

# **Spargelqualität im Produktions- und Aufbereitungsprozess**

vorgelegt von  
Diplom-Agraringenieur  
Christian Scheer  
aus Berlin

Von der Fakultät III – Prozesswissenschaften  
der Technischen Universität Berlin  
zur Erlangung des akademischen Grades  
Doktor der Naturwissenschaften  
- Dr. rer. nat. -

genehmigte Dissertation

Promotionsausschuss:

Vorsitzender: Prof. Dr. rer. nat. Herbert Kunzek

Berichter: Prof. Dr. Dipl.-Ing. Dietrich Knorr

Berichter: Dr. agr. Ilona Schonhof

Tag der wissenschaftlichen Aussprache: 08.07.2002

Berlin 2002  
D 83

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung und Problemstellung.....</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>Material und Methoden .....</b>	<b>15</b>
2.1	Pflanzenmaterial .....	15
2.2	Versuchsanlagen .....	15
2.2.1	Spargel in Kulturgefäßen .....	15
2.2.2	Spargel im Gewächshaus .....	21
2.2.3	Kurzzeitlagerung von Spargel .....	23
2.3	Ernte .....	24
2.4	Frischgewicht und des Durchmesser.....	25
2.5	Äußere Qualitätsmerkmale .....	25
2.5.1	Einordnung des Spargels nach Handelsklassen.....	25
2.5.2	Farbmessungen an gelagertem Spargel.....	25
2.5.3	Bestimmung der Keimzahl an gelagertem Spargel .....	26
2.5.4	Messung der Gaszusammensetzung und –veränderung in Folienverpackungen .....	26
2.6	Innere Qualitätsmerkmale.....	27
2.6.1	Physikalische Untersuchungen .....	27
2.6.2	Chemische Untersuchungen.....	29
2.6.3	Sensorische Untersuchungen .....	32
2.7	Verbraucherbefragungen.....	33
2.8	Statistische Methoden .....	34
<b>3</b>	<b>Ergebnisse.....</b>	<b>35</b>
3.1	Einfluss von Kulturmaßnahmen auf Ernte und Produktqualität.....	35
3.1.1	Einfluss der Bodentemperatur.....	35
3.1.2	Einfluss des Pflanzabstandes .....	63
3.2	Auswirkungen einer Kurzzeitlagerung von Spargel auf die Produktqualität	72
3.3	Einfluss von Aufbereitungsverfahren auf die Produktqualität.....	89
3.3.1	Kurzzeitlagerung von Convenience-Spargel .....	89
3.3.2	Mikrobielle Veränderungen während der Kurzzeitlagerung von Convenience-Spargel .....	106
3.4	Erwartungen der Verbraucher an die Produktqualität .....	108
<b>4</b>	<b>Diskussion.....</b>	<b>112</b>
4.1	Einfluss von Kulturmaßnahmen auf Ernte und Produktqualität.....	112
4.2	Einfluss von Lagerung sowie Aufbereitung und Lagerung auf die Produktqualität.....	118
4.3	Erwartungen der Verbraucher an die Produktqualität .....	123
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>124</b>
<b>6</b>	<b>Summary.....</b>	<b>126</b>
<b>7</b>	<b>Ausblick .....</b>	<b>128</b>
<b>8</b>	<b>Literatur .....</b>	<b>130</b>
	<b>Anhang.....</b>	<b>139</b>

## Verzeichnis der Abbildungen, Tabellen, Fotos und Übersichten

Abbildung 1: Temperaturseitig steuerbares Kulturgefäß (Vorderansicht) .....	16
Abbildung 2: Register zur Beeinflussung der Oberflächentemperatur (Draufsicht).....	17
Abbildung 3: Register zur Beeinflussung der Unterbodentemperatur (Draufsicht).....	17
Abbildung 4: Temperaturverlauf der Variante 222 vom 19. Februar 2001 bis 20. April 2001 im Unterboden (-20 cm), am Rhizom (0 cm) und an der Oberfläche (20 cm) .....	19
Abbildung 5: Berechnete Isothermen im Spargeldamm (nach GRAEFE 2001) .....	20
Abbildung 6: Temperaturprofile der einzelnen Varianten .....	20
Abbildung 7: Variantenübersicht zum Pflanzabstand im Gewächshaus (Vetschau) .....	22
Abbildung 8: Temperaturverlauf vom 19. Februar 2001 bis 28. Mai 2001 im Gewächshaus in Vetschau 10 cm unterhalb des Rhizoms (-10 cm), am Rhizom (0 cm) und 10 cm oberhalb des Rhizoms (10 cm) .....	23
Abbildung 9: Bedingungen während einer viertägigen Lagerung von ungeschältem und geschältem (Convenience-)Spargel .....	24
Abbildung 10: Einfluss der Unterbodentemperatur auf den Erntebeginn nach der Temperaturbeeinflussung bei einer maximalen Differenz zwischen Oberflächen- und Unterbodentemperaturen von 5K (Jahr: 2001). .....	35
Abbildung 11: Einfluss der Temperatur am Rhizom auf den Erntebeginn nach der Temperaturbeeinflussung bei einer maximalen Differenz zwischen Oberflächen- und Unterbodentemperaturen von 5K (Jahr: 2001). .....	36
Abbildung 12: Einfluss der Oberflächentemperatur auf den Erntebeginn nach der Temperaturbeeinflussung bei einer maximalen Differenz zwischen Oberflächen- und Unterbodentemperaturen von 5K (Jahr: 2001). .....	37
Abbildung 13: Einfluss der Temperatur am Rhizom auf den Erntebeginn nach Beginn der Temperaturbeeinflussung unter Beachtung der Differenzen zwischen Oberflächen- und Unterbodentemperaturen (Jahr: 2000) .....	38
Abbildung 14: Einfluss der Temperatur am Rhizom auf den Erntebeginn nach Beginn der Temperaturbeeinflussung unter Beachtung der Differenzen zwischen Oberflächen- und Unterbodentemperaturen (Jahr: 2001) .....	38
Abbildung 15: Erntezeitraum von Spargel in Kulturgefäßen nach Beginn der Temperaturbeeinflussung in Abhängigkeit von der Temperatur am Rhizom im Jahr 2000 .....	39
Abbildung 16: Erntezeitraum von Spargel in Kulturgefäßen nach Beginn der Temperaturbeeinflussung in Abhängigkeit von der Temperatur am Rhizom im Jahr 2001 .....	40
Abbildung 17: Einfluss der Unterboden- und Oberflächentemperatur auf den Anteil der Schale an der Frischmasse (%) beim basalen Abschnitt.....	42
Abbildung 18: Einfluss der Unterbodentemperatur auf die Gewebefestigkeit der Spargelspitze gruppiert nach Oberflächentemperaturen, ausgewiesen als Maximalkraft (N/cm) nach Warner-Bratzler (Jahr: 2001) .....	43
Abbildung 19: Einfluss der Unterbodentemperatur auf die Gewebefestigkeit des basalen Abschnittes gruppiert nach Oberflächentemperaturen, ausgewiesen als Maximalkraft (N/cm) nach Warner-Bratzler (Jahr: 2001) .....	44
Abbildung 20: Einfluss der Oberflächentemperatur auf die Gewebefestigkeit des basalen Abschnittes, ausgewiesen als Maximalkraft (N/cm) nach Warner-Bratzler (Jahr: 2001).....	45
Abbildung 21: Einfluss der Unterbodentemperatur auf die Gewebefestigkeit des Spitzenabschnittes, ausgewiesen als Energiegehalt (KJ/cm) nach Warner-Bratzler (Jahr: 2001) .....	46
Abbildung 22: Einfluss der Unterbodentemperatur auf die Gewebefestigkeit des mittleren Spargelabschnittes, ausgewiesen als Energiegehalt (KJ/cm) nach Warner-Bratzler (Jahr: 2001) .....	46
Abbildung 23: Einfluss der Unterbodentemperatur auf die Gewebefestigkeit des basalen Spargelabschnittes, ausgewiesen als Energiegehalt (KJ/cm) nach Warner-Bratzler (Jahr: 2001) .....	47

Abbildung 24: Einfluss der Unterbodentemperatur auf die Gewebefestigkeit des Spitzenabschnittes, ausgewiesen als Maximalkraft (N/g) nach Kramer-Scher (Jahr: 2001) .....	48
Abbildung 25: Einfluss der Unterbodentemperatur auf die Gewebefestigkeit des mittleren Abschnittes, ausgewiesen als Maximalkraft (N/g) nach Kramer-Scher (Jahr: 2001).....	49
Abbildung 26: Einfluss der Unterbodentemperatur auf die Gewebefestigkeit der Spargelspitze, ausgewiesen als Gesamtenergie (KJ/g) nach Kramer-Scher (Jahr: 2001) .....	50
Abbildung 27: Einfluss der Unterbodentemperatur auf die Gewebefestigkeit des mittleren Abschnittes, ausgewiesen als Gesamtenergie (KJ/g) nach Kramer-Scher (Jahr: 2001)	50
Abbildung 28: Einfluss der Unterbodentemperatur auf die Gewebefestigkeit des basalen Abschnittes, ausgewiesen als Gesamtenergie (KJ/g) nach Kramer-Scher (Jahr: 2001)	51
Abbildung 29: Komponentendiagramm im rotierten Raum. Darstellung der Zusammenhänge der Festigkeitsmessungen und der Bodentemperaturen bei der Spargelspitze .....	53
Abbildung 30: Komponentendiagramm im rotierten Raum. Darstellung der Zusammenhänge der Festigkeitsmessungen und der Bodentemperaturen beim mittleren Abschnitt.....	53
Abbildung 31: Komponentendiagramm im rotierten Raum. Darstellung der Zusammenhänge der Festigkeitsmessungen und der Bodentemperaturen beim basalen Abschnitt.....	54
Abbildung 32: Einfluss der Unterbodentemperatur, gruppiert nach Oberflächentemperaturen, auf den Ballaststoffgehalt bei der Spargelspitze (Jahr: 2001).....	55
Abbildung 33: Einfluss der Unterbodentemperatur, gruppiert nach Oberflächentemperaturen, auf den Ballaststoffgehalt beim mittleren Spargelabschnitt (Jahr: 2001) .....	56
Abbildung 34: Einfluss der Unterbodentemperatur, gruppiert nach Oberflächentemperaturen, auf den Ballaststoffgehalt beim basalen Spargelabschnitt (Jahr: 2001).....	56
Abbildung 35: Einfluss der Unterbodentemperatur auf den Ballaststoffgehalt der einzelnen Spargelabschnitte (Jahr: 2001) .....	57
Abbildung 36: Einfluss der Oberflächentemperatur auf den Ballaststoffgehalt der einzelnen Spargelabschnitte (Jahr: 2001) .....	57
Abbildung 37: Ballaststoffgehalt in Abhängigkeit von der Temperaturdifferenz zwischen Oberfläche und Unterboden (Abschnitt: Spitze) .....	58
Abbildung 38: Ballaststoffgehalt in Abhängigkeit von der Temperaturdifferenz zwischen Oberfläche und Unterboden (Abschnitt: Mitte) .....	59
Abbildung 39: Ballaststoffgehalt in Abhängigkeit von der Temperaturdifferenz zwischen Oberfläche und Unterboden (Abschnitt: Basis) .....	59
Abbildung 40: Einfluss der Bodentemperatur auf den Hemicellulosegehalt in der Trockenmasse der gesamten Spargelstange .....	60
Abbildung 41: Einfluss der Bodentemperatur auf den Cellulosegehalt in der Trockenmasse der gesamten Spargelstange .....	60
Abbildung 42: Einfluss der Bodentemperatur auf den Pektingehalt in der Trockenmasse der gesamten Spargelstange .....	61
Abbildung 43: Einfluss der Bodentemperatur auf den Ligningehalt in der Trockenmasse der gesamten Spargelstange .....	61
Abbildung 44: Einfluss des Pflanzabstandes auf den Gesamtertrag an den drei Ernteterminen in den Jahren 2000 und 2001 .....	63
Abbildung 45: Einfluss des Pflanzabstandes auf den Durchmesser der Spargelstange, der zur Einteilung in die Handelsklasse herangezogen wird (Versuchsjahre: 2000 und 2001) .....	64
Abbildung 46: Einfluss des Pflanzabstandes auf den Anteil an Spargelstangen, die größer als 14 mm waren (Versuchsjahre: 2000 und 2001).....	65
Abbildung 47: Einfluss des Pflanzabstandes auf das Frischgewicht der 22 cm langen Spargelstange (Versuchsjahre: 2000 und 2001) .....	65
Abbildung 48: Einfluss des Pflanzabstandes auf die Gewebefestigkeit, ausgedrückt als Maximalkraft nach Warner-Bratzler an drei Ernteterminen in 2001 (Abschnitt: Spitze) .	66
Abbildung 49: Einfluss des Pflanzabstandes auf die Gewebefestigkeit, ausgedrückt als Maximalkraft nach Warner-Bratzler an drei Ernteterminen in 2001 (Abschnitt: Mitte) ...	67

Abbildung 50: Einfluss des Pflanzabstandes auf die Gewebefestigkeit, ausgedrückt als Maximalkraft nach Warner-Bratzler an drei Ernteterminen in 2001 (Abschnitt: Basis) ..	67
Abbildung 51: Einfluss des Pflanzabstandes auf die Gewebefestigkeit, ausgedrückt als Maximalkraft nach Warner-Bratzler an drei Ernteterminen in 2000 (Abschnitt: Spitze) .	68
Abbildung 52: Einfluss des Pflanzabstandes auf die Gewebefestigkeit, ausgedrückt als Maximalkraft nach Warner-Bratzler an drei Ernteterminen in 2000 (Abschnitt: Mitte) ...	68
Abbildung 53: Einfluss des Pflanzabstandes auf die Gewebefestigkeit, ausgedrückt als Maximalkraft nach Warner-Bratzler an drei Ernteterminen in 2000 (Abschnitt: Basis) ..	69
Abbildung 54: Einfluss des Pflanzabstandes auf den Ballaststoffgehalt in der Trockensubstanz an drei Ernteterminen in 2001 (Abschnitt: Spitze).....	70
Abbildung 55: Einfluss des Pflanzabstandes auf den Ballaststoffgehalt in der Trockensubstanz an drei Ernteterminen in 2001 (Abschnitt: Mitte).....	71
Abbildung 56: Einfluss des Pflanzabstandes auf den Ballaststoffgehalt in der Trockensubstanz an drei Ernteterminen in 2001 (Abschnitt: Basis).....	71
Abbildung 57: Veränderungen der Kohlendioxid- und Sauerstoffkonzentration während der Kurzzeitlagerung von ungeschältem Spargel, gelagert bei 2°C und 20°C in mikroperforierter OPP-Folie (28. Mai bis 01. Juni 2001).....	72
Abbildung 58: Frischmasseverlust von Spargel bei viertägiger Lagerung unter verschiedenen Lagerbedingungen .....	73
Abbildung 59: Einfluss von Lagerdauer und Behandlung auf die Helligkeit von Spargel (Abschnitt: Spitze).....	74
Abbildung 60: Einfluss von Lagerdauer und Behandlung bei Spargel auf die Veränderungen auf der Rot-Grün-Achse ( $a^*$ , Abschnitt: Spitze) .....	74
Abbildung 61: Einfluss von Lagerdauer und Behandlung bei Spargel auf die Veränderungen auf der Gelb-Blau-Achse ( $b^*$ , Abschnitt: Spitze).....	75
Abbildung 62: Einfluss von Lagerdauer und Behandlung auf die Helligkeit von Spargel (Abschnitt: Basis) .....	75
Abbildung 63: Einfluss von Lagerdauer und Behandlung bei Spargel auf die Veränderungen auf der Rot-Grün-Achse ( $a^*$ , Abschnitt: Basis) .....	76
Abbildung 64: Einfluss von Lagerdauer und Behandlung bei Spargel auf die Veränderungen auf der Gelb-Blau-Achse ( $b^*$ , Abschnitt: Basis) .....	76
Abbildung 65: Einfluss von Lagerdauer und Behandlung auf die Gewebefestigkeit von Spargel, ausgedrückt als Maximalkraft nach Warner-Bratzler (Abschnitt: Spitze).....	77
Abbildung 66: Einfluss von Lagerdauer und Behandlung auf die Gewebefestigkeit von Spargel, ausgedrückt als Maximalkraft nach Warner-Bratzler (Abschnitt: Mitte).....	78
Abbildung 67: Einfluss von Lagerdauer und Behandlung auf die Gewebefestigkeit von Spargel, ausgedrückt als Maximalkraft nach Warner-Bratzler (Abschnitt: Basis).....	78
Abbildung 68: Einfluss von Lagerdauer und Behandlung auf den Trockensubstanzgehalt von Spargel (Abschnitt: Spitze).....	79
Abbildung 69: Einfluss von Lagerdauer und Behandlung auf den Trockensubstanzgehalt von Spargel (Abschnitt: Mitte).....	80
Abbildung 70: Einfluss von Lagerdauer und Behandlung auf den Trockensubstanzgehalt von Spargel (Abschnitt: Basis).....	80
Abbildung 71: Einfluss von Lagerdauer und Behandlung auf den Ballaststoffgehalt von Spargel (Abschnitt: Spitze).....	81
Abbildung 72: Einfluss von Lagerdauer und Behandlung auf den Ballaststoffgehalt von Spargel (Abschnitt: Mitte).....	82
Abbildung 73: Einfluss von Lagerdauer und Behandlung auf den Ballaststoffgehalt von Spargel (Abschnitt: Basis).....	82
Abbildung 74: Ligningehalt der gesamten Spargelstange nach viertägiger Lagerung .....	83
Abbildung 75: Einfluss von Lagerdauer und Behandlung auf den Saccharosegehalt von Spargel (Abschnitt: Spitze).....	84
Abbildung 76: Einfluss von Lagerdauer und Behandlung auf den Saccharosegehalt von Spargel (Abschnitt: Mitte).....	85
Abbildung 77: Einfluss von Lagerdauer und Behandlung auf den Saccharosegehalt von Spargel (Abschnitt: Basis).....	85

Abbildung 78: Einfluss von Lagerdauer und Behandlung auf den Glukosegehalt von Spargel (Abschnitt: Spitze).....	86
Abbildung 79: Einfluss von Lagerdauer und Behandlung auf den Glukosegehalt von Spargel (Abschnitt: Mitte).....	86
Abbildung 80: Einfluss von Lagerdauer und Behandlung auf den Glukosegehalt von Spargel (Abschnitt: Basis).....	87
Abbildung 81: Einfluss von Lagerdauer und Behandlung auf den Fruktosegehalt von Spargel (Abschnitt: Spitze).....	87
Abbildung 82: Einfluss von Lagerdauer und Behandlung auf den Fruktosegehalt von Spargel (Abschnitt: Mitte).....	88
Abbildung 83: Einfluss von Lagerdauer und Behandlung auf den Fruktosegehalt von Spargel (Abschnitt: Basis).....	88
Abbildung 84: Veränderungen der Atmosphäre während der Kurzzeitlagerung von ungeschältem und geschältem (Convenience-)Spargel, gelagert bei 2°C in OPP-Folie und BAW-Folie (28. Mai bis 01. Juni 2001).....	89
Abbildung 85: Frischmasseverlust (%) von geschältem und ungeschältem Spargel bei viertägiger Lagerung bei 2°C.....	90
Abbildung 86: Einfluss von Lagerdauer und Behandlung auf die Helligkeit von Spargel (Abschnitt: Spitze).....	91
Abbildung 87: Einfluss von Lagerdauer und Behandlung bei Spargel auf die Veränderungen auf der Rot-Grün-Achse ( $a^*$ , Abschnitt: Spitze).....	91
Abbildung 88: Einfluss von Lagerdauer und Behandlung bei Spargel auf die Veränderungen auf der Gelb-Blau-Achse ( $b^*$ , Abschnitt: Spitze).....	92
Abbildung 89: Einfluss von Lagerdauer und Behandlung auf die Helligkeit von Spargel (Abschnitt: Basis).....	92
Abbildung 90: Einfluss von Lagerdauer und Behandlung bei Spargel auf die Veränderungen auf der Rot-Grün-Achse ( $a^*$ , Abschnitt: Basis).....	93
Abbildung 91: Einfluss von Lagerdauer und Behandlung bei Spargel auf die Veränderungen auf der Gelb-Blau-Achse ( $b^*$ , Abschnitt: Basis).....	93
Abbildung 92: Einfluss von Lagerdauer und Behandlung auf die Gewebefestigkeit, ausgedrückt als Maximalkraft nach Warner-Bratzler (Abschnitt: Spitze).....	94
Abbildung 93: Einfluss von Lagerdauer und Behandlung auf die Gewebefestigkeit, ausgedrückt als Maximalkraft nach Warner-Bratzler (Abschnitt: mittlerer und basaler Abschnitt).....	95
Abbildung 94: Einfluss von Lagerdauer und Behandlung auf den Trockensubstanzgehalt von Spargel (Abschnitt: Spitze).....	95
Abbildung 95: Einfluss von Lagerdauer und Behandlung auf den Trockensubstanzgehalt von Spargel (Abschnitt: Mitte).....	96
Abbildung 96: Einfluss von Lagerdauer und Behandlung auf den Trockensubstanzgehalt von Spargel (Abschnitt: Basis).....	96
Abbildung 97: Einfluss von Lagerdauer und Behandlung auf den Ballaststoffgehalt (Abschnitt: Spitze).....	97
Abbildung 98: Einfluss von Lagerdauer und Behandlung auf den Ballaststoffgehalt (Abschnitt: Mitte).....	98
Abbildung 99: Einfluss von Lagerdauer und Behandlung auf den Ballaststoffgehalt (Abschnitt: Basis).....	98
Abbildung 100: Einfluss von Lagerdauer und Behandlung auf den Ligningehalt der gesamten Spargelstange bei Lagerung von 2°C.....	99
Abbildung 101: Einfluss von Lagerdauer und Behandlung auf den Saccharosegehalt von Spargel (Abschnitt: Spitze).....	100
Abbildung 102: Einfluss von Lagerdauer und Behandlung auf den Saccharosegehalt von Spargel (Abschnitt: Mitte).....	100
Abbildung 103: Einfluss von Lagerdauer und Behandlung auf den Saccharosegehalt von Spargel (Abschnitt: Basis).....	101
Abbildung 104: Einfluss von Lagerdauer und Behandlung auf den Glukosegehalt von Spargel (Abschnitt: Spitze).....	101

Abbildung 105: Einfluss von Lagerdauer und Behandlung auf den Glukosegehalt von Spargel (Abschnitt: Mitte).....	102
Abbildung 106: Einfluss von Lagerdauer und Behandlung auf den Glukosegehalt von Spargel (Abschnitt: Basis).....	102
Abbildung 107: Einfluss von Lagerdauer und Behandlung auf den Fruktosegehalt von Spargel (Abschnitt: Spitze).....	103
Abbildung 108: Einfluss von Lagerdauer und Behandlung auf den Fruktosegehalt von Spargel (Abschnitt: Mitte).....	103
Abbildung 109: Einfluss von Lagerdauer und Behandlung auf den Fruktosegehalt von Spargel (Abschnitt: Basis).....	104
Abbildung 110: Sensorische Veränderungen von geschältem und ungeschältem Spargel nach viertägiger Lagerdauer bei 2°C (nach BRÜCKNER 2002) .....	105
Abbildung 111: Keimzahl auf rohem Spargel nach viertägiger Lagerung .....	106
Abbildung 112: Keimzahl auf Spargel (10 min, 80°C) nach viertägiger Lagerung .....	107
Abbildung 113: Die Wichtigkeit der Frische von weißem Spargel für den Verbraucher .....	108
Abbildung 114: Die Wichtigkeit des Geschmacks von weißem Spargel für den Verbraucher .....	108
Abbildung 115: Die Wichtigkeit der Qualität von weißem Spargel für den Verbraucher.....	109
Abbildung 116: Die Wichtigkeit der Herkunft 'Deutschland' von weißem Spargel für den Verbraucher .....	109
Abbildung 117: Die Holzigkeit von weißem Spargel als mögliches Problem beim Verzehr durch den Verbraucher .....	110
Abbildung 118: Die Wichtigkeit des Preises von weißem Spargel für den Verbraucher .....	110
Abbildung 119: Das Schälen von weißem Spargel als mögliches Problem beim Kaufverhalten durch den Verbraucher.....	111
Abbildung 120: Geschälter und verpackter Spargel als Alternative für den Verbraucher....	111
Tabelle 1: Die Werte für To (Oberflächentemperatur) und Tu (Unterbodentemperatur) geben einen Vergleich von gemessener und berechneter Temperatur im Kulturgefäß an den Koordinaten (x,y).....	19
Tabelle 2: Nährstoffgehalte und pH-Wert des lehmigen Sandboden (mg/100 g Boden) .....	21
Tabelle 3: Nährstoffgehalte und pH-Wert des Rindenkultursubstrates (mg/l Boden) am 20.03.1998 im Bereich 0-30 cm .....	22
Tabelle 4: Parameter bei der Scherung nach Kramer .....	27
Tabelle 5: Parameter bei der Scherung nach Warner-Bratzler .....	28
Tabelle 6: Parameter zur Gefriertrocknung .....	29
Tabelle 7: Wiederfindungsrate von Gerüstkohlenhydraten nach enzymatisch-gravimetrischer Bestimmung der Ballaststoffe nach § 35 LMBG .....	31
Tabelle 8: Zusammenhang zwischen der ersten Spargelernte und der Unterboden-, Rhizom- und Oberflächentemperatur .....	36
Tabelle 9: Rotierte Komponentenmatrix mit Korrelationskoeffizienten (Abschnitt Mitte) .....	54
Tabelle 10: Rotierte Komponentenmatrix mit Korrelationskoeffizienten (Abschnitt: Basis) ...	55
Tabelle 11: Mittlere Lignin- und Pektingehalte in der Trockenmasse der gesamten Spargelstange in Abhängigkeit von der Unterboden- und Oberflächentemperatur .....	62
Tabelle 12: Einfluss des Pflanzabstandes auf den Schalenanteil an der Frischmasse von Spargel (%) (Jahr: 2001).....	66
Tabelle 13: Spargelvarianten, die vier Tage gelagert worden sind .....	72
Foto 1: Versuchsanordnung mit Kulturgefäßen.....	16
Foto 2 u. 3: Register zur Beeinflussung der Oberflächen- bzw. Unterbodentemperatur.....	18
Foto 4: Kramer-Scher-Zelle.....	28
Foto 5: Instron-Universalprüfmaschine mit Scherblatt nach Warner-Bratzler.....	29
Übersicht 1: Katalog mit Begriffen zu den Oberbegriffen Geruch, Geschmack, Nachgeschmack und Mundgefühl.....	33

## Verzeichnis der Abkürzungen

ADF	in Säuredetergenz unlöslicher Rückstand
BAW	biologisch abbaubare Folie auf Cellulosebasis
CIE	Commision Internationale de l'Eclairage (Internationale Beleuchtungskommission)
FM	Frischmasse
ges.	geschält
N	Anzahl untersuchter Spargelstangen
NADPH	Nicotinamid-adenin-dinucleotid-phosphat
NDF	in Neutraldetergenz unlöslicher Rückstand
R	Bestimmtheitsmaß
o.F.	ohne Folie
OPP	mikroperforierte Polypropylenfolie
RRZN	Regionales Rechenzentrum für Niedersachsen
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences
TM	Trockenmasse
ung.	ungeschält

# 1 Einleitung und Problemstellung

Spargel (*Asparagus officinalis* L.) ist eine zweihäusige Staude. Er gehört in die Klasse der Monocotyledoneae zur Familie der Liliaceae (HARTMANN 1989). Nach MEUSEL et al. (1965) ist Spargel eine weitverbreitete euro-sibirische, kontinentale Pflanze. Nach STRASBURGER et al. (1991) zählt sie zu den Wurzelsukkulenten mit unterirdischen Speicherorganen. Spargel bildet aufrechte, kahle Sprossen („Stangen“) mit spiralgig stehenden chlorophyllfreien Schuppenblättern, die sich über der Erde leicht verzweigen (HARTMANN 1989).

Spargel wird zum Gemüse gerechnet, deren Stangen sowohl im grünen, als auch im gebleichten weißen Zustand konsumiert werden können. Nach KETSA und UTHAIBERT (1987) haben grün geerntete Spargelstangen einen höheren Gehalt an Vitamin C, während weiße Spargelstangen einen höheren Gehalt an löslichen Bestandteilen und Glucose aufweisen. Weißer Spargel hat den typischen Spargelgeschmack. Er enthält mehr Fasern als grüner Spargel (CHANG 1983, BROVELLI et al. 1997). Weltweit hat Grünspargel eine viel größere Bedeutung als Bleichspargel (HARTMANN 1989, HOBERG et al. 1998, BENSON 1999), in Deutschland wird traditionell überwiegend weißer Spargel vermarktet (HOBERG et al. 1998).

Spargel zählt mit 57KJ/ 100 g essbarem Anteil zu den kalorienarmen Gemüsearten (SOUCI et al. 1986). In 100 g frischen Bleichspargel sind im Durchschnitt 93,6 g Wasser, 1,9 g Proteine, 0,14 g Fette, 2,04 g Kohlenhydrate, 1,47 g Ballaststoffe und 0,62 g Mineralstoffe (SOUCI et al. 1986) enthalten. Als Kohlenhydrate sind hauptsächlich Fructose (993 mg), Glucose (807 mg), Cellulose (750 mg) und Saccharose (244 mg) vertreten (SOUCI et al. 1986). Die harntreibende Wirkung des Spargels scheint nach HARTMANN (1989) ernährungsphysiologisch besonders wichtig. Hierbei werden vermehrt Chlor- und Phosphatverbindungen ausgeschieden. Diese Wirkung soll durch Saponine und stickstoff- und schwefelhaltige Verbindungen hervorgerufen werden (HARTMANN 1989).

Spargel ist in Deutschland aufgrund der umfangreichen Anbauflächen, des hohen Selbstversorgungsgrades und der hohen Flächenerlöse eine wirtschaftlich bedeutende Kultur.

Im Jahr 2000 wurden in Deutschland 50 800 t Spargel auf 11,7% (11 600 ha) der Gemüseanbaufläche angebaut (ZMP 2001). Die Spargelanbaufläche in Deutschland vergrößerte sich von 11 300 ha (1995) auf 15 500 ha (2000). Hierunter fallen auch Flächen, die derzeit noch nicht im Ertrag stehen (ZMP 2001).

Der Selbstversorgungsgrad von Spargel stieg in den letzten Jahren von 39% (1995) auf 57% (2000). Zurückzuführen ist das zum einen durch verminderte Importmengen (Rückgang um 18% von 1995 zu 2000) und zum anderen durch die gestiegene Inlandsproduktion (ZMP 2001).

Spargel wird hauptsächlich in den Monaten März bis Juni vermarktet, wobei 1,2% der Mengen im März, 23% im April, 48% im Mai und 26% der Mengen im Juni abgesetzt werden. In diesen Monaten des Jahres 2000 konnten insgesamt 42,4 Mio. € Erlöse an den Erzeugermärkten erwirtschaftet werden. Insbesondere die Handelsklasse I erbrachte Erlöse von 14,2 Mio. € (436 €/dt.). Besonders hervorzuheben sind die Erlöse je Dezitonne im März, die im Jahr 2000 bei 736 € lagen (ZMP 2001).

Der Pro-Kopf-Verbrauch von frischem Spargel betrug im Jahr 2000 837 g, von frischem und verarbeiteten Spargel zusammen 1,4 kg (1999: 1,3 kg; ZMP 2001), wobei es Unterschiede zwischen den Bundesländern gab. Durchschnittlich wurden pro Haushalt in Deutschland 2,18 kg (1999) frischer Spargel gekauft. In Berlin waren es 40% mehr, in Baden-Württemberg 8,7% weniger und in Thüringen und Sachsen (Region Südost) zusammen 44% weniger (ZMP 2001).

Hauptsächlich wurde Spargel direkt vom Erzeuger oder über Wochenmärkte und Obst- und Gemüse-Stände an den Endkunden abgesetzt (ZMP 2001). Die Vermarktung von Spargel über Supermärkte, Discounter und Verbrauchermärkte liegt insgesamt bei ca. 30%. Dieser Anteil könnte durch kontinuierliche Belieferung der Ketten mit frischem Spargel erhöht werden (ANONYMUS 2001) und zur Kundenbindung in Regionen, wo traditionell kaum Spargel angebaut wird, führen. Zu einer frühzeitigen und längerfristigen Bindung von Produzent und Supermarkt, Discounter bzw. Verbrauchermarkt könnte auch eine Ernteverfrühung von Spargel beitragen. Durch die Ernteverfrühung könnte gleichzeitig die Importware durch frischen deutschen Spargel weiter verdrängt werden (ANONYMUS 2001).

Eine weitere Möglichkeit den Absatz von Spargel zu erhöhen, wäre die Vermarktung bequemer, küchenfertig aufbereiteter Ware, z. B. in geschälter Form (HUYSKENS-KEIL und KADAU 2001). Insbesondere junge Käuferschichten oder Singles könnten so gewonnen werden.

Von zentraler Bedeutung bei der Vermarktung von Spargel ist die Produktqualität, unabhängig vom Absatzweg oder Aufbereitungszustand.

CMA-Untersuchungen ergaben, dass Käufer in Deutschland Spargel aus heimischen Anbau aufgrund von Frische und der sensorischen Qualität bevorzugen. So hielten mehr als 70% der Spargel kaufenden Haushalte das Herkunftsland für wichtig und 94% von ihnen bevorzugten Spargel aus Deutschland (CMA 1995).

Eine weitere Verdrängung der Importware am Markt durch frischen deutschen Spargel kann demnach über die Qualität als kaufentscheidendes Kriterium sowie über eine Saisonverfrühung mit qualitativ und quantitativ gleichmäßigem Ertragsangebot erfolgen. Zudem würde deutscher Spargel aus einem vorgelagerten Erntezeitraum hohe Erlöse erzielen. Auch die Schaffung neuer Produkte mit hoher Produktqualität könnte die Vermarktung von Spargel erweitern.

Mängel der Produktqualität sind daher so weit wie möglich zu vermindern.

Erntemenge, Saisonbeginn und Ertragsverlauf als auch die Produktqualität von Spargel werden von Vor- und Nachernteparametern bestimmt. Wesentliche Parameter sind die Temperaturbedingungen im Boden (TIEDJENS 1924, MACGILLIVRAY 1933, CLORE et al. 1976, ROBB 1984, ROSEN 1990, PANDITA und BHAN 1994, DUFAULT 1996, McCORMICK und GEDDES 1996, BROVELLI et al. 1998, LIAO et al. 1999, DEAN 1999, DROST 1999, WONNEBERGER 2000), die über Kulturmaßnahmen wie Folieneinsatz beeinflusst werden können und der Pflanzabstand (TAKATORI et al. 1975, McQUINN et al. 1981, MOTES et al. 1988, KAUFMANN und ORTH 1990, McCORMICK und THOMSEN 1990, KELLY et al. 1999).

Kulturmaßnahmen zur Beeinflussung der Bodentemperatur zielten vorrangig auf eine Ernteverfrühung unter Berücksichtigung äußerer Qualitätsmerkmale (Handelsklasseneinteilung sowie Anteil hohler und berosteter Stangen) und der Erntemenge ab. Versuche hierzu wurden hauptsächlich als Praxisversuche durchgeführt (u.a. PANDITA und BHAN 1994, KEULDER und RIEDEL 1996, WONNEBERGER 2000). Die Ergebnisse haben aber aufgrund der Kopplung an den Witterungsverlauf des Versuchsjahres nur eingeschränkte Gültigkeit.

Neben äußeren Qualitätseigenschaften bei Frischmarktspargel spielen innere Qualitätsmerkmale eine immer größere Rolle. Insbesondere die Faserigkeit oder der Verholungsgrad werden als die qualitätsbestimmenden Faktoren beschrieben (WILEY et al. 1956, KRAMER et al. 1960, CLORE et al. 1976, SOSA-CORONEL et al. 1976, BILLAU 1986, POLL 1996, RODRIGO et al. 1997), aber auch der Zusammenhang zwischen innerer Qualität und sensorischen Eigenschaften ist von zunehmender Bedeutung (BROVELLI et al. 1998).

Bekannt ist, dass allgemein die Faserigkeit oder der Verholungsgrad von Spargel durch Vorernteparameter bestimmt werden (HAARD et al. 1974, CLORE et al. 1976, SOSA-CORONEL et al. 1976, DRAKE et al. 1979, BILLAU 1986, BROVELLI et al. 1998, HERNER, zit. bei BROVELLI 1998). SOSA-CORONEL et al. (1976) konnten zeigen, dass höhere Temperaturen (21°C-26°C) einen geringeren Fasergehalt zur Folge hatten als niedrige Temperaturen (10°C-15,5°C). KEULDER und RIEDEL (1990) wiesen für den Standort Südafrika nach, dass niedrige Boden- und Lufttemperaturen mit dem Fasergehalt korrelierten. HARTMANN (1989) stellte fest, dass die Verholung bzw. Lignifizierung zu einem wesentlichen Teil den Genusswert des Spargels, den Schälabfall sowie die Zubereitungszeit bestimmt.

Ferner ist bekannt, dass allgemein bei niedrigen Bodentemperaturen erhöhte Lignifizierungstendenzen durch niedrige Wachstumsraten zu beobachten sind und die Perizykeldicke erhöht ist (BILLAU 1986). Beim Perizykel handelt es sich um Zellen im peripheren Teil des Leitzyinders, der aufgrund seiner Stützfunktion von der Basis her mit abnehmender Intensität nach oben verholzt (BILLAU 1986, HARTMANN 1989, LIPTON 1990). Es bildet sich ein Sklerechymring, der aber abgeschält werden kann. BILLAU (1986) bezeichnet dies als Holzigkeit. Im Laufe der Entwicklung verholzen allmählich auch die weiter innen liegenden Xylemelemente der Leitbündel. Wenn die

Xylemelemente verholzt sind, ist eine Beseitigung über Schalen nicht mehr möglich. Dies wird als Faserigkeit beschrieben (BILLAU 1986). Die Spargelstange besitzt dann eine mindere Qualität.

Angaben zur Wirkung von Bodentemperaturen auf endogene Qualitätsmerkmale von Spargel wie Faserigkeit und Verholzung wurden überwiegend qualitativ beschrieben. Quantitative Zusammenhänge wurden im eingeschränkten Maße ermittelt. Untersuchungen zur Wirkung von Temperaturprofilen während des Erntezeitraumes auf innere und äußere Qualitätsmerkmale von Spargel wurden ebenfalls bisher nur eingeschränkt durchgeführt. Vor allem kausalanalytische Zusammenhänge zwischen Bodentemperatur und inneren, texturrelevanten Qualitätsmerkmalen wie Ballaststoffe und einzelne Gerüstkohlenhydraten sowie Lignin sind überwiegend qualitativ beschrieben (BILLAU 1986).

Unter Ballaststoffen werden Nahrungsbestandteile pflanzlicher Herkunft zusammengefasst, die nicht verdaut werden. Bei den Ballaststoffen handelt es sich im wesentlichen um Polysaccharide wie Cellulose, Hemicellulosen und Pektine. Hinzu kommt Lignin, das kein Kohlenhydrat ist. Zusammen stellen sie die Gerüstsubstanz der pflanzlichen Zelle dar. Zur umfassenden Beschreibung der Spargeltextur können daher Veränderungen in den Ballaststoffgehalten sowie der einzelnen Gerüstkohlenhydrate herangezogen werden.

Neben der Temperatur als Einflussgröße auf äußere und innere Qualitätsmerkmale im Produktionsprozess von Spargel, stellt der Pflanzabstand einen weiteren ertrags- und qualitätsbeeinflussenden Faktor dar. Einige Autoren schreiben, dass durch den Pflanzabstand der Ertrag beeinflusst wird (TAKATORI et al. 1975, McQUINN et al. 1981, MOTES et al. 1988, KAUFMANN und ORTH 1990, McCORMICK und THOMSEN 1990, KELLY et al. 1999). Inwiefern endogene Qualitätseigenschaften durch den Pflanzabstand beeinflusst werden, ist bisher nur an Grünspargel untersucht worden (SOSA-CORONEL et al. 1976).

Neben den beschriebenen Einflüssen in der Vorernte gibt es Einflussfaktoren, die die Produktqualität von Spargel auch im Nachernteprozess steuern (CLORE et al. 1976, CHANG 1983, LIPTON 1990, REDONDO-CUENCA et al. 1997, VILLANUEVA-SUÁREZ et al. 1999).

Aufgrund der hohen Atmungsaktivität von Spargel kommt es nach der Ernte zu einer schnellen Qualitätsminderung (RYALL und LIPTON 1979, KADER 1985, HARTMANN 1989, POWRIE und SKURA 1991). Nach KING et al. (1988a) gibt Spargel bei 1°C 20 mg CO<sub>2</sub> pro kg und Stunde ab, bei 20°C sind es 80 mg CO<sub>2</sub> pro kg und Stunde, wobei nach WOLF (1942) die Spitze einer Spargelstange doppelt so stark atmet wie der mittlere oder der basale Abschnitt. Sind alle Kohlenhydrate veratmet, beginnt der Abbau weiterer Pflanzeninhaltsstoffe. Temperaturen über 6°C führen neben den Verlusten an Kohlenhydraten zu einem deutlichen Längenwachstum (MORRIS und WATADA 1960, HURST et al. 1997) und zur Anthocyanbildung (SIOMOS et al. 2000).

Texturelle Veränderungen der Spargelstange im Nachernteprozess sind von der Temperatur abhängig (HAARD et al. 1974, CLORE et al. 1976, DRAKE et al. 1979, CHEN et al. 1980, LIPTON 1990). Nach CHEN et al. (1980) beeinflusst die Temperatur die Phenylalanin-Ammonium-Lyase (PAL) im Nachernteprozess, ein Schlüsselenzym in der Ligninbiosynthese. Niedrige Temperaturen hemmen die Aktivität von PAL und vermindern die Bildung von Lignin. Niedrige Temperaturen können daher den Abbauprozess im Spargel verlangsamen und qualitätserhaltend wirken (KING et al. 1990, REDONDO-CUENCA et al. 1997).

