betrug maximal 16 Wochen, während die aus 2004 ca. neun Monate gelagert wurden. Ein Vergleich zwischen beiden Untersuchungen bezüglich der Lagerbedingungen und der Lagerungszeit konnte

deshalb nur bedingt vorgenommen werden. Zudem waren die Feigen der Ernte 2005 aufgrund der unterschiedlichen CO₂-Behandlungen nicht homogen. Dem Berliner Institut für Vorratschutz standen zunächst zwei unterschiedlich behandelte Versuchsmaterialien zur Verfügung. Die ersten waren unbehandelt, die anderen dagegen zweimal mit Hochdruck-CO₂-behandelt. Außerdem gab es bei den zweimal behandelten Feigen wieder eine Inhomogenität: Die erste CO₂-Behandlung erfolgte unter Hochdruck, die zweite unter Vakuum. Eine gleichartige CO₂-Behandlung wäre deshalb für homogene Untersuchungen bei allen Proben hinsichtlich verlässlicher Aussagen wichtig.

Die Ergebnisse des Sensoriktests zeigten, dass die Qualitätsmerkmale der Feigen nach längerer Lagerung absanken. Auch die anderen Qualitätskriterien wie Aroma, Süße, Textur, Faserigkeit und Saftigkeit zeigten bei längerer Lagerungszeit schlechtere Werte.

Bei den Feigen aus 2005 wurden während der Probenentnahme oberflächliche Auszuckerungen beobachtet, die ausschließlich auf der oberen Seite der Verpackung zu sehen waren. Da die Musterkartons bei der Probenentnahme geöffnet wurden und hiermit Sauerstoff in die Kartonagen gelangte, wird ein zusätzlicher Einfluss vermutet, der näher zu untersuchen wäre. Im Gegensatz hierzu zeigten Feigen bei niedrigen Lagertemperaturen von 5°C bis zum letzten Tag der Untersuchungen keine oder nur geringfügige Verzuckerungen. Im Vergleich zur 5°C-Lagervariante nahm die Verbräunung während der Lagerung bei 14°C stärker zu. Niedrigere Temperaturen (5°C) konnten somit unerwünschte Farbveränderungen reduzieren. Die Auszuckerung vermehrte sich durch höhere Lagertemperatur (14°C), war jedoch wenig beeinflusst von der Lagerdauer.

Die Ergebnisse für die Gehalte an Trockensubstanz der Feigen der Ernte 2005, die bei 5°C und 14°C gelagert wurden, zeigten nur kleine Schwankungen, die statistisch nicht signifikant waren. Dieses Resultat deutet darauf hin, dass der TS-Gehalt auch nach einer 16-wöchigen Lagerung unabhängig von der Temperatur und Behandlung konstant bleiben kann. Es ist zu vermuten, dass die höheren Trockensubstanzgehalte der behandelten Varianten ein Indiz für höhere Stoffwechselaktivitäten sind.

Im Allgemeinen zeigten die Feigen nach acht Wochen Lagerzeit die niedrigsten °Brix-Werte im Vergleich zu den anderen Varianten (außer bei der 5°C Variante und einmaliger CO₂-Behandlung). Die einmalige CO₂-Behandlung im Berliner Labor führte zunächst zu einem konstanten °Brix-Wert und bei zunehmender Lagerzeit zu einer Abnahme. Die °Brix-Werte der 5°C und 14°C Varianten unterschieden sich signifikant. Die Lagerzeit hatte statistisch signifikante absenkende Effekte auf den °Brix-Gehalt der Feigen. Die CO₂-Behandlung hatte dagegen keinen signifikanten Effekt auf den °Brix-Gehalt.

Die pH-Werte der Feigen der Ernte 2005 lagen etwas höher als die pH-Werte der Feigen vom Vorjahr. Das deutet darauf hin, dass während einer längeren Lagerung der Säuregrad zunimmt. Darüber hinaus waren die pH-Werte bei den unbehandelten Feigen relativ höher als bei den ein- und zweimal behandelten Feigen. Sowohl die CO₂-Behandlung als auch die Lagerung wirkten sich auf den pH-Wert aus. Zweimalige CO₂-Behandlung führte nicht zu einer deutlichen Zunahme des Säuregrades. Dieses Phänomen lässt sich mit einem zunehmenden Zucker- bzw. Trockensubstanzgehalt durch eine CO₂-Behandlung und damit verbundene Reduzierung des Säuregehalts interpretieren. Die Lagertemperatur wirkte sich dagegen auf den pH-Wert der getrockneten Feigen nicht aus. Die Karamelisierung, eine Art der Verbräunung, entsteht normalerweise, wenn Zucker in kristallinem Zustand oder wässriger Lösung intensiv erhitzt wird. FRANZKE (1998) meinte, dass ähnliche Verbräunungen schon bei üblichen Lagertemperaturen, die auch in den Experimenten in dieser Arbeit vorlagen, möglich wären. Er war der Meinung, dass das Ausmaß der Karamelisierung sehr stark vom pH-Wert abhängig sei, wie die Daten in der vorliegenden Arbeit bestätigen.

Die unbehandelten und zweimal behandelten Proben der Feigen der Ernte 2005 enthielten mehr Citronensäure als die einmal behandelten Feigen. Da die Citronensäure für getrocknete Feigen die Hauptsäure darstellt, ist zu vermuten, dass diese für den sauren Geschmack verantwortlich ist. Die vorliegenden Ergebnisse weisen darauf hin, dass eine starke Erhöhung der CO₂-Gehalte durch zweimalige Gasbehandlung getrockneter Feigen eine Erhöhung des Säuregehaltes nach sich

ziehen kann. Lagertemperatur und –zeit hatten keine signifikanten Auswirkungen auf den Citronensäuregehalt. SALEM und ABDUL-NOUR (1979) fanden heraus, dass getrocknete Feigen mehr Ascorbinsäure (ca. 1,5 g pro 100 g/Feige) als Aminosäure beinhalten, welche ebenfalls für den sauren Geschmack verantwortlich ist.

Fructose und Glucose waren in der vorliegenden Arbeit die Hauptbestandteile des gesamten Zuckers in getrockneten Feigen. SALEM und ABDUL-NOUR (1979) berichteten gleichfalls, dass irakische getrocknete Feigen ca. 310 mg/g Fructose und ca. 340 mg/g Glucose enthalten. Die in der vorliegenden Arbeit untersuchten Feigen enthielten im Vergleich dazu weniger Glucose (max. 278 mg/g TS) und Fructose (max. 251 mg/g TS), was eventuell auf die Feigesorte zurückzuführen ist. Wie die sensorischen Untersuchungen zeigten, wiesen die mit Kohlendioxid behandelten Feigen mehr Verbräunungen auf als die unbehandelten. Interessanterweise zeigten die unbehandelten Feigen nach achtwöchiger Lagerung einen geringeren Zuckergehalt und auch weniger Verbräunung. Es wurde aber nicht untersucht, ob der erhöhte Zuckergehalt einen hohen Verbräunungsgrad verursacht. Die statistische Analyse wies darauf hin, dass die CO₂-Behandlung ein wichtiger Faktor für die Verbräunung ist. Die einmal behandelten Feigen wiesen dagegen wenig Auszuckerung auf, obwohl sie mehr Glucose und Fructose als die Proben der anderen Varianten enthielten. Die einmalige CO₂-Behandlung und lange Lagerdauer führte wahrscheinlich zu einem Reduzierungseffekt der Gehalte an Glucose und Fructose und damit verbunden wohl zur Erhöhung der Auszuckerung. Die Entstehung der Auszuckerung auf der Oberfläche der Feigen war höchstwahrscheinlich auf die Kristallisierung der Glucose und Fructose zurückzuführen. Es wird angenommen, dass die Gehalte an Glucose und Fructose in den Feigen durch Kristallisierung auf der Oberfläche niedriger wurden.

Die Pektinwerte der Feigen der Ernte 2005 stiegen nach vierwöchiger Lagerung zunächst an und nahmen anschließend nach acht Wochen wieder ab. Er gab jedoch keine signifikanten Unterschiede dieser Gehalte. Auch die a_w-Werte waren statistisch nicht signifikant unterschiedlich. Die Untersuchungen zeigten, dass sowohl die Lagerung als auch die CO₂-Behandlung die Wasseraktivität der Feigen

nicht veränderte. Auszuckerung und Verbräunung waren bei allen in der vorliegenden Arbeit untersuchten getrockneten Feigen mit unterschiedlichem Grad zu sehen. Die unbehandelten Feigen zeigten generell in den ersten Lagerungszeiten feigentypische Merkmale, waren aber danach anfällig für Qualitätsverluste (Auszuckerung, Verbräunung, Veränderung des Aromas, usw.). Ein negativer Einfluss der Hochdruck-CO₂-Behandlung auf getrocknete Feigen konnte im Hinblick auf Auszuckerung und Verbräunung der Feigen statistisch nicht bewiesen werden.

4.2. Auswirkungen unterschiedlicher Lagerfeuchten und -temperaturen auf getrocknete Feigen während der Lagerung

Die gelieferten getrockneten Feigen zeigten bei der Eingangskontrolluntersuchung hinsichtlich sämtlicher Kriterien eine sehr gute Qualität. Die als Kontrollvariante bezeichneten getrockneten Feigen wurden als Referenzproben genommen. Diese Proben waren optisch einwandfrei, hatten einen feigentypischen Geschmack und ein angenehmes Aroma. Die Größen der entnommenen Proben lagen im Standardbereich und entsprachen handelsüblichen Kriterien. Mit ihren Eigenschaften könnten die Kontrollproben als vermarktungsfähig eingestuft werden.

Die niedrige Lagerfeuchte (20 – 25 %) verursachte hohen Wasserverlust und hatte eine extreme Austrocknung der Feigen zur Folge. Die bei 20 -25 % r. Lf. und 25°C gelagerten Feigen waren für den Verzehr besonders ungeeignet. Nach achtwöchiger Lagerung zeigten diese Feigen zwar weniger Verbräunungen, wiesen aber deutlich erkennbare Auszuckerungen auf. Die anderen Qualitätskriterien dieser Feigen konnten ebenfalls nicht als ausreichend bewertet werden. Es fehlten insbesondere die typischen Merkmale wie gutes Aroma, Süße und feigentypische Textur. Aufgrund der extremen Austrocknung dieser Feigen wurden die Laboranalysen nicht an Fruchtteilen, sondern an den ganzen Feigen durchgeführt. Die Feigen, die bei 20 -25 % r. Lf. und bei 5°C gelagert wurden, waren etwas besser als die bei

25°C gelagerten Früchte. Optisch waren diese Feigen relativ gut, weil sie noch heller waren und keine Verbräunungen zeigten. Die sensorische Prüfung dieser Variante zeigte, dass bei diesen Feigen die typischen Qualitätsmerkmale zum Teil vorhanden waren. Wegen extremer Austrocknung der Feigen der nach Lagerung bei 5°C konnten die Fruchtteile, Fleisch und Schale, nicht getrennt untersucht werden. Die Qualitätsmerkmale wie Aroma, Süße und Textur waren relativ ausreichend. Es wurde beobachtet, dass die Lagerung erkennbare nachteilige Auswirkungen auf diese Merkmale hatte.

Die Feigen mit Lagerbedingungen von mittlerer Lagerfeuchte (65 – 70 %) und 25°C zeigten nach achtwöchiger Lagerung eine starke Verbräunung und Auszuckerung. Die optische Bewertung dieser Variante war schlecht. Übrige Qualitätsmerkmale wie Aroma, Textur und Saftigkeit wurden gleichfalls mit schlechteren Noten bewertet. Die Süße und Faserigkeit waren die einzigen Kriterien, die sich nach achtwöchiger Lagerung verbessert hatten bzw. gleichgeblieben waren. Grund dafür könnte sein, dass sich in der Feige aufgrund starker Verbräunung eine weiche Gewebestruktur gebildet hatte, wodurch die Faserigkeit vermindert wird. Vermutlich erhöhte sich die Süße durch die hohe Lagertemperatur, weil diese die Enzymaktivitäten beschleunigte. Alle Qualitätskriterien der Feigen mit Lagerbedingungen von 65 % – 70 % r. Lf. und 5°C waren nach achtwöchiger Lagerung sehr minderwertig. Die optische Erscheinung der Feigen nach Lagerung bei 5°C und 65 – 70 % r. Lf. wurde durch starke Auszuckerung beeinflusst. Anders als die Feigen bei einer Lagertemperatur von 25°C waren diese kühl gelagerten Feigen noch heller und erschienen eher feigentypischer. Die sensorische Bewertung dieser Feigen bei einer Lagertemperatur von 5°C ergab, dass sie hinsichtlich des Aromagehalts mangelhaft waren. Obwohl die niedrige Temperatur für Enzymaktivitäten eine hemmende bzw. verzögerte Wirkung hatte, wurde die Qualität dieser Feigen durch die Lagerung stark nachteilig beeinträchtigt.

Die Feigen, die bei hoher r. Lf. (85 – 90 %) und 25°C gelagert wurden, wiesen extrem niedrige Qualitätswerte auf. Alle Qualitätskriterien wurden niedriger als die Note 1 bewertet. Außer der Kriterien optische Erscheinung, Auszuckerung und

Verbräunung wurden die restlichen Kriterien sogar mit 0 bewertet. Diese Ergebnisse zeigen, dass die Lagerung unter extrem hoher r. Lf. und hoher Temperatur für getrocknete Feigen ungeeignet ist. Ferner zeigten die Feigen nach Lagerung bei 85 – 90 % und 5°C schlechte Qualitätsmerkmale. Fast alle Kriterien dieser Feigen wurden niedriger als 1 bewertet. Außerdem waren die Feigen bei 85 – 90%-iger r. Lf. für sensorische Prüfungen nicht geeignet. Aufgrund der hohen Luftfeuchtigkeit war bei diesen Feigen ein intensiver Geruch nach Alkohol und Gärung zu beobachten. Die Textur und Gewebestruktur dieser Feigen waren sehr weich und matschig.

Die Analyse getrennter Fruchtteile (Schale und Fleisch) zeigte unterschiedliche Mengen von Trockensubstanz und Zucker. Bei dieser Untersuchung wurde erwartet, dass die Fruchtschale der ausgezuckerten Feigen mehr Trockensubstanz aufweist, weil die Auszuckerung auf der Feigenoberfläche festzustellen war. Außerdem wurden auch höhere Zuckeranteile in den Fruchtschalen erwartet. Obwohl die untersuchten Feigenmaterialien unterschiedliche TS-Gehalte aufwiesen, waren die Unterschiede statistisch nicht signifikant. Der TS-Gehalt der Feigen bei Lagerbedingungen von 20 – 25 % r. Lf. und bei beiden Temperaturen war erwartungsgemäß sehr hoch. Da diese Feigen bei einer extrem niedrigen Luftfeuchtigkeit gelagert worden waren, wurden sie stark ausgetrocknet. Physiologisch war zu erwarten, dass der niedrige Wassergehalt zu einem hohen TS-Gehalt führte. Im Gegensatz zu diesen Feigen wiesen die Feigen bei hoher r. Lf. niedrigere TS-Gehalte auf. Die bei 5°C und 20–25 % r. Lf. gelagerten Feigen enthielten im Allgemeinen weniger Trockensubstanz als die bei 25°C gelagerten. Die Feigen mit anderen Lagerfeuchten wiesen dagegen höhere TS-Gehalte auf als die bei 25°C gelagerten Feigen. Die Ergebnisse lassen sich mit der enzymaktivitätshemmenden Wirkung niedriger Temperaturen erklären.

Der Zuckergehalt der ungelagerten Feigen (Kontrolle) zeigte gegenüber den gelagerten Feigen signifikante Unterschiede. Es wurde festgestellt, dass die Lagerdauer der Feigen für die Erhöhung des Zuckergehaltes eine wichtige Rolle spielte. Die Feigen nach erster Auslagerung nach vier Wochen zeigten die höchsten

Gehalte an Fructose und Glucose in der Trockensubstanz. Die Temperatur spielte dabei keine wichtige Rolle. Die hohe r. Lf. führte zu signifikanten Qualitätsunterschieden im Vergleich zu den bei niedrigerer Feuchte gelagerten Feigen. Offensichtlich regte die hohe r. Lf. bei hoher Temperatur die Enzymaktivitäten in den Feigen an, so dass sich die Kohlenhydratproduktion erhöhte. Anders als erwartet wiesen die Feigenschalen nicht höhere Zuckergehalte auf als das Fruchtfleisch. Die Feigen, die aufgrund ihrer extremen Austrocknung nicht getrennt werden konnten, hatten statistisch nach achtwöchiger Lagerung mehr Zuckergehalt als andere Varianten.