Neben der Temperatur haben weitere Faktoren wie die Lagerdauer, die Luftfeuchtigkeit (LIPTON 1960, 1990) und die Gaszusammensetzung innerhalb einer Verpackung (HAARD et al. 1974, LIPTON 1965, BAXTER und WATERS 1991, EVERSON et al. 1992) während der Kurzzeitzlagerung einen bedeutenden Einfluss auf die Qualität von Spargel. Eine niedrige Luftfeuchtigkeit nach der Ernte führt zu einem Öffnen der Spargelköpfe (KAUFMANN 1978) und zu Frischmasseverlusten (REDONDO-CUENCA et al. 1997, VILLANUEVA-SUÁREZ et al. 1999). Hohe Luftfechtigkeiten im Nachernteprozess sind daher anzustreben, für Spargel werden 95% Luftfeuchtigkeit (NICOLAISEN-SCUPIN et al. 1985) empfohlen. Eine hohe Luftfeuchtigkeit kann u.a. durch Verwendung geeigneter Verpackungsmaterialien erreicht werden (HEIMDAL et al. 1995, BERGER et al. 1997, GORNY 1997, QI und WATADA 1997, HUYSKENS-KEIL und KADAU 2001).

Durch Verpackungen kann es zu Veränderungen der Gaszusammensetzung innerhalb der verpackten Ware kommen. Bei der Atmung freigesetztes Kohlendioxid reichert sich an, der Sauerstoffgehalt verringert sich. Eine so veränderte Atmosphäre vermindert die weitere Respiration des gelagerten Spargel (DAY 1993) und trägt zur Qualitätserhaltung bei. Außerdem führt ein erhöhter Kohlendioxidgehalt zur Verminderung bakterieller Erkrankungen (LIPTON 1965). Ferner kann es zur Anreicherung von Ethylen innerhalb der Verpackung kommen. HSIAO et al. (1981) stellten fest, dass Ethylen die Ligninbiosynthese aufgrund der Hemmung des Enzymes PAL unterbindet.

Derartige Prozesse sind an ungeschältem Spargel untersucht worden, an geschält gelagertem Spargel sind bisher nur wenige Untersuchungen angestellt worden.

Die Aufbereitung von Spargel als Convenience-Produkt in Folienverpackungen stellt eine Möglichkeit der Erweiterung des Angebotes und damit eine alternative Vermarktungsmöglichkeit dar (HUYSKENS-KEIL und KADAU 2001). Zur Palette der Convenience-Produkte zählen geschnittenes, gewürfeltes oder geschältes und damit küchenfertig aufbereitetes Obst und Gemüse. Derartig aufbereitetes Material unterliegt einem hohen Risiko der Qualitätsminderung und des Verderbs, da die Stoffwechselaktivität bis zum zwanzigfachen im Vergleich zu unbehandelter Ware ansteigen kann (CANTWELL 1999). Unter Verwendung produktphysiologisch angepasster Folienverpackungen und Lagerbedingungen kann dieser Prozess verlangsamt werden

(HEIMDAL et al. 1995, BERGER et al. 1997, GORNY 1997, QI und WATADA 1997). In bisherigen Untersuchungen wurden drei Folien als Verpackungsmaterial für geschälten Spargel eingesetzt und deren Einfluss auf innere wertgebende Qualitätseigenschaften wie das Zucker-Säure-Verhältnis und der Gehalt an Lignin und Pektin untersucht (HUYSKENS-KEIL und KADAU 2001). Auswirkungen einer Kurzzeitlagerung von geschälten Spargel in Verpackungen auf den Gesamtballaststoffgehalt sowie sensorische Untersuchungen unter Beachtung mikrobieller Veränderungen sind hierzu bisher nicht durchgeführt worden.

Aus den genannten Parametern, die wesentlich die Produktqualität von Spargel beeinflussen, lassen sich zusammenfassend folgende Fragen und Zielstellungen ableiten:

- Welchen Einfluss hat die Bodentemperatur auf die physiologischen Vorgänge in Spargelstangen unter kontrollierten Bedingungen?
- Wie wirken Temperaturprofile und homogene Bodentemperaturen während des Erntezeitraumes auf die Spargelpflanzen, insbesondere auf Erntebeginn und äußerer Qualität?
- Welche quantitativen Zusammenhänge bestehen zwischen Bodentemperatur und den texturrelevanten Qualitätsmerkmalen wie Gehalt und Verteilung der Ballaststoffe und Gerüstkohlenhydrate sowie des Lignins in den Spargelstangen?
- Welchen Einfluss hat der Pflanzabstand auf den Ertrag und die äußere und innere Qualität von Spargel?
- Welche quantitativen Zusammenhänge bestehen zwischen dem Einfluss geeigneter Verpackungsmaterialien auf die Atmosphäre innerhalb der Verpackung und deren Auswirkungen auf die äußere und innere Qualität von Spargel in der Nachernte?
- Welchen quantitativen Einfluss hat die Temperatur in der Nachernte auf die äußere und innere Qualität von Spargel?
- Welche Veränderungen hinsichtlich textur- und geschmacksrelevanter Qualitätsmerkmale erfolgen während einer Kurzzeitlagerung von Convenience-Spargel?

## 2 Material und Methoden

### 2.1 Pflanzenmaterial

Das verwendete Pflanzenmaterial (*Asparagus officinalis* L. 'Backlim') stammte von der Firma Nordwestdeutsche Jungpflanzenvermehrungsgesellschaft bR. Bei der Sorte 'Backlim' handelt es sich um eine männliche Hybride mit spätem Erntebeginn, geeignet für eine mittelspäte Produktion. Die Sorte ist geeignet für den Anbau unter Folie oder mit Bodenheizung, aber auch für den Einsatz im ungeheizten Freiland.

Im März 1998 wurden die einjährigen Spargelpflanzen in einem Gewächshaus der Firma Spargelbau GmbH in Vetschau gepflanzt. Für die Untersuchungen in speziellen Kulturgefäßen in Großbeeren wurden 1999 100 dieser Pflanzen in 12 l Kunststoffgefäße in Pflanzerde überführt und im Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau Großbeeren / Erfurt e. V. bis zur Verwendung für Versuchszwecke praxisüblich weiterkultiviert. Zusatzbewässerungen, Düngung und Pflanzenschutzmaßnahmen erfolgten nach Bedarf.

### 2.2 Versuchsanlagen

#### 2.2.1 Spargel in Kulturgefäßen

##### Technische Voraussetzungen

Für die gezielte Steuerung der Bodentemperatur bei Spargel wurden am Standort Großbeeren spezielle Kulturgefäße mit unabhängiger Steuerung der Bodenoberflächentemperatur und Unterbodentemperatur entwickelt und eingesetzt.

Die Versuchsanordnung bestand aus 24 Kulturgefäßen (Foto 1), wovon jedes 0,8 m hoch, 1 m breit und 1,2 m tief war (Abbildung 1).

Die Kulturgefäße waren während des Erntezeitraumes in einem Gewächshaus (10°C Lufttemperatur) des Instituts für Gemüse- und Zierpflanzenbau Großbeeren / Erfurt e. V. aufgestellt. Die Außenwände der Kulturgefäße wurden mit 4 cm starken Styroporplatten isoliert. Auf der Bodenoberfläche aufliegend wurde eine 1 cm dicke Luftpolsterfolie als Dämmmaterial eingesetzt. Darauf kam eine weiße Folie (Dicke: 100 µm) zum Einsatz, die einen äußeren Wärmeeintrag durch Strahlungsenergie minimieren sollte.

Die gesamte Versuchsanordnung wurde zur Bodentemperaturbeeinflussung in sieben voneinander unabhängig geregelte Versorgungseinheiten aufgeteilt. Jede Einheit mit ihren Registern wurde gemäß der versuchsbedingten Temperaturvorgaben mittels selbsttätig arbeitenden 3-Punkt-Schrittreglern (Fa. Jumo, dTron) und daran angeschlossenen 3-Wege-Mischventilen mit Elektroantrieb (Honeywell, Centra VMM 20) wärmetechnisch reguliert. Die Warmwasserversorgung erfolgte durch die betriebseigene Heizungsanlage. Die Versorgung mit kaltem Wasser zur gezielten Küh-

lung einiger Kulturgefäße wurde mittels eines selbsttätig regulierendem Kälteaggregates (Auftragsbau, Fa. Wagner, Berlin) realisiert.



Foto 1: Versuchsanordnung mit Kulturgefäßen

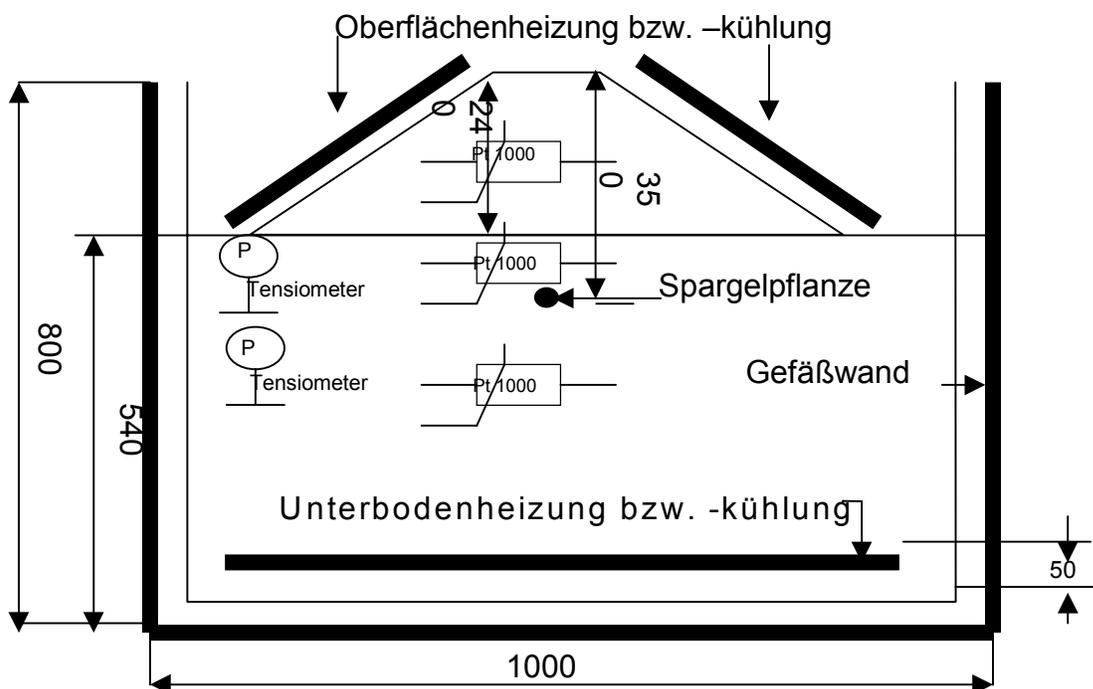


Abbildung 1: Temperaturseitig steuerbares Kulturgefäß (Vorderansicht)





Foto 2 u. 3: Register zur Beeinflussung der Oberflächen- bzw. Unterbodentemperatur

Innerhalb der Kulturgefäße erfolgte die Temperaturbeeinflussung des Unter- bzw. des Oberbodens unabhängig voneinander durch Kühl- bzw. Heizregister aus Polyethylenrohr mit einem Durchmesser von 20 bzw. 16 mm, die im Boden eingebracht worden waren bzw. auf der Oberfläche lagen (Abbildungen 2 und 3, Foto 2 und 3). Je nach Variante unterschiedlich konnten dadurch während der Erntezeiträume in den beiden Versuchsjahren (2000 und 2001) konstante Temperaturprofile im Boden eingestellt werden. Dabei wurden im Unterboden Temperaturen zwischen 7,5°C und 20°C, an der Oberfläche zwischen 11°C und 22°C realisiert. Am Rhizom ergaben sich Temperaturen zwischen 9°C und 21°C (Abbildung 6). Messungen der Bodentemperaturen erfolgten kontinuierlich im Unterboden (20 cm unterhalb des Rhizomes), am Rhizom und im Oberboden (20 cm oberhalb des Rhizomes) mittels computergestütztem Datenlogger (Keithley, Integra Serie 2700) und pt-1000 Sensoren (Fa. SfM Geraberg) in Zweileiterschaltung.

Die Einstellung der Temperaturen auf die Sollwerte erfolgte vom 06. März bis zum 13. März 2000 bzw. vom 19. Februar bis zum 1. März 2001 (Anstieg der Temperaturen von 6,5°C auf den Sollwert).

Beispielhaft wurde in Abbildung 4 der Temperaturverlauf der Variante 222 des Jahres 2001 mit den Mittelwerten 9,2°C (Unterbodentemperatur) und 15,9°C (Oberflächentemperatur) während des Zeitraumes vom 19. Februar bis zum 20. April 2001 dargestellt.

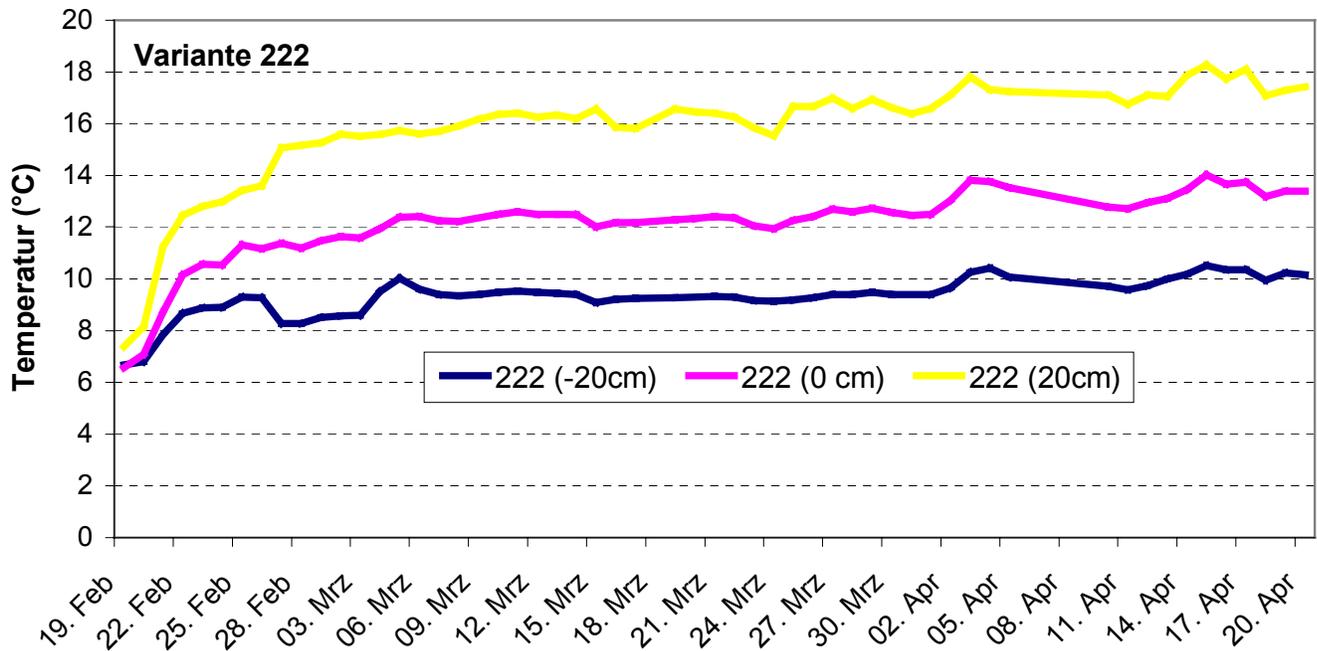


Abbildung 4: Temperaturverlauf der Variante 222 vom 19. Februar 2001 bis 20. April 2001 im Unterboden (-20 cm), am Rhizom (0 cm) und an der Oberfläche (20 cm)

Durch die Abteilung Modellierung und Wissenstransfers des Instituts für Gemüse- und Zierpflanzenbau Großbeeren / Erfurt e. V. wurde überprüft, inwieweit Änderungen der Bodentemperatur in vertikaler und horizontaler Richtung innerhalb des Kulturgefäßes stattfinden. Hierzu wurde ein Kulturgefäß mit weiteren Sensoren ausgestattet, um die Wärmeverteilung an den Randbereichen und zwischen den eigentlichen Messpunkten zu überprüfen.

Tabelle 1: Die Werte für  $T_o$  (Oberflächentemperatur) und  $T_u$  (Unterbodentemperatur) geben einen Vergleich von gemessener und berechneter Temperatur im Kulturgefäß an den Koordinaten (x,y)

Koordinaten (x,y)	Gemessene Temperatur (°C)	Berechnete Temperatur ( $T_e$ in °C)
(0, -55)	10,80	$T_e(0, -55) = 11.031$
(0, 35)	14,36	$T_e(0, -35) = 15.073$
(0, -15)	18,01	$T_e(0, -15) = 19.115$
(-42, 30)	16,18	$T_e(-42, -30) = 20.169$ $T_e(-42, -35) = 18.648$

Ein Vergleich der linear interpolierten Temperaturen am Rhizom (aus den oberen (-15 cm) und unteren (-55 cm) Temperaturen abgeleitet) zu den gemessenen Temperaturen weist einen mittleren Fehler von 0.267K auf, so dass es zulässig ist, im zentralen Bereich unterhalb der Dammkrone die Temperaturen zu interpolieren (Tabelle 1). Im zentralen Bereich des Dammes kann vertikal zwischen den erfassten Temperaturen interpoliert werden (Fehler  $\sim 0,3^\circ\text{C}$  bei 40 cm Interpolationsstrecke). Diese Werte sind dann wahrscheinlich  $\pm 10$  cm quer zu den Messstellen konstant (Abbildung 5). Längs zum Damm sind kaum Randeffekte feststellbar, was auf eine gute Isolierung der Gefäße schließen lässt (GRAEFE 2001).

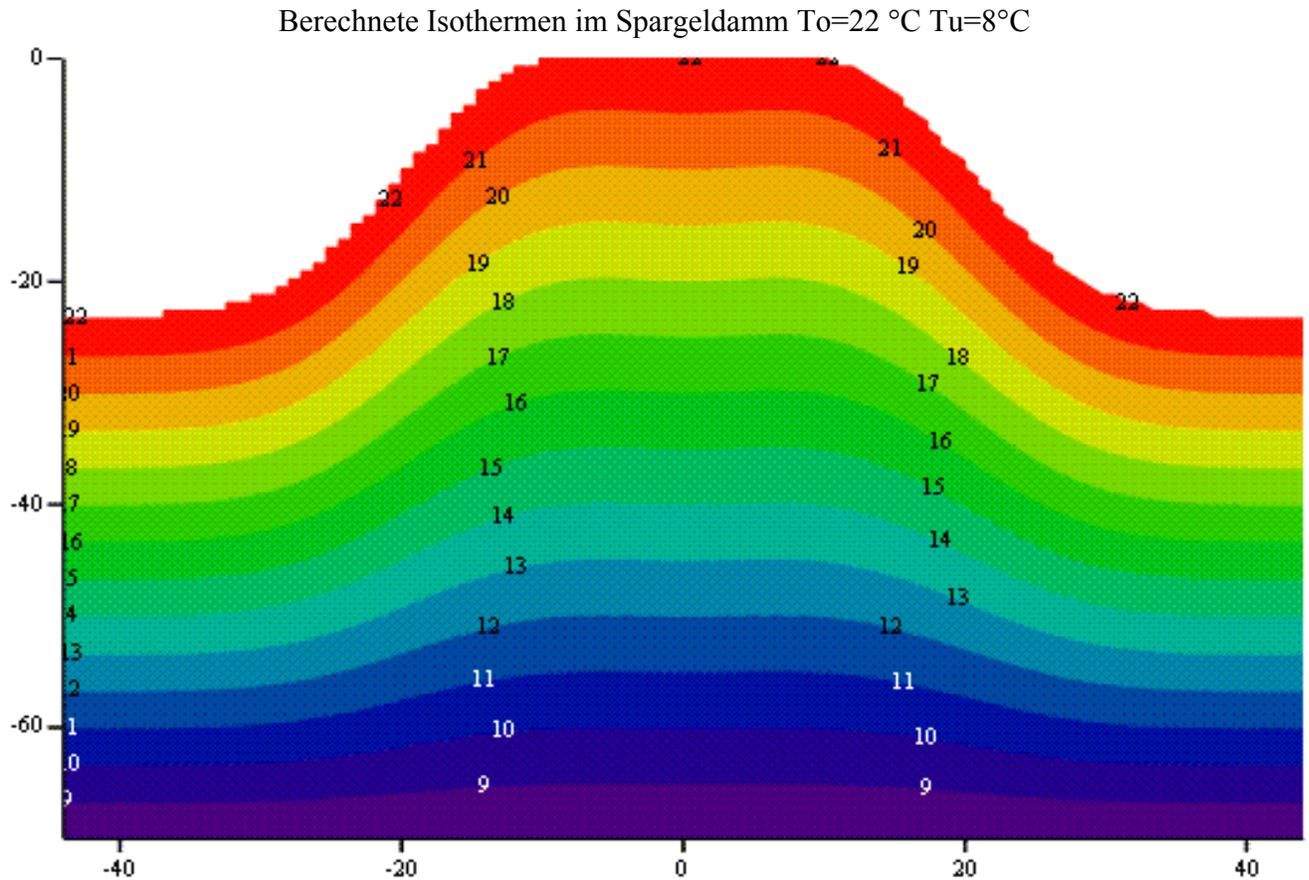


Abbildung 5: Berechnete Isothermen im Spargeldamm (nach GRAEFE 2001)

Die KulturgefäÙe sind für die geplanten Untersuchungen geeignet gewesen.

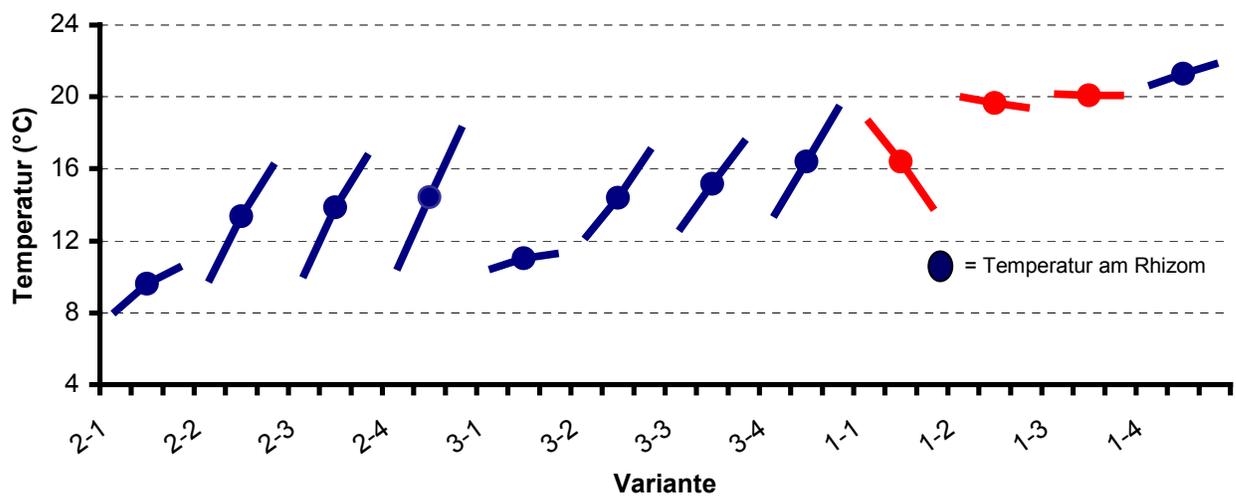


Abbildung 6: Temperaturprofile der einzelnen Varianten

### **Pflanzenbauliche Maßnahmen**

Anfang März 2000 wurden in jedem Kulturgefäß vier dieser nun dreijährigen Spargelpflanzen, die seit 1999 in Großbeeren in Kunststoffgefäßen kultiviert wurden, im Abstand von 15 cm gepflanzt. Die Auswahl der Pflanzen erfolgte nach den Boniturdaten (Anzahl der Stangen und Durchmesser 5 cm über dem Erdboden) vom 26.10.1999. In jedem Kulturgefäß wurden Pflanzen verwendet, die im Jahr 1999 durchschnittlich 4-5 Stangen mit einem Durchmesser von 7,8 bis 7,9 mm erzeugten. Als Pflanzsubstrat wurde lehmiger Sandboden verwendet (Tabelle 2).

*Tabelle 2: Nährstoffgehalte und pH-Wert des lehmigen Sandboden (mg/100 g Boden)*

	N-Gehalt	P-Gehalt	K-Gehalt	Mg-Gehalt	pH-Wert
Lehmiger Sandboden	0,8	8,2	12	4	6,3

Nach der Pflanzung wurde praxisüblich aufgedämmt (untere Dammbreite: 60 cm, obere Dammbreite: 40 cm, Dammhöhe: 24 cm). Mittels Tensiometer wurde der Bodenfeuchtegehalt überprüft. Notwendige Zusatzbewässerungen während des Erntezeitraumes wurden durchgeführt, um diesen konstant zu halten.

Nach Ernteende Anfang Mai 2000 wurden die Kulturgefäße aus dem Gewächshaus gebracht und die Pflanzen unter Freilandbedingungen praxisüblich weiterkultiviert. Bodenproben wurden genommen und entsprechende Düngungsmaßnahmen sowie notwendige Pflanzenschutzmaßnahmen termingerecht durchgeführt. Nach dem Absterben des Spargelkrautes im September wurde dieses geschnitten und entsorgt. Am 14. Februar 2001 wurden die Kulturgefäße erneut im Gewächshaus aufgestellt und die Spargelpflanzen unter gleichen definierten Bedingungen wie im Jahre 2000 während des Erntezeitraumes bis Ende Mai kultiviert. Im Anschluss daran wurden die Pflanzen in den Kulturgefäßen erneut im Freiland aufgestellt und Düngungs-, Bewässerungs- und Pflanzenschutzmaßnahmen durchgeführt.

### **2.2.2 Spargel im Gewächshaus**

In einem Gewächshaus der Fa. Spargelbau GmbH in Vetschau wurden am 20. März 1998 Spargelpflanzen mit verschiedenen Pflanzabständen (15 cm, 20 cm und 30 cm) in dreifacher Wiederholung in Rindenkultursubstrat (Tabelle 3) 25 cm unterhalb des Ursprungsniveaus gepflanzt (Abbildung 7). Die einzelnen Parzellen waren 3,2 m x 10 m groß. An drei Messorten innerhalb des Gewächshauses wurden in unterschiedlichen Bodentiefen (am Rhizom, 10 cm unterhalb des Rhizoms und 10 cm oberhalb des Rhizoms) alle 30 Minuten die Bodentemperaturen mittels computergestütztem Datenlogger (HP 34901 A, 20-Kanal Multiplexer) und pt-100 Sensoren (Fa. SfM Gerberg) in Vierleiterschaltung gemessen.

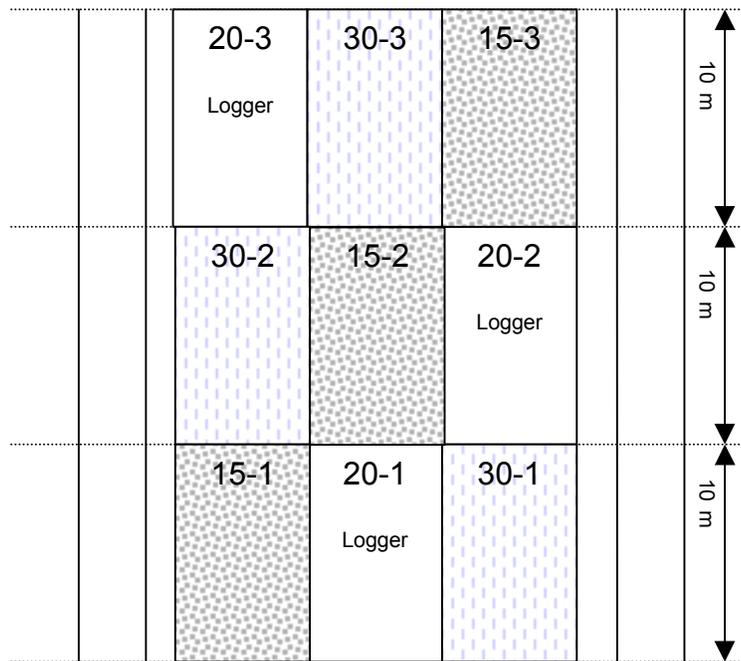


Abbildung 7: Variantenübersicht zum Pflanzabstand im Gewächshaus (Vetschau)

Tabelle 3: Nährstoffgehalte und pH-Wert des Rindenkultursubstrates (mg/l Boden) am 20.03.1998 im Bereich 0-30 cm

	N-Gehalt	P-Gehalt	K-Gehalt	Mg-Gehalt	pH-Wert
15 cm Pflanzabstand	310	330	580	484	5,9
20 cm Pflanzabstand	300	330	600	466	5,9
30 cm Pflanzabstand	320	380	540	493	5,9

Die Spargelpflanzen wurden praxisüblich kultiviert. Pflanzenschutzmaßnahmen, Düngungen nach Bodenproben sowie Bewässerung wurden durchgeführt.

Vor Erntebeginn wurde aufgedämmt. Während des Erntezeitraumes wurden die Spargeldämme mit schwarz-weißen Folien und zusätzlich mit weißen Polypropylen-Vliesen abgedeckt. Zum Anfang der Erntesaison kam die schwarze Seite der Folie nach oben, zum Ernteende wurde die weiße Seite nach oben gewendet.

Im Beobachtungszeitraum 2001 vom 19. Februar bis zum 28. Mai nahm die Bodentemperatur am Rhizom von 6°C auf 26°C zu. Zum Erntebeginn am 9. April lag die Temperatur am Rhizom bei 17°C und verringerte sich zum 25. April auf 13°C. Vom 10. Mai zum 17. Mai erhöhte sich die Temperatur von 17°C auf 24°C, vom 21. Mai zum 26. Mai auf 28°C und verminderte sich zum 28. Mai auf 26°C (Abbildung 8).

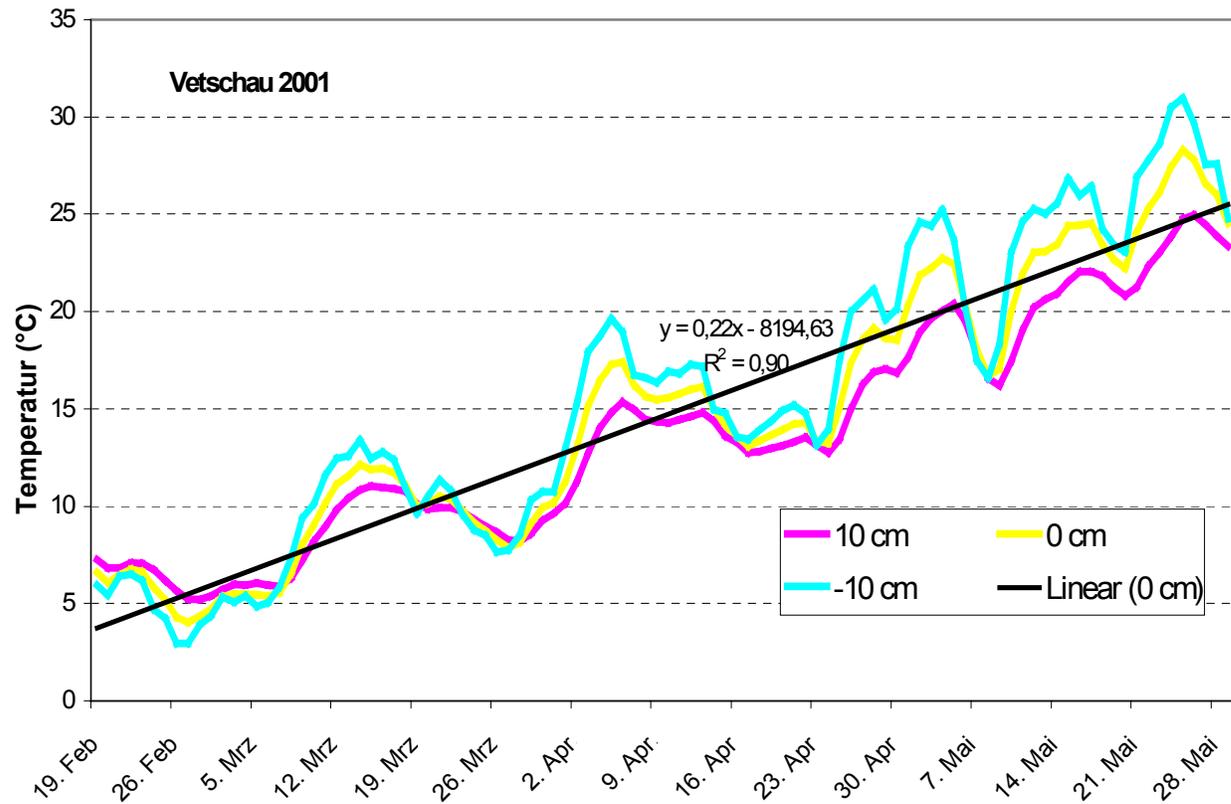


Abbildung 8: Temperaturverlauf vom 19. Februar 2001 bis 28. Mai 2001 im Gewächshaus in Vetschau 10 cm unterhalb des Rhizoms (-10 cm), am Rhizom (0 cm) und 10 cm oberhalb des Rhizoms (10 cm)

### 2.2.3 Kurzzeitlagerung von Spargel

Im Versuchsjahr 2001 wurde an drei Terminen (09.04.01, 17.05.01 und 28.05.01) Spargel der Sorte 'Backlim', welcher im Gewächshäusern in Vetschau (Fa. Spargelbau GmbH) kultiviert worden ist, für insgesamt vier Tage im Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau Großbeeren / Erfurt e. V. gelagert.

Variiert wurden Lagerbedingungen wie Verpackung, Lagertemperatur und Aufbereitungszustand (Abbildung 9). Als Verpackungsmaterialien kamen zum einen eine Polypropylenfolie (OPP-Coex-Flachfolie, innen Antifog beschichtet) der Stärke 30  $\mu\text{m}$ , mit einer Mikroperforation im Abstand von 15 x 15 mm zum Einsatz. Zum anderen wurde eine biologisch abbaubare Folie auf Cellulosebasis mit beidseitiger Nitrocellulose-Beschichtung eingesetzt (30  $\mu\text{m}$ ; UCB GmbH, Kerpen). Es wurden jeweils 450 g bis 550 g Spargel (22 cm Länge, Handelsklasse I) zu einer Einheit in dreifacher Wiederholung zusammengefasst.

Die Lagerung bei 2°C erfolgte in einer Klimazelle der Firma York International, Mannheim, (14 m<sup>3</sup> Rauminhalt) bei 95% Luftfeuchte. Die 20°C-Lagerung erfolgte in einem klimatisierbaren Raum (10 m<sup>3</sup> Rauminhalt) des Instituts für Gemüse- und Zierpflanzenbau Großbeeren / Erfurt e. V. bei 90-95% Luftfeuchte.

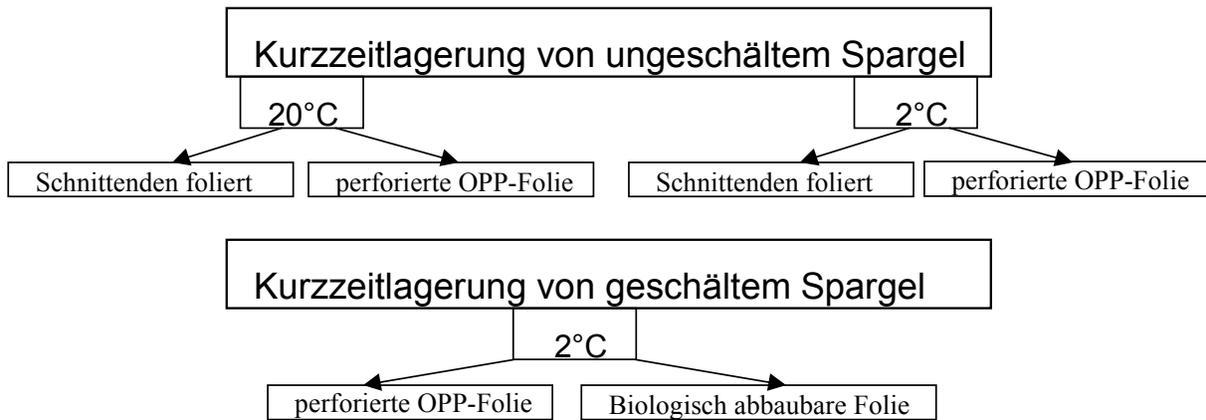


Abbildung 9: Bedingungen während einer viertägigen Lagerung von ungeschältem und geschältem (Convenience-)Spargel

## 2.3 Ernte

### Kulturgefäße

Der Erntetermin jeder einzelnen Spargelstange und damit der Ernteverlauf wurde dokumentiert. Maximal wurden zehn Stangen von einer Spargelpflanze geerntet. Erfolgte allerdings nach Erreichen einer Mindestanzahl von drei Stangen je Pflanze eine Erntepause von 15 Tagen zwischen der Ernte der letzten Stange und dem Erscheinen der nächsten Stange, wurde ebenfalls das Erntende dieser Pflanze festgelegt.

Soweit notwendig, wurde einmal täglich geerntet. Hierzu wurden die oben aufliegenden Folien von den Spargeldämmen aufgezogen. Um Verletzungen während des Stechvorganges an benachbarten Spargelstangen zu vermeiden, wurden die Stangen bis zur Schnittstelle freigelegt und geerntet. Durch diese Erntemethode konnten die jeweiligen Spargelstangen den Pflanzen eindeutig zugeordnet werden. Die Stangen wurden sofort mit feuchtem Papier abgedeckt und weiterverarbeitet.

### Gewächshaus

In Vetschau wurden umfangreiche Bonituren zur Ernte durchgeführt:

- a) zum Erntebeginn (13. April 2000, 09. April 2001)
- b) nach einer kühlen Temperaturphase während des Erntezeitraumes (18. April 2000, 17. Mai 2001)
- c) nach einer warmen Temperaturphase während des Erntezeitraumes (04. Mai 2000, 28. Mai 2001, Abbildung 8)

Die Ernte erfolgte an den Terminen variantenweise. Zur weiteren Verarbeitung wurde der Spargel mit Eis gekühlt und mit Papier abgedeckt zum Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau Großbeeren / Erfurt e. V. transportiert.

In der übrigen Zeit wurde die Ernte durch Betriebspersonal durchgeführt und das anfallende Material wurde gewogen und vermarktet.

Das Erntende im Gewächshaus im Jahr 2000 war in der 24. Kalenderwoche, im Jahr 2001 in der 23. Kalenderwoche. Festgelegt wurden diese Termine durch den

Betrieb nach klimatischen, nachfrageorientierten Gegebenheiten sowie den bisherigen Erntemengen.

### **Spargel zur Lagerung**

An drei Terminen im Jahre 2001 (09.04.01, 17.05.01 und 28.05.01) wurden von dem Betrieb in Vetschau 21 kg bzw. 46 kg tagesfrisch geernteter Spargel der Handelsklasse I (gewaschen und auf 22 cm Länge geschnitten) für Lagerungszwecke zur Verfügung gestellt. Die Spargelstangen wurden nach gekühltem Transport im Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau Großbeeren / Erfurt e. V. einzeln gewogen und zu Einheiten (450 g bis 550 g) gebündelt, entsprechend verpackt und gelagert. 12 bzw. 24 Einheiten wurden davon geschält und entsprechend gelagert. Am Erntetag wurden am Frischmaterial abschnittsweise Untersuchungen zur Gewebefestigkeit durchgeführt. Des Weiteren wurden als Kontrolle einzelne Abschnitte tiefgefroren und für weitere Untersuchungen bei  $-32^{\circ}\text{C}$  gelagert.

## **2.4 Frischgewicht und des Durchmesser**

Die einzelnen Spargelstangen aus den Kulturgefäßen wurden gewaschen und auf 22 cm Länge geschnitten. Anschließend wurde das Frischgewicht und der Durchmesser bei 11 cm (zur Einteilung in die Handelsklasse) jeder einzelnen Stange dokumentiert. Die einzelnen Spargelstangen aus dem Gewächshaus in Vetschau wurden gewogen und der Durchmesser dokumentiert.

Für den Lagerversuch wurde das Frischgewicht jeder gelagerten Einheit, bestehend aus mehreren Spargelstangen, zum Zeitpunkt der Einlagerung gemessen, weitere Messungen erfolgten alle 24 Stunden bis zum Tag der Auslagerung.

## **2.5 Äußere Qualitätsmerkmale**

### **2.5.1 Einordnung des Spargels nach Handelsklassen**

Entsprechend der Sortiernormen und der besonderen Merkmale für weißen, langen Spargel wurde das geerntete Material bonitiert (Anlage). Für geschälten (Convenience-)Spargel bestehen keine Qualitätsnormen. Convenience-Produkte unterliegen der Lebensmittel-Verordnung (Richtlinie 93/94/EWG, geändert 2/98). Die Richtlinie enthält Hygienevorschriften für Lebensmittel.

### **2.5.2 Farbmessungen an gelagertem Spargel**

Während der Lagerung kann es zu Veränderungen der Schalenfarbe von Spargel kommen. Daher wurden zum Zeitpunkt der Einlagerung und zur Auslagerung Farbmessungen am Schnittende, am mittleren Stangenabschnitt und am Kopf in dreifacher Wiederholung durchgeführt. Farbmessungen und -beschreibungen werden von vielen Faktoren wie der Art der Lichtquelle, dem individuellen Farbempfinden oder dem Betrachtungswinkel beeinflusst. Um diese Einflussfaktoren auszuschließen,

wurden Farbmeßsysteme entwickelt, die auf den Normfarbwerten XYZ basieren und bei definiertem Licht gelten. Die Normfarbwerte beruhen darauf, dass das Auge Sinneszellen für die Wahrnehmung der drei Primärfarben Rot, Grün und Blau besitzt (FRANCIS 1980), wobei alle von uns wahrgenommenen Farben aus einer Verschmelzung dieser selektiven Sinneseindrücke hervorgehen (MINOLTA 1996). Die Normfarbwerte sind zwar ein brauchbares Maß für den Farbeindruck, eine einfache und praxisgerechte Darstellung ist jedoch nicht möglich. Daher wurde von der CIE (Internationale Beleuchtungs-Kommission) zusätzlich das Yxy-Farbsystem und das L\*a\*b\*-Farbsystem entwickelt (BROCKES 1980, HENKEL und SCHRECKENBACH 1986, HILS 1991).

Das L\*a\*b\*-Farbsystem hat den Vorteil, dass es dem menschlichen Auge mehr nachempfunden wird. Hierbei steht L\* für die Helligkeit, während a\* und b\* sowohl Farbton als auch die Sättigung angeben. Die Sättigung ergibt sich aus der Gleichung  $C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$ .

Die Farbmessungen wurden mit einem Tristimulus-Farbmessgerät der Firma Minolta (Chroma-Meter CR-300) vorgenommen. Das Tristimulusverfahren (Dreibereichsverfahren) wird, wie zahlreiche Veröffentlichungen zeigen, zur Farbmessung bei einer großen Anzahl von Produkten und gartenbaulichen Erzeugnissen verwendet (FRANCIS und CLYDESDALE 1975, HENKEL und SCHRECKENBACH 1986, HUNT 1987, HILS 1991, MCGUIRE 1992).

### **2.5.3 Bestimmung der Keimzahl an gelagertem Spargel**

Gelagerter Spargel wurde hinsichtlich der Entwicklung von Mikroorganismenpopulationen in Zusammenarbeit mit der Technischen Universität untersucht. Die Spargelstangen wurden vor (Kontrolle) bzw. nach der Lagerung in sterilen Petrischalen mit sterilen Messern und Gabeln in kleine Stücke geschnitten. Jeweils 10 g Spargel wurden mit 90 g Ringer-Lösung (Merck Nr. 1.15525) in Stomacher-Beutel (Stomacher 400, Fa. Seward) gefüllt. Anfangs wurde das Material auf kleinster Stufe („low“) für 30 sec. zerkleinert, danach 2 Minuten auf normaler Stufe. Dies entspricht einer Verdünnung von  $10^{-1}$ . Es folgten weitere Verdünnungen (dekadisch). Anschließend wurde das Material auf Agar-Platten (Std. I-Nähragar, Merck Nr. 1.07881) gegeben, bebrütet (72 Stunden bei 30°C) und ausgezählt (Gesamtkeimzahl).

### **2.5.4 Messung der Gaszusammensetzung und –veränderung in Folienverpackungen**

Während der Lagerung wurden kontinuierlich Messungen zur Zusammensetzung der Gasatmosphäre in den Verpackungen durchgeführt.

Die Messungen erfolgten nach 30 Minuten, nach einer Stunde, nach 2 Stunden, nach 3 Stunden, nach 10 Stunden und dann alle 24 Stunden nach Beginn der Einlagerung. Die Messungen erfolgten mit einem PBI-Dansensor (41100 Ringsted Denmark), Typ: CheckMate 9900 O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>.

## 2.6 Innere Qualitätsmerkmale

Zur Untersuchung innerer Qualitätsmerkmale wurden die einzelnen Spargelstangen in drei gleich lange Abschnitte unterteilt. Jeder Abschnitt, nachfolgend als Kopf, Mitte bzw. Basis bezeichnet, wies eine Länge von 7 cm auf. Der verbleibende Rest von 1 cm wurde entsprechend der praxisüblichen Verwendung von Spargel im Haushalt verworfen.

### 2.6.1 Physikalische Untersuchungen

Zur Bestimmung der Festigkeit des Spargelgewebes wurden Messungen mit der Universal-Prüfmaschine der Firma Instron durchgeführt. Diese wird üblicherweise für die Werkstoffprüfung verwendet, findet aber auch zur Texturanalyse von Lebensmitteln (BOURNE 1978, 1982) und Spargel (BACKINGER et al. 1957, HEYES ET AL. 1998, u. a.) Verwendung. Mit verschiedenen Werkzeugeinsätzen wurden an den 7 cm langen Spargelabschnitten Kraft-Weg-Profile bis zum Bruch des Spargelgewebes aufgenommen.

#### Probenvorbereitung

Jeweils die erste und soweit vorliegend, die fünfte und die neunte Stange jeder Pflanze wurden abschnittsweise zu Messungen der Gewebefestigkeit verwendet. Die übrigen Stangenabschnitte wurden einzeln tiefgefroren und für weitere, chemische Untersuchungen bei  $-32^{\circ}\text{C}$  gelagert.

#### Kramer-Scher-Zelle

Die Kramer-Scherzellenmessung (Foto 4) ist eine etablierte Methode zur Bestimmung der Scherfestigkeit von Geweben. Eingesetzt wird diese quantitative Methode bei Fleischwaren (u.a. ZHANG und MITTAL 1994) aber auch bei einer Vielzahl von Obst und Gemüse (WILEY et al. 1956, SHARMA und WOLFE 1975, CLORE et al. 1976, BOURNE 1982, SANCHEZ-PIEDA-INFESTANS et al. 1994, MCGLYNN et al. 1993, SÁNCHEZ et al. 1995, RODRIGO et al. 1997). Da der Durchmesser der Spargelstange auf die Festigkeit des Gewebes Einfluss hat (BOURNE 1982, CLORE et al. 1976) wurden nur Stangen verwendet, die zur Handelsklasse I zählten (größer als 14 mm).

Berechnet wurden die Maximalkraft pro Einwaage [N/g] als Scherfestigkeit und die Fläche unter der gesamten Kraft-Weg-Kurve bezogen auf die Einwaage [J/g] als Gesamtenergie (Tabelle 4).

Tabelle 4: Parameter bei der Scherung nach Kramer

	Kramer-Scher-Zelle
Messgrößen	Scherfestigkeit, Gesamtenergie
Art	Druckversuch
Weg	30 mm
Geschwindigkeit	100 mm/ min
Berechnung	Maximalkraft/ g Einwaage [N/g] Energie bis zum Maximum/ g Einwaage [N/g]



Foto 4: Kramer-Scher-Zelle

### Warner-Bratzler Scherung

Die Warner-Bratzler-Scherung (Foto 5) erfolgte punktuell durch eine 0,3 cm dicke Stahlscheibe. Diese weist mittig ein rundes Loch, welches zum unteren Ende als Dreieck ausläuft. Die Scherung nach Warner-Bratzler wird überwiegend zur Festigkeitsmessung von Fleisch eingesetzt (u.a. ZHANG und MITTAL 1993), findet aber auch bei anderen Lebensmitteln Anwendung. Auch bei Spargel wurden Messungen nach Warner-Bratzler durchgeführt (WILEY et al. 1956, SHARMA und WOLFE 1975, CLORE et al. 1976, SANCHEZ-PINEDA-INFANTAS et al. 1994).

Die gemessenen Scherkräfte bei Spargel wurden auf den Durchmesser bezogen, da dieser die Messergebnisse beeinflusst (BOURNE 1982, CLORE et al. 1976). Es wurden nur Stangen verwendet, die zur Handelsklasse I zählten (größer als 14 mm).

Berechnet wurden die Maximalkraft pro Durchmesser [N/cm] als Scherfestigkeit und die Fläche unter der gesamten Kraft-Weg-Kurve bezogen auf den Durchmesser [J/cm] als Gesamtenergie (Tabelle 5).

*Tabelle 5: Parameter bei der Scherung nach Warner-Bratzler*

	Warner-Bratzler-Scherung
Messgrößen	Scherfestigkeit, Gesamtenergie
Art	Druckversuch
Weg	30 mm
Geschwindigkeit	100 mm/ min
Berechnung	Maximalkraft/ cm Probendurchmesser [N/cm] Energie bis zum Maximum/ cm Probendurchmesser [J/cm]



Foto 5: Instron-Universalprüfmaschine mit Scherblatt nach Warner-Bratzler

## 2.6.2 Chemische Untersuchungen

### Probenvorbereitung

Das gefrorene Spargelmaterial wurde für die weiteren Analysen gefriergetrocknet (Tabelle 6), mit einer Feinmühle gemahlen, in Rollrandgläser gefüllt und im Exsikkator trocken gelagert. Während der Lagerung bei  $-35^{\circ}\text{C}$  traten nach KIDMOSE und KAACK (1999) keine signifikanten Veränderungen des Ballaststoffgehaltes ein.

Tabelle 6: Parameter zur Gefriertrocknung

Gerätebezeichnung	BETA 1-16, Fa. Christ
Heizplattensolltemperatur	+ $20^{\circ}\text{C}$
Kühlaggregattemperatur	- $55^{\circ}\text{C}$
Trocknungsstunden	> 72

### Ballaststoffe

Die Bestimmung der Ballaststoffe erfolgte nach SOUTHGATE (1995) mit MES/TRIS Puffer. Hierbei handelt es sich um eine amtliche Methode nach §35 Lebensmittelbedarfsgegenstandegesetz (LMBG; AOAC 991.43, 1991). Diese amtliche Methode beschreibt ein enzymatisch-gravimetrisches Verfahren zur Bestimmung der Gesamtballaststoffe bzw. der löslichen und unlöslichen Ballaststoffe in Lebensmitteln.

Unter dem Ballaststoffgehalt wird der nach dem hier beschriebenen Verfahren ermittelte Anteil an organischen Bestandteilen verstanden, der von den eingesetzten Enzymen unter den Bedingungen der Analyse nicht hydrolisiert wird. Es wurden die

Gesamtballaststoffgehalte bestimmt. Es handelte sich dabei vor allem um lösliche und unlösliche Nichtstärke-Polysaccharide (Cellulose, Hemicellulose, Pektinstoffe, Hydrokolloide) sowie resistente Stärke und Lignin. Nach SCHWEIZER (1979, 1986) sind dies Hauptbestandteile der pflanzlichen Zellwand.

Die Analysen wurden mit zwei Wiederholungen durchgeführt. Das Probenmaterial wurde mit hitzebeständiger  $\alpha$ -Amylase inkubiert, wodurch die Stärke verkleisterte und teilweise abgebaut wurde. Durch Zugabe einer Protease wurde danach das Protein und anschließend die restliche Stärke mittels Amyloglucosidase abgebaut.

Die löslichen Ballaststoffe wurden mit der vierfachen Menge an Ethanol (95%) ausgefällt, der Niederschlag filtriert und in geeigneter Weise gewaschen. Die Rückstände wurden anschließend getrocknet und gewogen.

Im Rückstand des ersten Probenansatzes wurden mittels Stickstoffbestimmung das Protein, in dem zweiten Ansatz die Mineralstoffe bestimmt. Die nach Abzug der Werte für Protein, Mineralstoffe und Blindversuch erhaltene mittlere Masse der beiden Rückstände entsprach dem Gehalt an Ballaststoffen im Erzeugnis.

#### Proteingehalt

Zur Bestimmung des Proteingehaltes nach Dumas wurden 80 mg des Rückstandes eines Filtertiegels verwendet. Durch Vorversuche konnte gezeigt werden, dass die Stickstoffbestimmung nach Kjeldal (DAUTEL et al. 1996, SARICH et al. 1996, BOTOR et al. 1997, GRANGER 1997, SIMMONE et al. 1997, WILES et al. 1998, SIMMONE et al. 1998) durch die trockene Verbrennung nach Dumas mit einem Elementaranalyser Vario EL ersetzt werden kann (SCHEER et al. 2002). Der Stickstoffgehalt jeder Probe wurde mit dem matrixspezifischen Proteinfaktor (6,25) multipliziert und diente zur Korrektur des Gehaltes an Ballaststoffen in den Proben.

#### Mineralstoffgehalt

Der zweite Rückstand wurde im Filtertiegel bei 525°C im Muffelofen für 5 Stunden geglüht. Nach dem Abkühlen wurde ausgewogen und der Mineralstoffgehalt in mg berechnet.

#### Überprüfung der Methode nach §35 LMBG mittels Standardsubstanzen

Mittels Reinsubstanzen wie Cellulose, Arabinogalaktan, Pektin, Saccharose, Fructose, Glucose und Stärke wurden Mischungen in verschiedenen Verhältnissen hergestellt (Tabelle 7) und entsprechend untersucht. Hierbei konnte gezeigt werden, dass nach der enzymatisch-gravimetrischen Bestimmung der Ballaststoffe die Bestandteile zu 94,6% - 98% wiedergefunden worden sind.

Tabelle 7: Wiederfindungsrate von Gerüstkohlenhydraten nach enzymatisch-gravimetrischer Bestimmung der Ballaststoffe nach § 35 LMBG

Reinsubstanz	Gemisch 1	Gemisch 2	Gemisch 3	Gemisch 4
	Einwaage (g)	Einwaage (g)	Einwaage (g)	Einwaage (g)
Cellulose	0,5069	0,5342	0,8090	
Stärke	0,2020	0,2514	0,3051	1,1518
Saccharose	0,1007	0,1282		0,2305
Glucose	0,1051	0,1421		
Fructose	0,1072	0,1181		
Arabinogalactan		0,1011	0,1035	
Pektin		0,2166	0,1220	0,1234
<b>Summe</b>	<b>1,0219</b>	<b>1,4917</b>	<b>1,3396</b>	<b>1,5057</b>
<i>nach Analyse (theoretisch)</i>	<i>0,5069</i>	<i>0,8519</i>	<i>1,0345</i>	<i>0,1234</i>
<i>nach Analyse</i>	<i>0,4967</i>	<i>0,8334</i>	<i>0,9787</i>	<i>0,1203</i>
<b>Wiederfindung (%)</b>	<b>97,99</b>	<b>97,83</b>	<b>94,61</b>	<b>97,49</b>

### Gerüstkohlenhydrate und Lignin

Die Untersuchungen zum Gehalt einzelner Gerüstkohlenhydrate wie Cellulose, Hemicellulose und Pektin sowie Lignin wurde im Forschungsinstitut für Gemüse in Skierniewice (Polen) durchgeführt. Als Zwischenstufen wurden die Gehalte des in Säuredetergenz unlöslichen Rückstandes (ADF, VAN SOEST 1963) und in Neutraldetergenz nicht löslichen Rückstandes (NDF, McQUEEN und NICHOLSEN 1979) bestimmt. Als Zellwandsubstanz (Hemicellulose, Cellulose und Lignin) gilt derjenige Stoffanteil, der sich in Neutraldetergenz nicht auflösen lässt, der in Lösung gehende Anteil sind die Zellinhaltsstoffe (Rohprotein, Rohfett, wasserlösliche Kohlenhydrate und Stärke sowie organische Säuren) und Pektin. Eine weitere Auftrennung der Zellwandsubstanz erfolgt durch Ermittlung des in Säuredetergenz unlöslichen Rückstandes (Cellulose und Lignin).

### Cellulose

Cellulose ist ein wasserunlösliches Polymerisat aus  $\beta$ -D-Glucose mit 1,4-Verknüpfungen (Libbert 1987). Es ist das mengenmäßig wichtigste Strukturpolysaccharid der Pflanze.

Die Bestimmung erfolgte nach VAN SOEST (1963).

### Hemicellulose

Bei Hemicellulose handelt es sich um ein heterogenes Gemisch von wasserunlöslichen Polysacchariden, meist Heteroxylane und verzweigte  $\beta$ -Glucane (MOHR und SCHOPFER 1992).

Der Gehalt an Hemicellulose wurde wie folgt berechnet:

$$\% \text{Hemicellulose} = \% \text{NDF} - \% \text{ADF}$$

### Pektin

Bei Pektinen handelt es sich chemisch um eine heterogene Gruppe wasserlöslicher saurer Polysaccharide, die durch divalente Kationen (vor allem  $\text{Ca}^{2+}$ ) zu einem Netzwerk verknüpft werden können. Es werden folgende Pektinfraktionen unterschieden: Homogalacturonane, Rhamnogalacturonane, Arabinane und Galactane (MOHR und SCHOPFER 1992). Pektin dient als Gerüstsubstanz.

Die Bestimmung des Gesamtpektingehaltes erfolgte kolorimetrisch nach KING (1987).

### Lignin

Lignin gehört in die Gruppe der Phenole (JACOB ET AL. 1989). Lignin ist ein Mischpolymerisat, das im wesentlichen aus drei monomeren Bausteinen (Cumaryl-, Coniferyl- und Sinapyalkohol) aufgebaut ist. Die im Cytoplasma erfolgende Biosynthese der monomeren Ligninbausteine nimmt ihren Ausgang von den aromatischen Aminosäuren Phenylalanin und Tyrosin. Phenylalanin geht durch ein Enzymkomplex (Phenylalanin-Ammoniak-Lyase und Hydroxylase) zu p-Cumarsäure über (FREUDENBERG 1959). Die Polymerisation zu einem dreidimensionalen Makromolekül wird offenbar durch die Verfügbarkeit von Monomeren in der Zellwand begrenzt (MOHR und SCHOPFER 1992).

Die Bestimmung des Ligningehaltes erfolgte nach der offiziellen Analysenmethode gemäß AOAC (1990).

### Zuckerbestimmungen

Die Bestimmung von Saccharose, Glucose und Fruktose erfolgte durch enzymatische Katalyse nach BOEHRINGER MANNHEIM (1995) und spektralphotometrischer Messung der Konzentration an Nicotinamid-adenin-dinucleotidphosphat (NADPH) bei 340 nm.

### Trockensubstanz

Zur Bestimmung des Trockensubstanzgehaltes wurden die tiefgefrorenen Proben eingewogen und in der Gefriertrocknungsanlage bis zur Gewichtskonstanz (>72 Stunden) getrocknet.

Zur Überprüfung wurden Restwasserbestimmungen an ausgewählten Proben durchgeführt. Hierfür wurde Probenmaterial bei 105°C für 6 Stunden getrocknet. Es zeigte sich, dass bei keiner der Proben der Restwassergehalt >0,1% war.

Die Trocknung mittels Gefriertrocknungsanlage mehr als 72 Stunden war demnach ausreichend.

## **2.6.3 Sensorische Untersuchungen**

Um eine Aussage über die sensorischen Eigenschaften treffen zu können, genügt die Kenntnis der Inhaltstoffgehalte und physikalischen Eigenschaften alleine nicht. Zu kompliziert ist das Wechselspiel der wirksamen Einflüsse.

STONE und SIDEL (1974, 1993) entwickelten die quantitative deskriptive Analyse, um die sensorischen Eigenschaften von Lebensmitteln wertungsfrei beschreiben zu können und die Produktunterschiede quantitativ messbar zu machen. Das Ziel dieser

Analyse ist die Erstellung eines sensorischen Profils, in dem der sensorische Gesamteindruck des zu beschreibenden Produktes in den wesentlichen Dimensionen (Aussehen, Geruch, Geschmack, Mundgefühl und Nachgeschmack) bewertet wird. Zur Bestimmung des sensorischen Profils müssen geschulte Prüfer eingesetzt werden. In Zusammenarbeit mit der Fa. Prosens in Teltow wurden 12 (aus über 100) geeignete Personen ausgewählt und ausgebildet. Als Ergebnis der Produktschulung stand ein Katalog von 74 Merkmalen zur Verfügung (Übersicht 1).

*Übersicht 1: Katalog mit Begriffen zu den Oberbegriffen Geruch, Geschmack, Nachgeschmack und Mundgefühl*

<b>Geruch</b>
spargeltypisch, süßlich, säuerlich, scharf (Rettich), kohllartig, kartoffelartig, brotartig, grün/grasig, heuartig, senfgurkenartig, fruchtig, waldbodenartig, muffig/modrig, hefig/vergoren, nussig, chemisch
<b>Mundgefühl</b>
Bissfestigkeit, schleimig, mehlig, saftig
<b>Geschmack</b>
spargeltypisch, kohllartig, kartoffelartig, brotartig. Süß, sauer, bitter, scharf (Rettich), hefig/vergoren, senfgurkenartig, grüne Erbse, waldbodenartig, heuartig, muffig/modrig, grün/grasig, fruchtig, nussig, chemisch
<b>Geschmack (Spitze)</b>
spargeltypisch, süß, sauer, scharf (Rettich), bitter, fruchtig, grün/grasig, grüne Erbse, kartoffelartig, kohllartig, heuartig, brotartig, waldbodenartig, nussartig, muffig/modrig, chemisch
<b>Nachgeschmack</b>
spargeltypisch, kohllartig, bitter, kartoffelartig, grüne Erbse, chemisch

Mit dessen Hilfe konnten die Prüfer die Intensität aller wahrnehmbaren Geruchs-, Geschmacks-, Mundgefühls- und Nachgeschmacksattribute unterscheiden und reproduzierbar quantitativ angeben. Es stellte sich heraus, dass sich die geschmacklichen Eigenschaften der Spargelspitze stark von denen der restlichen Stange unterschieden, so dass sie getrennt untersucht werden mussten.

Die Untersuchungen wurden an ungelagertem (28. Mai 2001) und viertägig gelagertem Spargel (01. Juni 2001) durchgeführt.

## 2.7 Verbraucherbefragungen

Auf der Internationalen Grünen Woche 2001 in Berlin wurden 163 Verbraucher zu Spargel befragt. Die Befragten sollten zum einen beurteilen, wie wichtig ihnen die Eigenschaften von Spargel wie Qualität, Geschmack, Preis, Deutsche Herkunft und Frische sind. Zum anderen wurden sie zum Auftreten von Holzigkeit bei Spargel befragt. Zusätzlich war zu beantworten, ob das Schälen von weißem Spargel vom Kauf

abhält, bzw. ob die Verbraucher frischen, weißen Spargel in geschälter Form fertig verpackt kaufen würden (Convenience-Spargel).

## **2.8 Statistische Methoden**

Die statistische Auswertung der Versuche erfolgte mit Hilfe eines Personalcomputers. Hierfür stand das Programmpaket SPSS 10.0.7 für Windows zur Verfügung. Zum Einsatz kamen dabei der F-Test, mehrfaktorielle Varianzanalysen und Faktoralysen. Die Mittelwertvergleiche wurden (Voraussetzung: Varianzhomogenität und Normalverteilung) mit dem Duncan-Test durchgeführt.

Korrelationsrechnungen und Regressionsanalysen wurden wie in 'SPSS - DURCHFÜHRUNG FORTGESCHRITTENER STATISTISCHER VERFAHREN (RRZN 2001)' beschrieben, erstellt.

In den Abbildungen sind die Mittelwerte mit dem Standardfehler (+1), in den Tabellen die Mittelwerte mit signifikanten Unterschieden nach Duncan dargestellt. Gleiche Buchstaben symbolisieren keine signifikanten Unterschiede.

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Einfluss von Kulturmaßnahmen auf Ernte und Produktqualität

##### 3.1.1 Einfluss der Bodentemperatur

###### Erntebeginn und -verlauf

Nachfolgende Abbildungen zeigen den Einfluss konstanter Bodentemperaturen auf den Erntebeginn von Spargel. Im ersten Teil (Abbildungen 10 bis 12) werden gesondert die Einflüsse der Unterboden-, der Rhizom- und der Oberflächentemperatur unter relativ homogenen Bodentemperaturverhältnissen dargestellt. So war die Temperaturdifferenz zwischen Unterboden- und Oberflächentemperaturmessstelle nicht größer als 5°C.

In den Abbildungen 13 und 14 werden zusätzlich die Auswirkungen weiter Temperaturprofile auf den Erntebeginn der Jahre 2000 und 2001 gezeigt.

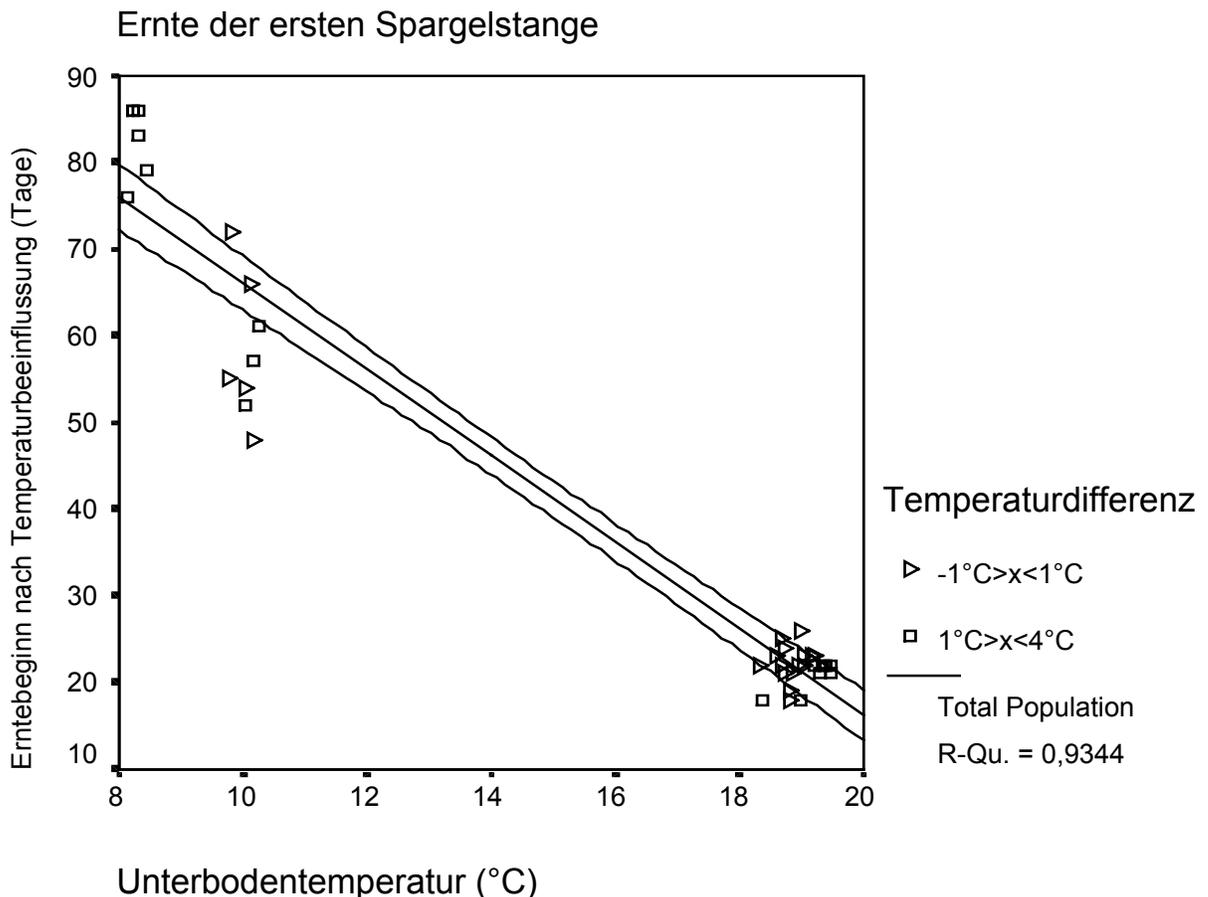


Abbildung 10: Einfluss der Unterbodentemperatur auf den Erntebeginn nach der Temperaturbeeinflussung bei einer maximalen Differenz zwischen Oberflächen- und Unterbodentemperaturen von 5K (Jahr: 2001).

Zwischen dem Erntebeginn und der Bodentemperatur des Jahres 2001 bestanden signifikante Zusammenhänge. Die Variabilität der ersten Ernte des Jahres von Spargel ist zu 97% (Tabelle 8) aus der Variabilität der Unterbodentemperatur erklärbar.

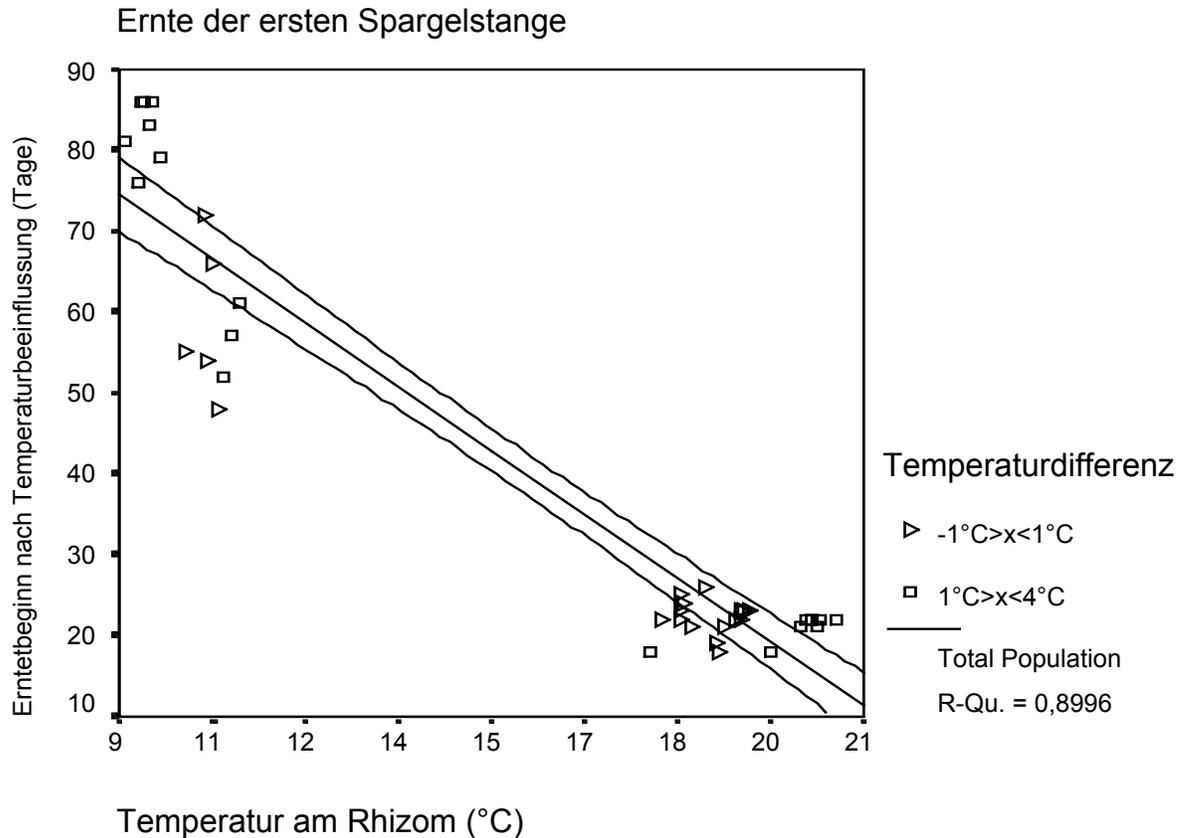


Abbildung 11: Einfluss der Temperatur am Rhizom auf den Erntebeginn nach der Temperaturbeeinflussung bei einer maximalen Differenz zwischen Oberflächen- und Unterbodentemperaturen von 5K (Jahr: 2001).

Die Variabilität der ersten Ernte des Jahres 2001 von Spargel ist zu 95% (Tabelle 8) aus der Variabilität der Temperatur am Rhizom erklärbar. Hohe Temperaturen am Rhizom führten zu einer frühen Spargelernte. So erfolgte die erste Spargelernte bei Temperaturen über 19°C nach 18 Tagen nach Beginn der Temperaturbeeinflussung. Bei 9,5°C hingegen setzte die Ernte erst nach 75 Tagen ein.

Tabelle 8: Zusammenhang zwischen der ersten Spargelernte und der Unterboden-, Rhizom- und Oberflächentemperatur

Variante	Signifikanz	Korrelationskoeffizient	Schätzfunktion	Definitionsbereich
Unterbodentemperatur	0,000	-0,967**	$y = -4,979x + 115,862$	8,3°C - 19,4 °C
Rhizomtemperatur	0,000	-0,948**	$y = -5,272x + 122,068$	9,4°C - 20,1°C
Oberflächentemperatur	0,000	-0,917**	$y = -4,965x + 120,890$	10,4°C - 21,6°C

\*\*Korrelation ist signifikant bei  $\alpha = 0,05$

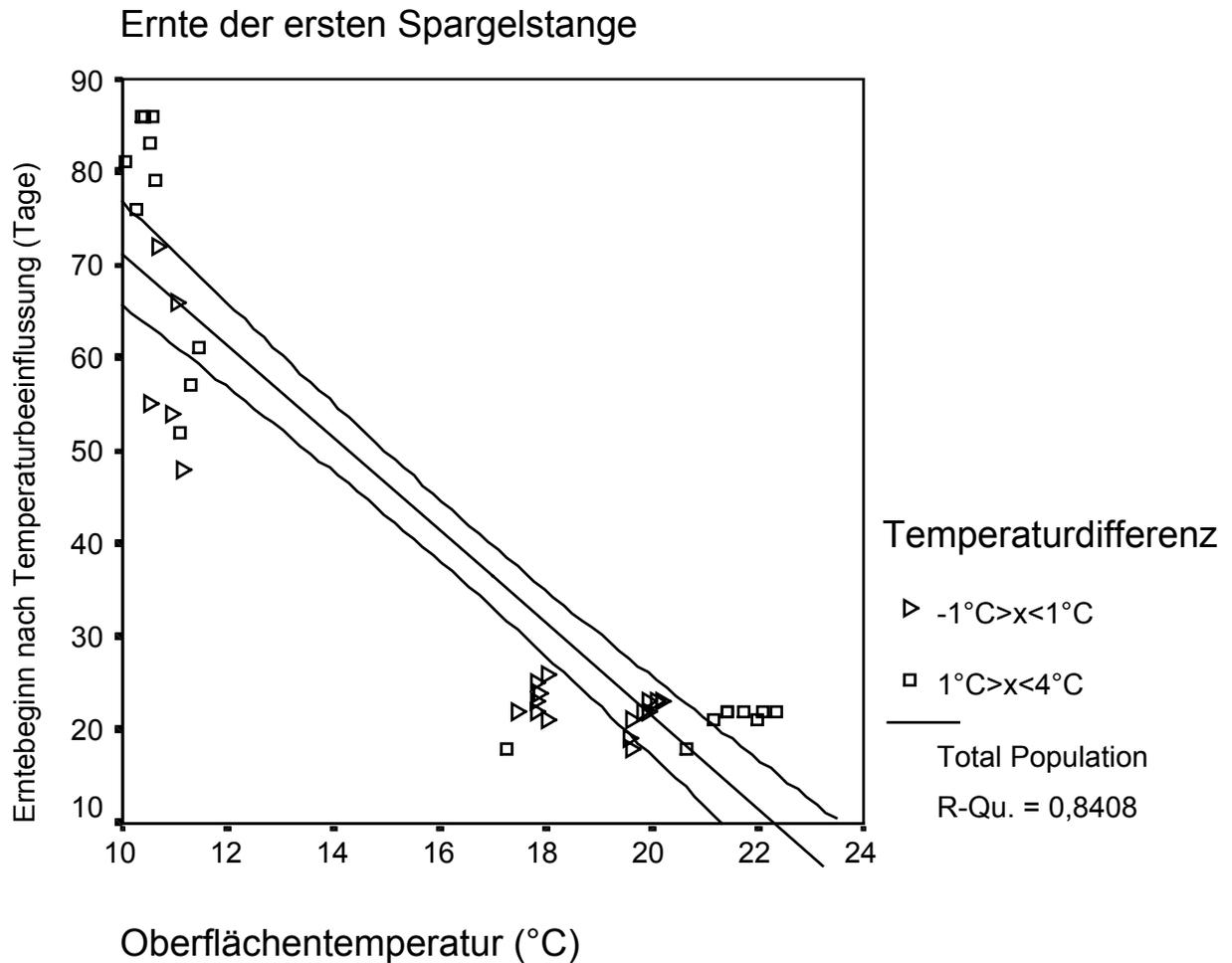


Abbildung 12: Einfluss der Oberflächentemperatur auf den Erntebeginn nach der Temperaturbeeinflussung bei einer maximalen Differenz zwischen Oberflächen- und Unterbodentemperaturen von 5K (Jahr: 2001).

Die Variabilität der ersten Ernte des Jahres 2001 von Spargel ist zu 92% (Tabelle 8) aus der Variabilität der Oberflächentemperatur erklärbar.

In den Abbildungen 13 (Jahr 2000) bzw. 14 (Jahr. 2001) ist der Zusammenhang zwischen Temperatur am Rhizom und Erntebeginn von Spargel unter Einbeziehung weiter Temperaturdifferenzen dargestellt. So variierte der Erntebeginn von Spargel bei weiten positiven Temperaturdifferenzen ( $>4^{\circ}\text{C}$ ) zwischen Unterboden und Oberboden um ca. 30 Tage. Aber auch bei umgekehrten Verhältnissen kam es zu einer großen Streuung. Bei ca.  $15,5^{\circ}\text{C}$  Temperatur am Rhizom (Unterbodentemperatur ca.  $17,5^{\circ}\text{C}$  und Oberflächentemperatur ca.  $13^{\circ}\text{C}$ ) begann die Spargelernte bereits nach 26 Tagen nach Beginn der Temperaturbeeinflussung, konnte aber auch erst nach 53 Tagen einsetzen.

Zu 90% kann die Variabilität der ersten Ernte von Spargel des Jahres 2001 (Jahr 2000: 83%) aus der Variabilität der Temperatur am Rhizom unter Beachtung weiter Temperaturdifferenzen erklärt werden.

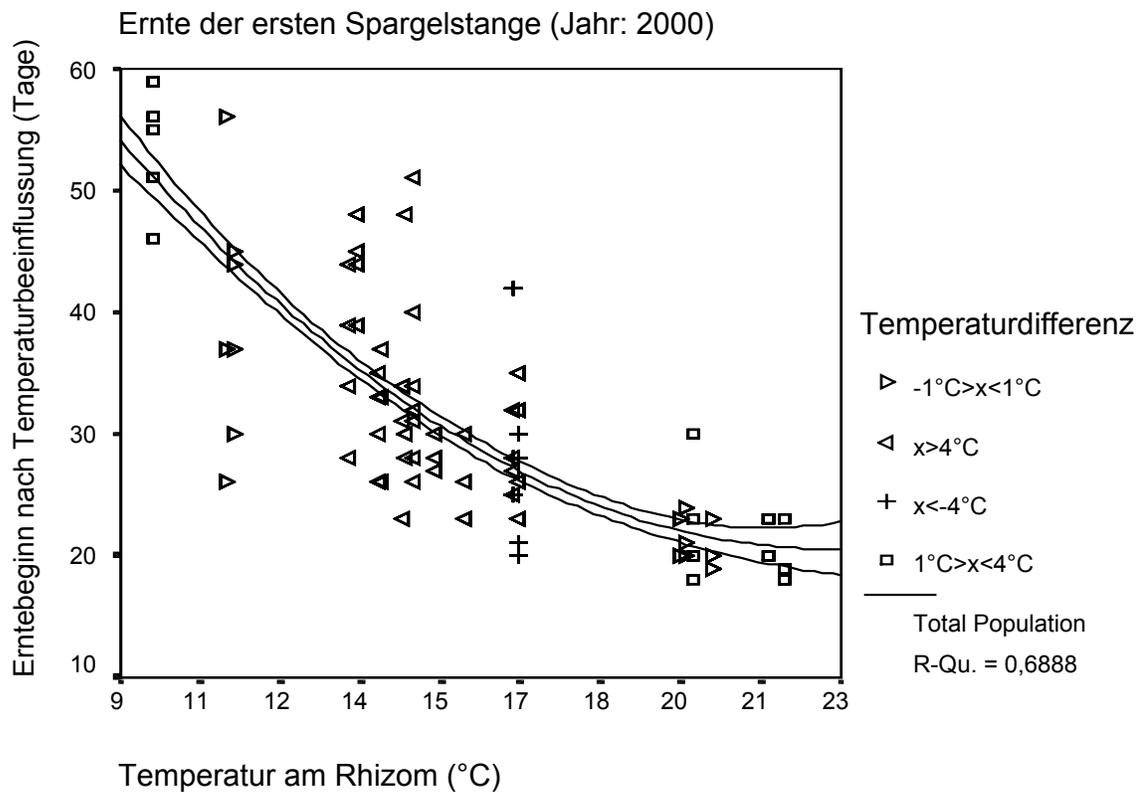


Abbildung 13: Einfluss der Temperatur am Rhizom auf den Erntebeginn nach Beginn der Temperaturbeeinflussung unter Beachtung der Differenzen zwischen Oberflächen- und Unterbodentemperaturen (Jahr: 2000)

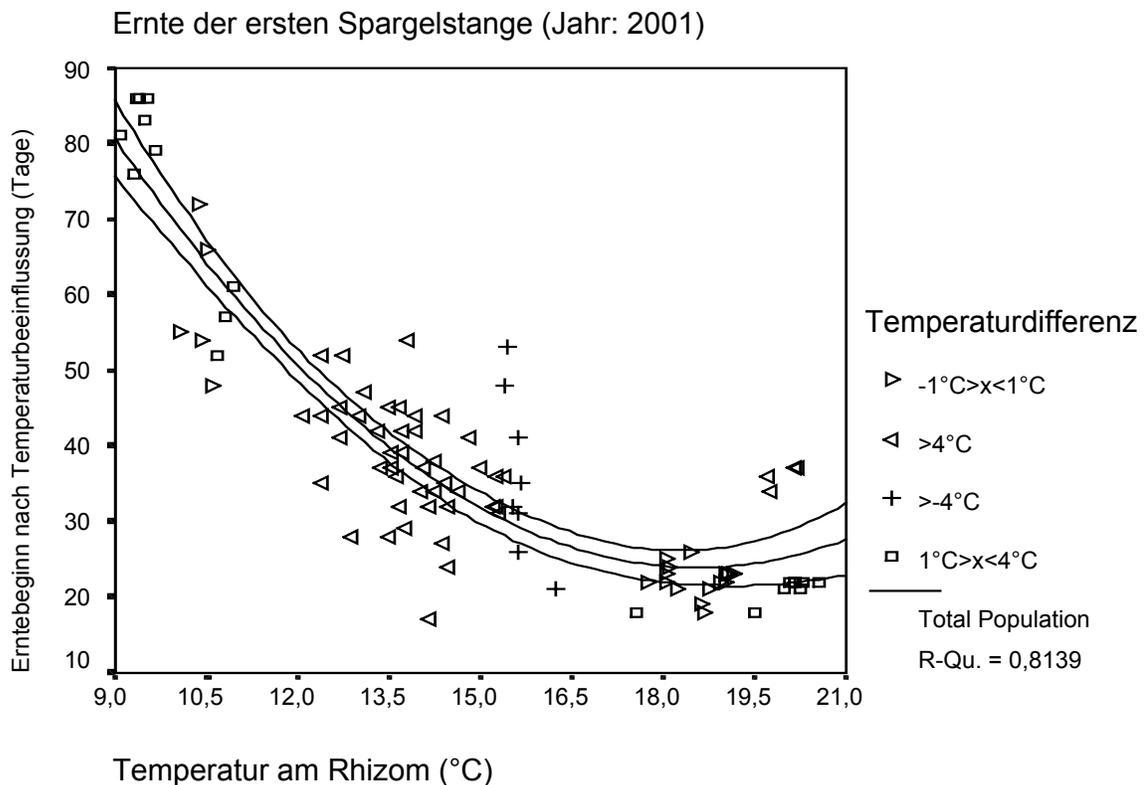
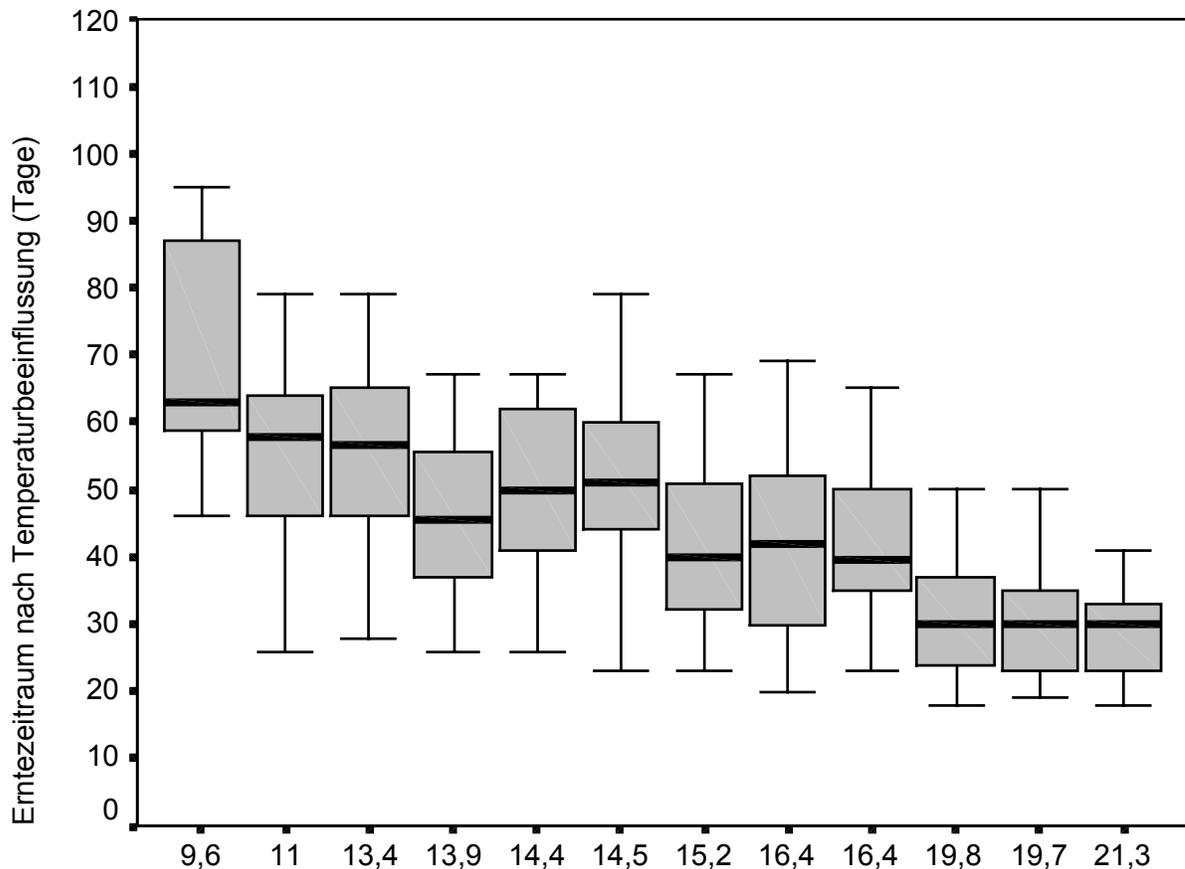