Allgemein wurden die Feigen nach achtwöchiger Lagerung (2. Auslagerung) während des Sensoriktests verhältnismäßig schlechter bewertet. Die Untersuchungen zeigten, dass die mittlere r. Lf. bei beiden Temperaturen für die Lagerung getrockneter Feigen geeignet war. PIXTON und WARBURTON (1976) berichteten, dass die "sichere" r. Lf. aufgrund der Abweichungen von Adsorption und Desorption bei 70 % liegt.

Die niedrige r. Lf. verursachte bei den getrockneten Feigen bei vielen Kriterien Qualitätsverluste. Niedrige r. Lf. zusammen mit niedriger und hoher Lager-temperatur war für die Feigen keine optimale Lagerkombination und könnte zu geringerer Vermarktungsfähigkeit führen. Auch die Kombination mittlerer Luftfeuchte mit hoher Temperatur war für die Feigen keine geeignete Lagerungsmethode. Die hohe Temperatur beschleunigte wahrscheinlich den Reifungsprozess und die Enzymaktivität. Durch die Erhöhung der Enzymaktivität wurde möglicherweise die so genannte Karamelisierung ausgelöst und die Feigen wurden leicht verbräunt. Die niedrige Temperatur löste dagegen keine starke Verbräunung aus, weil die Enzyme möglicherweise weniger aktiv waren. Allerdings sahen die Feigen aus der 5°C-Gruppe ausgezuckerter aus als die aus der 25°C-Gruppe. Bei den warm gelagerten Feigen wurden ebenso starke Auszuckerungen beobachtet.

Die unter hoher r. Lf. gelagerten Feigen in Kombination mit niedrigen und hohen Lagertemperaturen waren extrem verbräunt und matschig. Die Feuchtigkeits- und

Temperaturerhöhung förderte offensichtlich die Enzymaktivität und bewirkte Gärung und Alkoholbildung. Feigen bei 25°C und hoher r. Lf. gelagert waren dermaßen dunkel und feucht, dass sie für den Verzehr nicht mehr geeignet waren.

Auszuckerung kann wie bei Rosinen auch bei getrockneten Feigen bei Lagerfeuchten über 60 % r. Lf. auftreten. PIXTON und WARBURTON (1976) behaupteten, dass der Wassergehalt bei Rosinen unter 15,5 % und bei getrockneten Feigen weniger als 15 % betragen muss, um Auszuckerungen zu vermeiden.

Zur detaillierten Aufklärung der Einflussfaktoren der Lagerbedingungen auf die Qualität getrockneter Feigen sind weitere eingehende Untersuchungen notwendig. Eine Reihe ausführlicher Analysen der physiologischen Wirkung modifizierter Lagerung auf die Qualität der getrockneten Früchte könnte die genauen Ursachen der Auszuckerung und Verbräunung erklären. PIGA et al. (2004) berichteten, dass die Heißluft-Trocknung der ganzen bzw. ungeteilten Früchte insofern ein Problem darstellt, als dass eine Schwierigkeit bei der Bestimmung der optimalen Luft-Wasser-Mischung besteht, besonders wenn die Früchte reich an Zucker sind. Trockene Heißluft kann das Wasser aus der Frucht sehr schnell entfernen. Normalerweise stellt die Fruchtschale gegen Wasserdämpfung eine Barriere dar. Wenn das Wasser aus der Frucht zu schnell entfernt wird, kann der Zucker vom Fleisch zur Schale transportiert werden. Diese Bewegung kann sich in einer Schalenhärtung und Auszuckerung in der Frucht manifestieren.

Die in der vorliegenden Arbeit untersuchten Qualitätsverluste getrockneter Feigen können auch an der zu schnellen Trocknung in der Türkei liegen. Um diese Frage zu beantworten, sollten weitere Untersuchungen über den Trocknungsprozess der Feigen durchgeführt werden.

4.3. Sulfurylfluorid als eine Alternative von Brommethan gegen Insekten und Motten

4.3.1. Widerstandfähigkeit der Eier gegen Sulfurylfluorid

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zeigten, dass die Eistadien von *Ephesia elutella* sich ähnlich tolerant wie die Eistadien anderer Vorratsschädlinge und einiger holzzerstörender Insekten verhalten (BELL et al. 1999, REICHMUTH et al. 1999, SCHNEIDER und HARTSELL 1999). KENAGA berichtete 1957, dass die Eier die tolerantesten Lebensstadien der Insekten gegenüber Sulfurylfluorid sind. BELL (1975) wies nach, dass einige Eier der Speichermotten nach 14 Tagen bei 10°C und einige jüngere und ältere Altersgruppen der Eier bei 7,5°C überlebt hatten. Alle Eier wurden bei beiden Temperaturen nach 21 Tagen vollständig abgetötet.

OUTRAM (1967) und SPRENKEL et al. (1998) berichteten, dass die schwache Wirksamkeit von Sulfurylfluorid gegen Insekteneier hauptsächlich auf die geringere Durchlässigkeit der Eihülle zurückzuführen ist, welche das Eindringen von Proteinen in die Eischale und die Embryomembran verhindert. Er war der Meinung, dass die Empfindlichkeitsunterschiede zwischen den Eiarten auf deren Struktur und Schaleneigenschaften zurückgeführt werden können. OUTRAM (1966) teilte mit, dass die Untersuchungen mit der Wüstenheuschrecke *Schistocerca gregaria* eine enge Korrelation zwischen Eialter und Entwicklung der Gewebestruktur ergaben, so dass die älteren Eier relativ widerstandsfähig sind. Das heißt, der toxische Wirkstoff sammelt sich im Embryo und im Eidotter eher bei den jüngeren bzw. empfindlicheren Eistadien als bei den älteren bzw. widerstandsfähigeren Eistadien. Er war der Meinung, dass die Unterschiede der Empfindlichkeit, welche während der embryonalen Entwicklung entstehen, meistens auf die Änderungen der Schalendurchlässigkeit zurückgeführt werden können.

Die vorliegende Arbeit zeigte, dass die Eier der untersuchten Insektenarten bei einer SF-Begasung je nach ihren Lebens- bzw. Entwicklungsstadien unterschiedlich reagierten. Die 0 bis 1 Tag alten bzw. frisch gelegten Eier waren die empfindlichsten Eistadien, während die drei bis vier Tage alten Eier sehr widerstandsfähig waren. Bei einer SF-Behandlung waren niedrige bzw. hohe Temperaturen entscheidende

Faktoren, welche die Widerstandsfähigkeit der Eier erhöhten bzw. verringerten. Die Ergebnisse bei 99%-iger Mortalität zeigten, dass bei einer Temperaturerhöhung um 5°C ca. 17 % und um 10°C ca. 23,5 % geringere Dosierungen (gh/m³) ausreichend waren.

4.3.2. Speichermotte *Ephestia elutella*

Eine niedrige SF-Konzentration von 11,6 g/m³ reichte zum Abtöten der Larven und Puppen bei einer Begasungsdauer von 20 Minuten bei allen untersuchten Temperaturen aus. Diese Entwicklungsstadien zeigten bereits direkt nach der Begasung keine Lebenszeichen, weshalb mit Larven und Puppen keine Versuche mit einer SF-Konzentration von 21,3 g/m³ durchgeführt wurden.

Die 0 bis 1 Tag alten Eier von *E. elutella* waren bei 11,6 g/m³ Sulfurylfluorid und 18 Std. Einwirkzeit bei allen Temperaturen relativ tolerant. Die einzige vollständige Abtötung bei 15°C und 18-stündiger Einwirkzeit wurde bei den zwei Tage alten Eiern erzielt. Bei 15°C und 24 Std. Einwirkzeit waren ein Tag alte Eier und bei 48-stündiger Einwirkzeit alle ein bis drei Tage alten Eier komplett abgetötet. Die komplette Abtötung der einen Tag alten Eier von *E. elutella* wurde bei allen Temperaturen erst bei 21,3 g/m³ erzielt.

Die Ergebnisse zeigten, dass die drei und vier Tage alten Eier bei 18- und 24-stündigen Einwirkzeiten gegen die SF-Konzentrationen von 11,6 g/m³ und 21,3 g/m³ verhältnismäßig tolerant waren. Ähnliche Entdeckungen ergaben sich für die nah verwandten Zünslermotten (Pyralidae) *E. kuehniella* (BELL et al. 1999) und *Plodia interpunctella* (SCHNEIDER und HARTSELL 1999; REICHMUTH et al. 1999). Nach BELL et al. (1999) waren die vier Tage alten Eier von *E. kuehniella* empfindlicher als die anderen Eistadien. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit weisen dagegen darauf hin, dass die drei bis vier Tage alten Eier von *E. elutella* die widerstandsfähigsten Eier aller Eistadien waren. Die Widerstandsfähigkeit der ältern Eier von *E. elutella* kann auf die Entwicklung der Eischale zurückzuführen sein, weil die Durchlässigkeit der Eischale durch das Älterwerden niedriger wird und damit die Wirkung des Sulfurylfluorid nachlässt.

Abgesehen von der Einwirkzeit und der Gaskonzentration spielt die Temperatur während der Einwirkzeit für die Mortalität eine wichtige Rolle. Da die embryonale Entwicklung des Eies abhängig von der Temperatur beschleunigt oder verzögert werden kann, kann die Temperatur die physiologischen Eigenschaften der Eier von *E. elutella* bei deren Entwicklung stark beeinflussen. Dennoch erhöht die Temperatur auch die Durchdringungsfähigkeit des Gases. Demzufolge ergibt sich bei einer Begasung eine hohe Gasaufnahme insbesondere bei höheren Temperaturen, welche eine höhere Mortalität als bei den tieferen Temperaturen erzielen kann. Die Ergebnisse zeigten, dass die Mortalitätsraten für alle Eistadien bei 25°C höher als bei 15°C waren.

Da das Ziel einer Entwesung in der Praxis in der kompletten Abtötung aller vorhandenen Stadien der Schadinsekten besteht, muss die Dosierung zur Abtötung von *E. elutella* höher als 557 gh/m³ sein. Die Eier sind in der Praxis schwerer abzutöten als im Labor, weil in den begasten Objekten wie Mühlen, Vorratslagern oder Kirchen viele schwer zugängliche Stellen für eine effektive Begasung vorhanden sind. Die Hindernisse wie z. B. Kanten oder Risse stellen für die Eier, Larven und Motten gute Verstecke dar. Deshalb sollte die SF-Dosierung in der Praxis sicherheitshalber höher sein. In statistischer Hinsicht konnten bezüglich der Wirksamkeit keine Unterschiede zwischen hoher Konzentration mit kurzer Einwirkzeit oder niedriger Konzentration mit langer Einwirkzeit festgestellt werden. Die letale Dosierung (CTP in gh/m³) lag für alle Lebensstadien unter der in Deutschland zugelassenen Dosierung von 1.500 gh/m³.

4.3.3. Erdnussplattkäfer *Oryzaephilus mercator*

Die Sofortkontrollen nach der 20 Min. Begasung erbrachten, dass die Käfer von *O. mercator* bei Zimmertemperatur auch die niedrigste eingesetzte Konzentration nicht tolerieren können. Die Versuche zeigten, dass die erwachsenen Käfer wie bei *E. elutella* gegen SF-Begasung sehr empfindlich waren. Die niedrigen Konzentrationen, die für beide Insekten in zwei unterschiedlichen Versuchen eingesetzt wurden, waren für die komplette Abtötung der Imagos von *O. mercator* Käfer schon während der Eingasung ausreichend. Die Begasungen wurden bei Zimmertemperatur und bei 65%-iger r. Lf. durchgeführt. Deshalb wurde die

Wirksamkeit von Sulfurylfluorid auf Imaginen von *O. mercator* unter anderen Bedingungen nicht angegeben. Da vom Handel eine dauerhafte Schädlingsfreiheit der Ware erwartet wird, muss in praktischen Anwendungen eine komplette Entwesung erzielt werden. In der vorliegenden Arbeit durchgeführte Experimente zeigten, dass die präimaginalen Entwicklungsstadien viele SF-Begasungen mit niedriger Konzentration und kürzerer Einwirkzeit teilweise überlebten, was in der industriellen Praxis zu wiederkehrenden Schädlingsbefällen und hohen Entwesungskosten führen würde. Auch versteckt lebende Stadien werden vom Gas verzögert erreicht und würden selbst die im Laborexperiment abweichenden Bedingungen überleben. Aus diesem Grund wird eine mindestens um 20 % höhere Konzentration für eine SF-Begasung in der Praxis empfohlen, als für die vollständige Abtötung im Labortest erforderlich ist.

Da die Eier, Larven und Puppen von *O. mercator* bei 15°C gegen Sulfurylfluorid sehr tolerant waren, benötigt man bei dieser Temperatur entweder eine höhere Konzentration von Sulfurylfluorid oder eine längere Expositionsdauer, um insbesondere in der Praxis die erforderliche hohe Mortalität zu erzielen. Die hier realisierten Mortalitätsversuche zeigten, dass die gleichwertigen CT-Produkte (CTP) zu etwa gleichen Mortalitätswerten führten. Die CT-Produkte von 499 gh/m³ und 509 gh/m³ erzielten bei 15°C annähernd gleichprozentige Mortalitäten. Beide SF-Dosierungen waren für eine 60- bis 65%-ige Mortalität ausreichend. Theoretisch geht man davon aus, dass zwischen Konzentration (C) und Zeit (T) für alle Einwirkzeiten und Konzentrationen ein antiproportionales Verhältnis besteht.

Die Versuche mit *O. mercator* zeigten aber, dass bei längeren Einwirkzeiten trotz niedrigerer Konzentration eine hohe Mortalität erreichbar ist. In der vorliegenden Arbeit wurde festgestellt, dass 72-stündige Expositionen bei sämtlichen Temperaturen und den getesteten Dosierungen erfolgreich waren. Temperaturwechsel beeinflussten die Mortalitätsrate. Eier, Larven und Puppen waren bei 20°C vergleichsweise empfindlich. Bei dieser Temperatur lagen alle Mortalitätswerte über der LD₅₀-Grenze. Der niedrigste Wert betrug 53 % bei 10,4 g/m³ und einer 24-stündigen Exposition. Es war erkennbar, dass für eine LD₉₅ eine Dosierung von etwa 1.000 gh/m³ (21,2 g/m³ × 45 h) erst bei 20°C ausreichend ist. Für eine vollständige Abtötung der Eier, Larven und Puppen von *O. mercator* lag die geringste SF-Konzentration bei 30,8 g/m³ und einer Einwirkzeit von 48 Std. (CTP = 1.478 gh/m³

Sulfurylfluorid) bei allen getesteten Temperaturen. Bei 25°C waren die Eier, Larven und Puppen besonders empfindlich. Bereits die mittlere Konzentration (21,2 g/m³) war für eine LD₉₀ in allen getesteten Einwirkzeiten ausreichend.

5. SCHLUSSFOLGERUNG

Aspekte des Vorratsschutzes sind Schwerpunkte der vorliegenden Arbeit, die sich mit der Verbesserung der Schutzmaßnahmen und Lagerungsbedingungen landwirtschaftlicher Vorräte beschäftigt. Vorratsschutz schließt sowohl die Bekämpfung von Schadorganismen als auch den Qualitätserhalt landwirtschaftlicher Erzeugnisse ein. Die Hochdruck-CO₂-Behandlung kann als eine Alternative zu Methylbromid zur Entwesung getrockneter Feigen eingesetzt werden. Obwohl die mit Hochdruck-CO₂ behandelten Feigen am Anfang der Untersuchungen keine Auszuckerung und Verbräunung aufwiesen, zeigten sie während der anschließenden Lagerung starke Auszuckerungen und Verbräunungen. Die Ergebnisse zeigten, dass die Anzahl dieser Behandlungen keine statistisch erkennbaren Einflüsse auf die Qualität getrockneter Feigen hatten. Die Temperatur und r. Lf. spielten während der Lagerung für die Qualität der Feigen eine maßgebliche Rolle. Einmalige Hochdruck-CO₂-Behandlung und Lagerung bei 60 % – 65 % r. Lf. bei einer niedrigen Lagertemperatur von 7°C – 10°C führte zur längsten Haltbarkeit bzw. bester Qualität. Neben der Temperatur und r. Lf. können weitere Einflussmerkmale, wie z. B. die Dauer der Lagerung und die Verpackung, die Qualität der Feigen beeinflussen. Auszuckerung und Verbräunung war bei den geöffneten Kartons intensiver zu beobachten. Um Qualitätseinbußen zu vermeiden, sollten getrocknete Feigen mit einer undurchlässigen Folie verpackt werden, damit die Atmung und darauf folgende Reifung bzw. Alterung verlangsamt wird. Die höhere r. Lf. (> 75 %) während der Lagerung beschleunigte die Reifung getrockneter Feigen und führte später zur Alkoholisierung und Gärung.