Abbildung 14: Einfluss der Temperatur am Rhizom auf den Erntebeginn nach Beginn der Temperaturbeeinflussung unter Beachtung der Differenzen zwischen Oberflächen- und Unterbodentemperaturen (Jahr: 2001)



Temperatur am Rhizom (°C) / Jahr: 2000

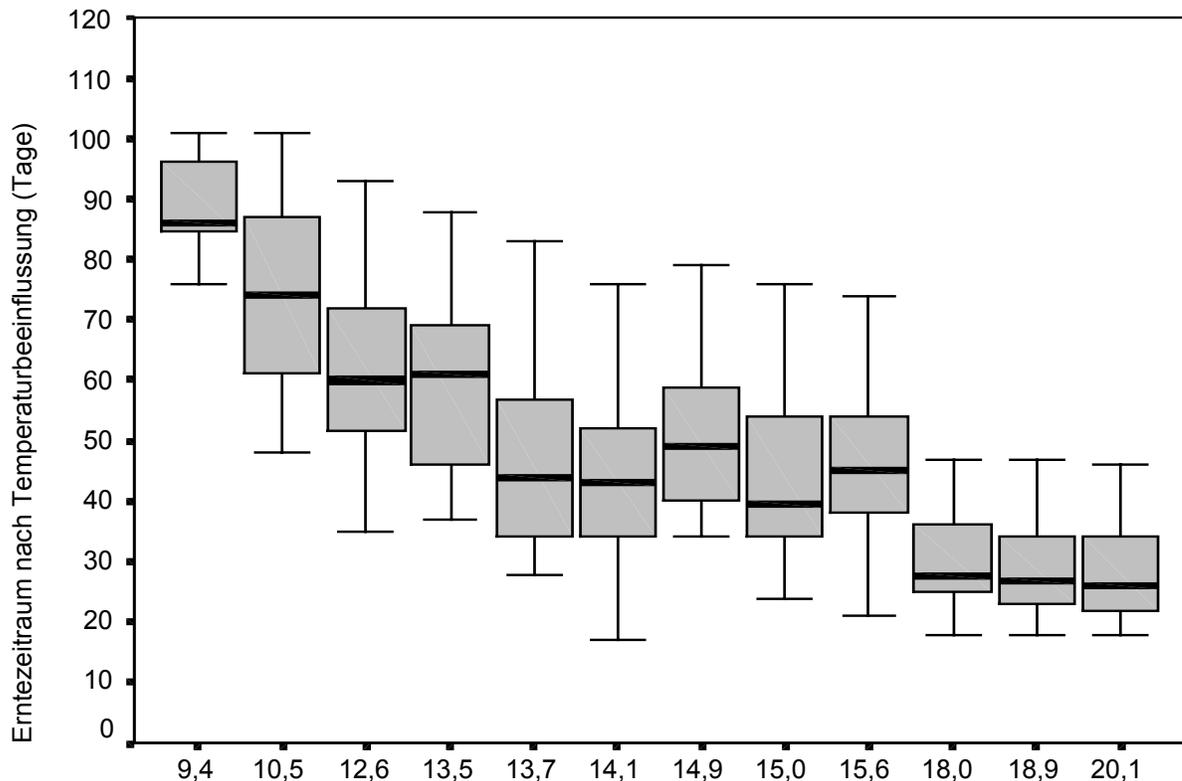
Abbildung 15: Erntezeitraum von Spargel in Kulturgefäßen nach Beginn der Temperaturbeeinflussung in Abhängigkeit von der Temperatur am Rhizom im Jahr 2000

Abbildungen 15 (Jahr 2000) bzw. 16 (Jahr: 2001) zeigen den gesamten Erntezeitraum von Spargel in den Kulturgefäßen in Abhängigkeit von der Temperatur am Rhizom. Bei Temperaturen am Rhizom von 14,5°C (Jahr 2000) bzw. 14,9°C (Jahr: 2001) und 16,4°C (Jahr 2000) bzw. 15,6°C (Jahr: 2001) lagen weite Temperaturdifferenzen zwischen Oberfläche und Unterboden vor. Die Differenz bei der Temperatur am Rhizom von 14,9°C betrug +9,1K, bei 15,6°C betrug sie −4,6K, d.h. die Oberflächentemperatur lag hier unterhalb der Unterbodentemperatur.

Im Ergebnis der Untersuchungen zeigte sich für das 2001 (Abbildung 16):

- Bei einer konstanten Temperatur am Rhizom von 9,4°C wurde Spargel hauptsächlich (50%) zwischen dem 84 und 96 Tag nach Beginn der Temperaturbeeinflussung geerntet. 75% der Erntemenge waren zwischen dem 77 und 100 Tag nach Beginn der Temperaturbeeinflussung zu erwarten. Die Differenz zwischen Oberflächen- und Unterbodentemperatur betrug bei dieser Variante 2,2K.

- Bei 14,1°C Temperatur am Rhizom begann die Ernte durchschnittlich nach 36 Tagen und endete nach 52 Tagen. Die Temperaturdifferenz hier betrug zwischen Oberfläche und Unterboden 6,28K.
- Lagen Temperaturen am Rhizom um 19°C vor (Temperaturdifferenz zwischen Oberfläche und Unterboden 0,9K), konnte mit der ersten Spargelernte nach 24 Tagen gerechnet werden, beendet wurde sie nach weiteren 10 Tagen.



Temperatur am Rhizom (°C) / Jahr: 2001

Abbildung 16: Erntezeitraum von Spargel in Kulturgefäßen nach Beginn der Temperaturbeeinflussung in Abhängigkeit von der Temperatur am Rhizom im Jahr 2001

### Äußere Qualitätsmerkmale

Von den 667 geernteten Stangen im Jahre 2001 wiesen 0,3% aller Stangenspitzen bzw. 1,3% aller basalen Abschnitte leicht schälbare Spuren von Rost auf. Stärker berostet, aber schälbar waren 0,1% aller Spitzen und 0,9% aller basalen Abschnitte. Nur 0,1% aller basalen Abschnitte waren stärker berostet. Ein signifikanter Zusammenhang mit der Bodentemperatur konnte nicht festgestellt werden. Ein relativ hoher Anteil (4,3%) an weniger gut geformten Stangen wurde geerntet. Mögliche Ursachen hierfür könnten das steinige Substrat oder das Stören der Stangen beim Erntevorgang sein. Ein signifikanter Zusammenhang mit der Bodentemperatur konnte nicht festgestellt werden. Andere äußere Qualitätseigenschaften wie Ausformung des Kopfes und Farbe der Spargelstangen wurden nicht durch die Bodentemperatur in dem untersuchten Temperaturbereich von 9,4°C bis 20,1°C beeinflusst.

### Innere Qualitätsmerkmale

Untersucht wurde der Einfluss der Bodentemperatur auf den Schalenanteil, die Gewebefestigkeit (ausgedrückt durch Scherkräfte und Gesamtenergien nach den Methoden Warner-Bratzler sowie Kramer-Scher), den Gehalt an Gesamtballaststoffen und einzelnen Gerüstkohlenhydraten sowie Lignin.

### Schalenanteil

Bei der Schale einer Spargelstange handelt es sich um den Sklerenchymzylinder unter der Rinde ausgehend vom Perizykel, der verholzt sein kann. Der Anteil der Schale an der Gesamtmasse einer Spargelstange ist ein inneres Qualitätsmerkmal (HARTMANN 1989).

Untersucht wurde der Einfluss der Bodentemperatur auf den Schalenanteil an der Gesamtmasse einzelner Spargelabschnitte (Abbildung 17) und der gesamten Spargelstange.

Multiple lineare Regressionsrechnungen zeigten den Zusammenhang zwischen den unabhängigen Größen Unterboden- und Oberflächentemperatur auf die abhängige Größe Anteil Schale an der gesamten Frischmasse (%) des jeweiligen Spargelabschnittes (Anhang, Tabellen A.1 bis A.3).

Für die ganze Spargelstange und den mittleren Abschnitt konnte für den Anteil Schale an der Frischmasse eine Vorhersage aus der unabhängigen Variable Unterbodentemperatur erfolgen. Die Regressionsgleichung für die **ganze Spargelstange** lautet:

$$\text{Anteil Schale ganze Stange} = 0,808 * \text{Unterbodentemperatur} + 15,151$$

Die Regressionsgleichung für den **mittleren Abschnitt** lautet:

$$\text{Anteil Schale mittlerer Abschnitt} = 1,484 * \text{Unterbodentemperatur} + 15,666$$

Für den basalen Abschnitt konnte für den Anteil Schale an der Frischmasse eine Vorhersage aus den unabhängigen Variablen Unterbodentemperatur und Oberflächentemperatur erfolgen.

Die Regressionsgleichung für den **basalen Abschnitt** lautet:

$$\text{Anteil Schale basaler Abschnitt} = 1,429 * \text{Unterbodentemperatur} - 1,063 * \text{Oberflächentemperatur} + 18,591$$

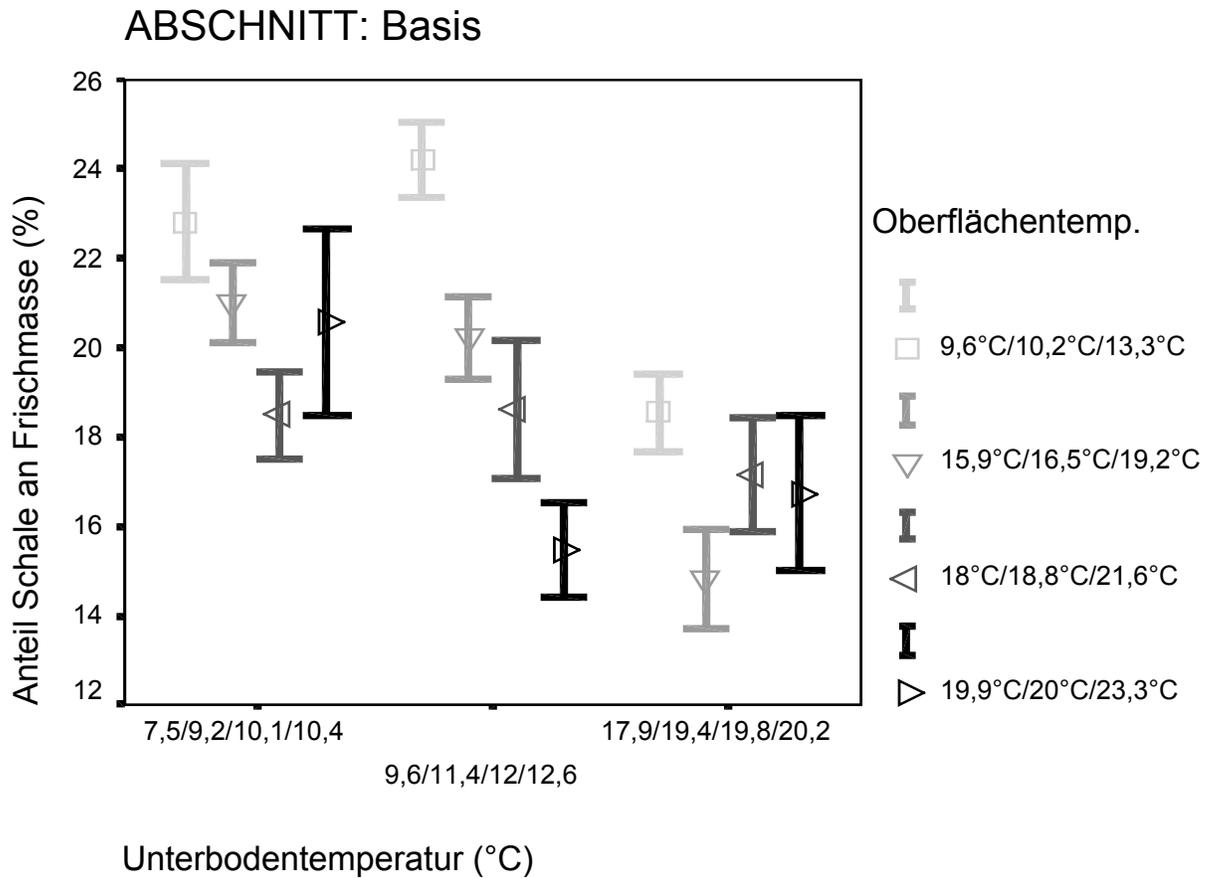


Abbildung 17: Einfluss der Unterboden- und Oberflächentemperatur auf den Anteil der Schale an der Frischmasse (%) beim basalen Abschnitt

#### Gewebefestigkeitsmessung nach Warner-Bratzler

Nachfolgend wird der Einfluss der Bodentemperatur auf die Gewebefestigkeit anhand der Maximalkraft und der Gesamtenergie dargestellt, die bei der Scherung nach Warner-Bratzler bis zum vollständigen Bruch des Gewebes notwendig waren. Die Untersuchungen wurden am geschälten Material vorgenommen. Gesondert wurden dabei die Spitzen, die mittleren und die basalen Spargelabschnitte analysiert.

Anhand von Korrelationsrechnungen (Anhang: Tabellen A.4 bis A.6) und Kovarianzanalysen (Anhang: Tabellen A.7 bis A.9) konnte gezeigt werden, dass der Durchmesser der Spargelprobe einen Einfluss auf die Gesamtenergie und die Maximalkraft nach Warner-Bratzler hat. Daher musste eine Korrektur der Messwerte vorgenommen werden. Die Kraft und die Energie wurden auf den Durchmesser bezogen (N/cm bzw. KJ/cm).

In einer zweifaktoriellen Varianzanalyse wurde überprüft, inwiefern die Unterboden- oder die Oberflächentemperatur Einfluss auf die Maximalkraft und die Gesamtenergie nach Warner-Bratzler bis zum vollständigen Bruch des Spargelgewebes haben. Es zeigte sich, dass im Spitzenabschnitt und im basalen Abschnitt eine Interaktion der beiden Temperaturen vorliegt (Anhang: Tabellen A.10 und A.11, Abbildungen 18 und 19). Im mittleren Abschnitt lag kein signifikanter Einfluss der Unterboden- bzw.

Oberflächentemperatur auf die Maximalkraft nach Warner-Bratzler vor (Anhang: Tabelle A.12). Im Falle des Spitzenabschnittes konnte die beobachtete Gesamtvariabilität zu ca. 16% durch das korrigierte Modell erklärt werden, im basalen Abschnitt zu ca. 13%.

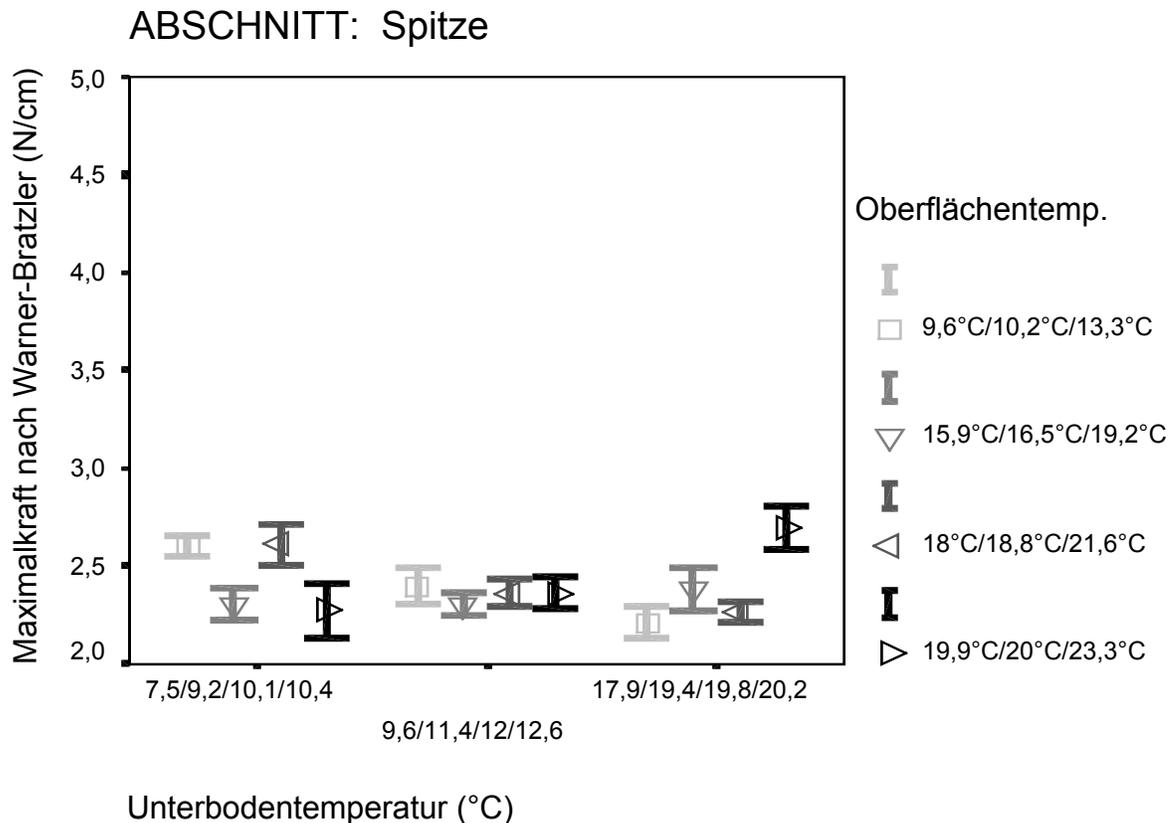


Abbildung 18: Einfluss der Unterbodentemperatur auf die Gewebefestigkeit der Spargelspitze gruppiert nach Oberflächentemperaturen, ausgewiesen als Maximalkraft (N/cm) nach Warner-Bratzler (Jahr: 2001)

Die Maximalkräfte zwischen den einzelnen Spargelabschnitten unterschieden sich signifikant voneinander. So musste bei einer Unterbodentemperatur von 7,5°C und einer Oberflächentemperatur von 9,6°C im basalen Abschnitt durchschnittlich eine Kraft von 4,2 N/cm bis zum vollständigen Bruch aufgebracht werden, im Spitzenbereich nur 2,6 N/cm (Abbildung 18). Mit Zunahme der Unterboden- und Oberflächentemperaturen mussten geringere Kräfte aufgewendet werden. So kam es bei 19,4°C Unterbodentemperatur und einer Oberflächentemperatur von 19,2°C beim basalen Abschnitt bei ca. 3,5 N/cm zum Bruch.

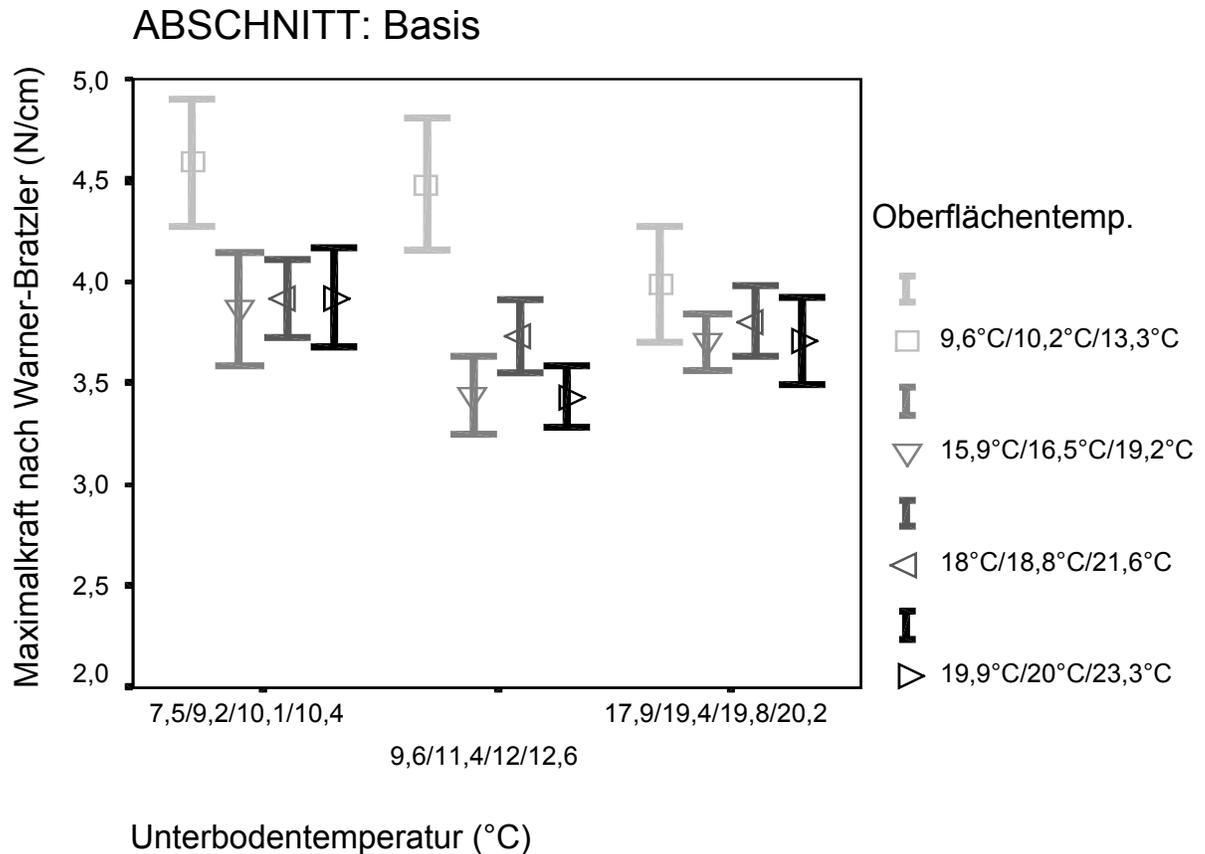


Abbildung 19: Einfluss der Unterbodentemperatur auf die Gewebefestigkeit des basalen Abschnittes gruppiert nach Oberflächentemperaturen, ausgewiesen als Maximalkraft (N/cm) nach Warner-Bratzler (Jahr: 2001)

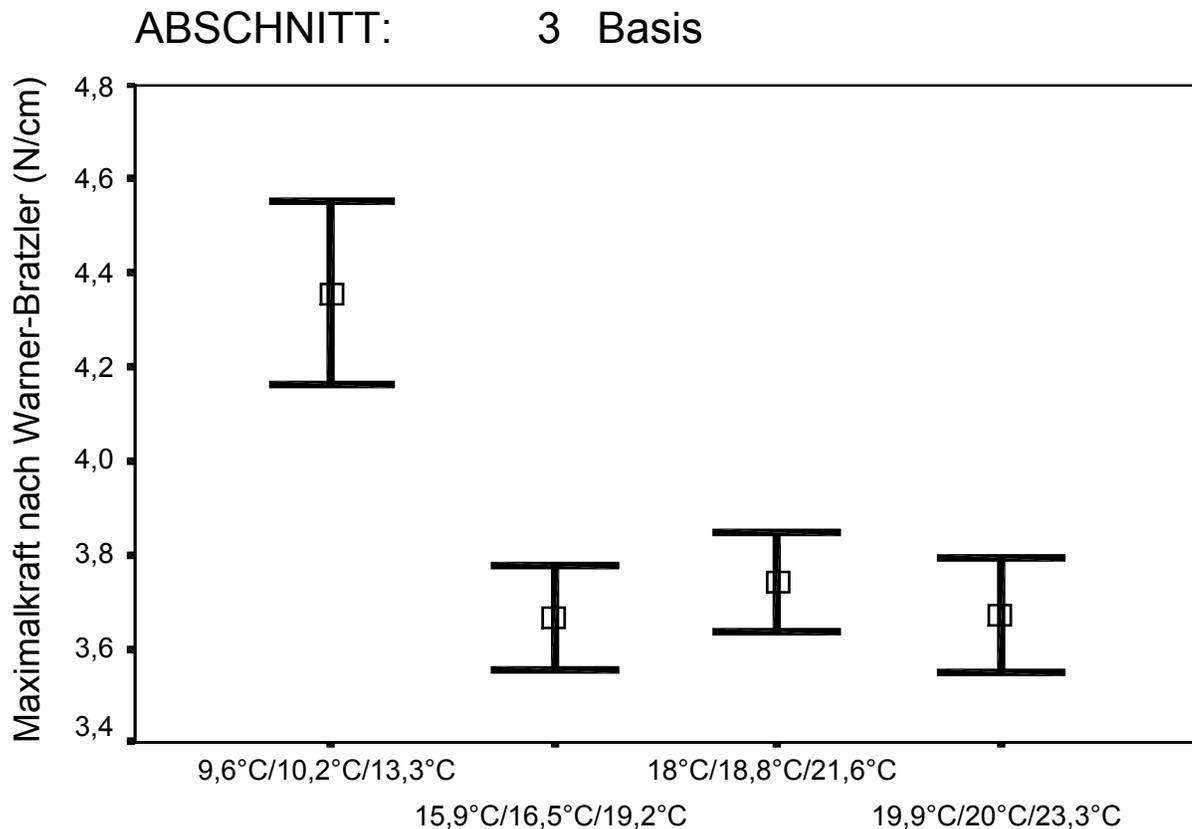
Beim basalen Abschnitt waren die geringsten Kräfte bis zum Gewebebruch bei Unterbodentemperaturen von 11,4°C bzw. von 12,6°C und Oberflächentemperaturen von 16,5°C bzw. von 20°C aufzubringen (Abbildung 19).

Es wurde eine schrittweise multiple lineare Regression zur Aufdeckung der Zusammenhänge zwischen den unabhängigen Variablen Oberflächentemperatur und Unterbodentemperatur und der abhängigen Variable Maximalkraft nach Warner-Bratzler (N/cm) durchgeführt.

Lediglich für den **basalen Abschnitt** kann für die Maximalkraft nach Warner-Bratzler eine Vorhersage aus der unabhängigen Variable Oberflächentemperatur erfolgen (Abbildung 20).

Die Regressionsgleichung hierfür lautet (Anhang: Tabelle A.13):

$$\text{Maximalkraft nach Warner-Bratzler} = -1,61 * \text{Oberflächentemperatur} + 4,229$$



### Oberflächentemperatur

Abbildung 20: Einfluss der Oberflächentemperatur auf die Gewebefestigkeit des basalen Abschnittes, ausgewiesen als Maximalkraft (N/cm) nach Warner-Bratzler (Jahr: 2001)

Untersucht wurde ebenfalls, inwiefern die Energie zur Darstellung des Zusammenhangs zwischen Gewebefestigkeit und Temperatureinfluss herangezogen werden kann.

Bei der Spargelspitze bestanden zwischen der Gesamtenergie und der Rhizom- sowie der Unterbodentemperatur signifikante Korrelationen (Anhang: Tabelle A.14), im mittleren Abschnitt zwischen der Gesamtenergie und der Unterbodentemperatur (Anhang: Tabelle A.15), im basalen Abschnitt zwischen Gesamtenergie und Unterboden-, Rhizom- und Oberflächentemperatur (Anhang: Tabelle A.16).

Nachfolgende Abbildungen zeigen, wie sich die Gesamtenergie mit Änderung der Unterbodentemperatur verhielt (Abbildungen 21 bis 23).

In allen Abschnitten verringerte sich die Gesamtenergie mit Zunahme der Unterbodentemperatur. Signifikante Unterschiede bestanden bei allen Abschnitten zwischen der kältesten Variante (7,5°C–10,4°C) und der wärmsten Variante (17,9°C – 20,2°C).

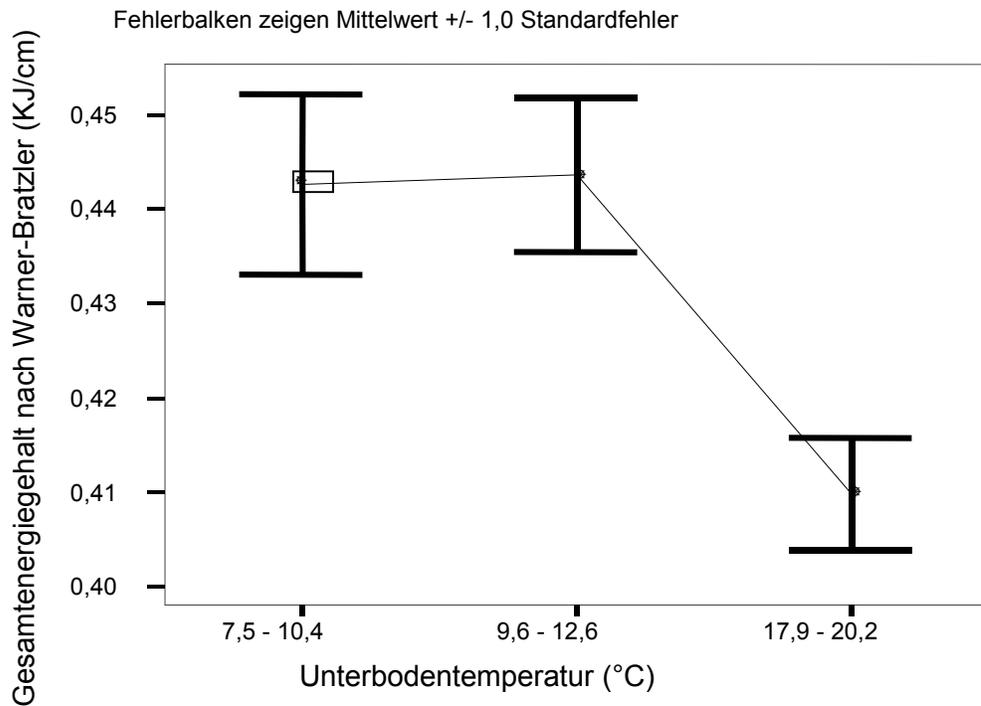


Abbildung 21: Einfluss der Unterbodentemperatur auf die Gewebefestigkeit des Spitzenabschnittes, ausgewiesen als Energiegehalt (KJ/cm) nach Warner-Bratzler (Jahr: 2001)

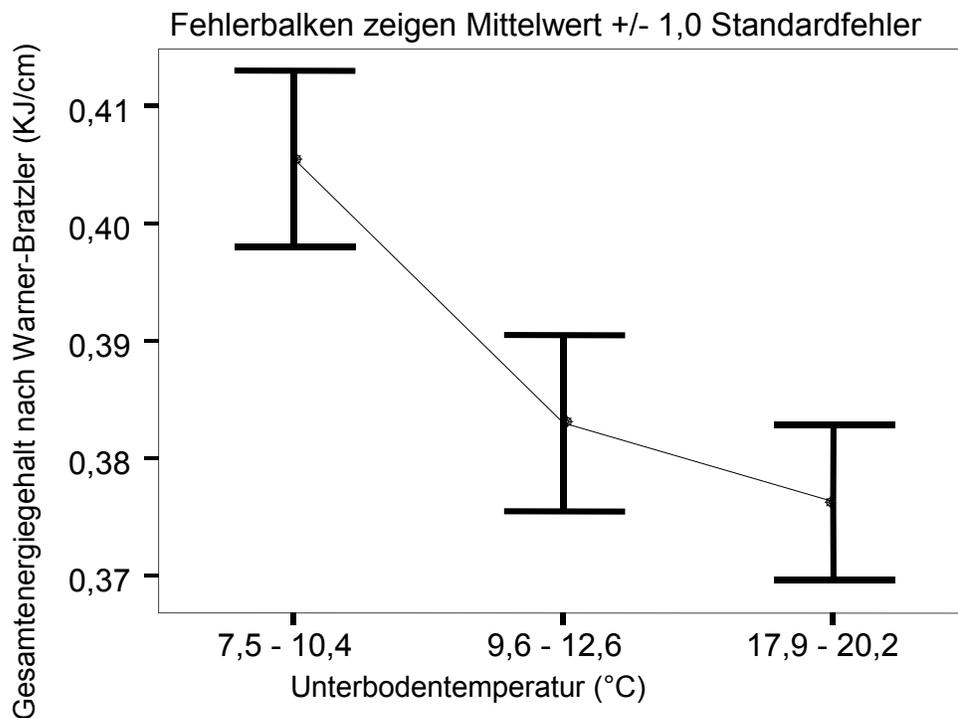


Abbildung 22: Einfluss der Unterbodentemperatur auf die Gewebefestigkeit des mittleren Spargelabschnittes, ausgewiesen als Energiegehalt (KJ/cm) nach Warner-Bratzler (Jahr: 2001)

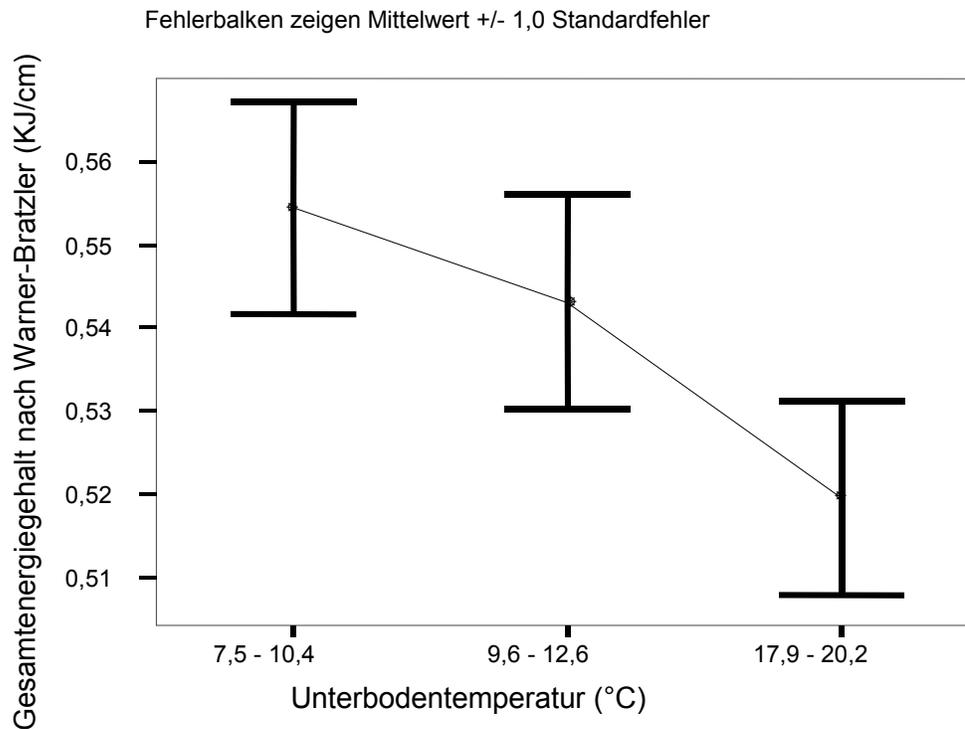


Abbildung 23: Einfluss der Unterbodentemperatur auf die Gewebefestigkeit des basalen Spargelabschnittes, ausgewiesen als Energiegehalt (KJ/cm) nach Warner-Bratzler (Jahr: 2001)

Es wurde eine schrittweise multiple lineare Regression zur Aufdeckung der Zusammenhänge zwischen den unabhängigen Variablen Oberflächentemperatur und Unterbodentemperatur und der abhängigen Variable Gesamtenergie nach Warner-Bratzler (KJ/cm) durchgeführt.

Für den **Spitzenabschnitt** konnte für die Gesamtenergie nach Warner-Bratzler eine Vorhersage aus der unabhängigen Variable Oberflächentemperatur erfolgen (Anhang: Tabelle A.17). Die Regressionsgleichung hierfür lautet:

$$\text{Gesamtenergie nach Warner-Bratzler} = -0,001107 * \text{Oberflächentemperatur} + 0,01281$$

Für den **basalen** Abschnitt konnte für die Gesamtenergie nach Warner-Bratzler eine Vorhersage aus den unabhängigen Variablen Oberflächentemperatur und Unterbodentemperatur erfolgen (Anhang: Tabelle A.18). Die Regressionsgleichung hierfür lautet:

$$\text{Gesamtenergie für den basalen Abschnitt nach Warner-Bratzler} = -0,00449 * \text{Oberflächentemperatur} - 0,00429 * \text{Unterbodentemperatur} + 0,06458$$

### Gewebefestigkeitsmessung nach Kramer-Scher

Die Messungen nach Kramer-Scher wurden auf die Gewichtseinwaage bezogen. Es wurden die Maximalkraft (N/g) sowie die Gesamtenergie (KJ/g) bis zum vollständigen Bruch des Spargelgewebe gemessen.

Untersucht wurde, welchen Einfluss die Unterbodentemperatur bzw. die Oberflächentemperatur auf die Maximalkraft nach Kramer-Scher bzw. auf die Gesamtenergie haben.

Beim Spitzenabschnitt und beim mittleren Stangenabschnitt lagen zwischen den Haupteffekten signifikante Wechselwirkungen mit der Maximalkraft (N/g) nach Kramer-Scher vor (Anhang: Tabellen A.19 bis A.21). Zu 17% bei der Spitze bzw. zu 13% beim mittleren Abschnitt konnte die beobachtete Gesamtvariabilität durch das korrigierte Modell erklärt werden (Abbildungen 24 und 25).

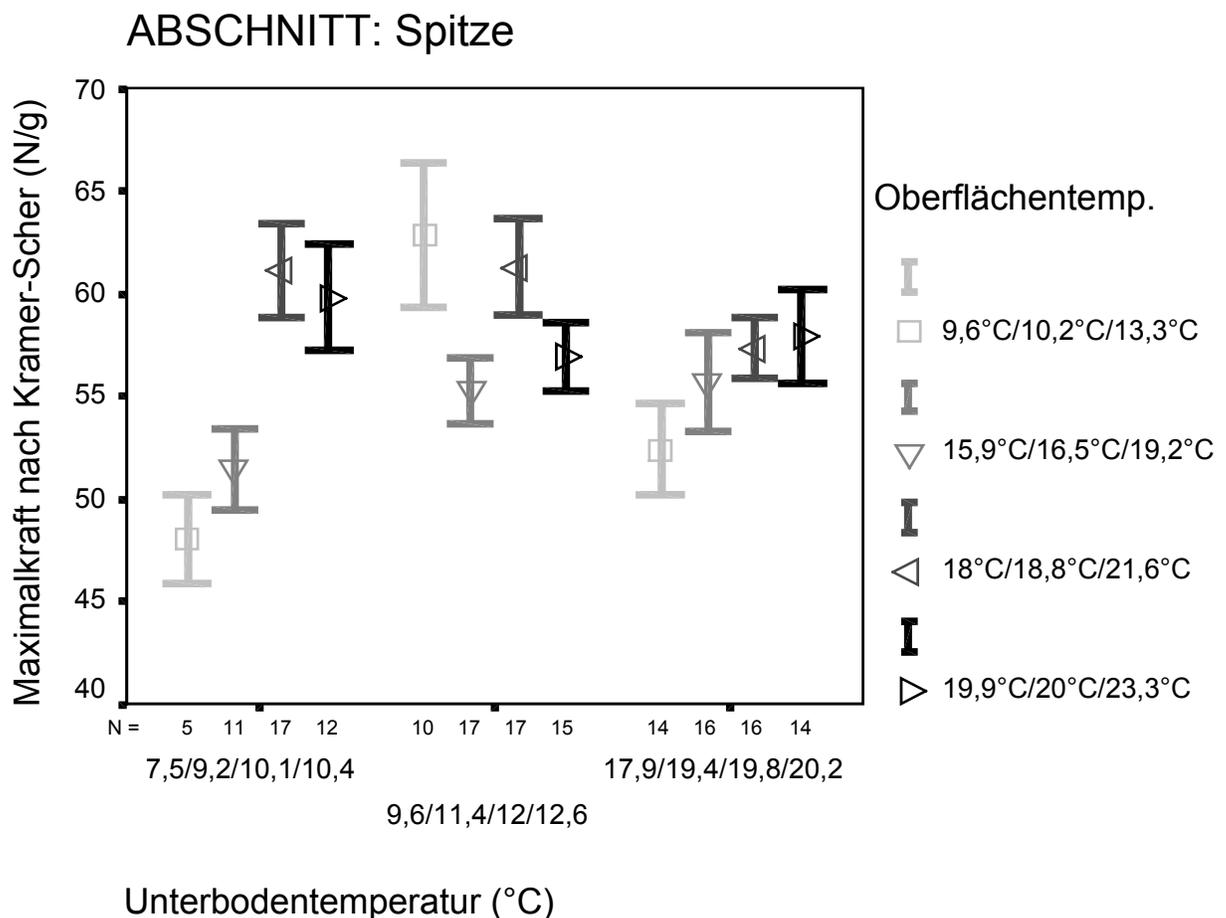


Abbildung 24: Einfluss der Unterbodentemperatur auf die Gewebefestigkeit des Spitzenabschnittes, ausgewiesen als Maximalkraft (N/g) nach Kramer-Scher (Jahr: 2001)

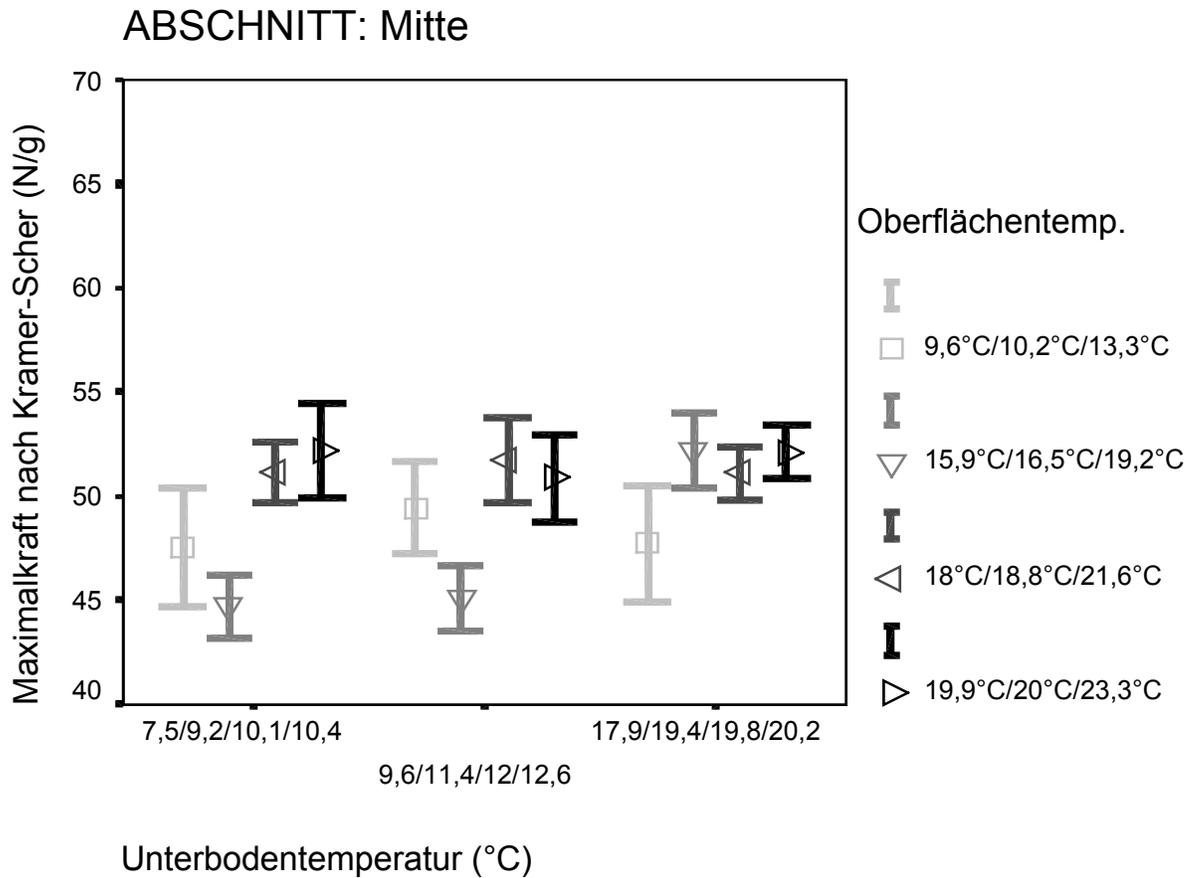


Abbildung 25: Einfluss der Unterbodentemperatur auf die Gewebefestigkeit des mittleren Abschnittes, ausgewiesen als Maximalkraft (N/g) nach Kramer-Scher (Jahr: 2001)

Es wurde eine schrittweise multiple lineare Regression zur Aufdeckung der Zusammenhänge zwischen den unabhängigen Variablen Oberflächentemperatur und Unterbodentemperatur und der abhängigen Variable Maximalkraft nach Kramer-Scher (N/g) durchgeführt (Anhang: Tabelle A.22).

Lediglich für den **mittleren Abschnitt** konnte für die Maximalkraft nach Kramer-Scher eine Vorhersage aus der unabhängigen Variable Oberflächentemperatur erfolgen. Die Regressionsgleichung hierfür lautet:

$$\text{Maximalkraft nach Kramer-Scher} = 1,484 * \text{Oberflächentemperatur} + 45,583$$

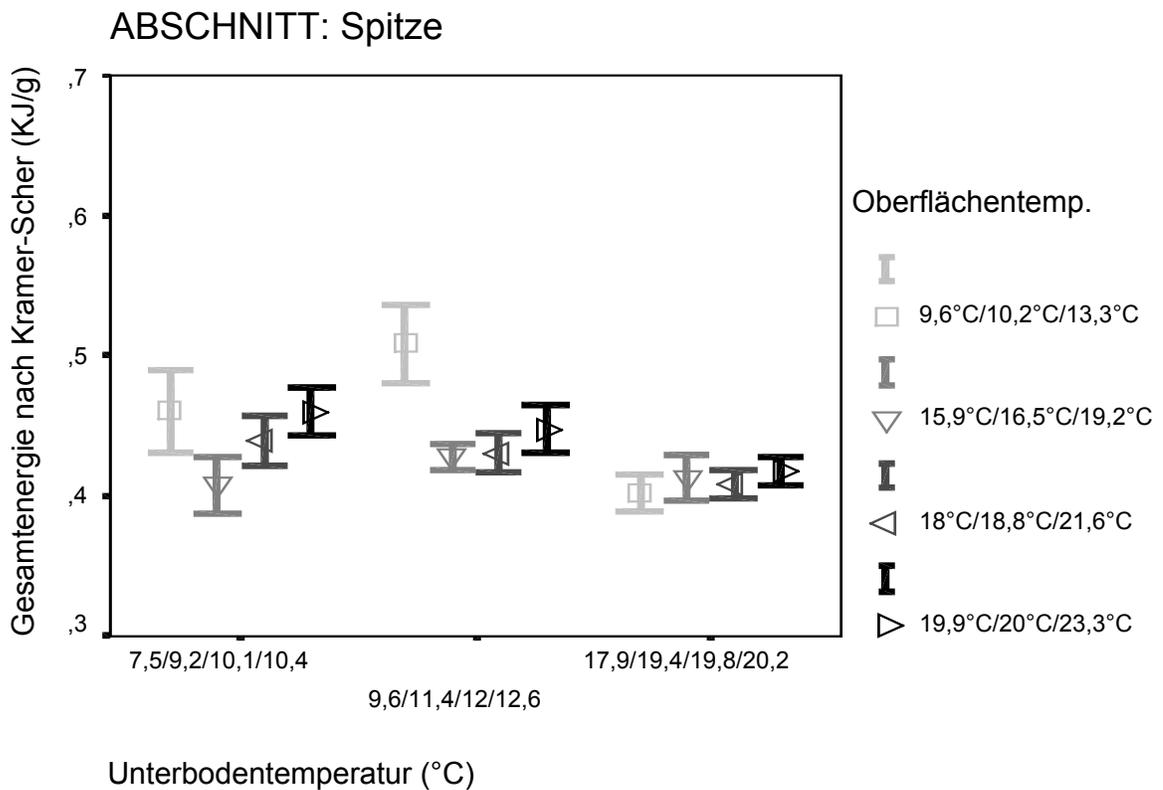


Abbildung 26: Einfluss der Unterbodentemperatur auf die Gewebefestigkeit der Spargelspitze, ausgewiesen als Gesamtenergie (KJ/g) nach Kramer-Scher (Jahr: 2001)

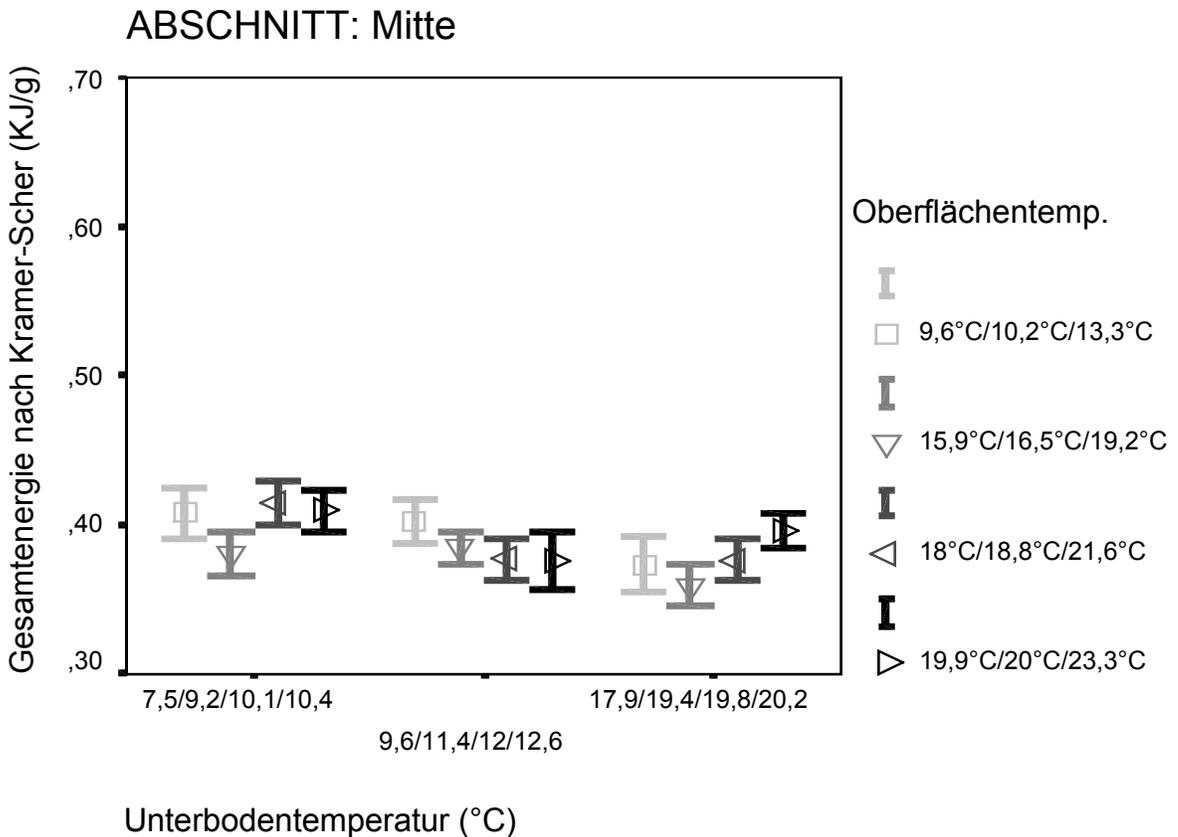


Abbildung 27: Einfluss der Unterbodentemperatur auf die Gewebefestigkeit des mittleren Abschnittes, ausgewiesen als Gesamtenergie (KJ/g) nach Kramer-Scher (Jahr: 2001)

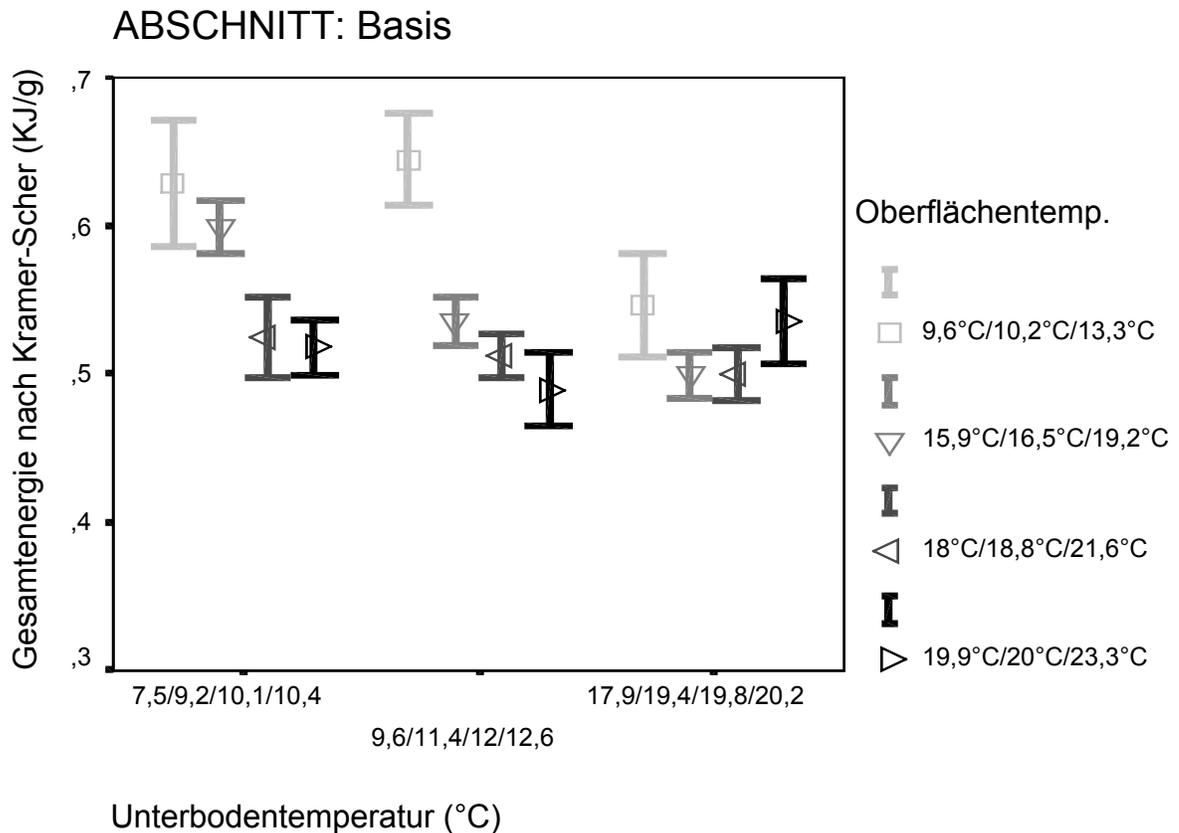


Abbildung 28: Einfluss der Unterbodentemperatur auf die Gewebefestigkeit des basalen Abschnittes, ausgewiesen als Gesamtenergie (KJ/g) nach Kramer-Scher (Jahr: 2001)

Signifikante Unterschiede in der Gesamtenergie bestanden zwischen den Spargelspitzen bzw. den mittleren Abschnitten und den basalen Abschnitten (Abbildungen 26 bis 28). Für die basalen Abschnitte mussten höhere Energien bis zum vollständigen Bruch des Spargelgewebes aufgebracht werden als bei den Spitzen bzw. mittleren Abschnitten. So waren bei 7,5°C Unterbodentemperatur und 9,6°C Oberflächentemperatur im Spargelgewebe ca. 450 J/g aufzuwenden (Abbildung 26), im basalen Abschnitt ca. 620 J/g (Abbildung 28).

Bei den basalen Abschnitten war mit ca. 500 J/g die geringste Energie bis zum vollständigen Gewebebruch bei einer Unterbodentemperatur von 12,6°C und einer Oberflächentemperatur von 20°C aufzuwenden (Abbildung 28).

Es wurde eine schrittweise multiple lineare Regression zur Aufdeckung der Zusammenhänge zwischen den unabhängigen Variablen Oberflächentemperatur und Unterbodentemperatur und der abhängigen Variable Gesamtenergie (KJ/g) nach Kramer-Scher durchgeführt (Anhang: Tabellen A.23 bis A.25).

Für den **Spitzenabschnitt** konnte für die Gesamtenergie (KJ/g) nach Kramer-Scher eine Vorhersage aus der unabhängigen Variable Unterbodentemperatur erfolgen. Die Regressionsgleichung hierfür lautet:

$$\text{Gesamtenergie nach Kramer-Scher} = -0,0154 * \text{Unterbodentemperatur} + 0,463$$

Für den **mittleren Abschnitt** konnte für die Gesamtenergie (KJ/g) nach Kramer-Scher eine Vorhersage aus der unabhängigen Variable Unterbodentemperatur erfolgen. Die Regressionsgleichung hierfür lautet:

$$\text{Gesamtenergie nach Kramer-Scher} = -0,0135 * \text{Unterbodentemperatur} + 0,414$$

Für den **basalen Abschnitt** konnte für die Gesamtenergie (KJ/g) nach Kramer-Scher eine Vorhersage aus den unabhängigen Variablen Unterboden- und Oberflächentemperatur erfolgen. Die Regressionsgleichung hierfür lautet:

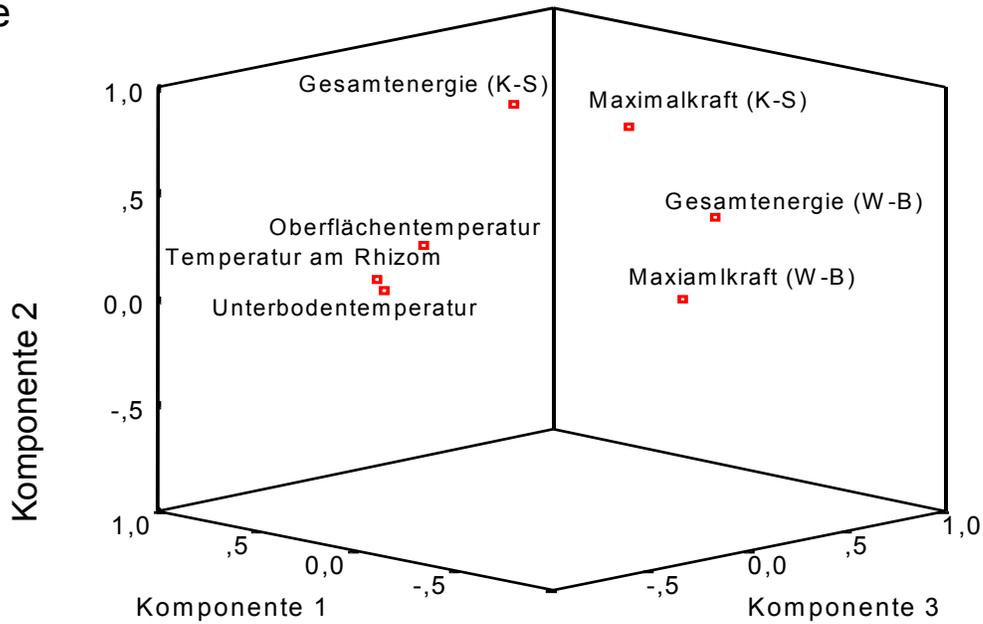
$$\text{Gesamtenergie nach Kramer-Scher} = -0,00291 * \text{Oberflächentemperatur} - 0,00234 * \text{Unterbodentemperatur} + 0,661$$

#### Vergleich der Festigkeitsmessungen nach Kramer-Scher bzw. Warner-Bratzler

Es wurde eine Faktorenanalyse durchgeführt, um eine größere Anzahl von Variablen anhand der gegebenen Fälle auf eine kleinere Anzahl unabhängiger Einflussgrößen, Faktoren genannt, zurückzuführen. Dabei wurden diejenigen Variablen, die untereinander stark korrelierten, zu einem Faktor zusammengefasst. Ziel der Faktorenanalyse war es, solche Faktoren zu ermitteln, welche die beobachteten Zusammenhänge zwischen den gegebenen Variablen möglichst vollständig erklärten.

Bei der Spargelspitze bildeten die Bodentemperaturen (Oberflächen- und Unterbodentemperatur sowie Temperatur am Rhizom) einen gemeinsamen Faktor (Komponente 2). Einerseits beeinflussten sie gemeinsam die untereinander korrelierenden Faktoren wie Maximalkraft und Energie nach Kramer-Scher (Komponente 1) andererseits die untereinander korrelierenden Faktoren Maximalkraft und Energie nach Warner-Bratzler (Komponente 3). Zwischen den Methoden bestanden beim Spitzengewebe keine Korrelationen (Abbildung 29).

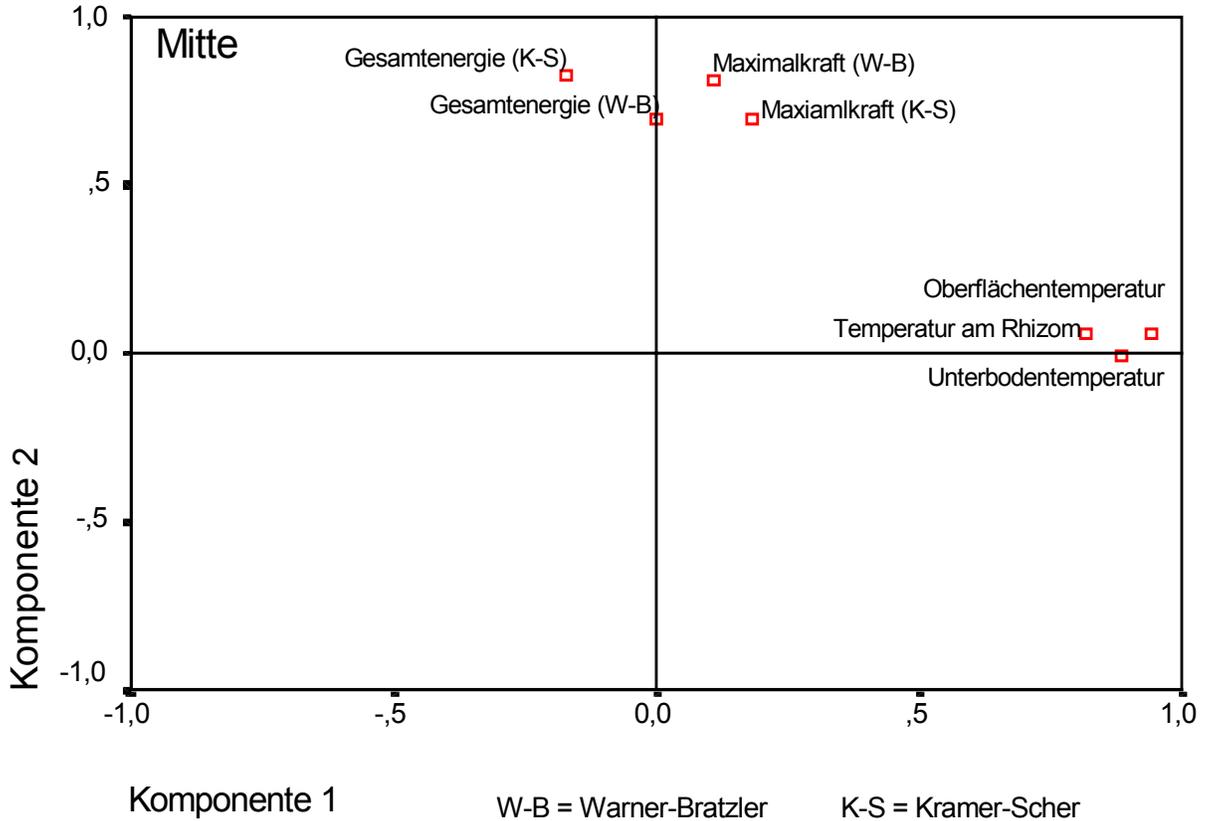
# Spitze



K-S = Kramer-Scher

W-B = Warner-Bratzler

Abbildung 29: Komponentendiagramm im rotierten Raum. Darstellung der Zusammenhänge der Festigkeitsmessungen und der Bodentemperaturen bei der Spargelspitze



W-B = Warner-Bratzler

K-S = Kramer-Scher

Abbildung 30: Komponentendiagramm im rotierten Raum. Darstellung der Zusammenhänge der Festigkeitsmessungen und der Bodentemperaturen beim mittleren Abschnitt

Beim mittleren Abschnitt bildeten die Bodentemperaturen (Oberflächen- und Unterbodentemperatur sowie Temperatur am Rhizom) einen gemeinsamen Faktor (Komponente 1), der die untereinander korrelierenden Faktoren (Tabelle 9) Maximalkraft und Energie nach den Methoden Warner-Bratzler und Kramer-Scher (Komponente 2) beeinflusste (Abbildung 30).

Tabelle 9: Rotierte Komponentenmatrix mit Korrelationskoeffizienten (Abschnitt Mitte)

Rotierte Komponentenmatrix<sup>a,b</sup>

	Komponente	
	1	2
(KJ/cm)	1,168E-03	,698
(N/cm)	,108	,809
(KJ/g)	-,172	,824
(N/g)	,181	,693
Unterb.-T. bis Ernte	,884	-8,70E-03
Oberfl.-T. bis Ernte	,819	6,134E-02
Rhizomt. bis Ernte	,941	5,768E-02

Extraktionsmethode: Hauptkomponentenanalyse.  
Rotationsmethode: Varimax mit Kaiser-Normalisierung.

a. Die Rotation ist in 3 Iterationen konvergiert.

b. Abschnitt = Mitte

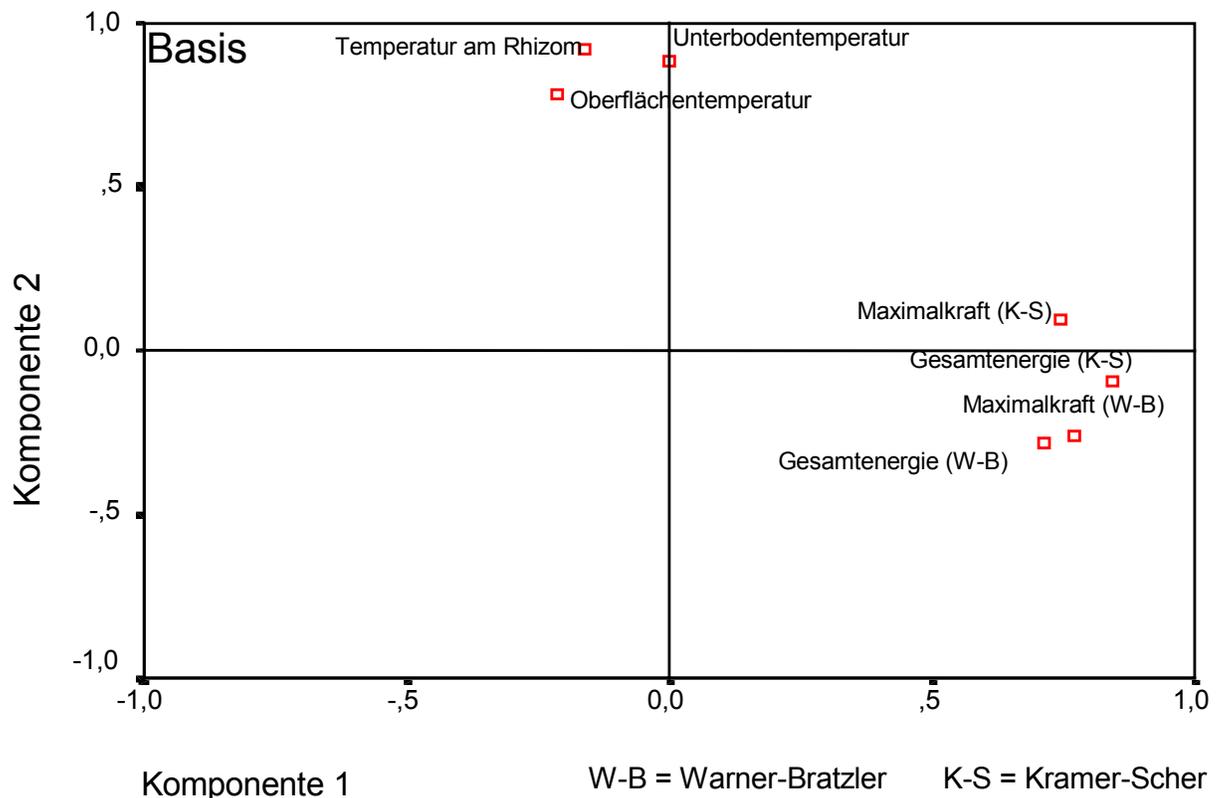


Abbildung 31: Komponentendiagramm im rotierten Raum. Darstellung der Zusammenhänge der Festigkeitsmessungen und der Bodentemperaturen beim basalen Abschnitt

Beim basalen Abschnitt bildeten die Bodentemperaturen (Oberflächen- und Unterbodentemperatur sowie Temperatur am Rhizom) ebenfalls einen gemeinsamen Faktor (Komponente 2), der die untereinander stark korrelierenden Faktoren (Tabelle 10) Maximalkraft und Energie nach den Methoden Warner-Bratzler und Kramer-Scher (Komponente 1) beeinflusste (Abbildung 31).

Tabelle 10: Rotierte Komponentenmatrix mit Korrelationskoeffizienten (Abschnitt: Basis)

Rotierte Komponentenmatrix<sup>a,b</sup>

	Komponente	
	1	2
(KJ/cm)	,715	-,284
(N/cm)	,846	-9,17E-02
(KJ/g)	,773	-,262
(N/g)	,747	9,219E-02
Unterb.-T. bis Ernte	-1,55E-03	,883
Oberfl.-T. bis Ernte	-,211	,780
Rhizomt. bis Ernte	-,159	,920

Extraktionsmethode: Hauptkomponentenanalyse.

Rotationsmethode: Varimax mit Kaiser-Normalisierung.

a. Die Rotation ist in 3 Iterationen konvergiert.

b. Abschnitt = Basis

### Ballaststoffe

#### ABSCHNITT: Spitze

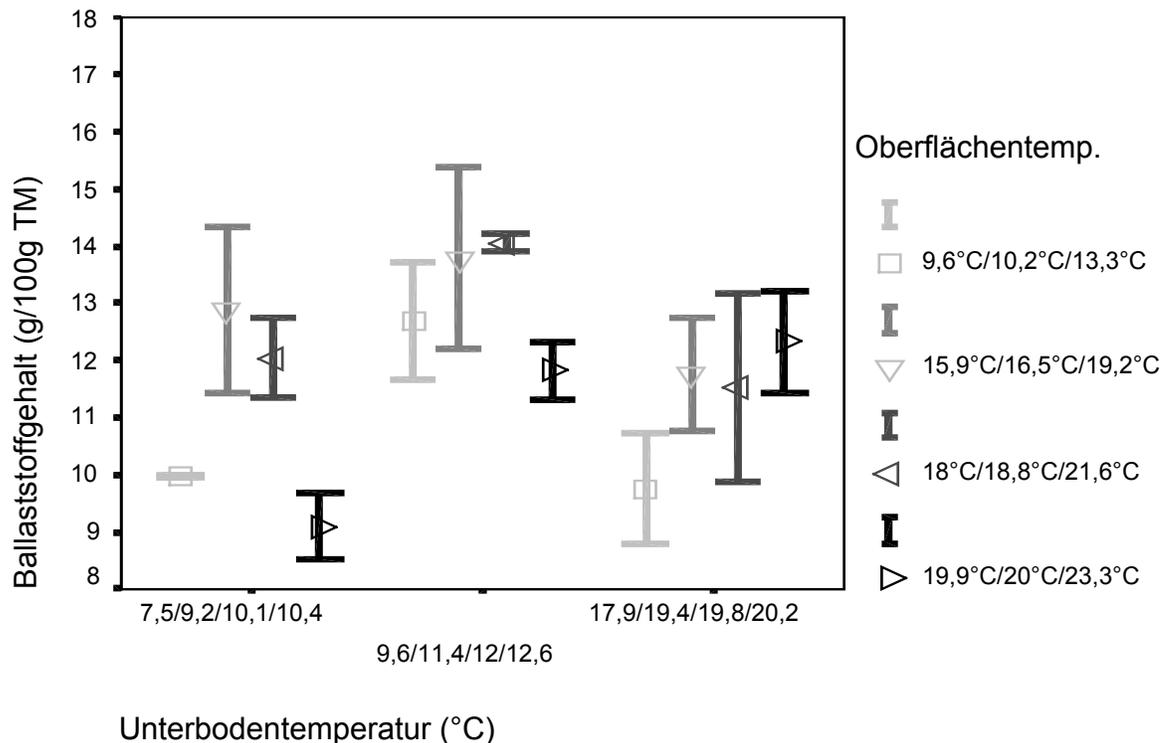


Abbildung 32: Einfluss der Unterbodentemperatur, gruppiert nach Oberflächentemperaturen, auf den Ballaststoffgehalt bei der Spargelspitze (Jahr: 2001)

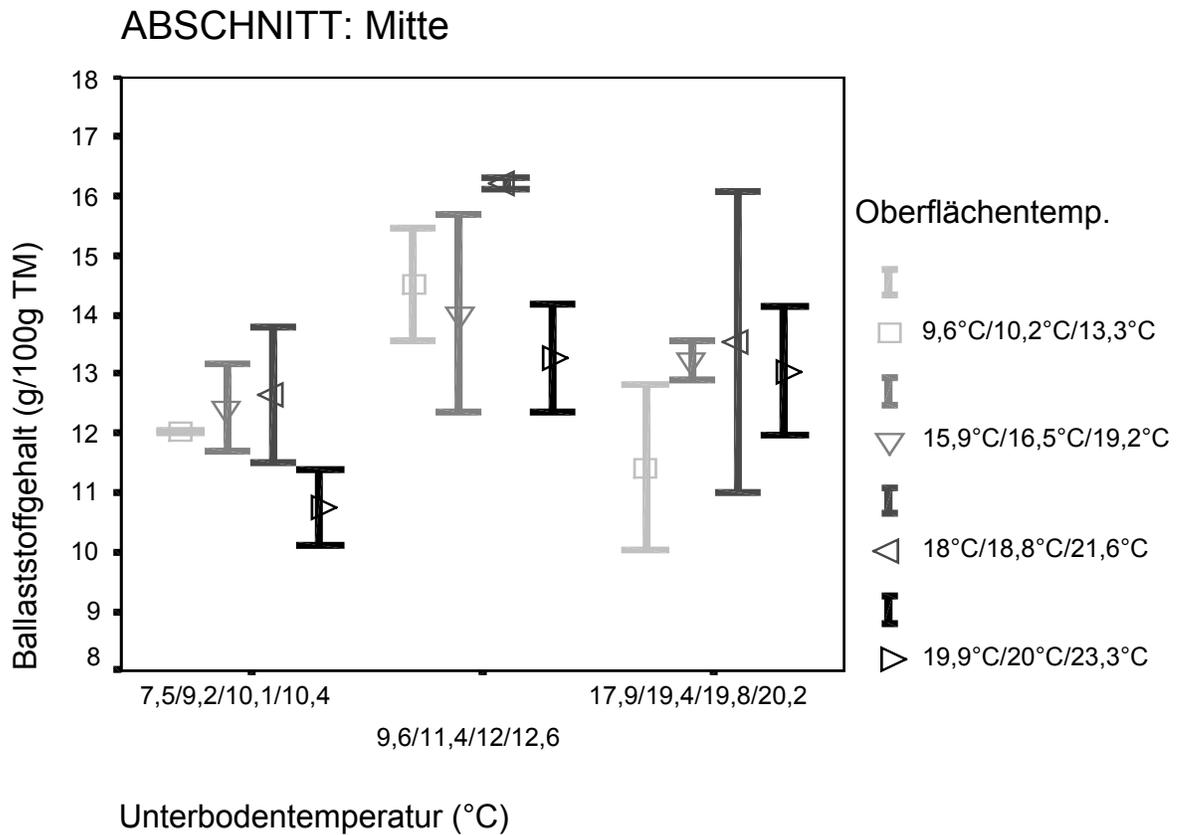


Abbildung 33: Einfluss der Unterbodentemperatur, gruppiert nach Oberflächentemperaturen, auf den Ballaststoffgehalt beim mittleren Spargelabschnitt (Jahr: 2001)

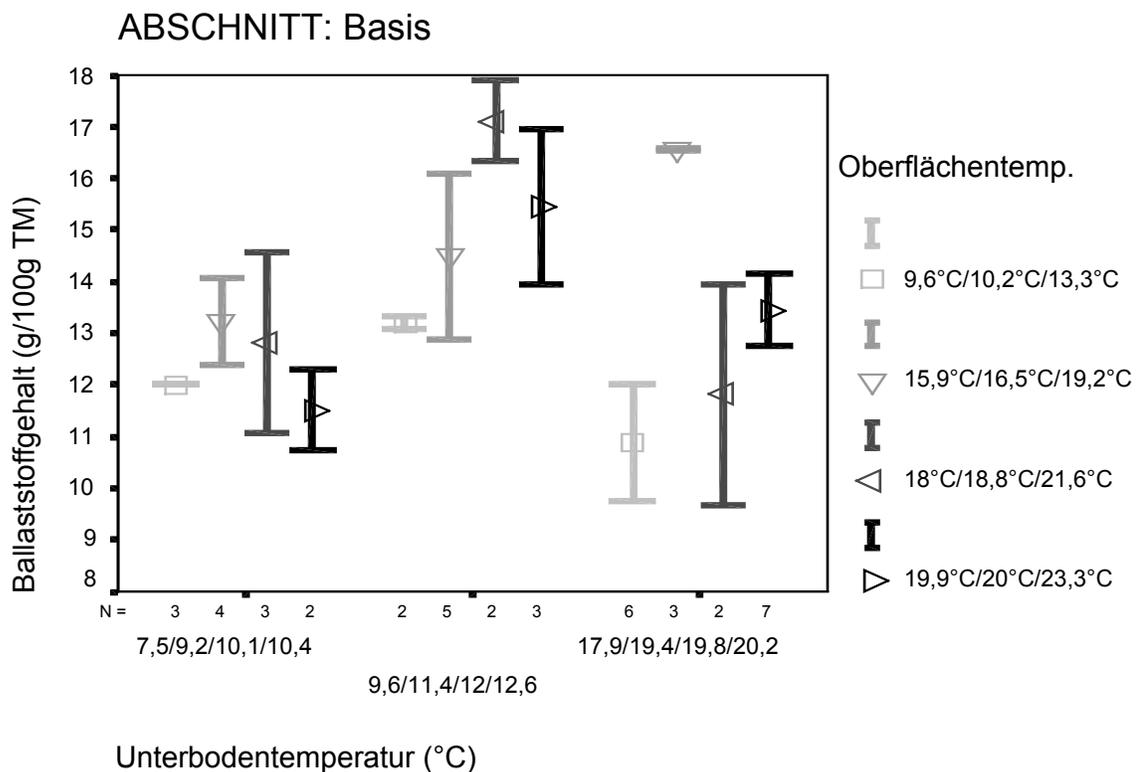


Abbildung 34: Einfluss der Unterbodentemperatur, gruppiert nach Oberflächentemperaturen, auf den Ballaststoffgehalt beim basalen Spargelabschnitt (Jahr: 2001)

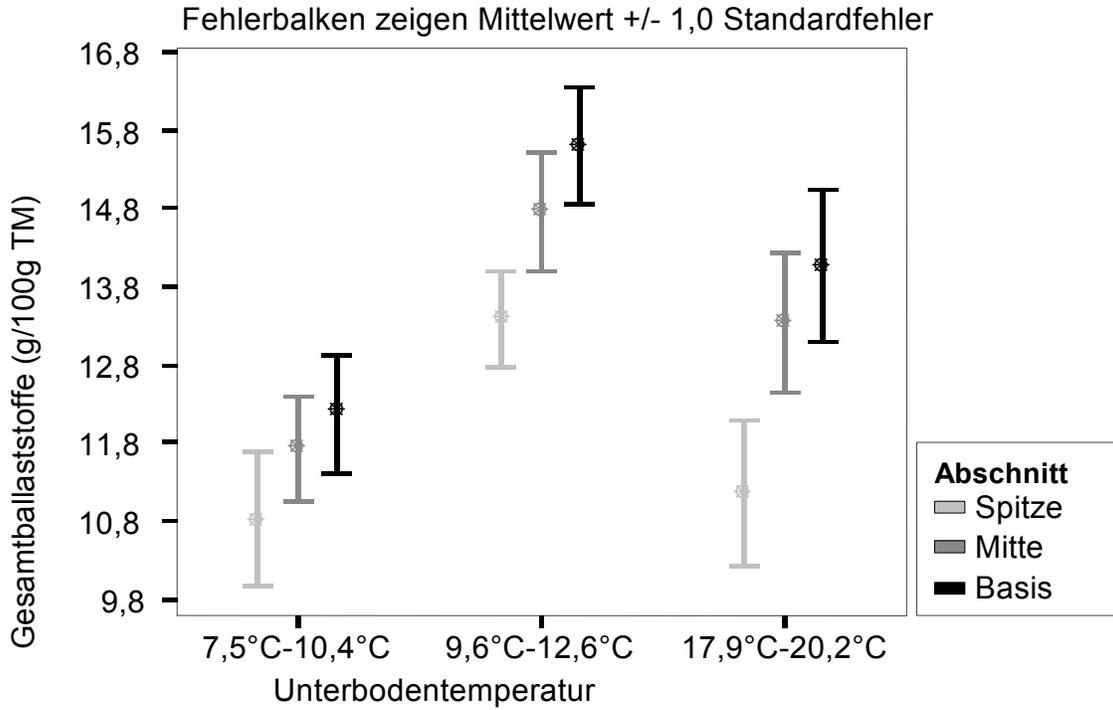


Abbildung 35: Einfluss der Unterbodentemperatur auf den Ballaststoffgehalt der einzelnen Spargelabschnitte (Jahr: 2001)

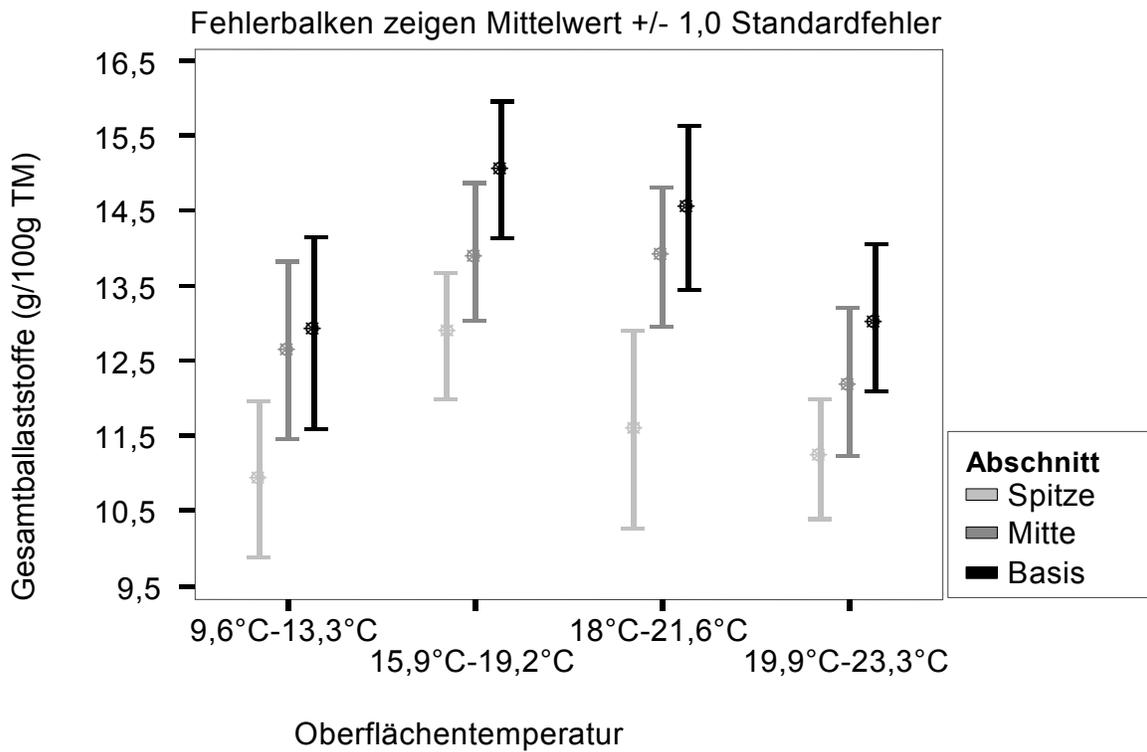


Abbildung 36: Einfluss der Oberflächentemperatur auf den Ballaststoffgehalt der einzelnen Spargelabschnitte (Jahr: 2001)

Der Ballaststoffgehalt in 100 g der Trockensubstanz lag bei den untersuchten Proben des Jahres 2001 zwischen 7,6 g und 18,3 g (Abbildungen 32 bis 36), bezogen auf 100 g Frischmasse schwankte der Ballaststoffgehalt zwischen 0,53 g und 1,81 g. Statistisch gesicherte Aussagen konnten aufgrund der Streuung der Einzelwerte nicht gemacht werden. Nachfolgende Aussagen können daher nur als Trend gesehen werden.