Die Untersuchungen im letzten Teil der vorliegenden Arbeit zeigen, dass das toxische Gas Sulfurylfluorid gegen die Entwicklungsstadien der Speichermotte *Ephestia elutella* (HÜBNER) und des Erdnussplattkäfers *Oryzaephilus mercator* (FAUVEL) unterschiedlich wirksam war. Die Eier der untersuchten Schädlinge waren gegen eine SF-Behandlung widerstandsfähiger als andere Entwicklungsstadien. Das lag vermutlich daran, dass die Schalen der untersuchten Insekten- bzw. Motteneier

aufgrund ihrer Struktur eine niedrige Gasdurchlässigkeit hatten. Die vorliegende Arbeit zeigte, dass die Bekämpfung gegen Vorratschädlinge bei höheren Temperaturen (20°C – 30°C) wirksamer als bei niedrigen Temperaturen (< 20°C) war. Ebenfalls waren die Einwirkzeit der Begasung und die Gaskonzentration für die Mortalität der Insektenstadien wichtige Einflussgrößen. Die Ergebnisse zeigten, dass die höhere Dosierung und längere Einwirkzeit zu hohen Mortalitätsraten führten. Die SF-Konzentration und die Einwirkzeit müssen daher je nach Bedarf und Befall richtig kombiniert werden, damit eine vollständige Entwesung erfolgen kann. Alle Lebensstadien der untersuchten Insekten bzw. Motten wurden bei über 20°C und 20 g/m³ bzw. 30 g/m³ nach 48 bzw. 72 Std. vollständig abgetötet.

Vor dem Hintergrund der Untersuchungsergebnisse lässt sich nun für gelagerte Feigen ein optimales Lagerklima angeben, bei dem die Früchte lange ohne Qualitätsverlust gelagert werden können. Es wurde verdeutlicht, dass die Hochdruck-CO₂-Behandlung nur bedingt für eine Schädlingsbekämpfung bei gelagerten Feigen tauglich ist, da sie die Lagerqualität nicht nachhaltig sichert. Des Weiteren wies die vorliegende Arbeit auf, dass bestimmte Faktoren wie z. B. Temperatur, Dosierung, Entwicklungsstadium, Einwirkzeit etc. die Effektivität der Schädlingsbekämpfung mit Sulfurylfluorid stark eingrenzen. Eine Erhöhung der Dosierung des Gases bis für Deutschland zugelassenen CT-Wert von 1.500 gh/m³ würde für vollständige Entwesung mit Sicherheit ausreichen.

Vorratsschutz kann in der Zukunft auf die hier gewonnenen Mortalitätsergebnisse für Speichermotten und Erdnussplattkäfer zurückgreifen, wenn diese Tiere in Lagergütern mit Sulfurylfluorid bekämpft werden sollen. Qualitätssicherung bei gelagerten Ernteprodukten muss die möglichen Schadorganismen im Monitoring erfassen und nach Befall geeignete durchgreifende Bekämpfungsmaßnahmen bereitstellen. Da die Auswahl an chemischen Mitteln immer kleiner wird, müssen die Anwendungsmöglichkeiten der wenigen verfügbaren Mittel für die verschiedenen Anwendungsgebiete erforscht werden. Neben der Wirksamkeitsfrage gegen die Schadtiere stellt sich die Frage nach dem Qualitätserhalt, der zumeist stark von Temperatur und Feuchte im Lagergut bestimmt wird. Bei der Vielzahl gelagerter

Produkte und dem sich erweiternden Nahrungsspektrum in Mitteleuropa, wo z. B. verstärkt auch asiatische Produkte Eingang in den Markt finden, ist der Forschungsaufwand groß, um die Lagerbedingungen zu optimieren.

6. L I T E R A T U R V E R Z E I C H N I S

- ABBOTT, W. S., 1925. A method of computing the effectiveness of an insecticide. Jour. Econ. Ento. 18, 265 – 267.
- ADLER, C., 1992. Zur Wirkung modifizierter Atmosphären auf Vorratsschädlinge in Getreide am Beispiel des Kornkäfers *Sitophilus granirius* (L.) (Col., Curculionidae). Doktorarbeit, Fachbereich Biologie, Freie Universität Berlin, 146 pp.
- ADLER, C., 1995. Inerte Gase für die Zukunft? Stickstoff und Kohlenstoffdioxid im Vorratsschutz, DPS Nr. 11, 14 – 16.
- AHARONI, N.; BEN YEHOShUA, S., 1973. Delaying deterioration of roman lettuce by vacuum cooling and modified atmosphere produced in polyethylene packages. Jour. Am. Soc. Hort. Sci. 98, 464 – 468.
- AHARONI, N.; REUVENI, A.; DVIR, O., 1989. Modified atmospheres in film packages delay senescence and decay of fresh herbs. Acta Hort. 258, 255 – 262.
- AHARONI, N.; DVIR, O.; CHALUPOWICZ, D.; AHARON, Z., 1993. Coping with post-harvest physiology of fresh culinary herbs. Acta Hort. 344, 69 – 78.
- AKSOY, U.; DOKUZOĞUZ, M., 1983. Effects of storage conditions on fruit quality of dried figs (Turkish), Proc. Symp. Post-Harvest Handling Transportation Horticultural Crops, Adana - Turkey, 250 – 263.
- AKSOY, U., 1986. An evaluation of the dried fig crop with respect to the standard quality requirements. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 23, 23-30.
- AKSOY, U.; ANAC, D., 1994. Factors affecting quality of fresh and dried fig fruits. International symposium on postharvest treatment of horticultural crops, Kecskemet, Hungary, 30 Aug – 3 Sep 1993. Acta Hort. 368, 763 – 766.
- AKSOY, U.; SEN, F.; MEYVACI, K. B., 2003. Research on Prolonging the Marketing Period of Dried and Ready-to-Eat Type Figs (*Ficus carica*). Proc. XXVI IHC, Issues and Advances in Postharvest Horticulture. Acta Hort. 628, 439 – 445.
- AKSOY, U.; MEYVACI, B. K.; SEN, F.; ALTINDISLI, A. 2004. Impact of fumigants applied to control storage pests on fruit quality of dried figs. Proc. IOBC/WPRS Working Group "Integrated Protection of Stored Products", Kusadasi, Turkey, 16 – 19 Sep, 2003, 203-208.
- ANONYM, 1967. United States Standards for Grades of Dried Figs. USDA, Washington D.C., USA, 2-14.

- ANONYM, 1988. Environmental Health Criteria, Phosphine and Selected Metal phosphides. World Health Organisation, Geneva, 100 pp.
- ANONYM, 1989. Prevention of post-harvest food losses: Fruits, vegetables and root crops. FAO Training Series, No. 17/2, Rome, Italy, 3-24.
- ANONYM, 1994. Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer: Report of the Methyl Bromide Technical Options Committee, 1995 Assessment, United Nations Environment Programme, Ozone Secretariat, Nairobi, Kenya. 304 pp.
- ANONYM, 2001. US Standards for Grades of Dried Figs, Chief, Processed Products Branch Fruit and Vegetable Programs, AMS U.S. Department of Agriculture, STOP 0247 1400 Independence Avenue, SW So. Bldg. Washington, D.C. 20250 – 0247.
- ANONYM, 2002a. ProFume™ Begasungsmittel für den Vorratsschutz. Dow Agro-Sciences GmbH, Truderinger Str. 15, 81677 München, Jun 2002, 3-10.
- ANONYM, 2002b. Kuru İncir, TS 541 – ICS 67.080.10, Türk Standartları Enstitüsü, Necatibey Caddesi No. 112, Bakanlıklar-Ankara, Turkey, 1-10.
- ANONYM, 2004a. Commodity highlights: Figs. Online: <http://www.ers.usda.gov/Briefing/FruitAndTreeNuts/fruitnutpdf/Figs.pdf>, 2004.
- ANONYM, 2004b. Metil Bromür'ün Tarımda Kullanımının Azaltılması Hakkında Yönetmelikte Değişiklik Yapılması Hakkında Yönetmelik. T.C. Resmi Gazete, 08.04.2004 – 25427, Ankara, Türkiye, 125-130.
- ANONYM, 2006. 2006 Assessment Report of the Technology and Economic Assessment Panel, UNEP Nairobi, Ozone Secretariat, March 2007, SMI Distribution Service Ltd., ISBN: 978-92-807-2823-1, 63-82.
- ANONYM, 2008. Statistische Datenbank, die Verbände der Ägäischen Exporteure, Izmir-Türkei. Quelle: www.egelihracatcilar.com
- ASHMAN, F., 1970. Food storage manual (Prepared by the Tropical Stored Products Centre, Ministry of Overseas Development), Ch. 10, FAO, Rome, 351 – 366.
- ASHWORTH, J. R., 1993. The biology of *Ephestia elutella*. Jour. Stor. Prod. Res. 29, 199 – 205.
- BELL, C. H., 1975. Effects of temperature and humidity on development of flour pyralid moth pests of stored products. Jour. Stor. Prod. Res. 11, 167 – 175.
- BELL, C. H.; SAVVIDOU N., 1999. The toxicity of Vikane (sulfuryl fluoride) to age groups of eggs of the Mediterranean flour moth (*Ephestia kuehniella*). Jour. Stor. Prod. Res. 35, 233 – 247.

- BELL, C. H.; SAVVIDOU, N.; WONTNER SMITH, T. J., 1999. The toxicity of sulfuryl fluoride (Vikane) to eggs of insect pests of flour mill. Proc. of the 7th Int. Work. Conf. on Stor. Prod. Protec., 14 – 19 Oct 1998 in Beijing, P.R. China, 345 – 350.
- BLUMENKRANTZ, N.; ASBOE-HANSEN, G., 1973 . New method for quantitative determination of uronic acids. *Analytical Biochemistry* 54, 484 – 489.
- BROWN, A. D., 1990. *Microbial Water Stress Physiology*, John Wiley & Sons, Chicester, UK, 1990, ISBN 0-471-92579-9, 328 pp.
- BUSCH-STOCKFISCH, M., 2002. *Praxishandbuch Sensorik in der Produktentwicklung und Qualitätssicherung*. Behr's Verlag, Hamburg. ISBN: 3-86022-958-3, 26 pp.
- COBANOGLU F., 2004. Development, importance of the trade of agricultural products between Turkey and European Union (EU), an evaluation from the standpoint of fresh and dried fig trade. *Anadolu* 14, 139 – 159.
- COLELLI, G.; KADER, A. A., 1994. CO₂-Enriched atmospheres reduce postharvest decay and maintain good quality in highly perishable fruits. Proc. COST 94 Workshop, April 22 – 23, 1993 Milan, Italy, 137 – 148.
- CORINTH, H. G.; RAU, G., 1990. Vorratsschutz mit Kohlendioxid. *Anzeiger für Schädlingskunde, Pflanzenschutz, Umweltschutz* 63, 121 – 123.
- DAMARLI, E.; GUN, H.; OZAY, G.; BULBUL, S.; OECHSLE, P., 1998. An alternative method instead of methyl bromide for insect disinfestation of dried figs: controlled atmosphere. Proceedings of the First International Symposium on Fig, Izmir, Turkey, 24 – 28 June, 1997. *Acta Hort.* 480, 209 – 214.
- DEMIRBÜKER, D.; ARCAN, I.; TOKATLI, F.; YEMENICIOGLU, A., 2005. Effects of Hot Rehydration in the Presence of Hydrogen Peroxide on Microbial Quality, Texture, Color and Antioxidant Activity of Cold-Stored Intermediate-moisture Sun-dried Figs. *Jour. of Food Sc.* 70, 153 – 159.
- DERNDORFER, E., 2006. *Lebensmittelsensorik*. Facultas Verlags- und Buchhandels AG, Wien. ISBN 3-85076-753-1, 126 pp.
- DRINKALL M. J.; ZAFFAGNINI V.; SUSS L.; LOCATELLI, D. P., 2003. Efficacy of sulfuryl fluoride on stored product insects in a semolina mill trial in Italy. *Advances in stored product protection*. Proc. of the 8th Int. Work. Conf. Stor. Prod. Protec., York, UK, 22-26 July 2002, 884 – 887.
- DRINKALL M. J.; BUCKLEY S.; RUEBSAMEN B.; ZAFFAGNINI, V.; SUSS, L.; STAMPINI, M.; SAVOLDELLI, S.; NOBERASCO, G. B.; ROSSI, E.; BOTTONI, L., 2005. Efficacy of sulfuryl fluoride as fumigant for dried fruit in autoclave, in atmospheric pressure, and under vacuum. *Industrie Alimentari* 44, 610 – 615.

- EBELING, W., 1971: Sorptive dusts for pest control. Annual Review of Entomology 16, 123– 157.
- EBELING, W., 1987. Urban entomology, Division of Agricultural Sciences, University of California, Berkeley, CA, 54 – 55.
- EMEKCI M.; NAVARRO S.; DONAHAYE E.; RINDNER, M.; AZRIELI, A., 2004. Respiration of *Rhyzopertha dominica* (F.) at reduced oxygen concentrations. Jour. Stor. Prod. Res. 40, 27 – 38.
- FISCHER, E., 1999. Magnesiummangel an höheren Pflanzen. Aufnahme und Verlagerung von Nährstoffen, Gaswechsel und Assimilatbildung an Buschbohne und Spinat. Verlag Hänsel-Hohenhausen, München, ISBN 3-8267-2592-1, 28-34.
- FLIEDNER, I.; WILHEMI, F., 1993. Grundlagen und Prüfverfahren der Lebensmittel-sensorik. Behr's Verlag GmbH, Hamburg. ISBN 3-86022-121-3, 340 pp.
- FRANZ, A., 1991. Einfluss von Bearbeitungsverfahren auf die Rückstände in mit Brommethan begasten Samenkernen. Diss. am Fachb. Lebensmitteltech. u. Biotech. der TU Berlin, 101 S.
- FRANZKE, C., 1998. Allgemeines Lehrbuch der Lebensmittelchemie. Behr's Verlag GmbH & Co. Hamburg. ISBN 3-86022-234-1, 730 pp.
- GARCIA-GONZALEZ, L.; GEERAERD, A. H.; SPILIMBERGO, S.; et al., 2007. High pressure carbon dioxide inactivation of microorganisms in foods: The past, the present and the future. Int. Jour. of Food Microbiology 117, 1 – 28.
- GOERKE, K.; KÜNSTNER, H.; UNGER, CH., 2005. Response of aphids and greenhouse plants to insecticidal concentrations of carbon dioxide. J. Plant Diseases and Protection, 112 (5), Eugen Ulmer KG, Stuttgart, 508 – 518.
- GUOGAN, X.; ZHONGMEI, C.; ZHAO, S. et al., 1999. The development of sulphuryl fluoride (SO₂F₂), in China – a brief introduction. Proceedings of the 7th International Working Conference on Stored Product Protection, 14 – 19 October 1998 in Beijing, P.R. China, 562 – 566.
- HASHEM, M. Y., 1990. Vergleichende Untersuchungen über den Einfluss von Phosphorwasserstoff (PH₃) und inerten Gasen (N₂ und CO₂) auf den Grossen Kornbohrer *Prostephanus truncatus* (Horn) und den Getreidekapuziner *Rhyzopertha dominica* (Fab.) (Coleoptera: Bostrichidae), Dissertation, Fachgebiet Biologie, Justus-Liebig-Universität, Giessen, 151 S.
- HOLLAND, B.; UNWIN, I. D.; BUSS, D. H., 1992. The composition of foods, fruit and nuts. Royal Soc. Chem. and Min. Agri., Fisheries and Food, UK, 34 – 37.
- HUYSKENS, S., 1991. Morphological, physiological and biochemical aspects in the cultivation of two cucurbits: *Luffa acutangula* L. Roxb. and *Momordica charantia* L. Diss. Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn.

- KADER, A. A., 1986. Biochemical and physiological basis for effects of controlled and modified atmospheres on fruits and vegetables. *Food Tech.* 40, 99-104.
- KADER, A. A.; ZAGORY, D.; KERBAL, E. L., 1989. Modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. *CRC Critical Reviews in Food Sci. Nutr.*, 28, 1 – 30.
- KADER, A. A., 1994. Modified and controlled atmosphere storage of tropical fruits. *ACIAR Proc. No. 50*, 239 – 249.
- KENIGSBUCH, D.; CHALUPOWICZ, D.; AHARON, Z.; MAUERER, D.; AHARONI, N., 2007. The effect of CO₂ and 1-methylcyclopropene on the regulation of postharvest senescence of mint, *Mentha longifolia* L., *Postharvest Biology and Technology* 43, 165 – 173.
- KENAGA E. E., 1957. Some biological, chemical and physical properties of sulfuryl fluoride as insecticidal fumigant. *Jour. of Econ. Ento.* 50, 1 – 6.
- KORUNIC, Z., 1997. Diatomaceous earths, a group of natural 35 insecticides. *Jour. of Stor. Prod. Res.* 34, 87 – 97.
- LE GOUPIL, M., 1932 Les propriétés insecticides du bromure de méthyle. *Revue de Pathologie Végétale et d'Entomologie Agricole de France*, 169 – 172.
- LINDGREN, D. L.; VINCENT, L. E., 1970. Effect of atmospheric gases alone or in combination on the mortality of granary and rice weevils, *Jour. of Econ. Ento.*, 1926 – 1929.
- MAGDE, D. S., 1961. The control of relative humidity with aqueous solutions of sodium hydroxide. *Ent. exp. & appl.* 4, 143 – 147.
- MCCOMB, E. A.; MCCREADY, R. M., 1952. Extraction and Determination of Total Pectic Materials in Fruits. *Analytical Chemistry* 24, 1986 – 1988.
- MEIKLE R. W.; STEWARD, D.; GLOBUS, O. A., 1963. Drywood termite metabolism of Vikane fumigant as showing by labelled pool technique. *Jour. of Agr. Food and Chem.* 11, 229 – 230.
- MEIKLE, R. W., 1964. The fate of sulfuryl fluoride in wheat flour. *Jour. of Agr. and Food Chem.* 12, 464-467.
- MEJULE, F. O.; WILLIAMS, J. O.; AGBOOLA, S. D., 1990. Current check-list of insects associated with stored products in Nigeria. *Annula Report - Nigerian Stor. Prod. Res. Inst.* 20, 27-30.
- MEWIS I.; ULRICHS C., 2001. Effects of diatomaceous earth on water content of *Sitophilus granarius* (L.) (Col., Curculionidae) and its possible use in stored product protection. *Jour. of App. Ento.* 125, 351 – 360.

- MEYVACI, K. B.; SEN, F.; AKSOY, U.; et al., 2003. Project to Phase-out Methyl Bromide in the Dried Fig Sector in Turkey. Proc. XXVI IHC, Issues and Advances in Postharvest Hort. Acta Hort. 628, 73 – 81.
- MEYVACI, K. B.; SEN, F.; AKSOY, U.; et al., 2003. Research on prolonging the marketing period of dried and ready-to-eat type figs (*Ficus carica*). Acta Hort. 628, 439 – 445.
- MC GUIRE, R. 1992. Reporting of Objektive Color Measurements. Hort Science. 27, 1254 – 1255.
- MILLER, M. W.; CHICHESTER, C. O., 1959. The constituents of the crystalline deposits on dried fruit. Proc. 19th Annual Meeting of the Inst. of Food Engineers, Philadelphia, Pennsylvania. Food Res. 25, 424-428.
- MONRO, H. A. U., 1969: Manual of Fumigation for Insect Control, FAO Publication, Rome, 381 pp.
- MONRO H. A. U.; UPITIS, E.; BOND, E. J., 1972. Resistance of a laboratory strain of *Sitophilus granaris* (L.) (Coleoptera, Curculionidae) to phosphine. Jour. of Stor. Prod. Res. 8, 199 – 207.
- NAVARRO S.; FINKELMAN S.; DONAHAYE E.; DIAS, R.; RINDNER, M.; AZRIELI, A., 2001. Integrated storage pest control methods using vacuum or CO₂ in transportable systems. Proceedings of the IOBC/WPRS Working Group "Integrated Protection in Stored Products", Lisbon, Portugal, 3-5 Sep 2001. Bulletin OILB/SROP 25, 207 – 214.
- NAVARRO, S., 2006. Postharvest treatments of dates. Stewart Postharvest Review, UK, 1 – 6.
- NIAZEE, A., 1971. The effect of carbon dioxide gas alone or in combinations on the mortality of *Tribolium castaneum* (Hbst.) and *T. confusum* du Val (Coleoptera, Tenebrionidae). Jour. of Stor. Prod. Res., 243-252.
- NOACK, S.; REICHMUTH, CH., 1978. Ein rechnerisches Verfahren zur Bestimmung von Beliebigen Dosis-Werten eines Wirkstoffes aus empirisch ermittelten Dosis-Wirkungs-Daten. Mitteilung aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Berlin-Dahlem, Heft 185, 3-48.
- O'HARE, T. J.; PRASAD, A.; COOKE, A. W., 1994. Low temperature and controlled atmosphere storage of rambutan. Postharvest Biology and Tech. 4, 147-157.
- OUTRAM, I., 1966. Studies on the sorption and toxicity of sulphuryl fluoride in certain insect species. PhD Thesis, University of London. Quoted in: OUTRAM, I., 1967. Factors affecting the resistance of insect eggs to sulphuryl fluoride –II: The distribution of Sulphuryl-³⁵S Fluoride in insect eggs after fumigation. Jour. Stor. Prod. Res. 3, 353 – 358.

- OUTRAM, I., 1967. Factors affecting the resistance of insect eggs to sulphuryl fluoride –II: The distribution of Sulphuryl-³⁵S Fluoride in insect eggs after fumigation. Jour. Stor. Prod. Res. 3, 353 – 358.
- ÖZILGEN, M.; ŞUMNU, G.; EMIR, H.; EMIR, F., 1997: Quality controls charts for storage of raisins and dried figs. Zeitschrift für Lebensmittel- Untersuchung und -Forschung 204, 56 – 59.
- ÖZTEKİN S.; ZORLUGENC B.; ZORLUGENC F. K., 2006. Effects of ozone treatment on microflora of dried figs. Jour. Food Eng. 75, 396 – 399.
- PAZIR, F.; WOLF, W., 1991. Absorption isotherms of different parts of dried figs (Turkish), Gıda Sanayi (Food Industry Jour.) 24, 42 – 48.
- PEARSON, D., 1962. The Chemical Analysis of Foods, 5th edition. Churchill, London, 7 - 11.
- PERSON, N. K. JR.; SORENSON, J. W. JR., 1970. Use of gaseous nitrogen for controlling stored-product insects in cereal grains. Cereal Chem. 47, 769-786.
- PIGA A.; PINNA I.; OZER K. B.; AGABBIO, M.; AKSOY, U., 2004. Hot air dehydration of figs (*Ficus carica* L.): drying kinetics and quality loss. Int. Jour. Food Sci. & Tech. 39, 793- 799.
- PIXTON, S. W.; WARBURTON, S., 1976. The relationship between moisture content and equilibrium relative humidity of dried figs, Jour. of Stor. Prod. Res. 12, 87-92.
- PRASANTA, B. D. R., 2003. Toxicological, biological and physiological effects of diatomaceous earths on the bean weevil *Acanthoscelides obtectus* (Say) and the cowpea weevil *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera: Bruchidae), Dissertation, Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät, Humboldt-Universität zu Berlin, 2003, 174 pp.
- REES, D., 2004. Insects of Stored Products. Manson Publishing, UK, 191 pp.
- REHM, S., 1989. Spezieller Pflanzenbau in den Tropen und Subtropen, Handbuch der Landwirtschaft und Ernährung in den Entwicklungsländern, 4. Band, Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart, 389 – 394.
- REICHMUTH, CH., 1981. Inbetriebnahme der Begasungsstation des Instituts für Vorratsschutz der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft in Berlin-Dahlem, Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd. 33, 161 – 165.
- REICHMUTH, CH.; WOHLGEMUTH, R.; NOACK, S., 1985. Ein neues Verfahren zur Bekämpfung von vorratsschädlichen Insekten in geschüttetem Getreide mit Phosphorwasserstoff aus Beutelrollen, Die Mühle + Mischfüttertechnik.
- REICHMUTH, CH., 1992. Bekämpfung von Vorratsschädlingen in der Müllerei - Stand und Ausblick, Getreide Mehl und Brot 46, 362 – 368.

- REICHMUTH, CH., 1994. Bekämpfung von Vorratsschädlingen in Durummöhlen und Teigwarenfabriken. Granum Verlag, Veröffentlichung der Arbeitsgemeinschaft Getreideforschung, Detmold, 253, 112 – 115.
- REICHMUTH, CH.; UNGER, A.; UNGER, W., 1994. Bekämpfungsmaßnahmen mit Stickstoff oder Kohlendioxid. Der praktische Schädlingsbekämpfer 46, 81 – 87.
- REICHMUTH, CH.; PÖSCHKO, M.; RASSMANN W.; ULRICHS CH., 1996. Employment of heat and cold against pest in storage. Proc. XX International Congress of Entomology, Firenze, Italy, 1996.
- REICHMUTH, CH., 1997. Vorratsschädlinge im Getreide. Verlag Th. Mann Gelsenkirchen, 119 pp.
- REICHMUTH, CH., 1998. 100 Jahre Pflanzenschutzforschung. Wichtige Arbeitsschwerpunkte im Vorratsschutz. Herausgegeben von der Biol. Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Berlin-Dahlem. Parey Buchverlag Berlin, ISBN 3-8263-3196-6, s. 191 – 222.
- REICHMUTH, CH.; SCHNEIDER, B.; DRINKALL M. J., 1999. Sulfuryl fluoride (Vikane) against eggs of different age of the Indian meal moth *Plodia interpunctella* (Hübner) and the Mediterranean flour moth *Ephestia kuehniella* (Zeller). Proc. of the 7th Int. Work. Conf. on Stor. Prod. Protec., 14 – 19 October 1998 in Beijing, P.R. China, 416 – 422.
- REICHMUTH, CH.; RASSMANN, W.; BINKER, G.; Froeba, G.; Drinkall, M. J., 2003. Disinfestation of rust-red flour beetle (*Tribolium castaneum*), saw-toothed grain beetle (*Oryzaephilus surinamensis*), yellow meal worm (*Tenebrio molitor*), Mediterranean flour moth (*Ephestia kuehniella*) and Indian meal moth (*Plodia interpunctella*) with sulfuryl fluoride, advances in stored product protection. Proc. of the 8th Int. Work. Conf. on Stor. Prod. Protec., York, UK, 22 – 26 July 2002, 736 - 738.
- RHODES, M. J. C.; WOOLTORTON, L. S. C.; HILL, A. C., 1981. Change in phenolic metabolism in fruit and vegetable tissues under stress. Biochemistry of Fruit and Vegetables, Academic Press, London, 193 – 220.
- SALEM S. A.; ABDUL-NOUR, B. A., 1979. Sugars and amino acids in dried Iraqi figs. Jour. of the Sc. of Food and Agr. 30, 620 – 622.
- SCHNEIDER, B. M., 1993. Characteristics and global potential of the insecticidal fumigant, sulfuryl fluoride. Proc. 1st Int. Conf. on Insect Pests in the Urban Env., Cambridge, UK, 1993, 193 – 198.
- SCHNEIDER, B. M.; HARTSELL, P. L., 1999. Control of stored product pests with Vikane® gas fumigant (sulfuryl fluoride). Proc. of the 7th Int. Work. Conf. on Stor. Prod. Protec., 14 – 19 Oct 1998, Beijing, P.R. China, 406 – 408.

- SCHÖLLER M.; HASSAN S. A., 2001. Comparative biology and life tables of *Trichogramma evanescens* and *T. cacoeciae* with *Ephesttia elutella* as host at four constant temperatures. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 98, 35-40.
- SOLOMON, M. E., 1952. Control of humidity with potassium hydroxide, sulphuric acid, or other solutions. *Bull. of Ento. Res.* 42, 543 – 554.
- SOPEE, A.; TECHAVUTIPORN, C.; KANLAYANARAT, S., 2006. High carbon dioxide atmospheres improve quality and storage life of Rambutan (*Nephelium lappaceum* L.) fruit. Proc. 4th Int. Conf. on Managing Quality in Chains, Aug 7-10, Bangkok, Thailand, *Acta. Hort.* 712, ISHS 2006, 865 – 871.
- SPILIMBERGO, S., 2002. A study about the effect of dense CO₂ on microorganisms. PhD thesis, University of Padova, Italy, 153 pp.
- SPRENKEL, R.; WILLIAMS, L. H., 1998. Ovicidal activity of Vikane® gas fumigant on anobiid and lyctid beetle eggs. *Down to Earth*, 44, 2, 15 – 19.
- STAHL, E.; RAU, G., 1985. Neues Verfahren zur Entwesung. *Anzeiger für Schädlingskunde, Pflanzenschutz, Umweltschutz* 58, 133 – 136.
- STAHL, E.; RAU, G.; ADOLPHI, H., 1985. Entwesung von Drogen durch Kohlendioxid-Druckbehandlung (PEX-Verfahren). *Die Pharmazeutische Industrie*, 528.
- STEIN, W. 1986. Vorratsschädlinge und Hausungeziefer: Biologie, Ökologie und Gegenmaßnahmen, Ulmer, Stuttgart, ISBN 3-8001-3066-1, 234 – 259.
- STRATIL, H.; REICHMUTH, CH., 1981. Mottenbefall an Süßwaren – Entwicklung eines Kühlverfahrens zur Bekämpfung von Eiern der Dörrobstmotte (*Plodia interpunctella*). *Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft Berlin-Dahlem*, 205.
- TREVAN, J. W., 1927. The error of determination of toxicity. *Proc. Roy. Soc. London, Ser. B-Containing Papers of a Biological Character* 101, 483-514.
- ULRICHS, CH. 2000. Dynamik des Kohlenhydratmetabolismus in der Nachernte am Beispiel von *Daucus carota* L. ssp. *sativus* (Hoffm.) Humboldt-Universität zu Berlin. Dissertation. Der Andere Verlag Osnabrück. ISBN 3-934366-41-4, 134 pp.
- YANG, S. F., 1985. Biosynthesis and action of ethylene. *HortScience* 20, 41 – 45.
- ZACHER, F., 1927: Die Vorrats-, Speicher- und Materialschädlinge und ihre Bekämpfung. P. Parey, Berlin, 366 S.
- ZACHER, F.; KUNIKE, G., 1931: Beiträge zur Kenntnis der Vorratsschädlinge. Untersuchungen über die insektizide Wirkung von Oxyden und Karbonaten. *Arbeiten aus der Biologischen Reichsanstalt* 18, 201 – 231.

ANHANG

Tab. 23: Post Hoc Tests der Mittelwerte für Helligkeit (L*-Werte) und Farbsättigung (c*-Werte) für Feigen aus der Ernte 2004; Faktor: CO₂-Behandlung

Mehrfachvergleiche

| Abhängige Variable | (I) Behandlung | (J) Behandlung | Mittlere Differenz (I-J) | Standardfehler | Signifikanz | 95%-Konfidenzintervall | | |
|--------------------|----------------|----------------|--------------------------|----------------|-------------|------------------------|------------|---------|
| | | | | | | Untergrenze | Obergrenze | |
| L*-Werte | Tukey-HSD | 0 | 1 | 2,8056* | ,9639 | ,011 | ,534 | 5,077 |
| | | | 2 | 12,0644* | ,9639 | ,000 | 9,793 | 14,336 |
| | | 1 | 0 | -2,8056* | ,9639 | ,011 | -5,077 | -,534 |
| | | | 2 | 9,2589* | ,9639 | ,000 | 6,987 | 11,531 |
| | | 2 | 0 | -12,0644* | ,9639 | ,000 | -14,336 | -9,793 |
| | | | 1 | -9,2589* | ,9639 | ,000 | -11,531 | -6,987 |
| | LSD | 0 | 1 | 2,8056* | ,9639 | ,004 | ,908 | 4,703 |
| | | | 2 | 12,0644* | ,9639 | ,000 | 10,167 | 13,962 |
| | | 1 | 0 | -2,8056* | ,9639 | ,004 | -4,703 | -,908 |
| | | | 2 | 9,2589* | ,9639 | ,000 | 7,361 | 11,157 |
| | | 2 | 0 | -12,0644* | ,9639 | ,000 | -13,962 | -10,167 |
| | | | 1 | -9,2589* | ,9639 | ,000 | -11,157 | -7,361 |
| c*-Werte | Tukey-HSD | 0 | 1 | 5,0829* | ,9079 | ,000 | 2,943 | 7,223 |
| | | | 2 | 1,6588 | ,9079 | ,163 | -,481 | 3,799 |
| | | 1 | 0 | -5,0829* | ,9079 | ,000 | -7,223 | -2,943 |
| | | | 2 | -3,4241* | ,9079 | ,001 | -5,564 | -1,284 |
| | | 2 | 0 | -1,6588 | ,9079 | ,163 | -3,799 | ,481 |
| | | | 1 | 3,4241* | ,9079 | ,001 | 1,284 | 5,564 |
| | LSD | 0 | 1 | 5,0829* | ,9079 | ,000 | 3,295 | 6,871 |
| | | | 2 | 1,6588 | ,9079 | ,069 | -,129 | 3,446 |
| | | 1 | 0 | -5,0829* | ,9079 | ,000 | -6,871 | -3,295 |
| | | | 2 | -3,4241* | ,9079 | ,000 | -5,212 | -1,636 |
| | | 2 | 0 | -1,6588 | ,9079 | ,069 | -3,446 | ,129 |
| | | | 1 | 3,4241* | ,9079 | ,000 | 1,636 | 5,212 |

*. Die Differenz der Mittelwerte ist auf dem Niveau .05 signifikant.