Den geringsten Gehalt in der Trockensubstanz enthielt die Spargelspitze von Spargel, der bei einer Unterbodentemperatur von 10,4°C und einer Oberflächentemperatur von 19,9°C kultiviert worden ist (Abbildung 32). Den höchsten Gehalt hatte der basale Abschnitt von Spargel, der bei einer Unterbodentemperatur von 12°C und einer Oberflächentemperatur von 18,8°C kultiviert worden ist (Abbildung 34). Insgesamt enthielten die basalen Spargelabschnitte einen höheren Gehalt an Gesamtballaststoffen, die jeweiligen Spargelspitzen einen niedrigeren. In den Abbildungen 37 bis 39 ist der Ballaststoffgehalt in Abhängigkeit von der Temperaturdifferenz dargestellt. Trendmäßig war zu erkennen, dass die geringsten Ballaststoffgehalte in Spargelpflanzen vorlagen, die bei hohen Temperaturunterschieden zwischen Oberfläche und Unterboden gewachsen waren. Mit Zunahme der Temperaturdifferenz zwischen Oberfläche und Unterboden kam es zu einer Abnahme des Gehaltes an Ballaststoffen in der Trockenmasse.

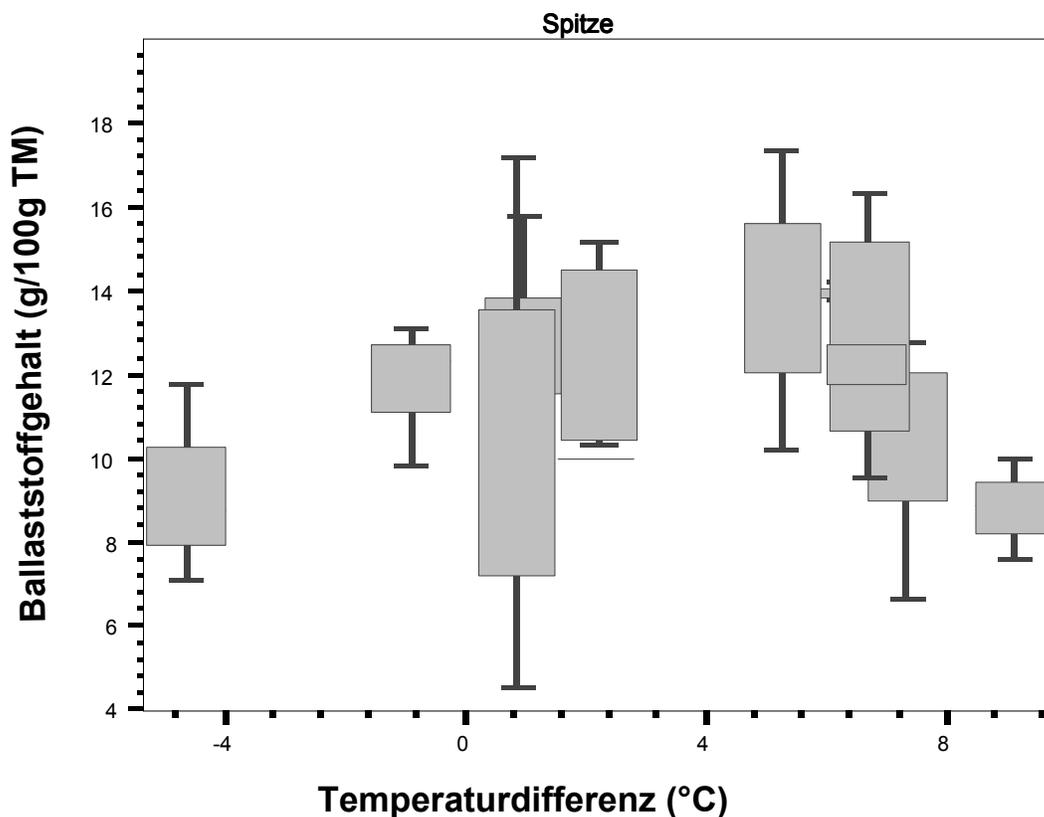


Abbildung 37: Ballaststoffgehalt in Abhängigkeit von der Temperaturdifferenz zwischen Oberfläche und Unterboden (Abschnitt: Spitze)

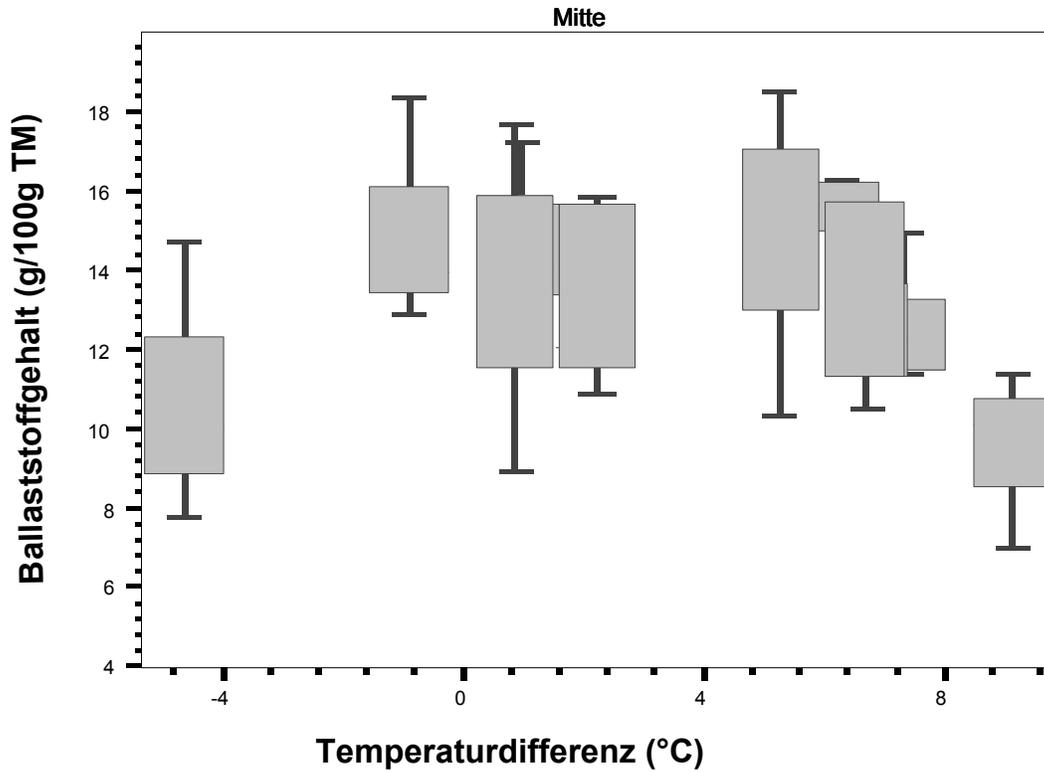


Abbildung 38: Ballaststoffgehalt in Abhängigkeit von der Temperaturdifferenz zwischen Oberfläche und Unterboden (Abschnitt: Mitte)

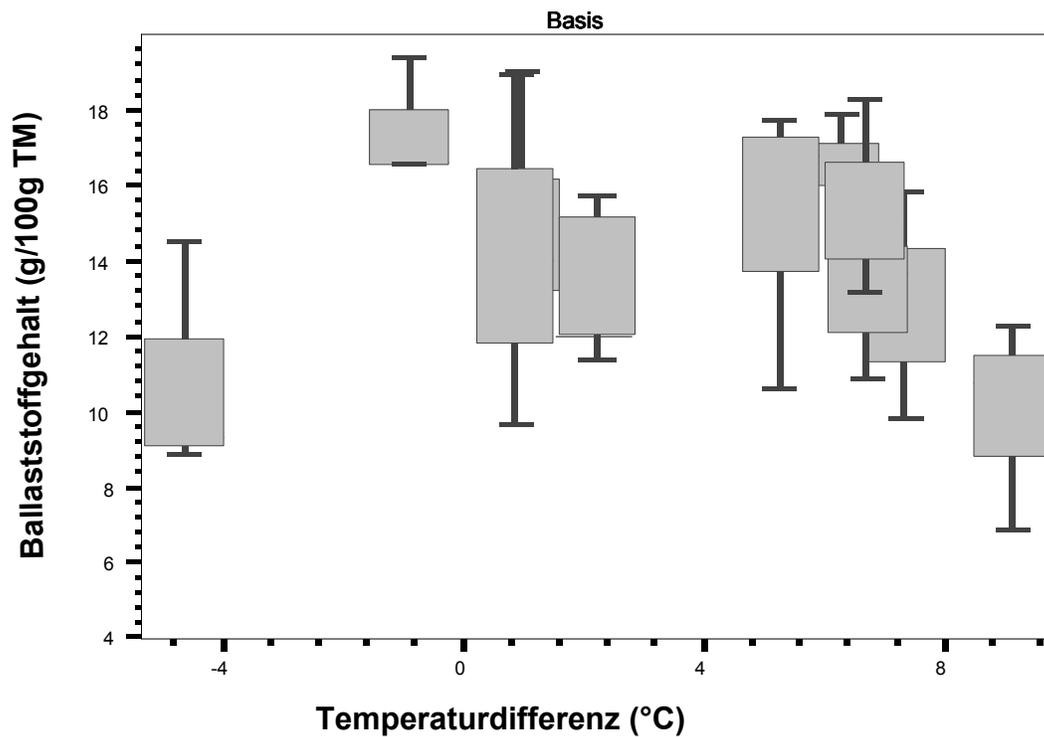


Abbildung 39: Ballaststoffgehalt in Abhängigkeit von der Temperaturdifferenz zwischen Oberfläche und Unterboden (Abschnitt: Basis)

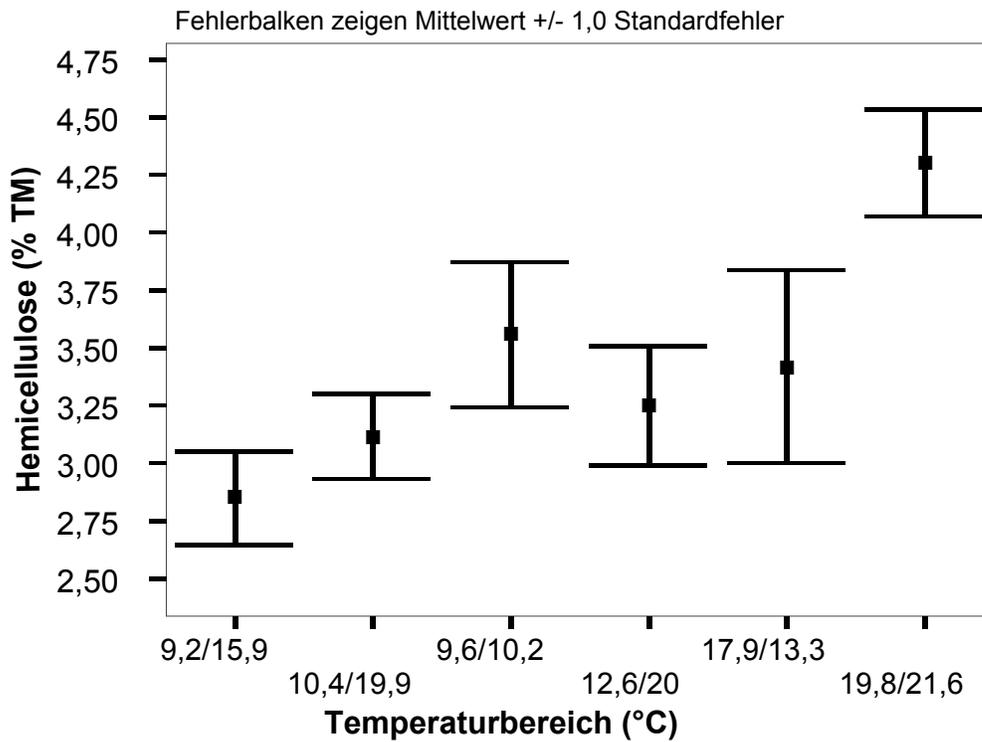
Gerüstkohlenhydrate und Lignin

Abbildung 40: Einfluss der Bodentemperatur auf den Hemicellulosegehalt in der Trockenmasse der gesamten Spargelstange

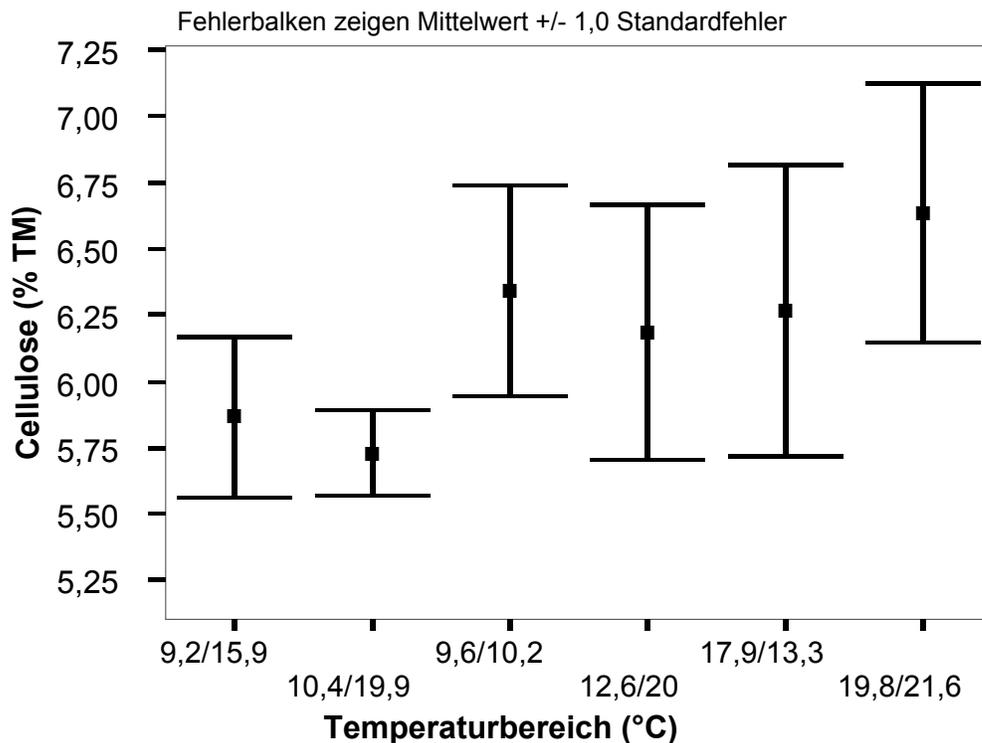


Abbildung 41: Einfluss der Bodentemperatur auf den Cellulosegehalt in der Trockenmasse der gesamten Spargelstange

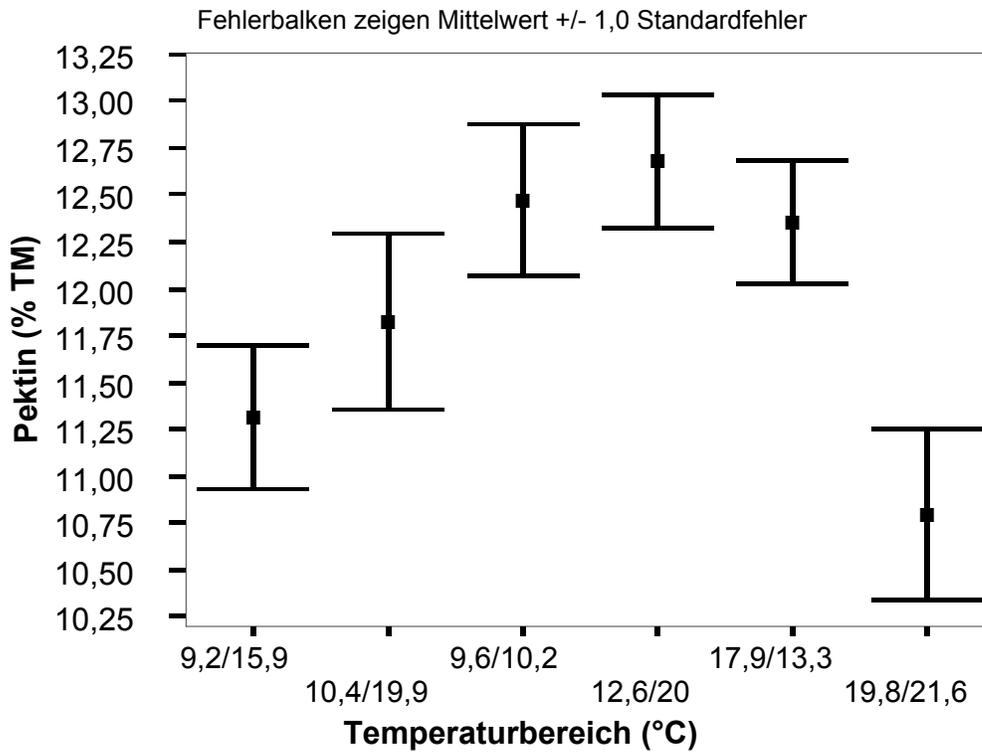


Abbildung 42: Einfluss der Bodentemperatur auf den Pektingehalt in der Trockenmasse der gesamten Spargelstange

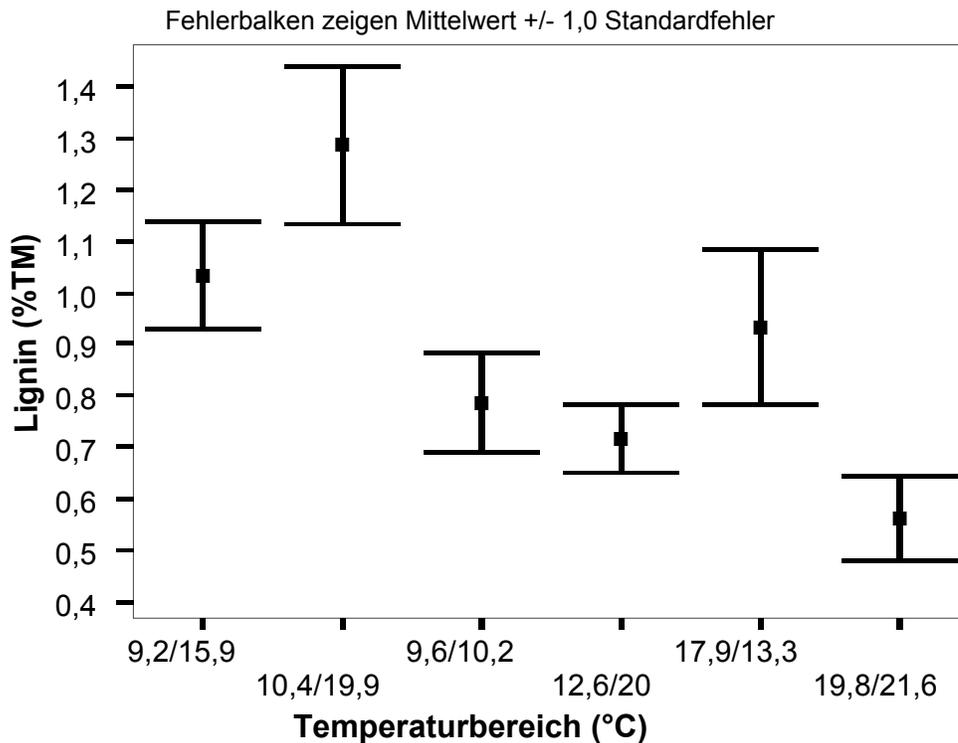


Abbildung 43: Einfluss der Bodentemperatur auf den Ligningehalt in der Trockenmasse der gesamten Spargelstange

*Tabelle 11: Mittlere Lignin- und Pektingehalte in der Trockenmasse der gesamten Spargelstange in Abhängigkeit von der Unterboden- und Oberflächentemperatur*

<b>Temperaturprofil</b>	<b>Ligningehalt (%)</b>	<b>Pektingehalt (%)</b>
9,2°C/15,9°C	1,03 bc	11,32 ab
10,4°C/19,9°C	1,29 c	11,82 abc
9,6°C/10,2°C	0,79 ab	12,47 bc
12,6°C/20°C	0,72 ab	12,68 c
17,9°C/13,3°C	0,93 bc	12,36 bc
19,8°C/21,6°C	0,56 a	10,79 a

Beim Cellulosegehalt bestanden zwischen den Varianten in der Trockenmasse der gesamten Spargelstange keine signifikanten Unterschiede. Tendenziell nahm der Cellulosegehalt (Abbildung 41) mit Temperaturzunahme von ca. 10°C auf ca. 20°C bei homogenen Temperaturverhältnissen im Boden (max. 2K Temperaturdifferenz zwischen Oberflächen- und Unterbodentemperatur) um ca. 10% zu. Der Hemicellulosegehalt nahm mit Temperaturzunahme bei homogenen Temperaturverhältnissen um ca. 25% zu (Abbildung 40).

Der Ligningehalt nahm mit Temperaturzunahme ab (Abbildung 43, Tabelle 11), der Pektingehalt erst zu und dann wieder ab (Abbildung 42, Tabelle 11).

### 3.1.2 Einfluss des Pflanzabstandes

#### Ertrag

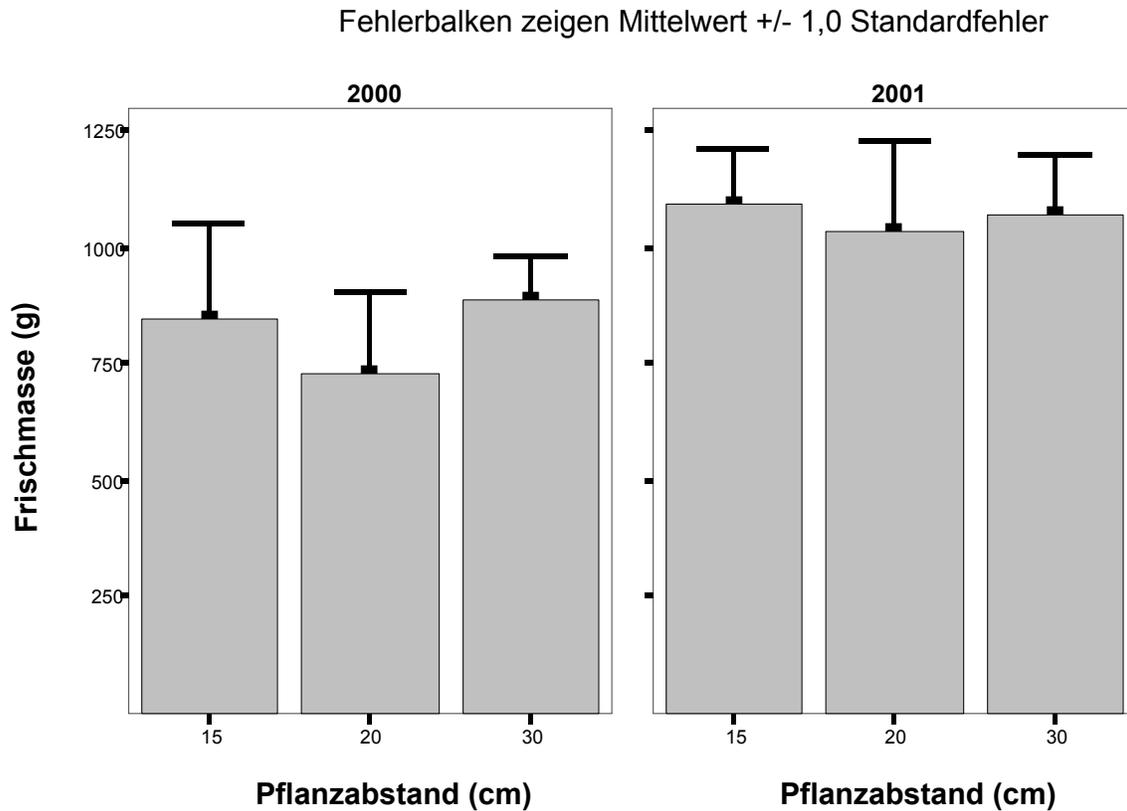


Abbildung 44: Einfluss des Pflanzabstandes auf den Gesamtertrag an den drei Ernteterminen in den Jahren 2000 und 2001

Der Pflanzabstand hatte keinen statistisch signifikanten Einfluss auf den Gesamtertrag (Frischmasse [g]), an den drei Ernteterminen in den Jahren 2000 und 2001 (Abbildung 44).

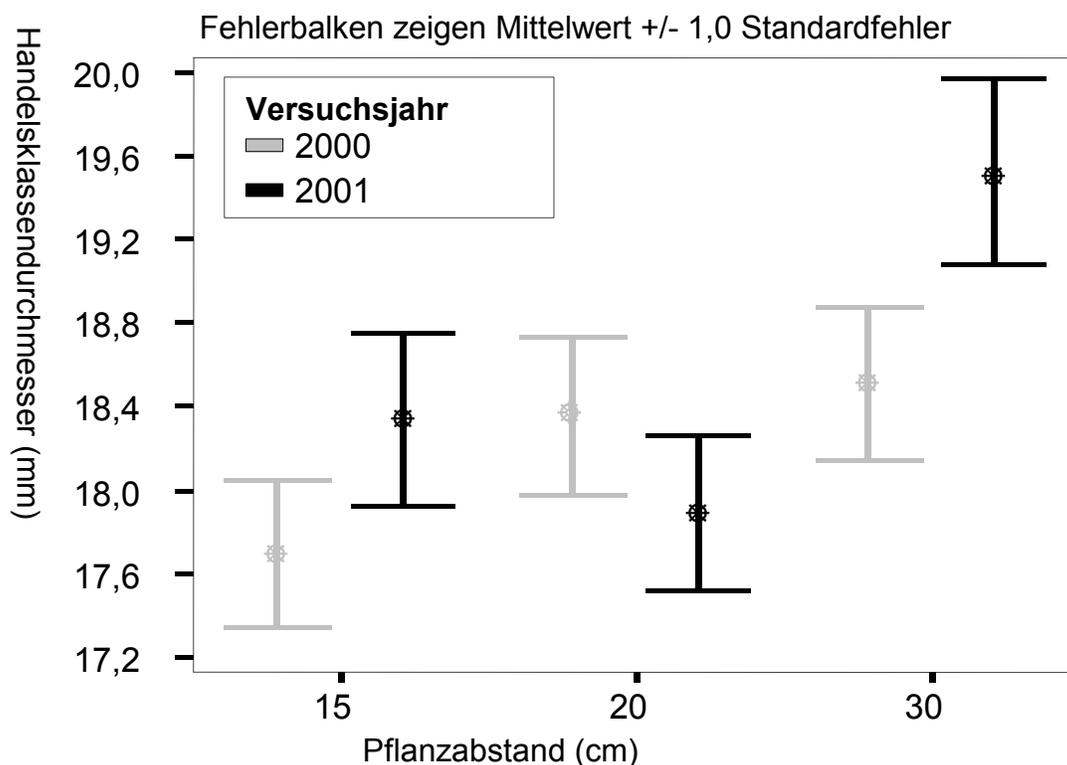
Äußere Qualitätsmerkmale

Abbildung 45: Einfluss des Pflanzabstandes auf den Durchmesser der Spargelstange, der zur Einteilung in die Handelsklasse herangezogen wird (Versuchsjahre: 2000 und 2001)

Der Pflanzabstand hatte einen signifikanten Einfluss auf den Durchmesser der Spargelstange bei 11 cm unterhalb der Spitze (Handelsklassendurchmesser, Abbildung 45), sowie einen signifikanten Einfluss auf das Frischgewicht der 22 cm langen Spargelstange (Abbildung 47). Bei engem Pflanzabstand (15 cm) wurden Spargelstangen mit einem Durchmesser von 17,7 cm im Jahre 2000 (Jahr 2001: 18,4 cm) und einem Frischgewicht von 46,8 g (Jahr 2001: 50 g) ausgebildet. Bei weitem Pflanzabstand von 30 cm wurden Spargelstangen mit signifikant höherem Durchmesser (Jahr 2000: 18,4 cm; Jahr: 2001: 19,4 cm) und Frischgewicht (Jahr 2000: 50,4 g; Jahr 2001: 55,7 g) ausgebildet. Der Anteil an Spargelstangen der Handelsklasse I wies Unterschiede bei den Pflanzabständen auf. So waren 79-82% aller Spargelstangen bei weitem Pflanzabstand (30 cm) größer als 14 mm, bei engem Pflanzabstand (15 cm) 73-78% aller Spargelstangen je nach Versuchsjahr (Abbildung 46).

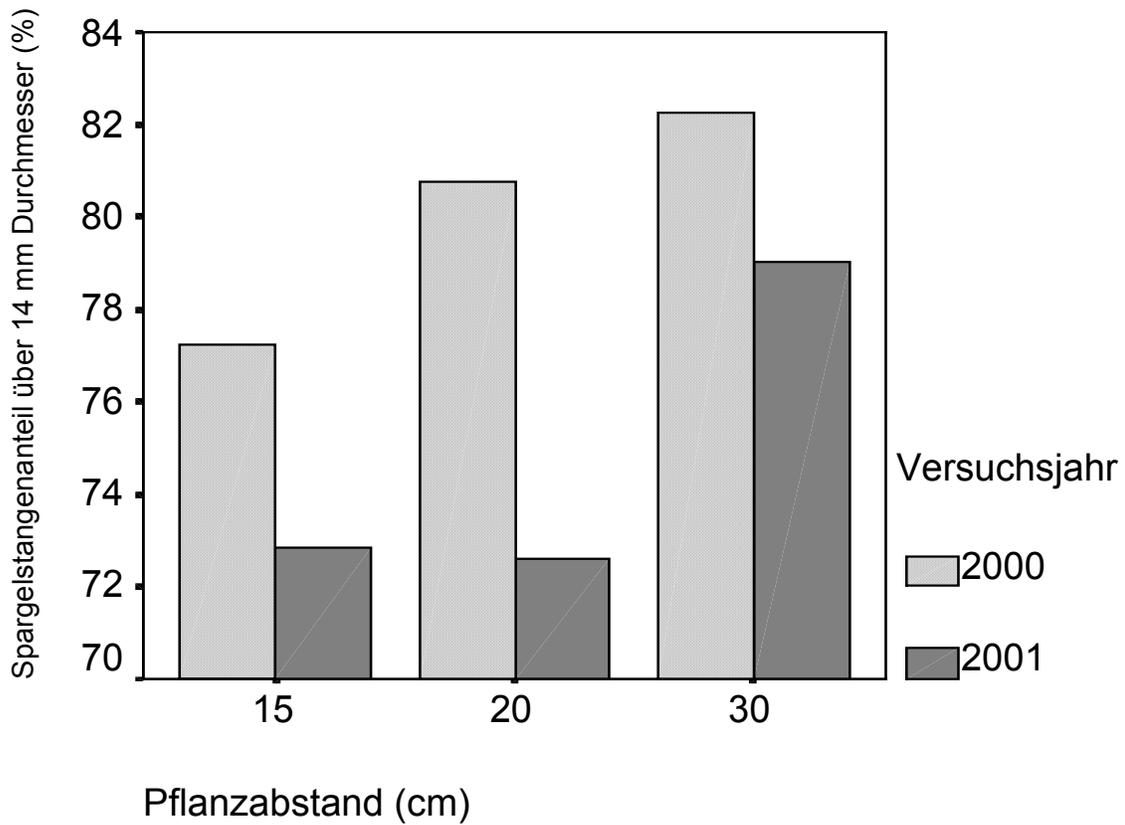


Abbildung 46: Einfluss des Pflanzabstandes auf den Anteil an Spargelstangen, die größer als 14 mm waren (Versuchsjahre: 2000 und 2001)

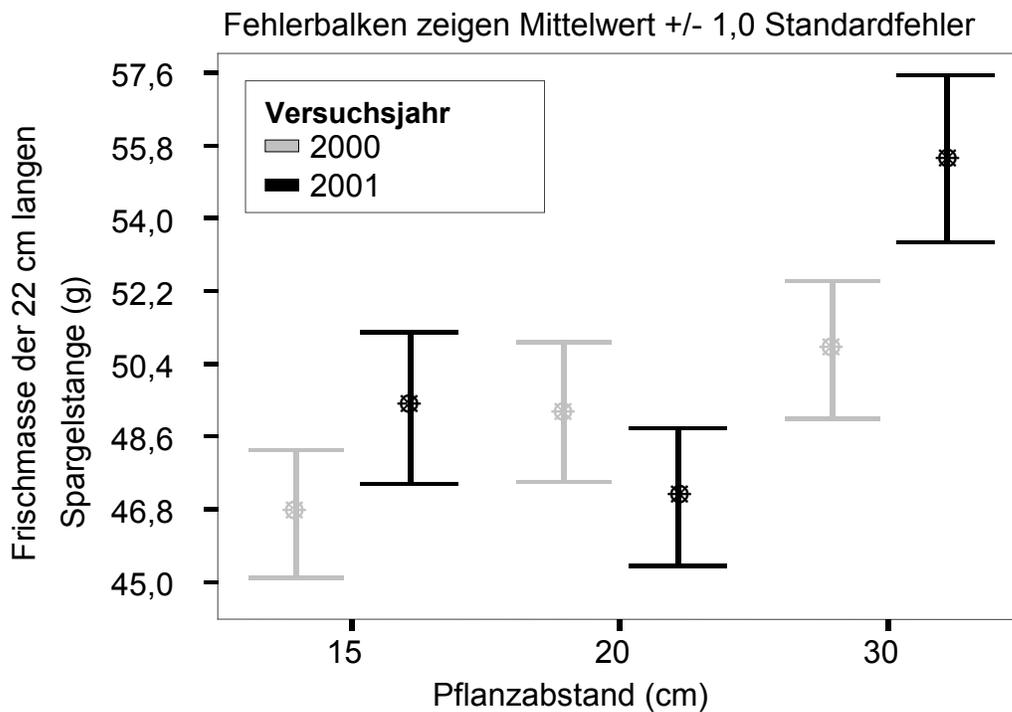


Abbildung 47: Einfluss des Pflanzabstandes auf das Frischgewicht der 22 cm langen Spargelstange (Versuchsjahre: 2000 und 2001)

### Innere Qualitätsmerkmale

Untersucht wurde der Einfluss des Pflanzabstandes auf den Anteil der Schale an der Frischmasse, die Gewebefestigkeit (ausgedrückt durch die Maximalkraft nach Warner-Bratzler) und den Gehalt an Gesamtballaststoffen.

#### Schalenanteil

Der Pflanzabstand hatte keinen signifikanten Einfluss auf den Anteil der Schale an der Frischmasse von Spargel (Tabelle 12) an den jeweiligen Pflanzterminen.