L*-Werte

| Behandlung | N | Untergruppe für Alpha = .05. | | |
|------------------------|----|------------------------------|--------|--------|
| | | 1 | 2 | 3 |
| Tukey-HSD ^a | 90 | 45,171 | | |
| 1 | 90 | | 54,430 | |
| 0 | 90 | | | 57,236 |
| Signifikanz | | 1,000 | 1,000 | 1,000 |

Die Mittelwerte für die in homogenen Untergruppen befindlichen Gruppen werden angezeigt.

a. Verwendet ein harmonisches Mittel für Stichprobengröße = 90,000.

c*-Werte

| Behandlung | N | Untergruppe für Alpha = .05. | |
|------------------------|----|------------------------------|--------|
| | | 1 | 2 |
| Tukey-HSD ^a | 90 | 14,367 | |
| 2 | 90 | | 17,791 |
| 0 | 90 | | 19,450 |
| Signifikanz | | 1,000 | ,163 |

Die Mittelwerte für die in homogenen Untergruppen befindlichen Gruppen werden angezeigt.

a. Verwendet ein harmonisches Mittel für Stichprobengröße = 90,000.

Tab. 24: Post Hoc Tests der Mittelwerte für Helligkeit (L*-Werte) für Feigen aus der Ernte 2005;
 Faktor: CO₂-Behandlung

Mehrfachvergleiche

Abhängige Variable: L

| | (I) Behandlung | (J) Behandlung | Mittlere Differenz (I-J) | Standardfehler | Signifikanz | 95% Konfidenzintervall | |
|------------------------------------|-----------------|-----------------|--------------------------|----------------|-------------|------------------------|------------|
| | | | | | | Untergrenze | Obergrenze |
| Tukey-HSD | ohne Behandlung | 1x CO2 Beh. | 8,158* | ,5092 | ,000 | 6,963 | 9,352 |
| | | 2x CO2 Beh. | 4,957* | ,5092 | ,000 | 3,763 | 6,152 |
| | 1x CO2 Beh. | ohne Behandlung | -8,158* | ,5092 | ,000 | -9,352 | -6,963 |
| | | 2x CO2 Beh. | -3,200* | ,5092 | ,000 | -4,395 | -2,005 |
| | 2x CO2 Beh. | ohne Behandlung | -4,957* | ,5092 | ,000 | -6,152 | -3,763 |
| | | 1x CO2 Beh. | 3,200* | ,5092 | ,000 | 2,005 | 4,395 |
| LSD | ohne Behandlung | 1x CO2 Beh. | 8,158* | ,5092 | ,000 | 7,159 | 9,156 |
| | | 2x CO2 Beh. | 4,957* | ,5092 | ,000 | 3,959 | 5,956 |
| | 1x CO2 Beh. | ohne Behandlung | -8,158* | ,5092 | ,000 | -9,156 | -7,159 |
| | | 2x CO2 Beh. | -3,200* | ,5092 | ,000 | -4,199 | -2,201 |
| | 2x CO2 Beh. | ohne Behandlung | -4,957* | ,5092 | ,000 | -5,956 | -3,959 |
| | | 1x CO2 Beh. | 3,200* | ,5092 | ,000 | 2,201 | 4,199 |
| Dunnnett-T (2-seitig) [¶] | ohne Behandlung | 2x CO2 Beh. | 4,957* | ,5092 | ,000 | 3,830 | 6,085 |
| | 1x CO2 Beh. | 2x CO2 Beh. | -3,200* | ,5092 | ,000 | -4,328 | -2,073 |

Basiert auf beobachteten Mittelwerten.

*. Die mittlere Differenz ist auf der Stufe ,05 signifikant.

a. In Dunnnett-T-Tests wird eine Gruppe als Kontrollgruppe behandelt, mit der alle anderen Gruppen verglichen werden.

L* -Werte

| Behandlung | N | Untergruppe | | |
|-------------------------------------|-----------------|-------------|--------|--------|
| | | 1 | 2 | 3 |
| Student-Newman-Keuls ^{a,b} | 1x CO2 Beh. | 540 | 42,659 | |
| | 2x CO2 Beh. | 540 | | 45,859 |
| | ohne Behandlung | 540 | | |
| | Signifikanz | | 1,000 | 1,000 |
| Tukey-HSD ^{a,b} | 1x CO2 Beh. | 540 | 42,659 | |
| | 2x CO2 Beh. | 540 | | 45,859 |
| | ohne Behandlung | 540 | | |
| | Signifikanz | | 1,000 | 1,000 |
| Duncan ^{a,b} | 1x CO2 Beh. | 540 | 42,659 | |
| | 2x CO2 Beh. | 540 | | 45,859 |
| | ohne Behandlung | 540 | | |
| | Signifikanz | | 1,000 | 1,000 |

Die Mittelwerte für Gruppen in homogenen Untergruppen werden angezeigt.

Basiert auf Typ III Quadratsumme

Der Fehlerterm ist "Mittel der Quadrate (Fehler) = 70,018".

a. Verwendet Stichprobengrößen des harmonischen Mittels = 540,000

b. Alpha = ,05

Tab. 25: Post Hoc Tests der Mittelwerte der Feigen der Ernte 2005 für Helligkeit (L*-Werte);
 Faktor: Lagerzeit

Mehrfachvergleiche

Abhängige Variable: L

| | (I) Lagerzeit | (J) Lagerzeit | Mittlere Differenz (I-J) | Standardfehler | Signifikanz | 95% Konfidenzintervall | |
|-----------------------------------|---------------|---------------|--------------------------|----------------|-------------|------------------------|------------|
| | | | | | | Untergrenze | Obergrenze |
| Tukey-HSD | 4 Wochen | 8 Wochen | ,247 | ,5092 | ,878 | -,948 | 1,442 |
| | | 16 Wochen | ,482 | ,5092 | ,611 | -,712 | 1,677 |
| | 8 Wochen | 4 Wochen | -,247 | ,5092 | ,878 | -1,442 | ,948 |
| | | 16 Wochen | ,235 | ,5092 | ,889 | -,959 | 1,430 |
| | 16 Wochen | 4 Wochen | -,482 | ,5092 | ,611 | -1,677 | ,712 |
| | | 8 Wochen | -,235 | ,5092 | ,889 | -1,430 | ,959 |
| LSD | 4 Wochen | 8 Wochen | ,247 | ,5092 | ,628 | -,752 | 1,246 |
| | | 16 Wochen | ,482 | ,5092 | ,344 | -,517 | 1,481 |
| | 8 Wochen | 4 Wochen | -,247 | ,5092 | ,628 | -1,246 | ,752 |
| | | 16 Wochen | ,235 | ,5092 | ,644 | -,764 | 1,234 |
| | 16 Wochen | 4 Wochen | -,482 | ,5092 | ,344 | -1,481 | ,517 |
| | | 8 Wochen | -,235 | ,5092 | ,644 | -1,234 | ,764 |
| Dunnett-T (2-seitig) ^a | 4 Wochen | 16 Wochen | ,482 | ,5092 | ,537 | -,645 | 1,610 |
| | 8 Wochen | 16 Wochen | ,235 | ,5092 | ,857 | -,892 | 1,363 |

Basiert auf beobachteten Mittelwerten.

a. In Dunnett-T-Tests wird eine Gruppe als Kontrollgruppe behandelt, mit der alle anderen Gruppen verglichen werden.

L*-Werte

| | Lagerzeit | N | Untergruppe |
|-------------------------------------|-------------|-----|-------------|
| | | | 1 |
| Student-Newman-Keuls ^{a,b} | 16 Wochen | 540 | 46,206 |
| | 8 Wochen | 540 | 46,441 |
| | 4 Wochen | 540 | 46,688 |
| | Signifikanz | | ,611 |
| Tukey-HSD ^{a,b} | 16 Wochen | 540 | 46,206 |
| | 8 Wochen | 540 | 46,441 |
| | 4 Wochen | 540 | 46,688 |
| | Signifikanz | | ,611 |
| Duncan ^{a,b} | 16 Wochen | 540 | 46,206 |
| | 8 Wochen | 540 | 46,441 |
| | 4 Wochen | 540 | 46,688 |
| | Signifikanz | | ,376 |

Die Mittelwerte für Gruppen in homogenen Untergruppen werden angezeigt.

Basiert auf Typ III Quadratsumme

Der Fehlerterm ist "Mittel der Quadrate (Fehler) = 70,018".

a. Verwendet Stichprobengrößen des harmonischen Mittels = 540,000

b. Alpha = ,05

Tab. 26: Post Hoc Tests der Mittelwerte der Feigen der Ernte 2005 für Farbsättigung (c*-Werte);
 Faktor: CO₂-Behandlung

Mehrfachvergleiche

Abhängige Variable: c

| | (I) Behandlung | (J) Behandlung | Mittlere Differenz (I-J) | Standardfehler | Signifikanz | 95% Konfidenzintervall | |
|-----------------------------------|-----------------|-----------------|--------------------------|----------------|-------------|------------------------|------------|
| | | | | | | Untergrenze | Obergrenze |
| Tukey-HSD | ohne Behandlung | 1x CO2 Beh. | 5,632* | ,4550 | ,000 | 4,564 | 6,699 |
| | | 2x CO2 Beh. | 5,461* | ,4550 | ,000 | 4,393 | 6,528 |
| | 1x CO2 Beh. | ohne Behandlung | -5,632* | ,4550 | ,000 | -6,699 | -4,564 |
| | | 2x CO2 Beh. | -,171 | ,4550 | ,925 | -1,239 | ,896 |
| | 2x CO2 Beh. | ohne Behandlung | -5,461* | ,4550 | ,000 | -6,528 | -4,393 |
| | | 1x CO2 Beh. | ,171 | ,4550 | ,925 | -,896 | 1,239 |
| LSD | ohne Behandlung | 1x CO2 Beh. | 5,632* | ,4550 | ,000 | 4,739 | 6,524 |
| | | 2x CO2 Beh. | 5,461* | ,4550 | ,000 | 4,568 | 6,353 |
| | 1x CO2 Beh. | ohne Behandlung | -5,632* | ,4550 | ,000 | -6,524 | -4,739 |
| | | 2x CO2 Beh. | -,171 | ,4550 | ,707 | -1,064 | ,721 |
| | 2x CO2 Beh. | ohne Behandlung | -5,461* | ,4550 | ,000 | -6,353 | -4,568 |
| | | 1x CO2 Beh. | ,171 | ,4550 | ,707 | -,721 | 1,064 |
| Bonferroni | ohne Behandlung | 1x CO2 Beh. | 5,632* | ,4550 | ,000 | 4,541 | 6,722 |
| | | 2x CO2 Beh. | 5,461* | ,4550 | ,000 | 4,370 | 6,551 |
| | 1x CO2 Beh. | ohne Behandlung | -5,632* | ,4550 | ,000 | -6,722 | -4,541 |
| | | 2x CO2 Beh. | -,171 | ,4550 | 1,000 | -1,262 | ,919 |
| | 2x CO2 Beh. | ohne Behandlung | -5,461* | ,4550 | ,000 | -6,551 | -4,370 |
| | | 1x CO2 Beh. | ,171 | ,4550 | 1,000 | -,919 | 1,262 |
| Dunnett-T (2-seitig) ^a | ohne Behandlung | 2x CO2 Beh. | 5,461* | ,4550 | ,000 | 4,453 | 6,468 |
| | 1x CO2 Beh. | 2x CO2 Beh. | -,171 | ,4550 | ,902 | -1,179 | ,836 |

Basiert auf beobachteten Mittelwerten.

*. Die mittlere Differenz ist auf der Stufe ,05 signifikant.

a. In Dunnett-T-Tests wird eine Gruppe als Kontrollgruppe behandelt, mit der alle anderen Gruppen verglichen werden.

c*-Werte

| Behandlung | N | Untergruppe | |
|-------------------------------------|-----------------|-------------|--------|
| | | 1 | 2 |
| Student-Newman-Keuls ^{a,b} | 1x CO2 Beh. | 540 | 20,082 |
| | 2x CO2 Beh. | 540 | 20,253 |
| | ohne Behandlung | 540 | 25,714 |
| | Signifikanz | | ,707 |
| Tukey-HSD ^{a,b} | 1x CO2 Beh. | 540 | 20,082 |
| | 2x CO2 Beh. | 540 | 20,253 |
| | ohne Behandlung | 540 | 25,714 |
| | Signifikanz | | ,925 |

Die Mittelwerte für Gruppen in homogenen Untergruppen werden angezeigt.

Basiert auf Typ III Quadratsumme

Der Fehlerterm ist "Mittel der Quadrate (Fehler) = 55,905".

a. Verwendet Stichprobengrößen des harmonischen Mittels = 540,000

b. Alpha = ,05

Tab. 27: Post Hoc Tests der Mittelwerte der Feigen der Ernte 2005 für Farbsättigung (c*-Werte);
 Faktor: Lagerzeit

Mehrfachvergleiche

Abhängige Variable: c

| | (I) Lagerzeit | (J) Lagerzeit | Mittlere Differenz (I-J) | Standardf ehler | Signifikanz | 95% Konfidenzintervall | |
|-----------------------------------|---------------|---------------|-----------------------------|--------------------|-------------|------------------------|------------|
| | | | | | | Untergrenze | Obergrenze |
| Tukey-HSD | 4 Wochen | 8 Wochen | 1,918* | ,4550 | ,000 | ,851 | 2,986 |
| | | 16 Wochen | 4,509* | ,4550 | ,000 | 3,442 | 5,577 |
| | 8 Wochen | 4 Wochen | -1,918* | ,4550 | ,000 | -2,986 | -,851 |
| | | 16 Wochen | 2,591* | ,4550 | ,000 | 1,524 | 3,659 |
| | 16 Wochen | 4 Wochen | -4,509* | ,4550 | ,000 | -5,577 | -3,442 |
| | | 8 Wochen | -2,591* | ,4550 | ,000 | -3,659 | -1,524 |
| LSD | 4 Wochen | 8 Wochen | 1,918* | ,4550 | ,000 | 1,026 | 2,811 |
| | | 16 Wochen | 4,509* | ,4550 | ,000 | 3,617 | 5,402 |
| | 8 Wochen | 4 Wochen | -1,918* | ,4550 | ,000 | -2,811 | -1,026 |
| | | 16 Wochen | 2,591* | ,4550 | ,000 | 1,699 | 3,484 |
| | 16 Wochen | 4 Wochen | -4,509* | ,4550 | ,000 | -5,402 | -3,617 |
| | | 8 Wochen | -2,591* | ,4550 | ,000 | -3,484 | -1,699 |
| Bonferroni | 4 Wochen | 8 Wochen | 1,918* | ,4550 | ,000 | ,828 | 3,009 |
| | | 16 Wochen | 4,509* | ,4550 | ,000 | 3,419 | 5,600 |
| | 8 Wochen | 4 Wochen | -1,918* | ,4550 | ,000 | -3,009 | -,828 |
| | | 16 Wochen | 2,591* | ,4550 | ,000 | 1,501 | 3,682 |
| | 16 Wochen | 4 Wochen | -4,509* | ,4550 | ,000 | -5,600 | -3,419 |
| | | 8 Wochen | -2,591* | ,4550 | ,000 | -3,682 | -1,501 |
| Dunnett-T (2-seitig) ^a | 4 Wochen | 16 Wochen | 4,509* | ,4550 | ,000 | 3,502 | 5,517 |
| | 8 Wochen | 16 Wochen | 2,591* | ,4550 | ,000 | 1,584 | 3,599 |

Basiert auf beobachteten Mittelwerten.

*. Die mittlere Differenz ist auf der Stufe ,05 signifikant.

a. In Dunnett-T-Tests wird eine Gruppe als Kontrollgruppe behandelt, mit der alle anderen Gruppen verglichen werden.

c*-Werte

| | Lagerzeit | N | Untergruppe | | |
|-------------------------------------|-------------|-----|-------------|--------|--------|
| | | | 1 | 2 | 3 |
| Student-Newman-Keuls ^{a,b} | 16 Wochen | 540 | 19,649 | | |
| | 8 Wochen | 540 | | 22,241 | |
| | 4 Wochen | 540 | | | 24,159 |
| | Signifikanz | | 1,000 | 1,000 | 1,000 |
| Tukey-HSD ^{a,b} | 16 Wochen | 540 | 19,649 | | |
| | 8 Wochen | 540 | | 22,241 | |
| | 4 Wochen | 540 | | | 24,159 |
| | Signifikanz | | 1,000 | 1,000 | 1,000 |

Die Mittelwerte für Gruppen in homogenen Untergruppen werden angezeigt.

Basiert auf Typ III Quadratsumme

Der Fehlerterm ist "Mittel der Quadrate (Fehler) = 55,905".

a. Verwendet Stichprobengrößen des harmonischen Mittels = 540,000

b. Alpha = ,05

Tab. 28: Einfaktorielle ANOVA für Helligkeit und Farbsättigung (L* und c*-Werte) der Feigen der Ernte 2005 für den Faktor Temperatur

ONEWAY ANOVA (L*- und c*-Werte bei den Temperaturen)

| | | Quadratsumme | df | Mittel der Quadrate | F | Signifikanz |
|---------|-----------------------|--------------|------|---------------------|--------|-------------|
| L*-Wert | Zwischen den Gruppen | 521,485 | 1 | 521,485 | 6,102 | ,014 |
| | Innerhalb der Gruppen | 138283,5 | 1618 | 85,466 | | |
| | Gesamt | 138805,0 | 1619 | | | |
| c*-Wert | Zwischen den Gruppen | 5668,576 | 1 | 5668,576 | 83,568 | ,000 |
| | Innerhalb der Gruppen | 109752,3 | 1618 | 67,832 | | |
| | Gesamt | 115420,9 | 1619 | | | |

Tab. 29: Post Hoc Tests der Mittelwerte für Qualitätsmerkmale der Feigen aus der Ernte 2004 für Trockensubstanz, °Brix, pH-Wert, Gehalte an Citronensäure, Fructose und Glucose; Faktor: CO₂-Behandlung

Trockensubstanz (%)

| Behandlung | N | Untergruppe für Alpha = .05. | |
|----------------------------------|---|------------------------------|---------|
| | | 1 | 2 |
| Tukey-HSD ^a ohne Beh. | 3 | 72,2602 | |
| 1x Beh. | 3 | 73,0344 | |
| 2x Beh. | 3 | | 73,9933 |
| Signifikanz | | ,103 | 1,000 |

Die Mittelwerte für die in homogenen Untergruppen befindlichen Gruppen werden angezeigt.

a. Verwendet ein harmonisches Mittel für Stichprobengröße = 3,000.

Brix

| Behandlung | N | Untergruppe für Alpha = .05. |
|--------------------------------|---|------------------------------|
| | | 1 |
| Tukey-HSD ^a 1x Beh. | 3 | 14,4111 |
| 2x Beh. | 3 | 14,7778 |
| ohne Beh. | 3 | 16,0444 |
| Signifikanz | | ,186 |

Die Mittelwerte für die in homogenen Untergruppen befindlichen Gruppen werden angezeigt.

a. Verwendet ein harmonisches Mittel für Stichprobengröße = 3,000.

pH-Wert

| Behandlung | N | Untergruppe für Alpha = .05. | |
|--------------------------------|---|------------------------------|--------|
| | | 1 | 2 |
| Tukey-HSD ^a 2x Beh. | 3 | 4,7733 | |
| 1x Beh. | 3 | | 4,9467 |
| ohne Beh. | 3 | | 4,9500 |
| Signifikanz | | 1,000 | ,998 |

Die Mittelwerte für die in homogenen Untergruppen befindlichen Gruppen werden angezeigt.

a. Verwendet ein harmonisches Mittel für Stichprobengröße = 3,000.

Citronensäure (%)

| Behandlung | N | Untergruppe für Alpha = .05. |
|----------------------------------|---|------------------------------|
| | | 1 |
| Tukey-HSD ^a ohne Beh. | 3 | ,6667 |
| 1x Beh. | 3 | ,8167 |
| 2x Beh. | 3 | ,8667 |
| Signifikanz | | ,123 |

Die Mittelwerte für die in homogenen Untergruppen befindlichen Gruppen werden angezeigt.

a. Verwendet ein harmonisches Mittel für Stichprobengröße = 3,000.

Fructose

| Behandlung | N | Untergruppe für Alpha = .05. |
|--------------------------------|---|------------------------------|
| | | 1 |
| Tukey-HSD ^a 1x Beh. | 3 | 200,4704 |
| 2x beh. | 3 | 229,8998 |
| ohne Beh. | 3 | 248,7550 |
| Signifikanz | | ,331 |

Die Mittelwerte für die in homogenen Untergruppen befindlichen Gruppen werden angezeigt.

a. Verwendet ein harmonisches Mittel für Stichprobengröße = 3,000.

Glucose

| Behandlung | N | Untergruppe für Alpha = .05. |
|--------------------------------|---|------------------------------|
| | | 1 |
| Tukey-HSD ^a 1x Beh. | 3 | 209,2350 |
| 2x Beh. | 3 | 237,3544 |
| ohne Beh. | 3 | 248,9113 |
| Signifikanz | | ,480 |

Die Mittelwerte für die in homogenen Untergruppen befindlichen Gruppen werden angezeigt.

a. Verwendet ein harmonisches Mittel für Stichprobengröße = 3,000.

Tab. 30: Post Hoc Tests der Mittelwerte für die Qualitätsmerkmale der Feigen der Ernte 2005 für Trockensubstanz, °Brix, pH-Wert, Citronensäure, Gesamtpektin, Fructose und Glucose;
 Faktor: Lagerzeit

Trockensubstanz (%)

| | Lagerzeit | N | Untergruppe | |
|---------------------------------------|-------------|----|-------------|------|
| | | | 1 | |
| Student-Newman-Keuls ^{a,b,c} | 4 Wochen | 12 | 70,9199 | |
| | Kontrolle | 16 | 71,4546 | |
| | 8 Wochen | 12 | 72,1779 | |
| | Signifikanz | | | ,081 |
| Tukey-HSD ^{a,b,c} | 4 Wochen | 12 | 70,9199 | |
| | Kontrolle | 16 | 71,4546 | |
| | 8 Wochen | 12 | 72,1779 | |
| | Signifikanz | | | ,081 |

Die Mittelwerte für Gruppen in homogenen Untergruppen werden angezeigt.

Basiert auf Typ III Quadratsumme

Der Fehlerterm ist "Mittel der Quadrate (Fehler) = 2,079".

- a. Verwendet Stichprobengrößen des harmonischen Mittels = 13,091
- b. Die Größen der Gruppen ist ungleich. Es wird das harmonische Mittel der Größe der Gruppen verwendet. Fehlerniveaus für Typ I werden nicht garantiert.
- c. Alpha = ,05

Brix

| | Lagerzeit | N | Untergruppe | | |
|---------------------------------------|-------------|----|-------------|---------|---------|
| | | | 1 | 2 | 3 |
| Student-Newman-Keuls ^{a,b,c} | 8 Wochen | 12 | 62,4028 | | |
| | 4 Wochen | 12 | | 63,8750 | |
| | Kontrolle | 16 | | | 66,3854 |
| | Signifikanz | | 1,000 | 1,000 | 1,000 |
| Tukey-HSD ^{a,b,c} | 8 Wochen | 12 | 62,4028 | | |
| | 4 Wochen | 12 | | 63,8750 | |
| | Kontrolle | 16 | | | 66,3854 |
| | Signifikanz | | 1,000 | 1,000 | 1,000 |

Die Mittelwerte für Gruppen in homogenen Untergruppen werden angezeigt.

Basiert auf Typ III Quadratsumme

Der Fehlerterm ist "Mittel der Quadrate (Fehler) = 2,021".

- a. Verwendet Stichprobengrößen des harmonischen Mittels = 13,091
- b. Die Größen der Gruppen ist ungleich. Es wird das harmonische Mittel der Größe der Gruppen verwendet. Fehlerniveaus für Typ I werden nicht garantiert.
- c. Alpha = ,05

pH-Wert

| | Lagerzeit | N | Untergruppe | |
|---------------------------------------|-------------|----|-------------|--------|
| | | | 1 | 2 |
| Student-Newman-Keuls ^{a,b,c} | 8 Wochen | 12 | 4,7650 | |
| | 4 Wochen | 12 | 4,7925 | |
| | Kontrolle | 16 | | 4,9506 |
| | Signifikanz | | ,638 | 1,000 |
| Tukey-HSD ^{a,b,c} | 8 Wochen | 12 | 4,7650 | |
| | 4 Wochen | 12 | 4,7925 | |
| | Kontrolle | 16 | | 4,9506 |
| | Signifikanz | | ,884 | 1,000 |

Die Mittelwerte für Gruppen in homogenen Untergruppen werden angezeigt.

Basiert auf Typ III Quadratsumme

Der Fehlerterm ist "Mittel der Quadrate (Fehler) = ,022".

- a. Verwendet Stichprobengrößen des harmonischen Mittels = 13,091
- b. Die Größen der Gruppen ist ungleich. Es wird das harmonische Mittel der Größe der Gruppen verwendet. Fehlerniveaus für Typ I werden nicht garantiert.
- c. Alpha = ,05

Citronensäure (%)

| | Lagerzeit | N | Untergruppe |
|---------------------------------------|-------------|----|-------------|
| | | | 1 |
| Student-Newman-Keuls _{a,b,c} | 4 Wochen | 12 | ,6448 |
| | Kontrolle | 16 | ,6526 |
| | 8 Wochen | 12 | ,6528 |
| | Signifikanz | | ,972 |
| Tukey-HSD ^{a,b,c} | 4 Wochen | 12 | ,6448 |
| | Kontrolle | 16 | ,6526 |
| | 8 Wochen | 12 | ,6528 |
| | Signifikanz | | ,972 |

Die Mittelwerte für Gruppen in homogenen Untergruppen werden angezeigt.

Basiert auf Typ III Quadratsumme

Der Fehlerterm ist "Mittel der Quadrate (Fehler) = ,008".

- a. Verwendet Stichprobengrößen des harmonischen Mittels = 13,091
- b. Die Größen der Gruppen ist ungleich. Es wird das harmonische Mittel der Größe der Gruppen verwendet. Fehlerniveaus für Typ I werden nicht garantiert.
- c. Alpha = ,05

Gesamtpektin (mg Gal. A. in g TS)

| | Lagerzeit | N | Untergruppe | | |
|-------------------------------------|-------------|----|-------------|---------|---------|
| | | | 1 | 2 | 3 |
| Student-Newman-Keuls ^{a,b} | Kontrolle | 16 | 30,8212 | | |
| | 8 Wochen | 12 | | 33,5762 | |
| | 4 Wochen | 12 | | | 36,4721 |
| | Signifikanz | | 1,000 | 1,000 | 1,000 |
| Tukey-HSD ^{a,b} | Kontrolle | 16 | 30,8212 | | |
| | 8 Wochen | 12 | | 33,5762 | |
| | 4 Wochen | 12 | | | 36,4721 |
| | Signifikanz | | 1,000 | 1,000 | 1,000 |

Die Mittelwerte für Gruppen in homogenen Untergruppen werden angezeigt.

Basiert auf Typ III Quadratsumme

Der Fehlerterm ist "Mittel der Quadrate (Fehler) = 6,317".

- a. Verwendet Stichprobengrößen des harmonischen Mittels = 13,091
- b. Alpha = ,05

Fructose (µg/mg TS)

| | Lagerung | N | Untergruppe |
|---------------------------------------|-------------|----|-------------|
| | | | 1 |
| Student-Newman-Keuls _{a,b,c} | 8 Wochen | 12 | 221,3534 |
| | Kontrolle | 24 | 232,5486 |
| | 4 Wochen | 12 | 235,7418 |
| | Signifikanz | | ,186 |
| Tukey-HSD ^{a,b,c} | 8 Wochen | 12 | 221,3534 |
| | Kontrolle | 24 | 232,5486 |
| | 4 Wochen | 12 | 235,7418 |
| | Signifikanz | | ,186 |

Die Mittelwerte für Gruppen in homogenen Untergruppen werden angezeigt.

Basiert auf Typ III Quadratsumme

Der Fehlerterm ist "Mittel der Quadrate (Fehler) = 464,325".

- a. Verwendet Stichprobengrößen des harmonischen Mittels = 14,400
- b. Die Größen der Gruppen ist ungleich. Es wird das harmonische Mittel der Größe der Gruppen verwendet. Fehlerniveaus für Typ I werden nicht garantiert.
- c. Alpha = ,05

Glucose (µg/mg TS)

| | Lagerung | N | Untergruppe | |
|---------------------------------------|-------------|----|-------------|------|
| | | | 1 | |
| Student-Newman-Keuls _{a,b,c} | 8 Wochen | 12 | 244,3798 | |
| | Kontrolle | 24 | 258,6651 | |
| | 4 Wochen | 12 | 263,1062 | |
| | Signifikanz | | | ,079 |
| Tukey-HSD ^{a,b,c} | 8 Wochen | 12 | 244,3798 | |
| | Kontrolle | 24 | 258,6651 | |
| | 4 Wochen | 12 | 263,1062 | |
| | Signifikanz | | | ,079 |

Die Mittelwerte für Gruppen in homogenen Untergruppen werden angezeigt.

Basiert auf Typ III Quadratsumme

Der Fehlerterm ist "Mittel der Quadrate (Fehler) = 507,790".

- a. Verwendet Stichprobengrößen des harmonischen Mittels = 14,400
- b. Die Größen der Gruppen ist ungleich. Es wird das harmonische Mittel der Größe der Gruppen verwendet. Fehlerniveaus für Typ I werden nicht garantiert.
- c. Alpha = ,05

Tab. 31: Post Hoc Tests der Mittelwerte für die Qualitätsmerkmale der Feigen der Ernte 2005 für Trockensubstanz, °Brix, pH-Wert, Citronensäure, Gesamtpektin, Fructose und Glucose;
Faktor: CO₂-Behandlung

Trockensubstanz (%)

| | Behandlung | N | Untergruppe | |
|---------------------------------------|-------------------|----|-------------|---------|
| | | | 1 | 2 |
| Student-Newman-Keuls _{a,b,c} | ohne Behandlung | 14 | 70,9625 | |
| | 1x CO2 Behandlung | 12 | 71,1474 | |
| | 2x CO2 Behandlung | 14 | | 72,3717 |
| | Signifikanz | | ,743 | 1,000 |
| Tukey-HSD ^{a,b,c} | ohne Behandlung | 14 | 70,9625 | |
| | 1x CO2 Behandlung | 12 | 71,1474 | 71,1474 |
| | 2x CO2 Behandlung | 14 | | 72,3717 |
| | Signifikanz | | ,942 | ,089 |

Die Mittelwerte für Gruppen in homogenen Untergruppen werden angezeigt.

Basiert auf Typ III Quadratsumme

Der Fehlerterm ist "Mittel der Quadrate (Fehler) = 2,079".

- a. Verwendet Stichprobengrößen des harmonischen Mittels = 13,263
- b. Die Größen der Gruppen ist ungleich. Es wird das harmonische Mittel der Größe der Gruppen verwendet. Fehlerniveaus für Typ I werden nicht garantiert.
- c. Alpha = ,05

Brix

| Behandlung | N | Untergruppe | |
|---|----|-------------|------|
| | | 1 | |
| Student-Newman-Keuls ^{a,b} 1x CO2 Behandlung ohne Behandlung 2x CO2 Behandlung Signifikanz | 12 | 63,7083 | |
| | 14 | 64,7143 | |
| | 14 | 64,7857 | |
| | | | ,141 |
| Tukey-HSD ^{a,b} 1x CO2 Behandlung ohne Behandlung 2x CO2 Behandlung Signifikanz | 12 | 63,7083 | |
| | 14 | 64,7143 | |
| | 14 | 64,7857 | |
| | | | ,141 |

Die Mittelwerte für Gruppen in homogenen Untergruppen werden angezeigt.
Basiert auf Typ III Quadratsumme
Der Fehlerterm ist "Mittel der Quadrate (Fehler) = 2,021".

- a. Verwendet Stichprobengrößen des harmonischen Mittels = 13,263
- b. Alpha = ,05

pH-Wert

| Behandlung | N | Untergruppe | |
|---|----|-------------|--------|
| | | 1 | 2 |
| Student-Newman-Keuls ^{a,b} 1x CO2 Behandlung ohne Behandlung 2x CO2 Behandlung Signifikanz | 12 | 4,7233 | |
| | 14 | 4,7964 | |
| | 14 | | 5,0050 |
| | | ,214 | 1,000 |
| Tukey-HSD ^{a,b} 1x CO2 Behandlung ohne Behandlung 2x CO2 Behandlung Signifikanz | 12 | 4,7233 | |
| | 14 | 4,7964 | |
| | 14 | | 5,0050 |
| | | ,422 | 1,000 |

Die Mittelwerte für Gruppen in homogenen Untergruppen werden angezeigt.
Basiert auf Typ III Quadratsumme
Der Fehlerterm ist "Mittel der Quadrate (Fehler) = ,022".