Tabelle 12: Einfluss des Pflanzabstandes auf den Schalenanteil an der Frischmasse von Spargel (%) (Jahr: 2001)

				Anteil der Schale am Frischgewicht (%)
Erntetermin	09.04.2001	Pflanzabstand (cm)	15	15,1 a
			20	14,0 a
			30	13,8 a
	17.05.2001	Pflanzabstand (cm)	15	16,4 a
			20	15,9 a
			30	15,3 a
	28.05.2001	Pflanzabstand (cm)	15	16,8 ab
			20	18,3 b
			30	18,0 b

#### Gewebefestigkeitsmessungen nach Warner Bratzler

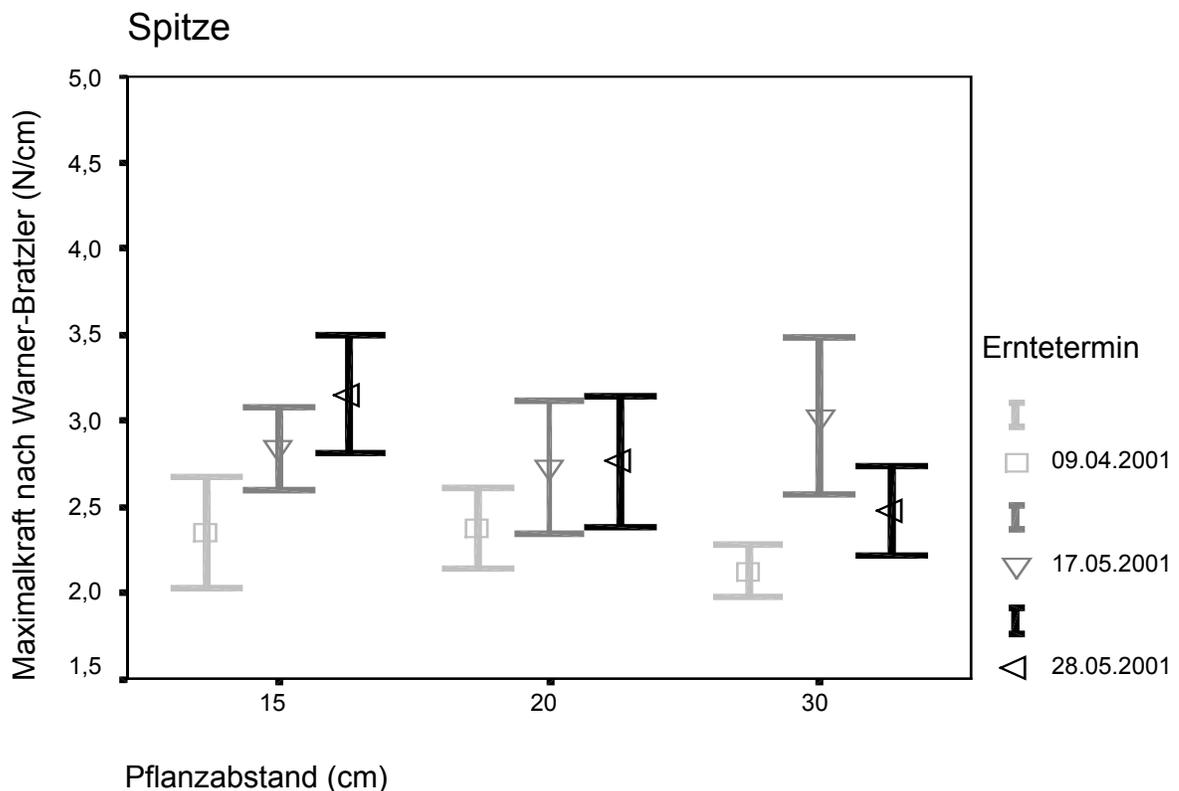


Abbildung 48: Einfluss des Pflanzabstandes auf die Gewebefestigkeit, ausgedrückt als Maximalkraft nach Warner-Bratzler an drei Ernteterminen in 2001 (Abschnitt: Spitze)

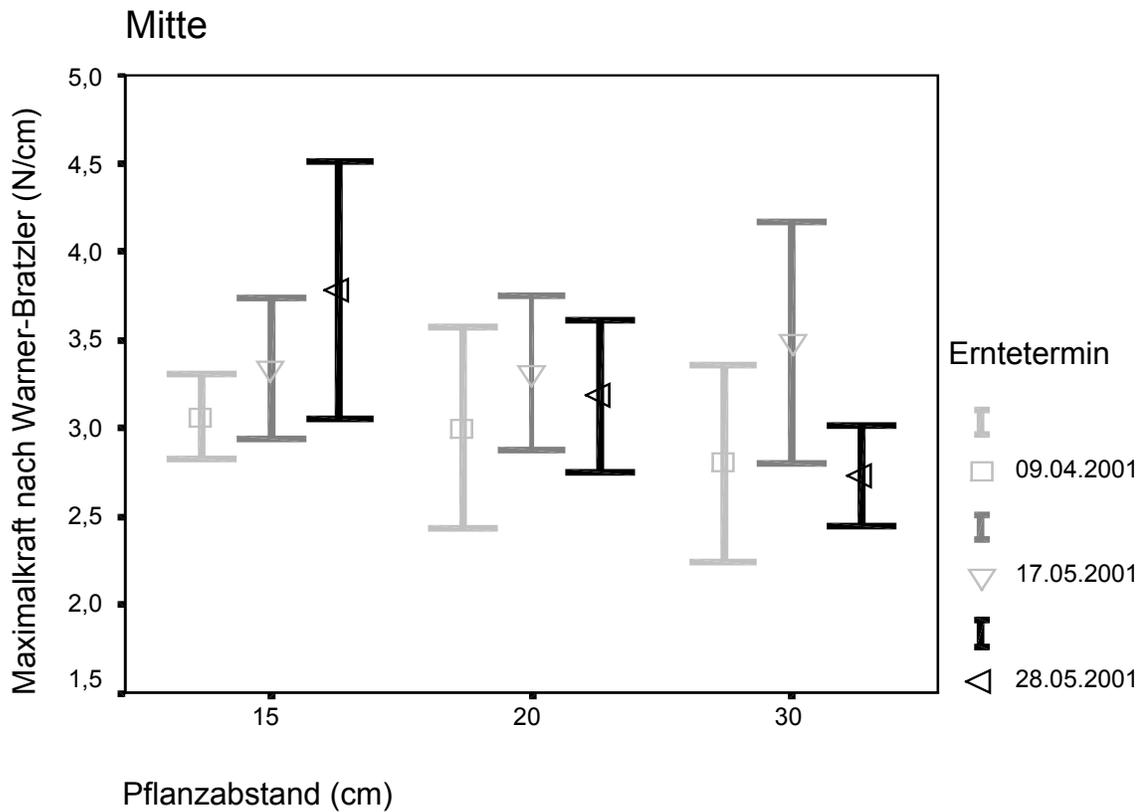


Abbildung 49: Einfluss des Pflanzabstandes auf die Gewebefestigkeit, ausgedrückt als Maximalkraft nach Warner-Bratzler an drei Ernteterminen in 2001 (Abschnitt: Mitte)

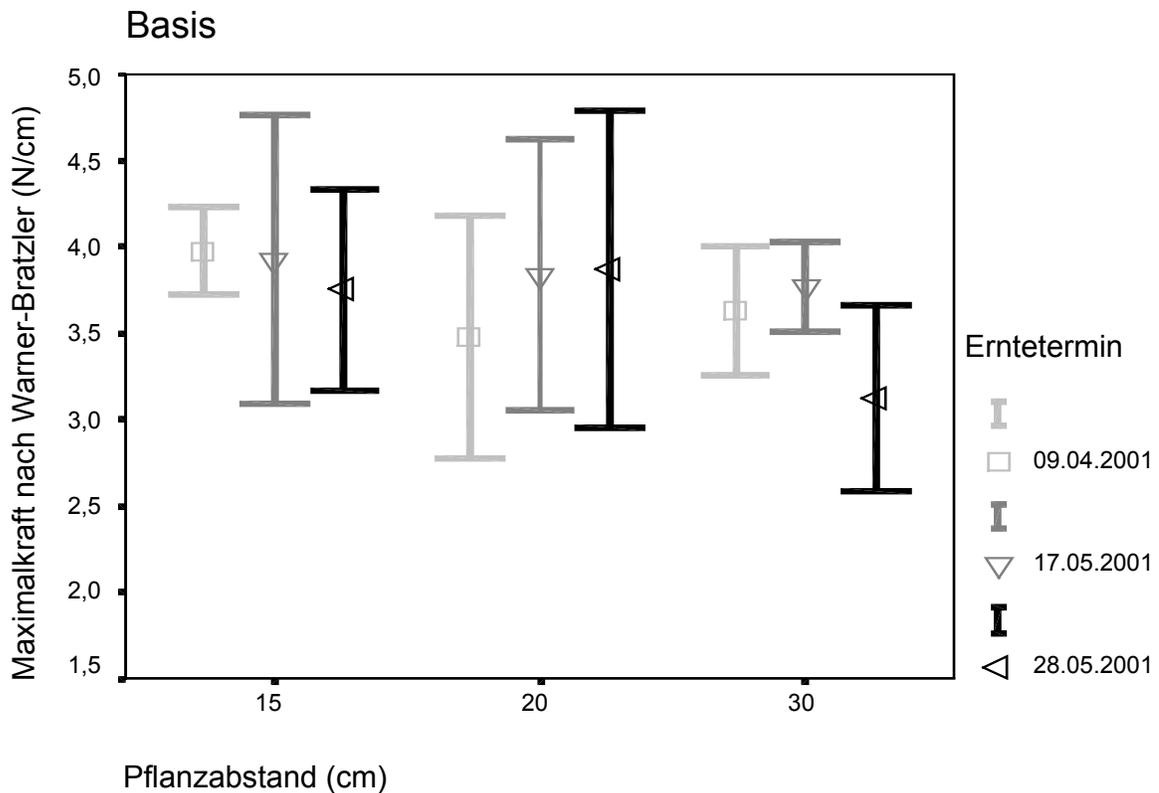


Abbildung 50: Einfluss des Pflanzabstandes auf die Gewebefestigkeit, ausgedrückt als Maximalkraft nach Warner-Bratzler an drei Ernteterminen in 2001 (Abschnitt: Basis)

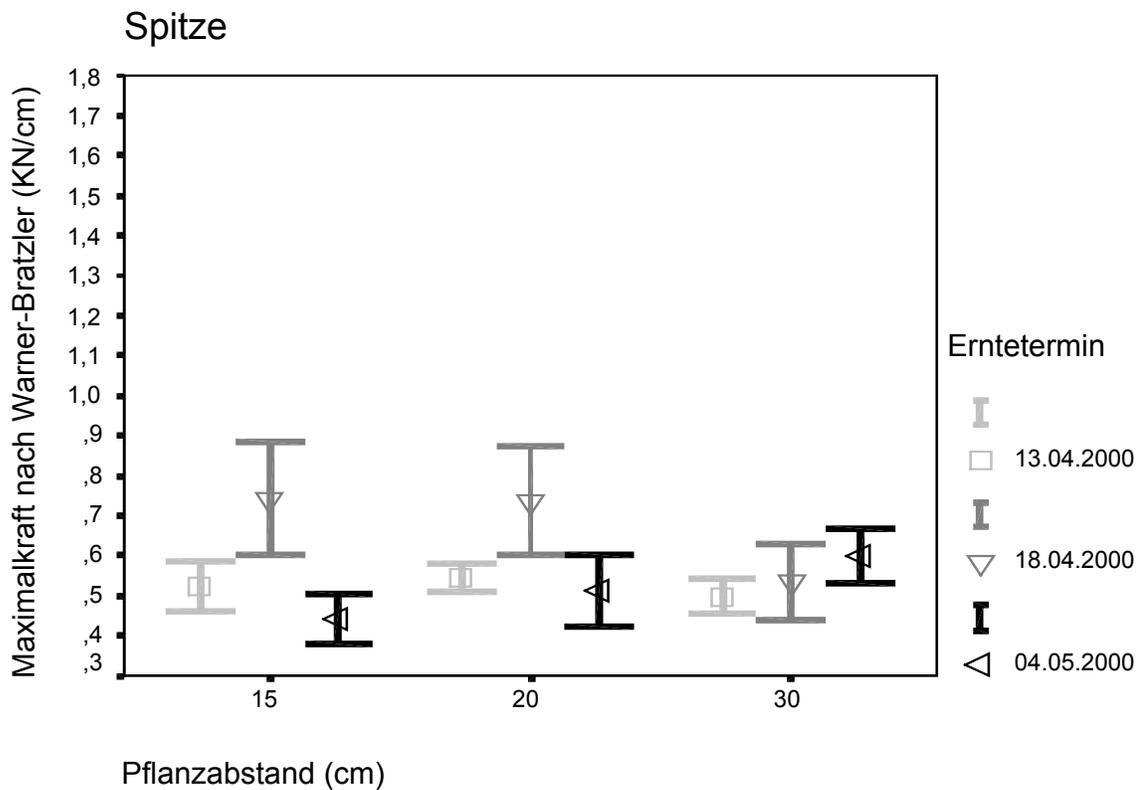


Abbildung 51: Einfluss des Pflanzabstandes auf die Gewebefestigkeit, ausgedrückt als Maximalkraft nach Warner-Bratzler an drei Ernteterminen in 2000 (Abschnitt: Spitze)

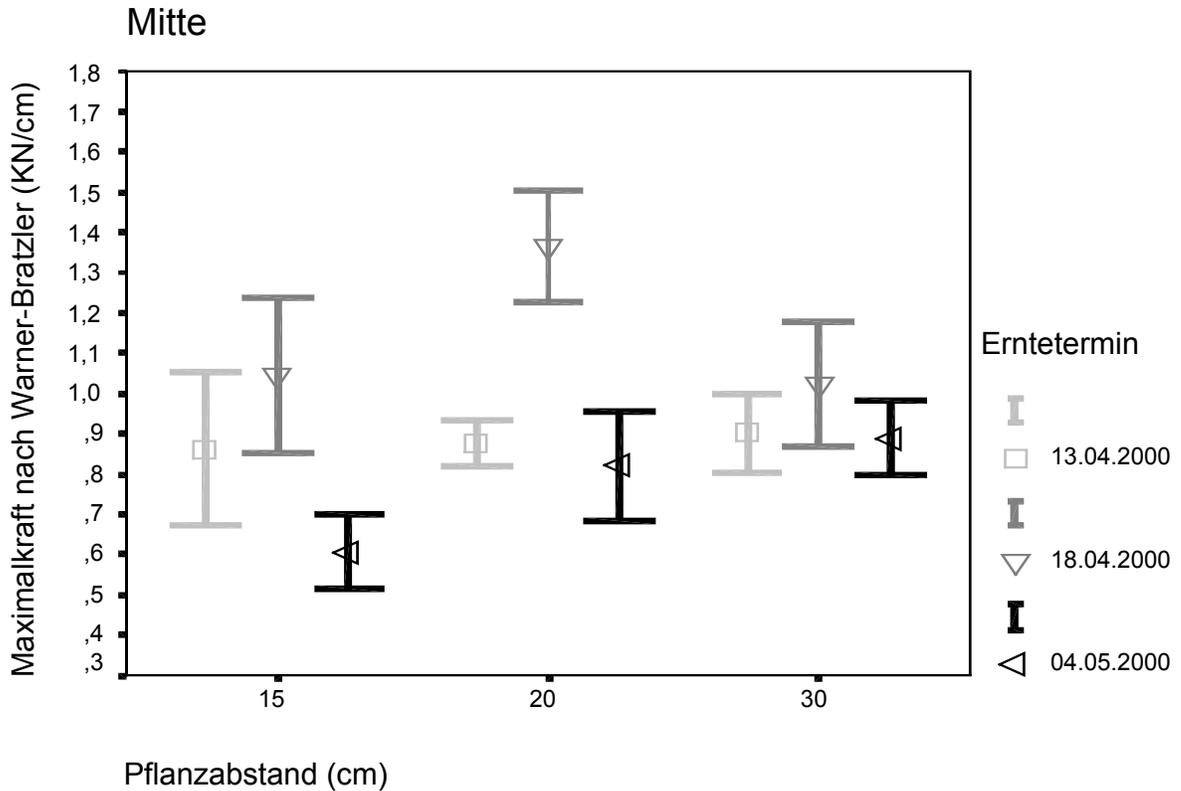


Abbildung 52: Einfluss des Pflanzabstandes auf die Gewebefestigkeit, ausgedrückt als Maximalkraft nach Warner-Bratzler an drei Ernteterminen in 2000 (Abschnitt: Mitte)

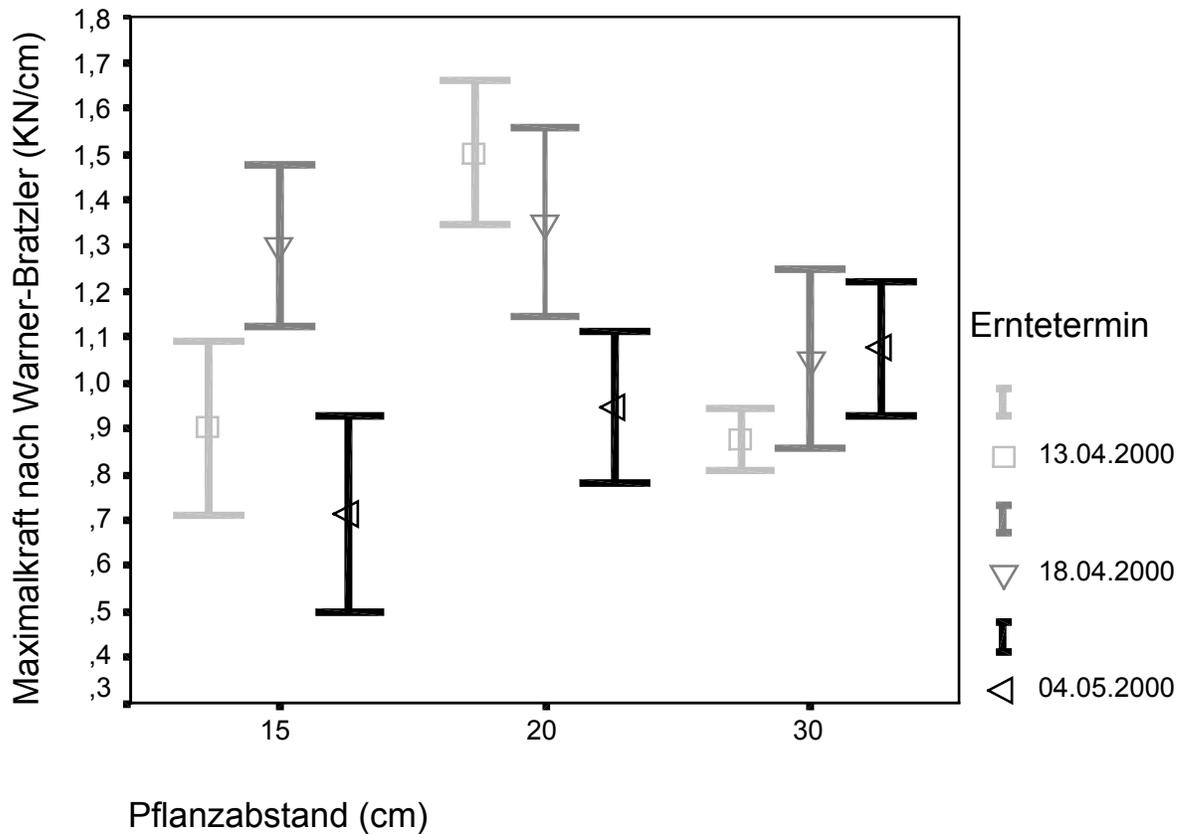


Abbildung 53: Einfluss des Pflanzabstandes auf die Gewebefestigkeit, ausgedrückt als Maximalkraft nach Warner-Bratzler an drei Ernteterminen in 2000 (Abschnitt: Basis)

In beiden Versuchsjahren (2000 und 2001) bestanden zwischen den Messungen der Maximalkraft Gewebebruch nach Warner-Bratzler keine Unterschiede zwischen den Pflanzabständen (Abbildungen 48 bis 53).

Der Pflanzabstand hatte demnach keinen signifikanten Einfluss auf die Gewebefestigkeit, die mittels physikalischen Messmethoden bestimmt worden ist.

Ballaststoffe

Der Pflanzabstand hatte keinen signifikanten Einfluss auf den Ballaststoffgehalt in der Trockensubstanz von Spargel in den drei Abschnitten (Abbildungen 54 bis 56).

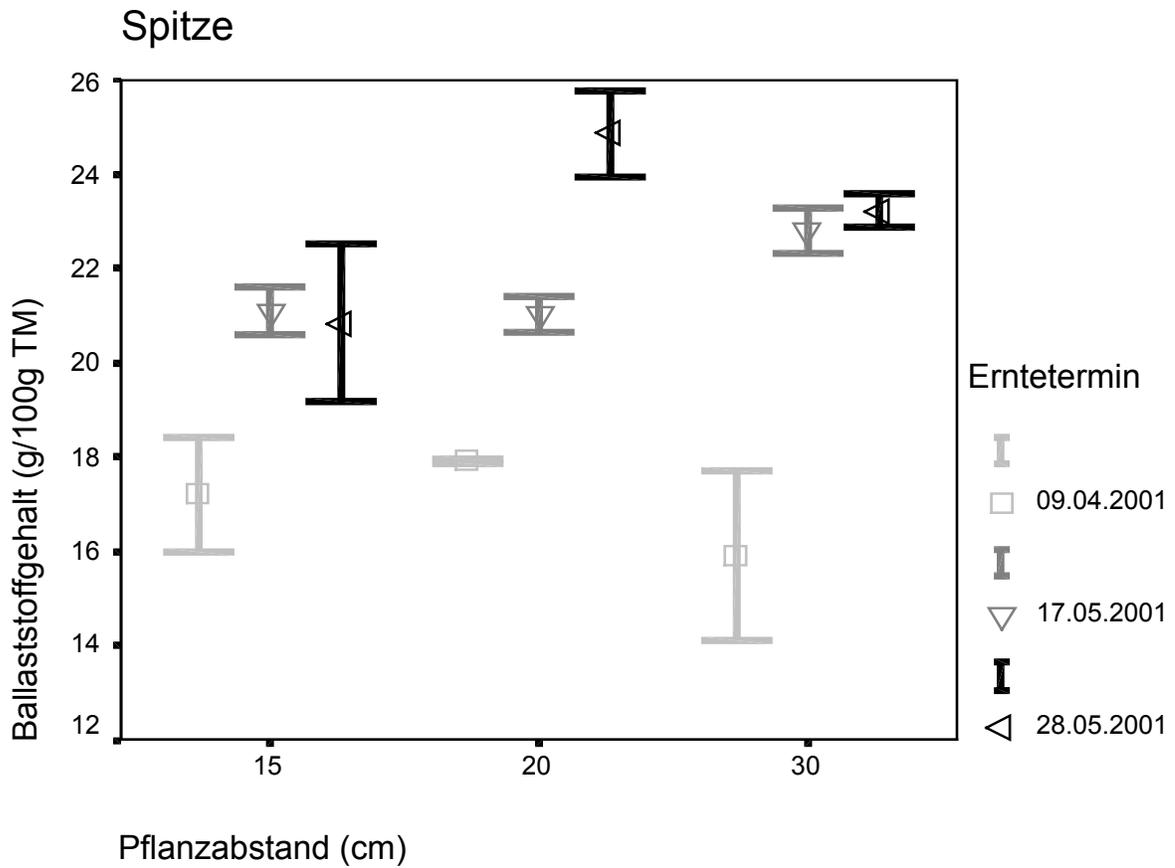


Abbildung 54: Einfluss des Pflanzabstandes auf den Ballaststoffgehalt in der Trockensubstanz an drei Ernteterminen in 2001 (Abschnitt: Spitze)

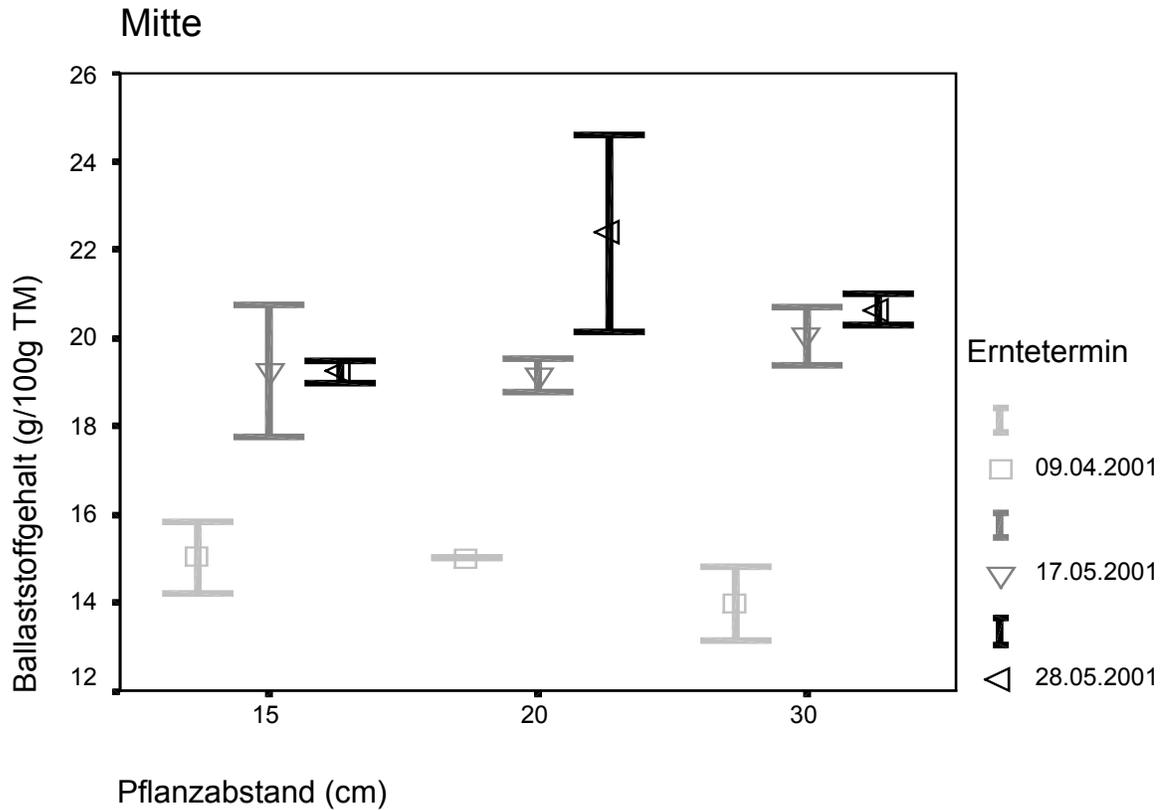


Abbildung 55: Einfluss des Pflanzabstandes auf den Ballaststoffgehalt in der Trockensubstanz an drei Ernteterminen in 2001 (Abschnitt: Mitte)

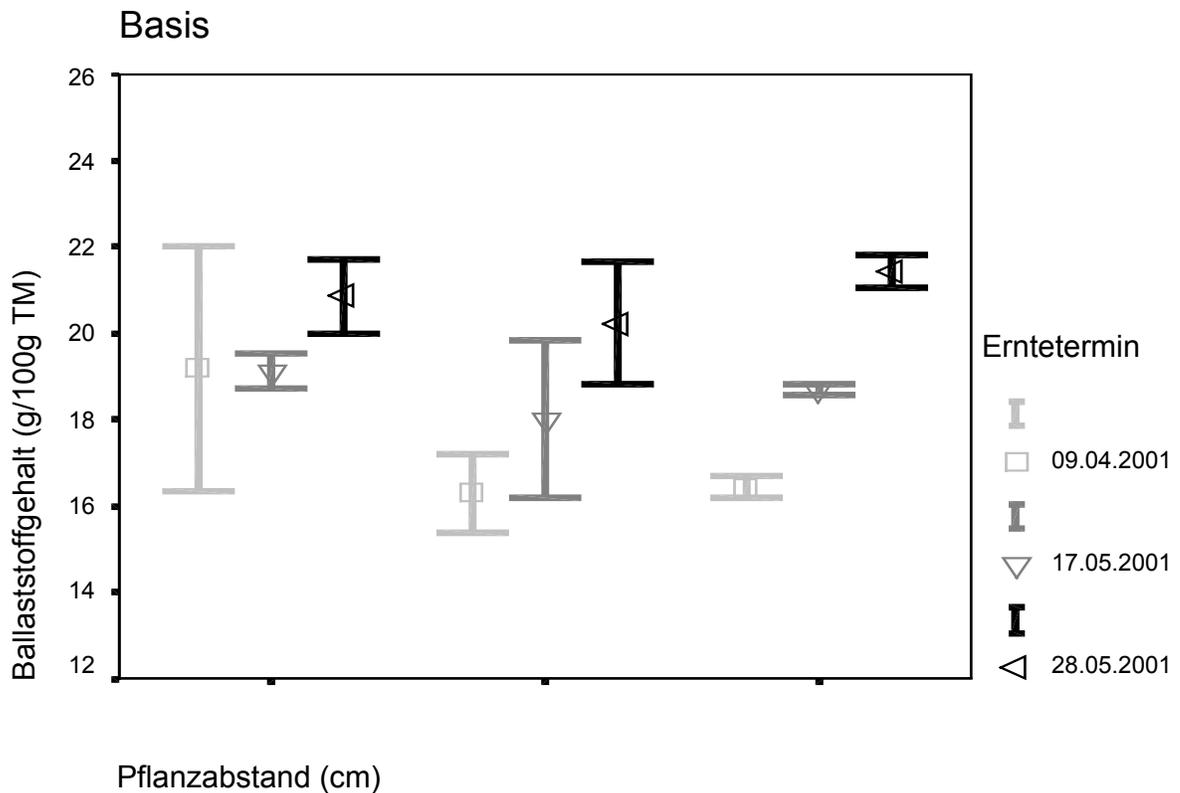


Abbildung 56: Einfluss des Pflanzabstandes auf den Ballaststoffgehalt in der Trockensubstanz an drei Ernteterminen in 2001 (Abschnitt: Basis)

### 3.2 Auswirkungen einer Kurzzeitlagerung von Spargel auf die Produktqualität

Spargel (Tabelle 13) wurden hinsichtlich einer Temperaturwirkung und einer Folierung während einer viertägigen Lagerung auf äußere und innere Qualitätseigenschaften untersucht.

Tabelle 13: Spargelvarianten, die vier Tage gelagert worden sind

Variante	Temperatur	Folie	Status
20°C / o. F.	20°C	nur am Schnittende praxisüblich foliert	ungeschält
20°C / OPP	20°C	OPP- Folie, mikroperforiert	ungeschält
2°C / o. F.	2°C	nur am Schnittende praxisüblich foliert	ungeschält
2°C / OPP	2°C	OPP- Folie, mikroperforiert	ungeschält

#### Veränderungen der Gaszusammensetzung innerhalb der Verpackung

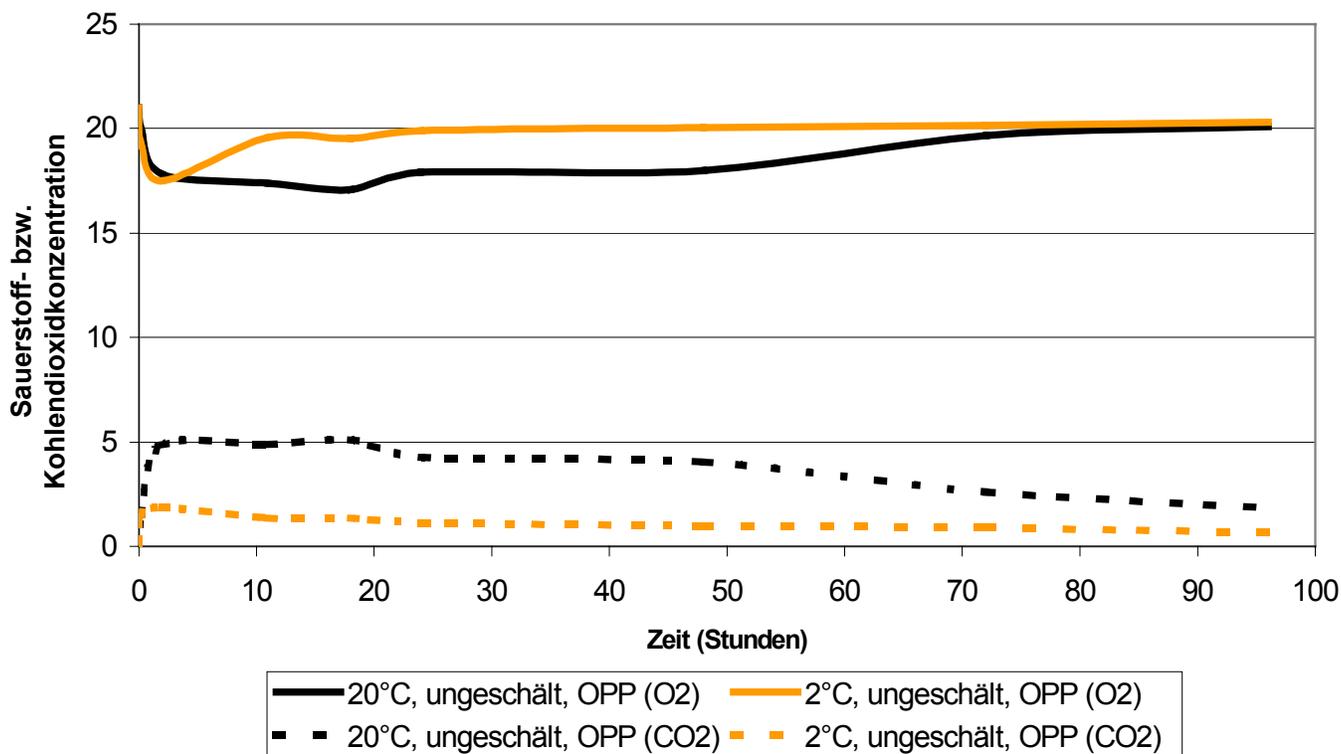


Abbildung 57: Veränderungen der Kohlendioxid- und Sauerstoffkonzentration während der Kurzzeitlagerung von ungeschältem Spargel, gelagert bei 2°C und 20°C in mikroperforierter OPP-Folie (28. Mai bis 01. Juni 2001)

Bei der 20°C-Variante in OPP-Folie kam es zu einer Verringerung des Sauerstoffgehaltes auf ca. 17% und einer Erhöhung des Kohlendioxidgehaltes auf ca. 5%, welcher nach ca. 2 Tagen wieder ansteigt bzw. abfällt. Bei der 2°C-Variante kam es unmittelbar nach Lagerungsbeginn zur Verringerung des Sauerstoffgehaltes und einer

Erhöhung der Kohlendioxidkonzentration, nach 10 Stunden glichen sich diese Werte der Ausgangskonzentration wieder an (Abbildung 57).

### Äußere Qualitätsmerkmale

#### Frischgewicht

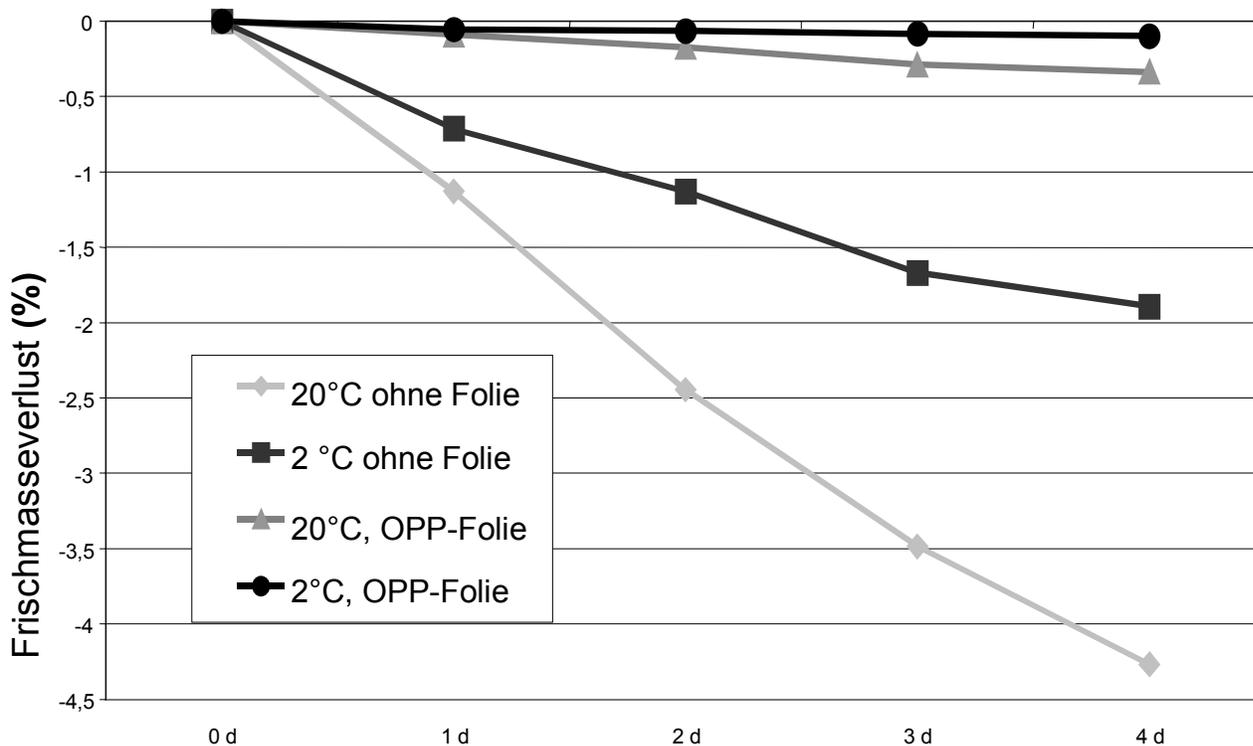


Abbildung 58: Frischmasseverlust von Spargel bei viertägiger Lagerung unter verschiedenen Lagerbedingungen

Bei 20°C gelagerter unfolierter Spargel bei 20°C verlor nach 4 Tagen 4,2% seines Frischgewichtes, bei 2°C unfoliert gelagerter Spargel ca. 2% seines Frischgewichtes. Der Frischgewichtverlust von foliert gelagertem Spargel betrug bei 2°C bzw. bei 20°C nur ca. 0,3% (Abbildung 58).

#### Farbe

Die Veränderungen auf der Rot-Grün-Achse ( $a^*$ ), auf der Gelb-Blau-Achse ( $b^*$ ) und der Helligkeit ( $L^*$ ) wurden an der Spargelspitze und am basalen Abschnitt gemessen.

Bei der Spargelspitze traten folgende Veränderungen ein:

- Abnahme der Helligkeit nach viertägiger Lagerung (Abbildung 59).
- Veränderungen auf der Gelb-Blau-Achse zu einem höheren Gelbanteil, insbesondere bei den 20°C-Varianten (Abbildung 60).
- Die Farbsättigung ( $C^*$ ) nahm bei der unfolierten 20°C-Variante von 8,7 auf 12,4 zu, die Spargelspitze wurde in der Farbe kräftiger (Abbildung 61).

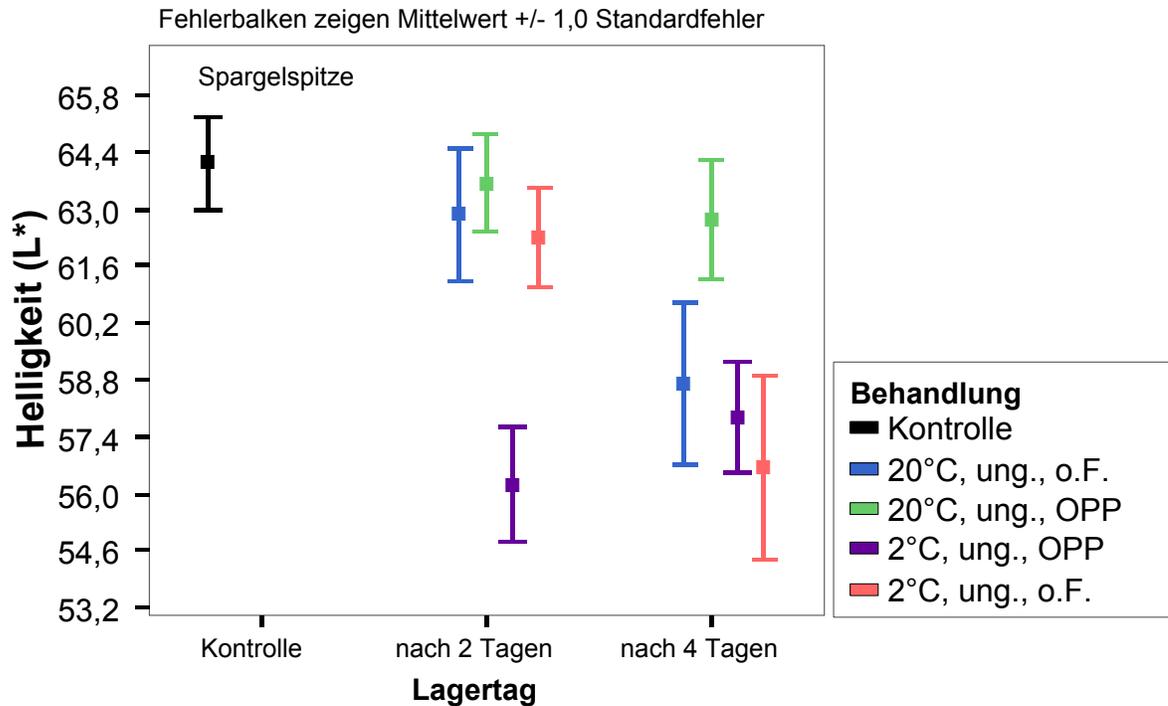


Abbildung 59: Einfluss von Lagerdauer und Behandlung auf die Helligkeit von Spargel (Abschnitt: Spitze)

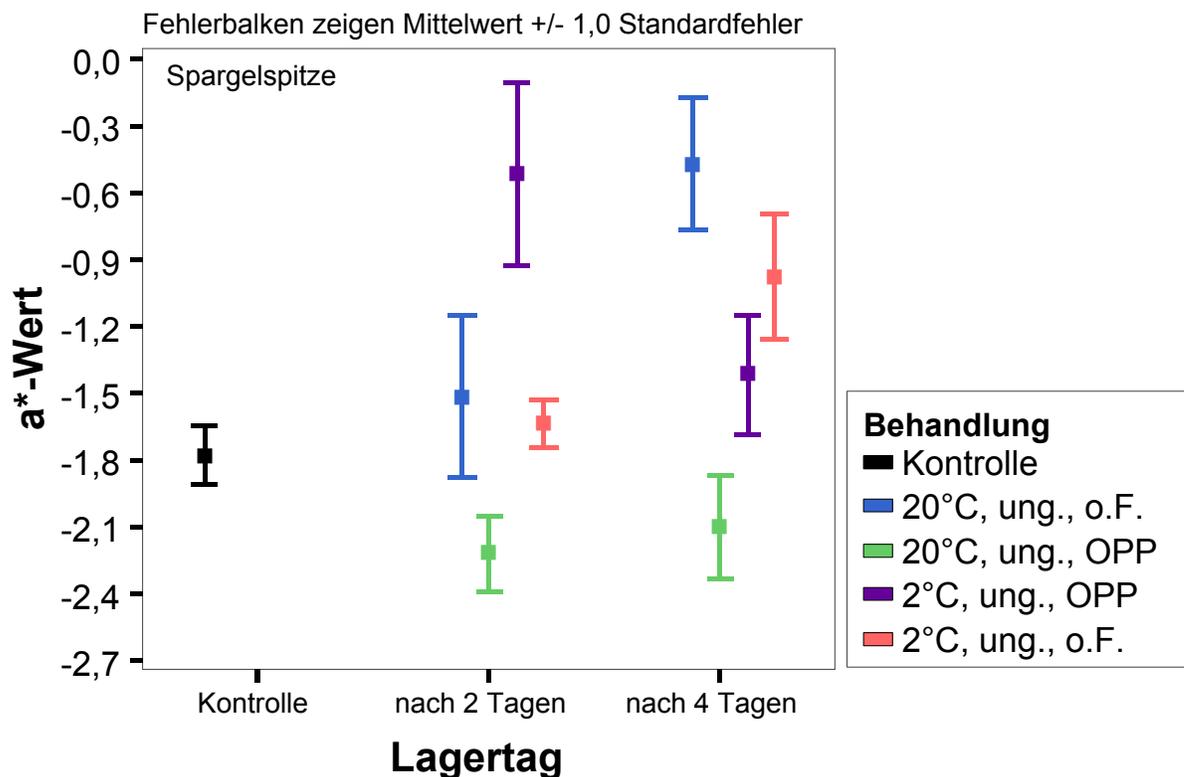


Abbildung 60: Einfluss von Lagerdauer und Behandlung bei Spargel auf die Veränderungen auf der Rot-Grün-Achse (a\*, Abschnitt: Spitze)

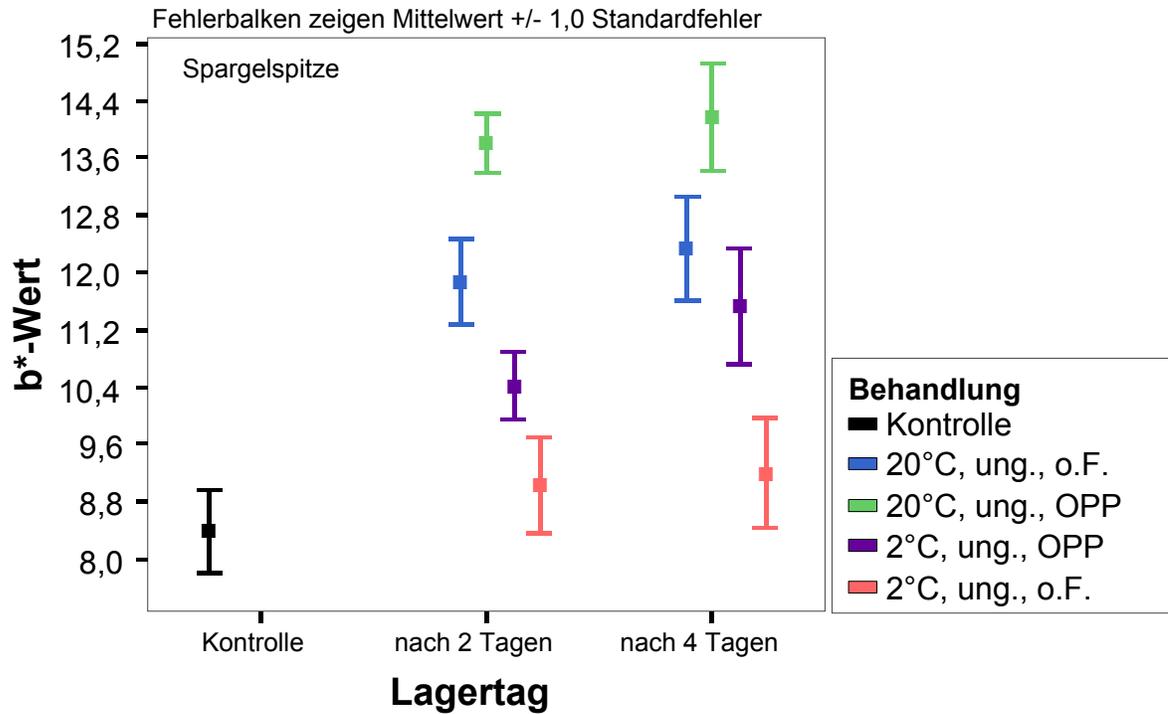


Abbildung 61: Einfluss von Lagerdauer und Behandlung bei Spargel auf die Veränderungen auf der Gelb-Blau-Achse ( $b^*$ , Abschnitt: Spitze)