- a. Verwendet Stichprobengrößen des harmonischen Mittels = 13,263
- b. Alpha = ,05

Citronensäure (%)

| Behandlung | N | Untergruppe | |
|---|----|-------------|-------|
| | | 1 | 2 |
| Student-Newman-Keuls ^{a,b,c} 2x CO2 Behandlung 1x CO2 Behandlung ohne Behandlung Signifikanz | 14 | ,6073 | |
| | 12 | ,6480 | ,6480 |
| | 14 | | ,6953 |
| | | ,254 | ,186 |
| Tukey-HSD ^{a,b,c} 2x CO2 Behandlung 1x CO2 Behandlung ohne Behandlung Signifikanz | 14 | ,6073 | |
| | 12 | ,6480 | ,6480 |
| | 14 | | ,6953 |
| | | ,484 | ,378 |

Die Mittelwerte für Gruppen in homogenen Untergruppen werden angezeigt.
Basiert auf Typ III Quadratsumme
Der Fehlerterm ist "Mittel der Quadrate (Fehler) = ,008".

- a. Verwendet Stichprobengrößen des harmonischen Mittels = 13,263
- b. Die Größen der Gruppen ist ungleich. Es wird das harmonische Mittel der Größe der Gruppen verwendet. Fehlerniveaus für Typ I werden nicht garantiert.
- c. Alpha = ,05

Gesamtpektin (mg Gal. A. in g TS)

| | Behandlung | N | Untergruppe | |
|---------------------------------------|-------------------|----|-------------|---------|
| | | | 1 | 2 |
| Student-Newman-Keuls ^{a,b,c} | 2x CO2 Behandlung | 14 | 32,0828 | |
| | ohne Behandlung | 14 | 33,4509 | 33,4509 |
| | 1x CO2 Behandlung | 12 | | 34,6874 |
| | Signifikanz | | ,171 | ,215 |
| Tukey-HSD ^{a,b,c} | 2x CO2 Behandlung | 14 | 32,0828 | |
| | ohne Behandlung | 14 | 33,4509 | 33,4509 |
| | 1x CO2 Behandlung | 12 | | 34,6874 |
| | Signifikanz | | ,352 | ,424 |

Die Mittelwerte für Gruppen in homogenen Untergruppen werden angezeigt.

Basiert auf Typ III Quadratsumme

Der Fehlerterm ist "Mittel der Quadrate (Fehler) = 6,317".

- a. Verwendet Stichprobengrößen des harmonischen Mittels = 13,263
- b. Die Größen der Gruppen ist ungleich. Es wird das harmonische Mittel der Größe der Gruppen verwendet. Fehlerniveaus für Typ I werden nicht garantiert.
- c. Alpha = ,05

Fructose (µg/mg TS)

| | CO2 Behandlung | N | Untergruppe |
|---------------------------------------|-------------------|----|-------------|
| | | | 1 |
| Student-Newman-Keuls ^{a,b,c} | 2x CO2 Behandlung | 17 | 224,4101 |
| | ohne Behandlung | 17 | 229,4399 |
| | 1x CO2 Behandlung | 14 | 239,3471 |
| | Signifikanz | | ,138 |
| Tukey-HSD ^{a,b,c} | 2x CO2 Behandlung | 17 | 224,4101 |
| | ohne Behandlung | 17 | 229,4399 |
| | 1x CO2 Behandlung | 14 | 239,3471 |
| | Signifikanz | | ,138 |

Die Mittelwerte für Gruppen in homogenen Untergruppen werden angezeigt.

Basiert auf Typ III Quadratsumme

Der Fehlerterm ist "Mittel der Quadrate (Fehler) = 464,325".

- a. Verwendet Stichprobengrößen des harmonischen Mittels = 15,867
- b. Die Größen der Gruppen ist ungleich. Es wird das harmonische Mittel der Größe der Gruppen verwendet. Fehlerniveaus für Typ I werden nicht garantiert.
- c. Alpha = ,05

Glucose (µg/mg TS)

| | CO2 Behandlung | N | Untergruppe | |
|---------------------------------------|-------------------|----|-------------|----------|
| | | | 1 | 2 |
| Student-Newman-Keuls ^{a,b,c} | 2x CO2 Behandlung | 17 | 248,3640 | |
| | ohne Behandlung | 17 | 253,0681 | |
| | 1x CO2 Behandlung | 14 | | 269,5321 |
| | Signifikanz | | ,560 | 1,000 |
| Tukey-HSD ^{a,b,c} | 2x CO2 Behandlung | 17 | 248,3640 | |
| | ohne Behandlung | 17 | 253,0681 | 253,0681 |
| | 1x CO2 Behandlung | 14 | | 269,5321 |
| | Signifikanz | | ,827 | ,112 |

Die Mittelwerte für Gruppen in homogenen Untergruppen werden angezeigt.

Basiert auf Typ III Quadratsumme

Der Fehlerterm ist "Mittel der Quadrate (Fehler) = 507,790".

- a. Verwendet Stichprobengrößen des harmonischen Mittels = 15,867
- b. Die Größen der Gruppen ist ungleich. Es wird das harmonische Mittel der Größe der Gruppen verwendet. Fehlerniveaus für Typ I werden nicht garantiert.
- c. Alpha = ,05

Tab. 32: Einfaktorielle ANOVA für die Feigen aus der Ernte 2005; Faktor: Temperatur

ONEWAY ANOVA (Feigen 2005/2006, Temperatur: 5°C und 14°C)

| | | Quadratsumme | df | Mittel der Quadrate | F | Signifikanz |
|-----------------|-----------------------|--------------|----|---------------------|--------|-------------|
| Citronensäure | Zwischen den Gruppen | ,001 | 1 | ,001 | ,136 | ,713 |
| | Innerhalb der Gruppen | ,687 | 70 | ,010 | | |
| | Gesamt | ,689 | 71 | | | |
| Trockensubstanz | Zwischen den Gruppen | ,090 | 1 | ,090 | ,043 | ,837 |
| | Innerhalb der Gruppen | 203,683 | 97 | 2,100 | | |
| | Gesamt | 203,773 | 98 | | | |
| °Brix | Zwischen den Gruppen | 51,529 | 1 | 51,529 | 10,653 | ,002 |
| | Innerhalb der Gruppen | 338,579 | 70 | 4,837 | | |
| | Gesamt | 390,108 | 71 | | | |
| pH-Wert | Zwischen den Gruppen | ,022 | 1 | ,022 | ,495 | ,484 |
| | Innerhalb der Gruppen | 3,052 | 70 | ,044 | | |
| | Gesamt | 3,073 | 71 | | | |

Tab. 33: Post Hoc Test der Mittelwerte der Feigen der Klimaversuche für Fructose und Glucose für den Faktor Fruchtteile (Gesamtfeige, Fruchtfleisch und –schale)

Mehrfachvergleiche

| Abhängige Variable | | (I) Teil | (J) Teil | Mittlere Differenz (I-J) | Standardfehler | Signifikanz | 95% Konfidenzintervall | | |
|--------------------|--------------|---------------|---------------|--------------------------|----------------|-------------|------------------------|------------|----------|
| | | | | | | | Untergrenze | Obergrenze | |
| Fructose | Tukey-HSD | Fruchtfleisch | Fruchtschale | -9,9352 | 6,82460 | ,323 | -26,5457 | 6,6754 | |
| | | | Gesamtfeige | 10,4864 | 8,35840 | ,429 | -9,8573 | 30,8300 | |
| | | Fruchtschale | Fruchtfleisch | 9,9352 | 6,82460 | ,323 | -6,6754 | 26,5457 | |
| | | | Gesamtfeige | 20,4215* | 8,35840 | ,049 | ,0778 | 40,7652 | |
| | | Gesamtfeige | Fruchtfleisch | -10,4864 | 8,35840 | ,429 | -30,8300 | 9,8573 | |
| | | | Fruchtschale | -20,4215* | 8,35840 | ,049 | -40,7652 | -,0778 | |
| | | LSD | Fruchtfleisch | Fruchtschale | -9,9352 | 6,82460 | ,153 | -23,7282 | 3,8579 |
| | | | | Gesamtfeige | 10,4864 | 8,35840 | ,217 | -6,4066 | 27,3793 |
| | Fruchtschale | | Fruchtfleisch | 9,9352 | 6,82460 | ,153 | -3,8579 | 23,7282 | |
| | | | Gesamtfeige | 20,4215* | 8,35840 | ,019 | 3,5286 | 37,3145 | |
| | Gesamtfeige | | Fruchtfleisch | -10,4864 | 8,35840 | ,217 | -27,3793 | 6,4066 | |
| | | | Fruchtschale | -20,4215* | 8,35840 | ,019 | -37,3145 | -3,5286 | |
| | Glucose | Tukey-HSD | Fruchtfleisch | Fruchtschale | -50,3484* | 8,11887 | ,000 | -70,1091 | -30,5877 |
| | | | | Gesamtfeige | -4,2804 | 9,94354 | ,903 | -28,4822 | 19,9214 |
| Fruchtschale | | | Fruchtfleisch | 50,3484* | 8,11887 | ,000 | 30,5877 | 70,1091 | |
| | | | Gesamtfeige | 46,0680* | 9,94354 | ,000 | 21,8662 | 70,2698 | |
| Gesamtfeige | | | Fruchtfleisch | 4,2804 | 9,94354 | ,903 | -19,9214 | 28,4822 | |
| | | | Fruchtschale | -46,0680* | 9,94354 | ,000 | -70,2698 | -21,8662 | |
| LSD | | | Fruchtfleisch | Fruchtschale | -50,3484* | 8,11887 | ,000 | -66,7572 | -33,9396 |
| | | | | Gesamtfeige | -4,2804 | 9,94354 | ,669 | -24,3771 | 15,8162 |
| | | Fruchtschale | Fruchtfleisch | 50,3484* | 8,11887 | ,000 | 33,9396 | 66,7572 | |
| | | | Gesamtfeige | 46,0680* | 9,94354 | ,000 | 25,9713 | 66,1646 | |
| | | Gesamtfeige | Fruchtfleisch | 4,2804 | 9,94354 | ,669 | -15,8162 | 24,3771 | |
| | | | Fruchtschale | -46,0680* | 9,94354 | ,000 | -66,1646 | -25,9713 | |

Basiert auf beobachteten Mittelwerten.

*. Die mittlere Differenz ist auf der Stufe ,05 signifikant.

Fructose

| Fruchtteil | N | Untergruppe | |
|--------------------------------------|----|-------------|----------|
| | | 1 | 2 |
| Tukey-HSD ^{a,b} Gesamtfeige | 12 | 257,0109 | |
| Fruchtfleisch | 24 | 267,4972 | 267,4972 |
| Fruchtschale | 24 | | 277,4324 |
| Signifikanz | | ,387 | ,425 |

Die Mittelwerte für Gruppen in homogenen Untergruppen werden angezeigt.

Basiert auf Typ III Quadratsumme

Der Fehlerterm ist "Mittel der Quadrate (Fehler) = 558,902".

a. Verwendet Stichprobengrößen des harmonischen Mittels = 18,000

b. Alpha = ,05

Glucose

| Fruchtteil | N | Untergruppe | |
|--|----|-------------|----------|
| | | 1 | 2 |
| Tukey-HSD ^{a,b,c} Fruchtfleisch | 24 | 276,8171 | |
| Gesamtfeige | 12 | 281,0976 | |
| Fruchtschale | 24 | | 327,1655 |
| Signifikanz | | ,892 | 1,000 |

Die Mittelwerte für Gruppen in homogenen Untergruppen werden angezeigt.

Basiert auf Typ III Quadratsumme

Der Fehlerterm ist "Mittel der Quadrate (Fehler) = 790,992".

a. Verwendet Stichprobengrößen des harmonischen Mittels = 18,000

b. Die Größen der Gruppen ist ungleich. Es wird das harmonische Mittel der Größe der Gruppen verwendet. Fehlerniveaus für Typ I werden nicht garantiert.

c. Alpha = ,05

Tab. 34: Post Hoc Test der Mittelwerte der Feigen der Klimaversuche für Fructose und Glucose für den Faktor relative Luftfeuchte

Mehrfachvergleiche

| Abhängige Variable | | (I) r. Lf. | (J) r. Lf. | Mittlere Differenz (I-J) | Standardfehler | Signifikanz | 95% Konfidenzintervall | |
|--------------------|-----------|------------|------------|--------------------------|----------------|-------------|------------------------|------------|
| | | | | | | | Untergrenze | Obergrenze |
| Fructose | Tukey-HSD | 20 % | 65 % | 1,2526 | 8,35840 | ,988 | -19,0911 | 21,5962 |
| | | | 90 % | -32,1604* | 8,35840 | ,001 | -52,5041 | -11,8168 |
| | | 65 % | 20 % | -1,2526 | 8,35840 | ,988 | -21,5962 | 19,0911 |
| | | | 90 % | -33,4130* | 6,82460 | ,000 | -50,0235 | -16,8024 |
| | | 90 % | 20 % | 32,1604* | 8,35840 | ,001 | 11,8168 | 52,5041 |
| | | | 65 % | 33,4130* | 6,82460 | ,000 | 16,8024 | 50,0235 |
| | LSD | 20 % | 65 % | 1,2526 | 8,35840 | ,882 | -15,6404 | 18,1455 |
| | | | 90 % | -32,1604* | 8,35840 | ,000 | -49,0534 | -15,2675 |
| | | 65 % | 20 % | -1,2526 | 8,35840 | ,882 | -18,1455 | 15,6404 |
| | | | 90 % | -33,4130* | 6,82460 | ,000 | -47,2060 | -19,6199 |
| | | 90 % | 20 % | 32,1604* | 8,35840 | ,000 | 15,2675 | 49,0534 |
| | | | 65 % | 33,4130* | 6,82460 | ,000 | 19,6199 | 47,2060 |
| Glucose | Tukey-HSD | 20 % | 65 % | -3,2166 | 9,94354 | ,944 | -27,4183 | 20,9852 |
| | | | 90 % | -38,5710* | 9,94354 | ,001 | -62,7728 | -14,3692 |
| | | 65 % | 20 % | 3,2166 | 9,94354 | ,944 | -20,9852 | 27,4183 |
| | | | 90 % | -35,3545* | 8,11887 | ,000 | -55,1151 | -15,5938 |
| | | 90 % | 20 % | 38,5710* | 9,94354 | ,001 | 14,3692 | 62,7728 |
| | | | 65 % | 35,3545* | 8,11887 | ,000 | 15,5938 | 55,1151 |
| | LSD | 20 % | 65 % | -3,2166 | 9,94354 | ,748 | -23,3132 | 16,8801 |
| | | | 90 % | -38,5710* | 9,94354 | ,000 | -58,6677 | -18,4744 |
| | | 65 % | 20 % | 3,2166 | 9,94354 | ,748 | -16,8801 | 23,3132 |
| | | | 90 % | -35,3545* | 8,11887 | ,000 | -51,7633 | -18,9456 |
| | | 90 % | 20 % | 38,5710* | 9,94354 | ,000 | 18,4744 | 58,6677 |
| | | | 65 % | 35,3545* | 8,11887 | ,000 | 18,9456 | 51,7633 |

Basiert auf beobachteten Mittelwerten.

*. Die mittlere Differenz ist auf der Stufe ,05 signifikant.

Fructose

| r. Lf. | N | Untergruppe | |
|----------------------------|----|-------------|----------|
| | | 1 | 2 |
| Tukey-HSD ^{a,b,c} | 24 | 255,7583 | |
| 65 % | 12 | 257,0109 | |
| 20 % | 24 | | 289,1713 |
| 90 % | | | |
| Signifikanz | | ,986 | 1,000 |

Die Mittelwerte für Gruppen in homogenen Untergruppen werden angezeigt.

Basiert auf Typ III Quadratsumme

Der Fehlerterm ist "Mittel der Quadrate (Fehler) = 558,902".

- a. Verwendet Stichprobengrößen des harmonischen Mittels = 18,000
- b. Die Größen der Gruppen ist ungleich. Es wird das harmonische Mittel der Größe der Gruppen verwendet. Fehlerniveaus für Typ I werden nicht garantiert.
- c. Alpha = ,05

Glucose

| r. Lf. | N | Untergruppe | |
|--------------------------|----|-------------|----------|
| | | 1 | 2 |
| Tukey-HSD ^{a,b} | 12 | 281,0976 | |
| 20 % | 24 | 284,3141 | |
| 65 % | 24 | | 319,6686 |
| 90 % | | | |
| Signifikanz | | ,937 | 1,000 |

Die Mittelwerte für Gruppen in homogenen Untergruppen werden angezeigt.

Basiert auf Typ III Quadratsumme

Der Fehlerterm ist "Mittel der Quadrate (Fehler) = 790,992".

- a. Verwendet Stichprobengrößen des harmonischen Mittels = 18,000
- b. Alpha = ,05

Tab. 35: Einfaktorielle ANOVA für Trockensubstanz, Fructose und Glucose in den Feigen des Klimaversuchs für den Faktor Temperatur

ONEWAY ANOVA (Temperatur)

| | | Quadratsumme | df | Mittel der Quadrate | F | Signifikanz |
|-----------------|-----------------------|--------------|----|---------------------|-------|-------------|
| Trockensubstanz | Zwischen den Gruppen | 2,269 | 1 | 2,269 | ,058 | ,810 |
| | Innerhalb der Gruppen | 2254,808 | 58 | 38,876 | | |
| | Gesamt | 2257,077 | 59 | | | |
| Fructose | Zwischen den Gruppen | 9,984 | 1 | 9,984 | ,010 | ,923 |
| | Innerhalb der Gruppen | 60874,909 | 58 | 1049,567 | | |
| | Gesamt | 60884,893 | 59 | | | |
| Glucose | Zwischen den Gruppen | 1909,784 | 1 | 1909,784 | 1,011 | ,319 |
| | Innerhalb der Gruppen | 109571,2 | 58 | 1889,158 | | |
| | Gesamt | 111481,0 | 59 | | | |

Tab. 36: Post Hoc Tests der Mittelwerte für Trockensubstanz, Fructose und Glucose in den Fruchtteilen der Feigen des Klimaversuch für den Faktor Fruchtteile

Trockensubstanz (%)

Tukey-HSD^{a,b}

| Teil | N | Untergruppe für Alpha = .05. | |
|---------------|----|------------------------------|---------|
| | | 1 | 2 |
| Fruchtschale | 27 | 66,9903 | |
| Fruchtfleisch | 27 | 69,3758 | |
| Gesamtfeige | 12 | | 78,1291 |
| Signifikanz | | ,221 | 1,000 |

Die Mittelwerte für die in homogenen Untergruppen befindlichen Gruppen werden angezeigt.

- a. Verwendet ein harmonisches Mittel für Stichprobengröße = 19,059.
- b. Die Gruppengrößen sind nicht identisch. Es wird das harmonische Mittel der Gruppengrößen verwendet. Fehlerniveaus des Typs I sind nicht garantiert.

Fructose

Tukey-HSD^{a,b}

| Teil | N | Untergruppe für Alpha = .05. |
|---------------|----|------------------------------|
| | | 1 |
| Gesamtfeige | 12 | 257,0109 |
| Fruchtfleisch | 27 | 263,1289 |
| Fruchtschale | 27 | 273,8926 |
| Signifikanz | | ,245 |

Die Mittelwerte für die in homogenen Untergruppen befindlichen Gruppen werden angezeigt.

- a. Verwendet ein harmonisches Mittel für Stichprobengröße = 19,059.
- b. Die Gruppengrößen sind nicht identisch. Es wird das harmonische Mittel der Gruppengrößen verwendet. Fehlerniveaus des Typs I sind nicht garantiert.

Glucose

Tukey-HSD^{a,b}

| Teil | N | Untergruppe für Alpha = .05. | |
|---------------|----|------------------------------|----------|
| | | 1 | 2 |
| Fruchtfleisch | 27 | 269,4295 | |
| Gesamtfeige | 12 | 281,0976 | |
| Fruchtschale | 27 | | 321,2798 |
| Signifikanz | | ,631 | 1,000 |

Die Mittelwerte für die in homogenen Untergruppen befindlichen Gruppen werden angezeigt.

- a. Verwendet ein harmonisches Mittel für Stichprobengröße = 19,059.
- b. Die Gruppengrößen sind nicht identisch. Es wird das harmonische Mittel der Gruppengrößen verwendet. Fehlerniveaus des Typs I sind nicht garantiert.

Tab. 37: Post Hoc Tests der Mittelwerte für Trockensubstanz, Fructose und Glucose in den Fruchtteilen der Feigen des Klimaversuch für den Faktor Lagerungsdauer

TS

| | Lagerung | N | Unterguppe für Alpha = 0.05. | |
|--|-------------|----|------------------------------|------|
| | | | 1 | |
| Student-Newman-Keuls-Prozedur ^a | 4 Wochen | 30 | 69,1300 | |
| | Kontrolle | 6 | 70,3907 | |
| | 8 Wochen | 30 | 70,7731 | |
| | Signifikanz | | | ,763 |
| Tukey-HSD ^a | 4 Wochen | 30 | 69,1300 | |
| | Kontrolle | 6 | 70,3907 | |
| | 8 Wochen | 30 | 70,7731 | |
| | Signifikanz | | | ,763 |

Die Mittelwerte für die in homogenen Untergruppen befindlichen Gruppen werden angezeigt

a. Verwendet ein harmonisches Mittel für Stichprobengröße = 12,857.

Fructose

| | Lagerung | N | Unterguppe für Alpha = 0.05. | |
|--|-------------|----|------------------------------|----------|
| | | | 1 | 2 |
| Student-Newman-Keuls-Prozedur ^a | Kontrolle | 6 | 236,8783 | |
| | 8 Wochen | 30 | | 262,6757 |
| | 4 Wochen | 30 | | 276,0723 |
| | Signifikanz | | 1,000 | ,274 |
| Tukey-HSD ^a | Kontrolle | 6 | 236,8783 | |
| | 8 Wochen | 30 | 262,6757 | 262,6757 |
| | 4 Wochen | 30 | | 276,0723 |
| | Signifikanz | | ,093 | ,516 |

Die Mittelwerte für die in homogenen Untergruppen befindlichen Gruppen werden angezeigt

a. Verwendet ein harmonisches Mittel für Stichprobengröße = 12,857.

Glucose

| | Lagerung | N | Unterguppe für Alpha = 0.05. | |
|--|-------------|----|------------------------------|----------|
| | | | 1 | 2 |
| Student-Newman-Keuls-Prozedur ^a | Kontrolle | 6 | 242,2611 | |
| | 8 Wochen | 30 | | 294,1587 |
| | 4 Wochen | 30 | | 301,4664 |
| | Signifikanz | | 1,000 | ,670 |
| Tukey-HSD ^a | Kontrolle | 6 | 242,2611 | |
| | 8 Wochen | 30 | | 294,1587 |
| | 4 Wochen | 30 | | 301,4664 |
| | Signifikanz | | 1,000 | ,904 |

Die Mittelwerte für die in homogenen Untergruppen befindlichen Gruppen werden angezeigt

a. Verwendet ein harmonisches Mittel für Stichprobengröße = 12,857.

DANKSAGUNG

An erster Stelle bedanke ich mich bei Frau Prof. Dr. Bärbel Gerowitt und Herrn Prof. Dr. Christoph Reichmuth für die Übernahme und die Betreuung meiner Dissertation sowie für das Engagement, die wertvollen fachlichen Anregungen und die tatkräftige Unterstützung, ohne die diese Arbeit nicht möglich gewesen wäre

Herrn Prof. Dr. Bernd Freier danke ich für das Gutachten und für die freundliche Zusammenarbeit. Ein besonderer Dank gilt Frau Dr. Susanne Huyskens-Keil für die fachliche Unterstützung während der Durchführung des Projektes mit getrockneten Feigen.

Ich danke Frau Dr. Dagmar Klementz und Herrn Dr. Cornel Adler und allen Mitarbeitern und Mitarbeiterinnen des Instituts für Vorratsschutz des JKI, die meine Arbeit fachlich unterstützt und gefördert haben.

Bei Herrn Dr. Mike Drinkall und der Firma Dow AgroSciences bedanke ich mich recht herzlich für die Gewährung des Versuchsmaterials und die finanzielle Förderung des Projekts mit Sulfurylfluorid. Auch bedanke ich mich bei der Firma Neuform und deren Mitarbeiter für die Unterstützung und Gewährung des Materials für das Projekt mit den getrockneten Feigen.

Wegen Ihrer Unterstützung für statistische Analyse möchte ich mich an Frau Dr. Kroschewski bedanken. Herrn Dr. Martin Geyer und Herrn Manfred Linke danke ich ebenfalls für das Vertrauen und die Motivation während meiner Tätigkeit am ATB-Potsdam. Herrn Dr. Herppich und Frau Dr. Wulf vom ATB-Potsdam, danke ich ebenfalls herzlich für die wertvolle Unterstützung.

Abschließend möchte ich mich bei meiner Frau *Betül*, meiner Tochter *Ece*, meiner *Familie* und allen Kollegen und Freunden bedanken, die hier nicht namentlich erwähnt werden können, ohne deren Unterstützung diese Arbeit nicht zustande gekommen wäre.

SELBSTSTÄNDIGKEITSERKLÄRUNG

Hiermit erkläre ich an Eides statt, dass die vorliegende Arbeit von mir und nur mit den angegebenen Hilfsmitteln angefertigt wurde.

Weiterhin erkläre ich, bisher weder die gleiche noch eine andere Dissertation an einer anderen Universität oder Hochschule eingereicht zu haben.

Deniz Baltaci

Berlin, den 10.11.2008

LEBENS LAUF

DENIZ BALTACI

geb. am 11.11.1974 in Gelsenkirchen

Nationalität.: Türkisch

SCHULBILDUNG

- 1979 – 1981** **ÉCOLE PRIMAIRE DE FÉTINNE**..... **Liège – Belgien**
Grundschule, Fortsetzung nach 2 Jahren in der Türkei
- 1981 – 1989** **ARITAŞ GRUND- UND MITTELSCHULE**..... **Aritas – Türkei**
Grund- und Mittelschulabschluss
- 1989 - 1992** **ARITAŞ OBERSCHULE**..... **Aritas – Türkei**
Fachgebiet Mathematik und Naturwissenschaften
Abschluss: allgemeine Hochschulreife

HOCHSCHULBILDUNGEN

- 1992 – 1994** **(Dipl.) TECHNISCHE UNIVERSITÄT KARADENIZ**..... **Rize – Türkei**
Fachhochschule Rize
Fachgebiet Tee Expertise
Thema der Abschlussarbeit: Anatomische Merkmale der Tee-Pflanze im Rize-Region
Abschluss: Tee Experte und Landwirtschaftstechniker
- 1994 – 1998** **(B. Sc.) MUSTAFA KEMAL UNIVERSITÄT**..... **Hatay – Türkei**
Landwirtschaftliche Fakultät
Fachgebiet Gartenbauwissenschaften
Abschluss: Gartenbauingenieur
- 1999 – 2000** **(Dipl.) UNIVERSITÄT ROSTOCK**..... **Rostock**
Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät
Agrarökologie (Hauptstudium)
kein Abschluss, Wechsel zum Master-Studium Gartenbauwissenschaften
- 2000 – 2004** **(M. Sc.) HUMBOLDT-UNIVERSITÄT ZU BERLIN**..... **Berlin**
Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät
Institut für Gartenbauwissenschaften
Abschluss: M. Sc. – hort.
- 2004 -** **(Dr. agr.) UNIVERSITÄT ROSTOCK**..... **Rostock**
Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät
Institut für Landnutzung
Phytomedizin

PRAKTIKUM

- 07/97–10/97 DEUTSCHE SAATVEREDELUNG GMBH (DSV)**.....**Asendorf**
 Branche: Pflanzenveredelung und Produktion
 Funktion: Praktikum
 - Arbeit mit Gras, Lein, Sonnenblume und Klee, Laboranalyse

BERUFSERFAHRUNGEN

- 10/98–03/99 UNION OF TURKISH CHAMBERS OF AGRICULTURE (TZOB)****Ankara – Türkei**
 Abteilung für Internationale Beziehungen
 Funktion: Experte für internationale Beziehungen
Arbeitsgebiet: Jegliche Beziehungen mit internationalen Landwirtschaftsorganisationen, Gewährleistung ständiger Kooperation zwischen europäischen Landwirtschaftsorganisationen
- 07/00–10/00 BAYER CROPSCIENCE AG**,.....**Leverkusen**
 Institut für Pflanzenkrankheiten
 Funktion: Werkstudent
Arbeitsgebiet: Pilzkrankheiten, Anwendungen von Fungiziden und Pestiziden an Apfel, Weintrauben und Tomaten
- 04/04–06/08 JULIUS KÜHN-INSTITUT**.....**Berlin**
 Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen
 Institut für Ökologische Chemie, Pflanzenanalytik und Vorratsschutz
 Funktion: Doktorand
Arbeitsgebiet: Bekämpfung von Schadinsekten mit Sulfurylfluorid, Qualitätssicherung gelagerter Trockenobste, alternative Wirkstoffe von Methylbromid
- 07/08–..... LEIBNIZ-INSTITUT FÜR AGRARTECHNIK (ATB)**.....**Potsdam**
 Abteilung Technik im Gartenbau
 Funktion: Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Arbeitsgebiet: Verbundprojekt ProSenso.Net 2 (PSn2) "Erschließung von Nachhaltigkeitspotentialen durch Nutzung innovativer Sensortechnologien und ganzheitlicher Bewertungsmodelle in der Produktionskette von pflanzlichen Lebensmitteln". Teilprojekt "Modulares intelligentes System zur durchgängigen Qualitätskontrolle in der Logistikkette von pflanzlichen Frischeprodukten"

PREISE UND STIPENDIEN

- 1994 EHRENURKUNDE**
 ausgezeichnete Leistung während des Studiums
 Ausgestellt von der Technischen Universität Karadeniz, Rize - Türkei
- 1997 STIPENDIUM**
 Auslandspraktikum (3 Monate)
 Gewährleistet von IAESTE (International Association for the Exchange of Students for Technical Experience)

PUBLIKATIONSLISTE

- BALTACI, D.;** KLEMENTZ, D.; GEROWITT, B.; DRINKALL, M.; REICHMUTH, CH. (2008). Sulfuryl difluoride against all life stages of Rust-red grain beetle (*Cryptolestes ferrugineus*) and Merchant grain beetle (*Oryzaephilus mercator*). Annual International Research Conference on Methyl Bromide Alternatives and Emissions Reductions, 11. – 14. Nov 2008, Orlando, USA.
- LINKE, M.; HÜBERT, TH.; LANG, C.; QUAAS, H.; **BALTACI, D.;** GEYER, M. (2008). Modular system for quality monitoring in the logistic chain - Shelf life prediction model and sensor technology – state of the art. ProSenso.net2 Workshop, Postharvest Unlimited 4.-7. Nov 2008, Berlin. In: ATB Bornimer agrartechnische Berichte, Heft 64, 2008, S. 15.
- BALTACI, D.;** KLEMENTZ, D.; GEROWITT, B.; DRINKALL, M.; REICHMUTH, CH. (2008). Lethal effects of sulfuryl fluoride on eggs of different ages and other life stages of the warehouse moth *Ephestia elutella* (Hübner), Journal of Stored Products Research, 2008, doi:10.1016/j.jspr.2008.06.006
- BALTACI, D.;** REICHMUTH, CH. (2007). Zur Wirksamkeit von Sulfuryldifluorid gegen die Speichermotte *Ephestia elutella*. 14. Treffen des DPG-Arbeitskreises Vorratsschutz, Oldenburg, 21.-22. Nov 2007.
- BALTACI, D.;** HUYSKENS-KEIL, S., REICHMUTH, CH. (2007). Research on Sugaring and Browning of Stored Dried Figs, International Workshop on Food Safety in a Sustainable Postharvest System of Agricultural Products, Kahramanmaraş Sütçü İmam University, Kahramanmaraş, Turkey, Oct 16-18, 2007
- BALTACI, D.;** GEROWITT, B.; KLEMENTZ, D.; DRINKALL, M.; REICHMUTH, CH. (2006). Empfindlichkeit des Erdnussplattkäfers *Oryzaephilus mercator* gegenüber Behandlung mit Sulfurylfluorid, 56. Pflanzenschutztagung, 22-25 Sep 2008, Kiel.
- BALTACI, D.;** KLEMENTZ, D.; GEROWITT, B.; REICHMUTH, CH.; DRINKALL, M. (2006). Efficacy of sulfuryl difluoride fumigation toward to control of *Ephestia elutella* (Hübner). 55. Pflanzenschutztagung, 25.-28. Sep 2006 Göttingen.
- BALTACI, D.;** KLEMENTZ, D.; GEROWITT, B.; REICHMUTH, CH.; DRINKALL, M. (2006). Sulfuryl difluoride to control premature life stages of *Ephestia elutella* (Hübner). Annual International Research Conference on Methyl Bromide Alternatives and Emissions Reductions, 6.-9. Nov 2006, Orlando, USA.
- BALTACI, D.** (2004). Untersuchungen zur Beeinflussung periklinalchimärischer Blattmuster durch Hypodermbildung. Humboldt-Universität zu Berlin, Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät, Institut für Gartenbauwissenschaften, Fachgebiet Pflanzenzüchtung, Berlin, M.Sc.-Arbeit.
- BALTACI, D.** (1998). Adaptation of some winter vegetables in sub-tropical regions. Mustafa Kemal University, Faculty of Agriculture, Dept. of Horticulture, Hatay, Turkey, B.Sc. Thesis.