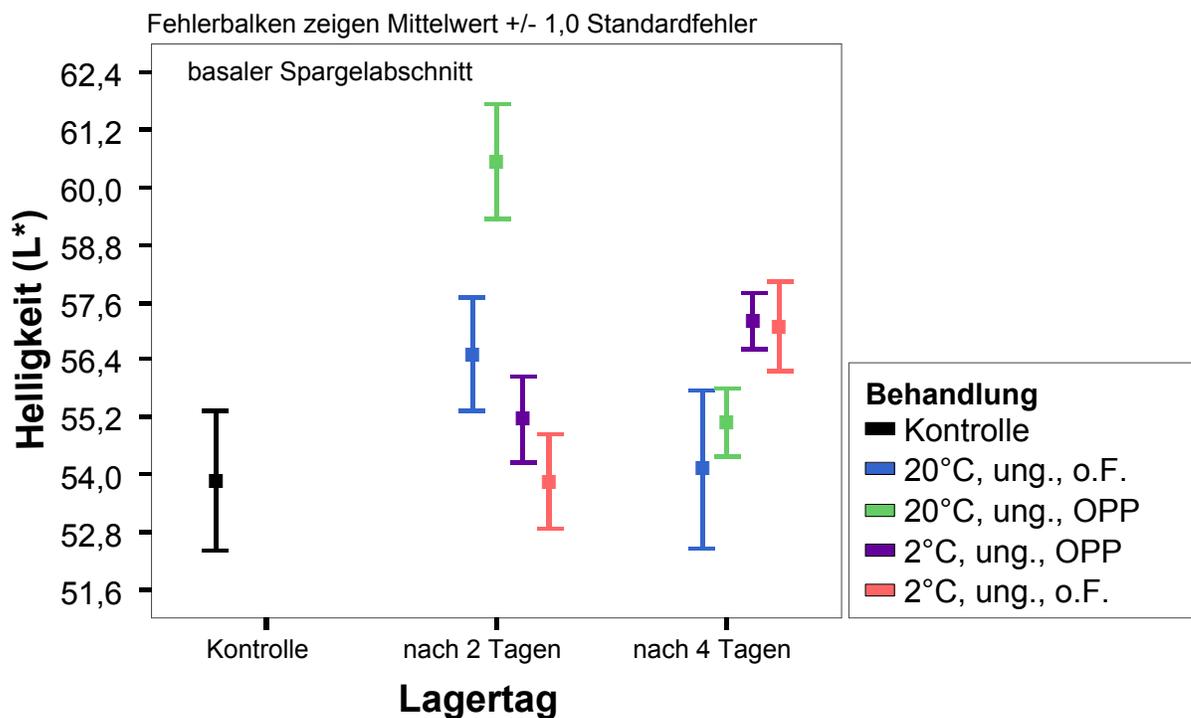


Abbildung 62: Einfluss von Lagerdauer und Behandlung auf die Helligkeit von Spargel (Abschnitt: Basis)

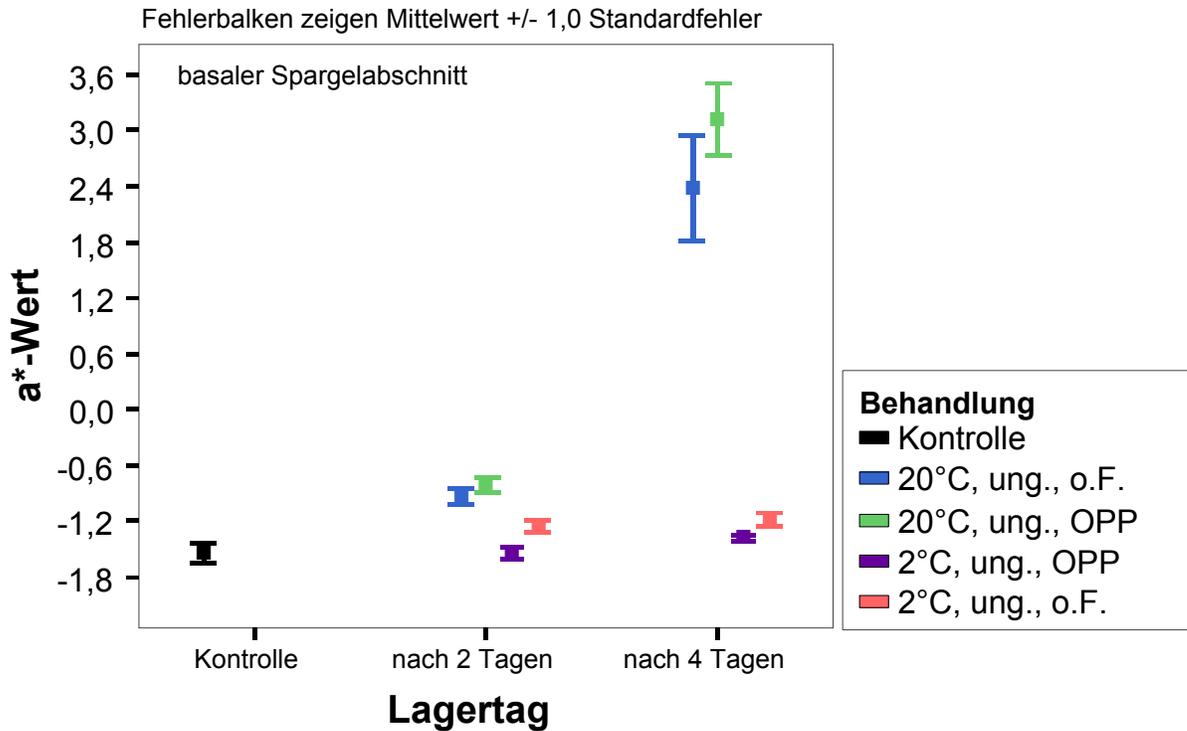


Abbildung 63: Einfluss von Lagerdauer und Behandlung bei Spargel auf die Veränderungen auf der Rot-Grün-Achse ( $a^*$ , Abschnitt: Basis)

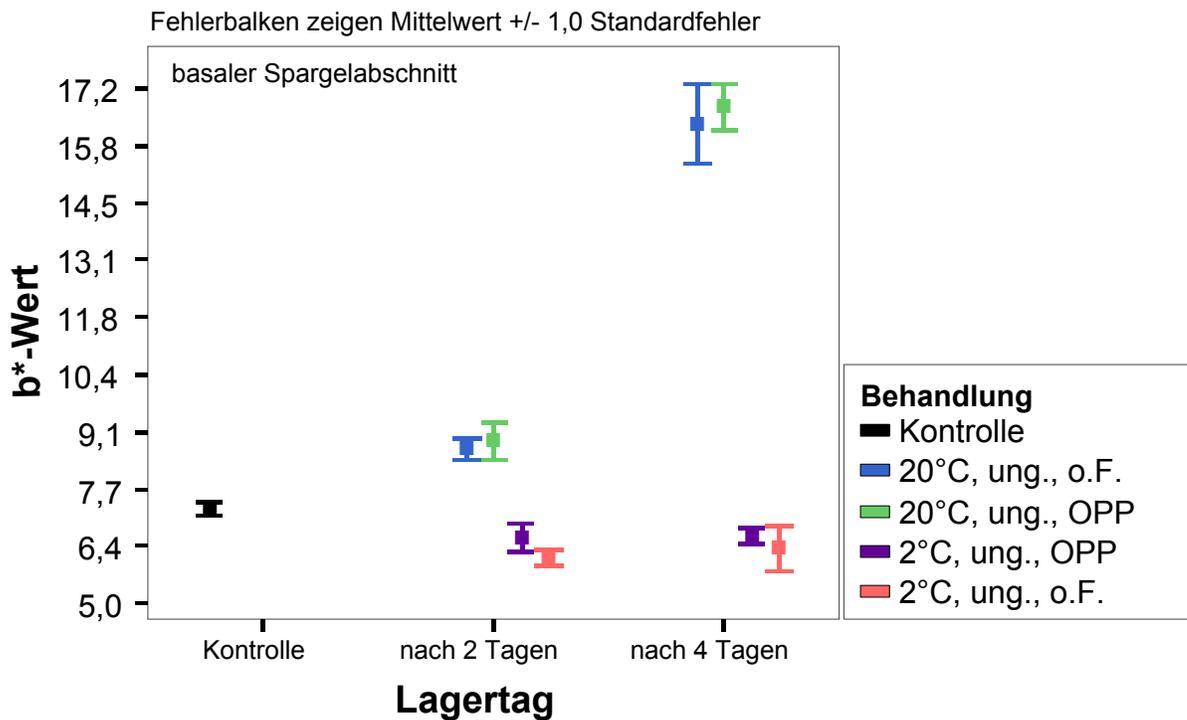


Abbildung 64: Einfluss von Lagerdauer und Behandlung bei Spargel auf die Veränderungen auf der Gelb-Blau-Achse ( $b^*$ , Abschnitt: Basis)

Bei basalen Abschnitt kam es zu folgenden Farbveränderungen:

- Die Veränderungen der Helligkeit waren nach viertägiger Lagerung gering ausgeprägt. Die 2°C-Varianten wurden um 8% heller (Abbildung 62).
- Starke Änderungen gab es auf der Rot-Grün-Achse ( $a^*$ ) bei den 20°C-Varianten. Der  $a^*$ -Wert nahm von  $-1,5$  auf  $2,8$  zu (Abbildung 63).
- Bei den 20°C-Varianten nahm der  $b^*$ -Wert von  $7$  auf  $16$  zu (Abbildung 64).
- Die Farbsättigung ( $C^*$ ) nahm bei den 20°C-Varianten von  $7,2$  auf  $16,2$  zu, die Farbausprägung wurde kräftiger.

### Innere Qualitätsmerkmale

Untersucht wurde, inwiefern sich eine viertägige Lagerung bei verschiedenen Temperaturen und Folierungen auf die Gewebefestigkeit (Abbildungen 65 bis 67) und die innere Qualität wie Ballaststoff-, Lignin- und Zuckergehalt sowie den Trockensubstanzgehalt auswirkt.

### Gewebefestigkeit nach Warner-Bratzler

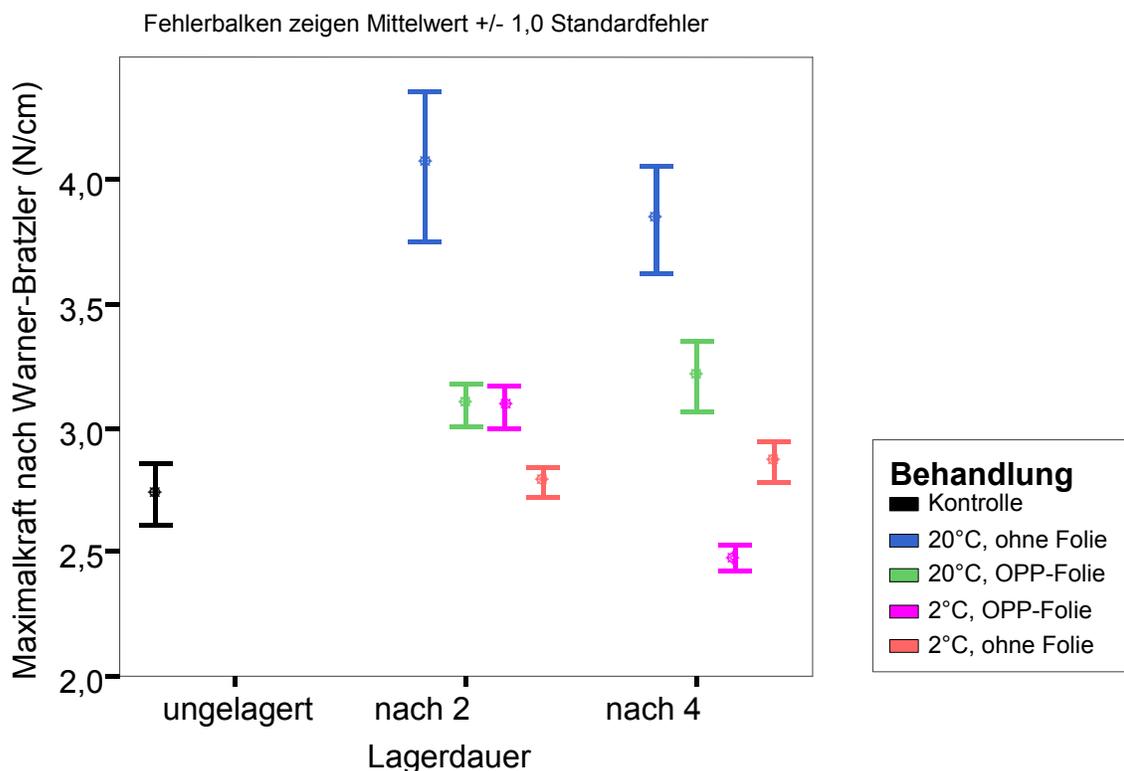


Abbildung 65: Einfluss von Lagerdauer und Behandlung auf die Gewebefestigkeit von Spargel, ausgedrückt als Maximalkraft nach Warner-Bratzler (Abschnitt: Spitze)

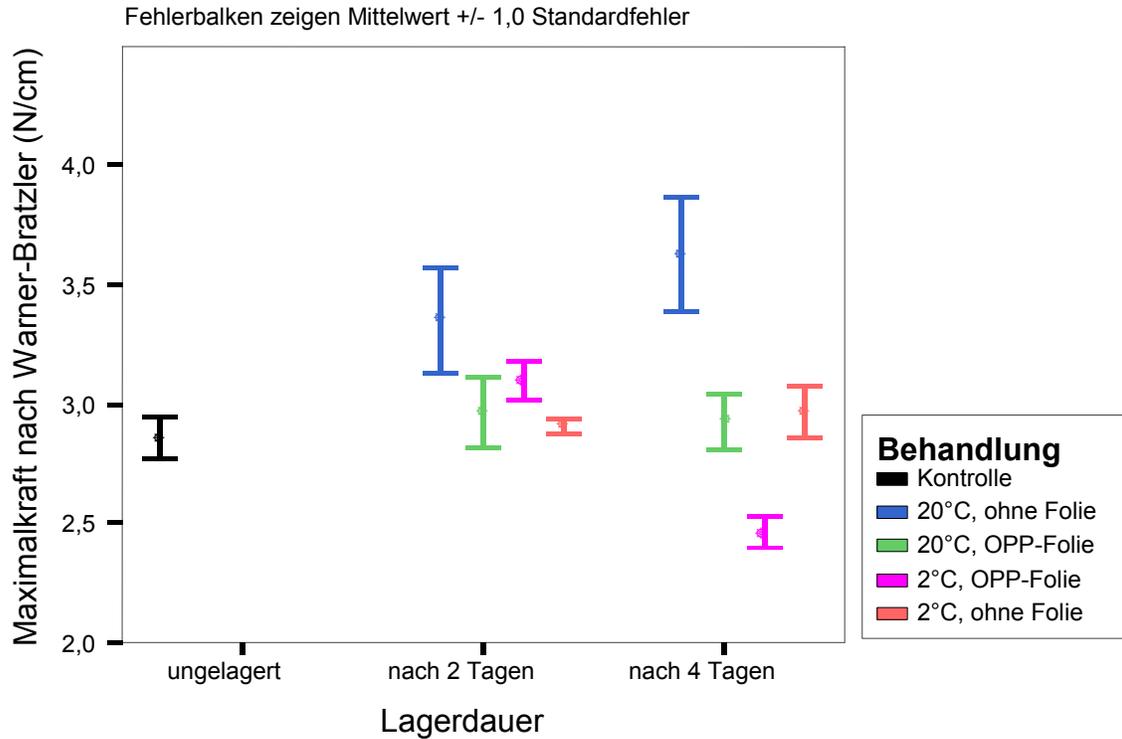


Abbildung 66: Einfluss von Lagerdauer und Behandlung auf die Gewebefestigkeit von Spargel, ausgedrückt als Maximalkraft nach Warner-Bratzler (Abschnitt: Mitte)

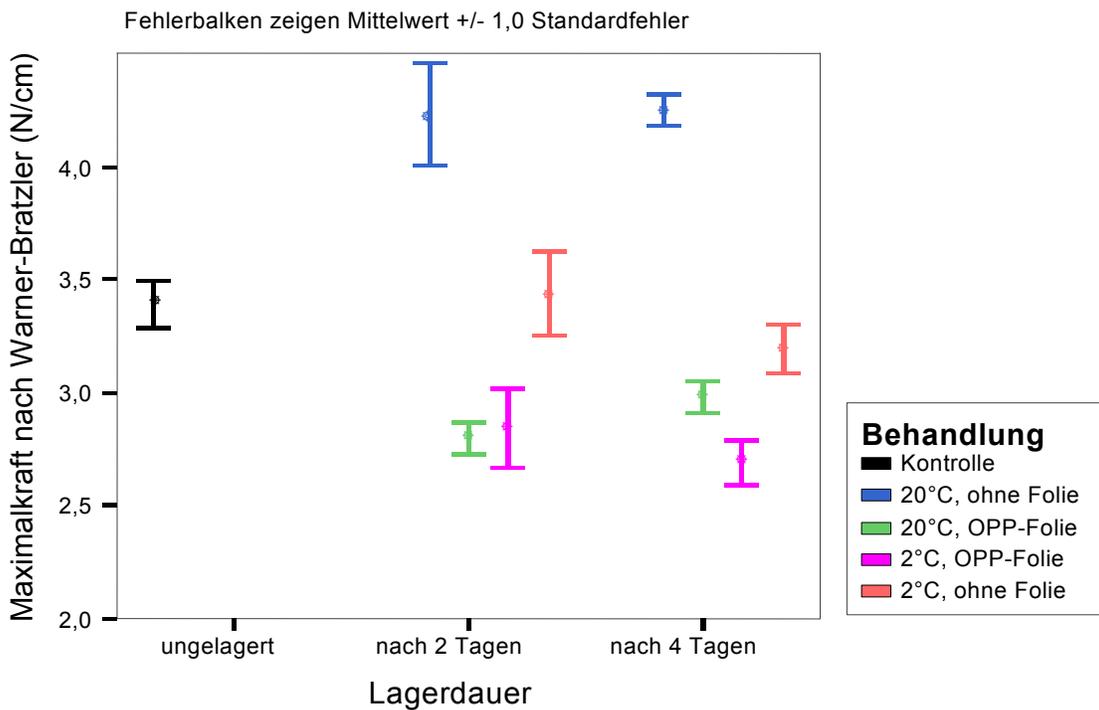


Abbildung 67: Einfluss von Lagerdauer und Behandlung auf die Gewebefestigkeit von Spargel, ausgedrückt als Maximalkraft nach Warner-Bratzler (Abschnitt: Basis)

Eine dreifaktorielle Varianzanalyse und anschließend Mittelwertvergleich mit den Einflussgrößen Lagerdauer, Lagerbedingungen und Wochenmitteltemperatur vor der Ernte zeigte, dass nur die Lagerbedingungen einen signifikanten Einfluss auf die Gewebefestigkeit, ausgedrückt als Scherkraft nach Warner-Bratzler, haben.

Statistisch signifikant unterschied sich die Kontrolle im Spitzenabschnitt von der Variante 20°C/ohne Folie/2 Tage, im mittleren Abschnitt von den Varianten 20°C/ohne Folie/2 Tage und 20°C/ohne Folie/4 Tage, im basalen Abschnitt von der Variante 20°C/ohne Folie/4 Tage.

### Trockensubstanzgehalt

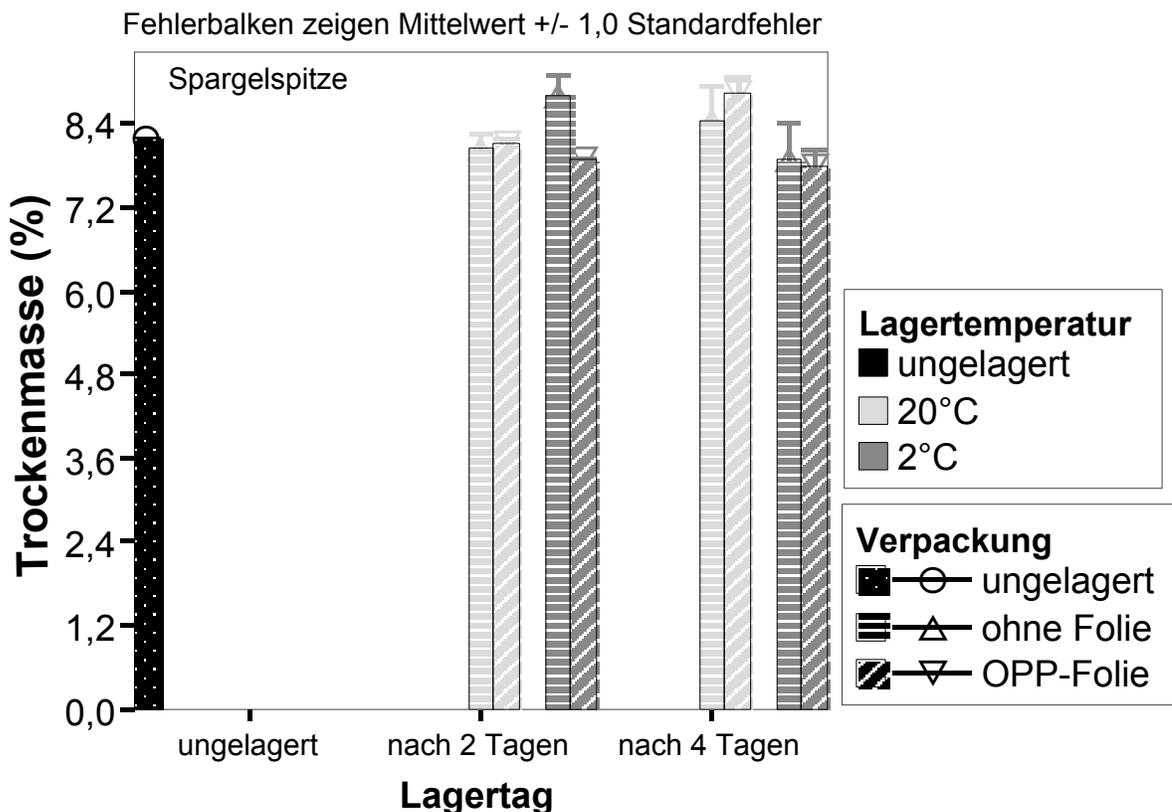


Abbildung 68: Einfluss von Lagerdauer und Behandlung auf den Trockensubstanzgehalt von Spargel (Abschnitt: Spitze)

Der Trockensubstanzgehalt nahm nach 4 Tagen bei den 20°C-Varianten in der Spargelspitze zu (Abbildung 68). Im mittleren Abschnitt kam es zu keinen signifikanten Veränderungen (Abbildung 69). Im basalen Abschnitt verringerte sich bei den 20°C-Varianten der Trockensubstanzgehalt (Abbildung 70).

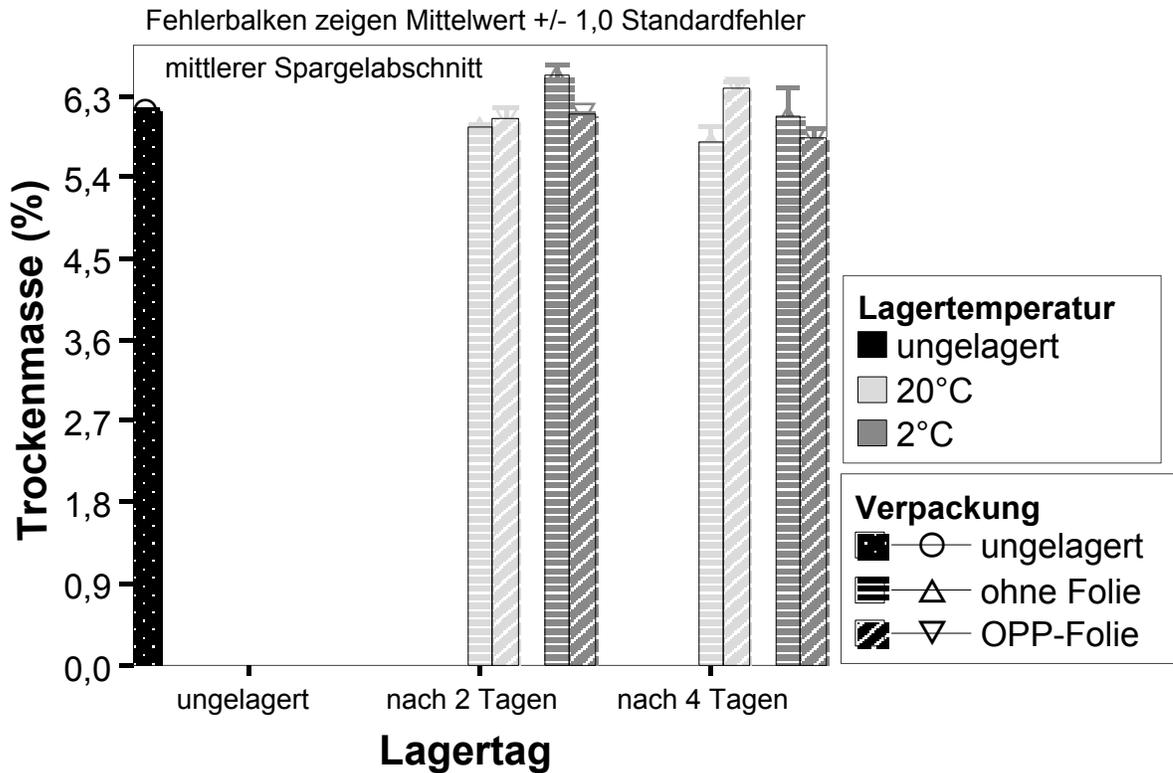


Abbildung 69: Einfluss von Lagerdauer und Behandlung auf den Trockensubstanzgehalt von Spargel (Abschnitt: Mitte)

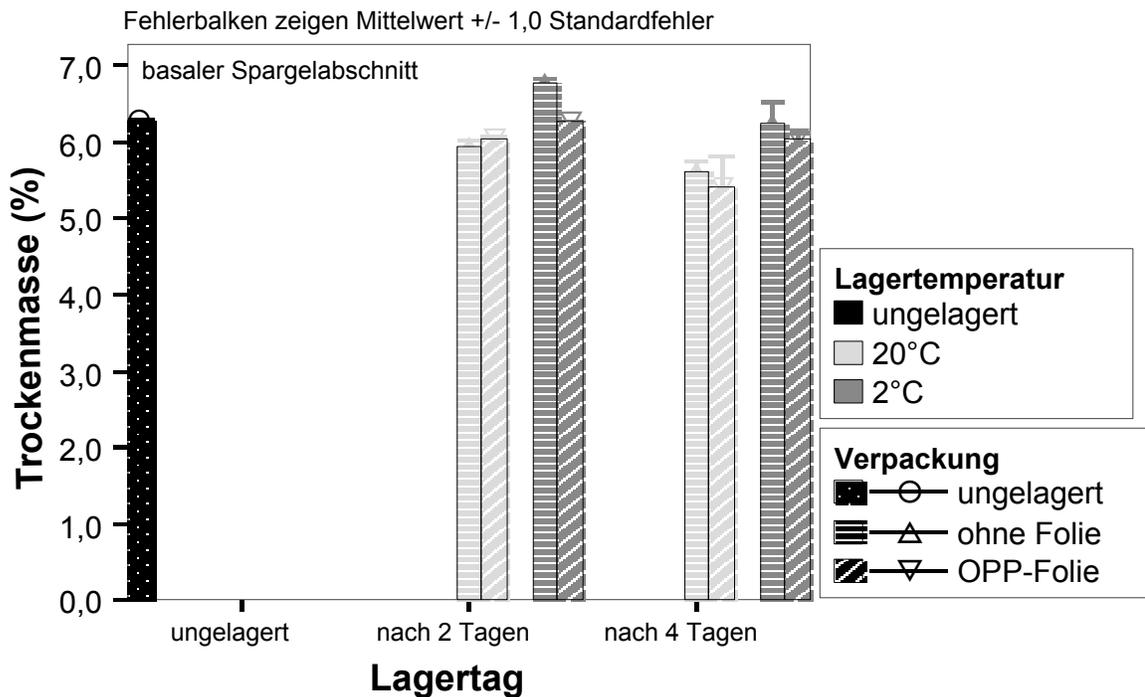


Abbildung 70: Einfluss von Lagerdauer und Behandlung auf den Trockensubstanzgehalt von Spargel (Abschnitt: Basis)

## Ballaststoffgehalt

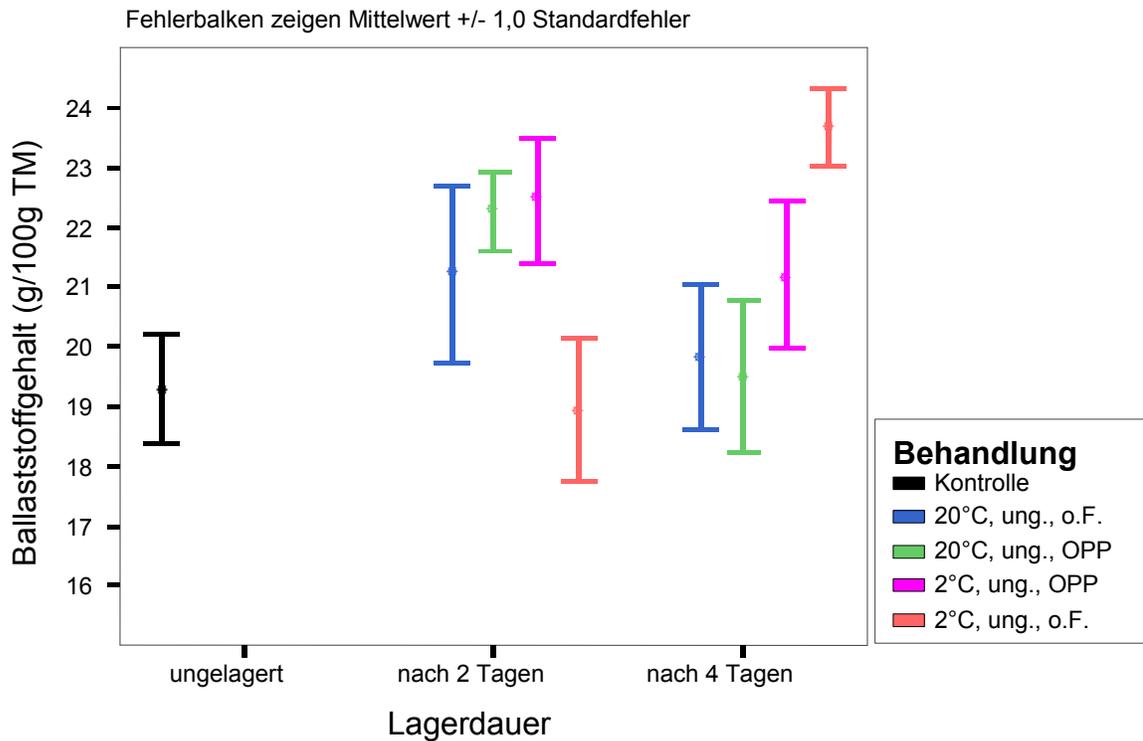


Abbildung 71: Einfluss von Lagerdauer und Behandlung auf den Ballaststoffgehalt von Spargel (Abschnitt: Spitze)

Statistisch signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Behandlungen konnten aufgrund der Streuung der Einzelwerte nicht festgestellt werden (Abbildungen 71 bis 73). Die folgenden Angaben zum Ballaststoffgehalt bei unterschiedlichen Lagerbedingungen können nur als Trend gesehen werden. Beim Spitzenabschnitt erfolgte nach zwei Tagen ein Anstieg des Ballaststoffgehaltes bei den 20°C-Varianten (Abbildung 71). Nach vier Tagen nahm der Ballaststoffgehalt im Spitzenabschnitt wieder ab (Abbildung 71). Beim basalen Abschnitt kam es bei den 20°C-Varianten während der viertägigen Lagerung zur Zunahme des Ballaststoffgehaltes. Bei den 2°C-Varianten konnte keine Zunahme im basalen Abschnitt nachgewiesen werden (Abbildung 73).

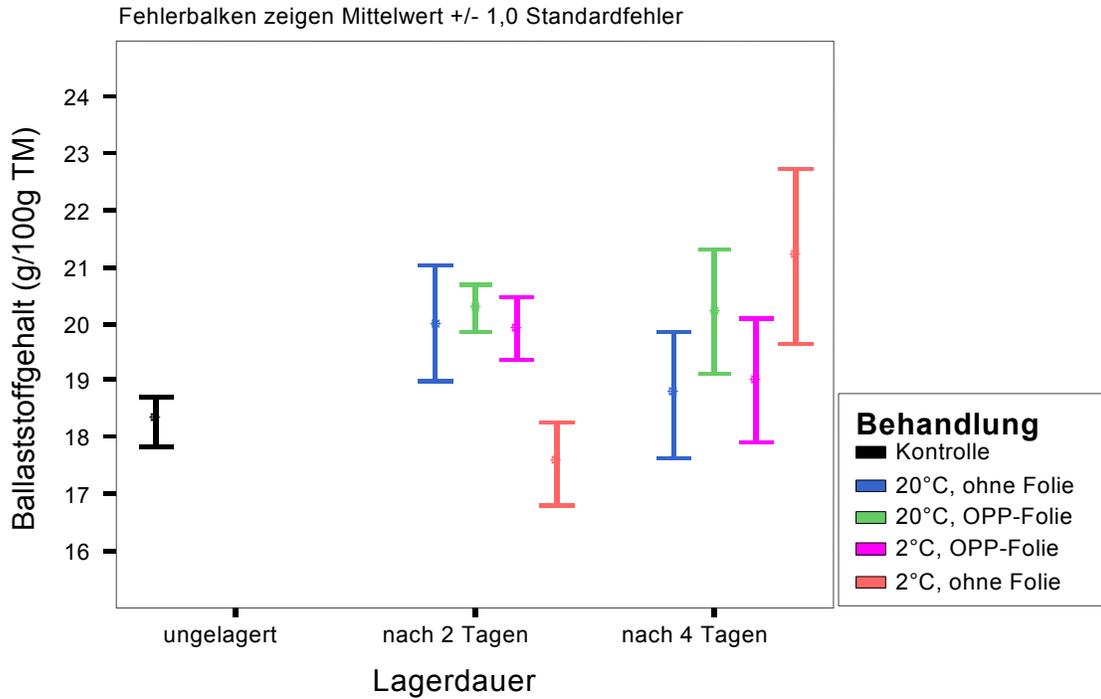


Abbildung 72: Einfluss von Lagerdauer und Behandlung auf den Ballaststoffgehalt von Spargel (Abschnitt: Mitte)

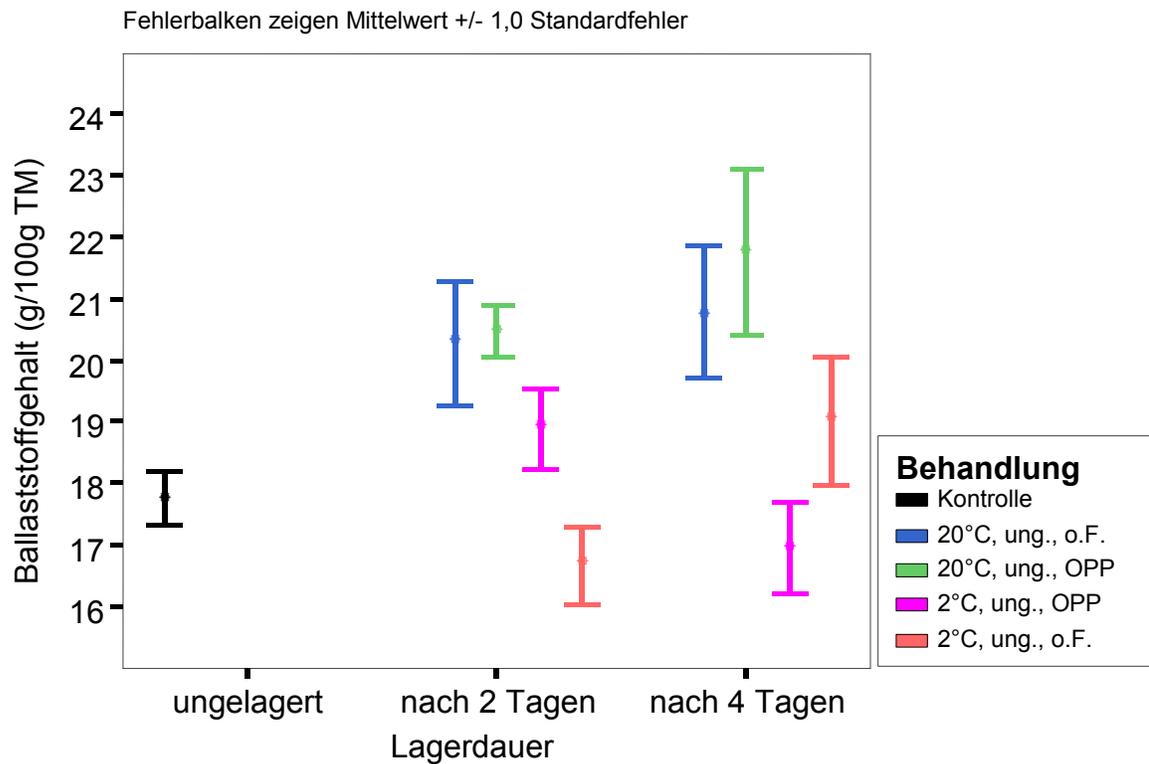


Abbildung 73: Einfluss von Lagerdauer und Behandlung auf den Ballaststoffgehalt von Spargel (Abschnitt: Basis)

### Ligningehalt

Der Ligningehalt der gesamten Spargelstange wurde untersucht. Nach viertägiger Lagerung zeigte sich bei der 20°C- Variante, gelagert in OPP-Folie, ein signifikanter Anstieg des Ligningehaltes um ca. 55%. Die unfolierten Varianten, die bei 2°C und bei 20°C gelagert worden sind, unterschieden sich nicht signifikant zueinander. Bei beiden erhöhte sich der Ligningehalt während der viertägigen Lagerung um ca. 20% (Abbildung 74).

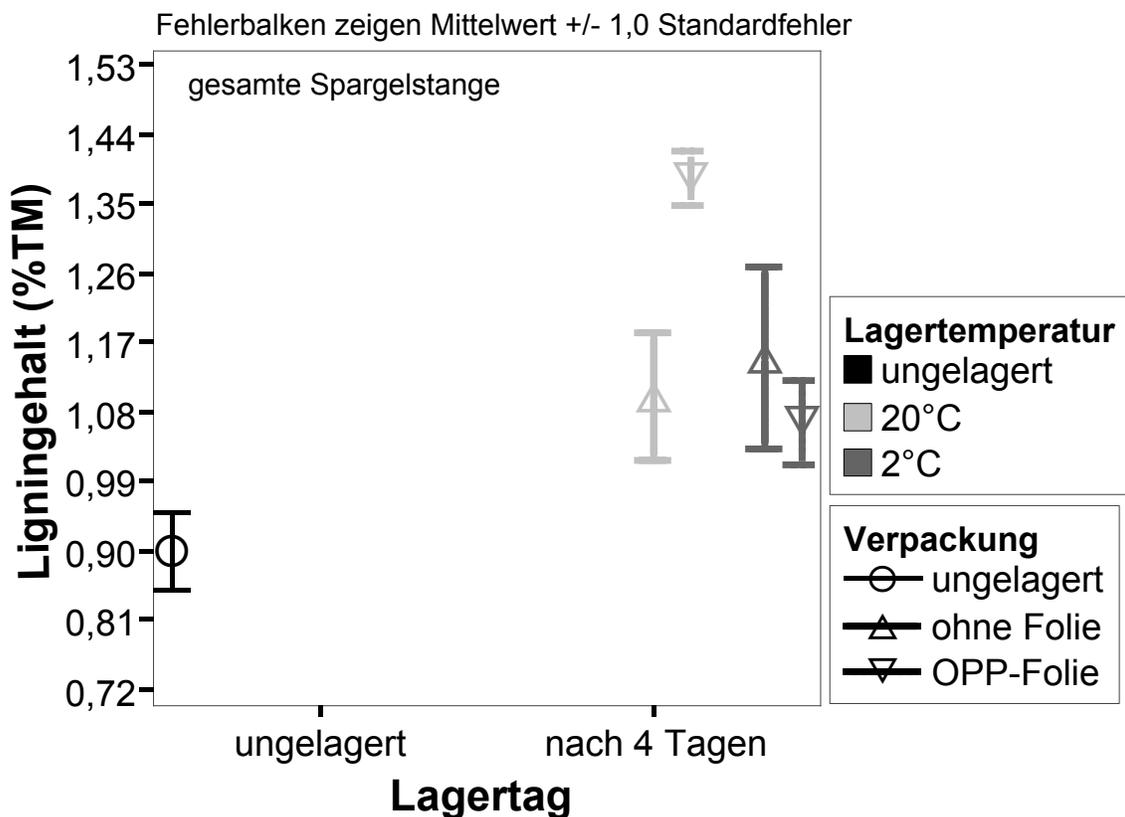


Abbildung 74: Ligningehalt der gesamten Spargelstange nach viertägiger Lagerung

### Zuckergehalt

Untersucht wurden die Veränderungen des Zuckergehaltes (Saccharose, Glukose und Fruktose) während der viertägigen Lagerung von weißem Spargel.

Der Saccharosegehalt erhöhte sich signifikant während der viertägigen Lagerung:

- In der Spargelspitze erhöhte sich der Saccharosegehalt bei der 20°C/OPP-Variante durchschnittlich um ca. 200%, bei der 20°C/ohne Folie-Variante um ca. 160%. Bei den 2°C-Varianten nahm der Saccharosegehalt um ca. 95% zu (Abbildung 75).
- Im mittleren Abschnitt erhöhte sich nach vier Tagen der Saccharosegehalt bei den in OPP-Folie verpackten Spargel bei 2°C und 20°C gleichermaßen um ca. 115% (Abbildung 76).

- Im basalen Abschnitt erhöhte sich der Saccharosegehalt signifikant bei den 2°C-Varianten um ca. 60%, gleichermaßen bei den unverpackten und in OPP-Folie verpackten Spargelproben (Abbildung 77).

Der Glukosegehalt verminderte sich signifikant bei fast allen Varianten:

- In der Spargelspitze verminderte sich der Glukosegehalt bei der 2°C/OPP-Variante um ca. 45%. Keine Veränderungen erfolgten bei der 20°C/unfolierten-Variante (Abbildung 78).
- Im mittleren Abschnitt verringerte sich bei allen Varianten der Glukosegehalt. Am stärksten (Verringerung um 40%) veränderten sich die in OPP-Folie gelagerten Spargelproben (2°C und 20°C; Abbildung 79).
- Im basalen Abschnitt waren die stärksten Verringerungen bei den OPP-Varianten (2°C und 20°C) zu verzeichnen (um ca. 55%; Abbildung 80).

Der Fruktosegehalt veränderte sich nur geringfügig. Tendenziell verminderte sich der Fruktosegehalt bei den folierten Varianten stärker (Abbildungen 81 bis 83).

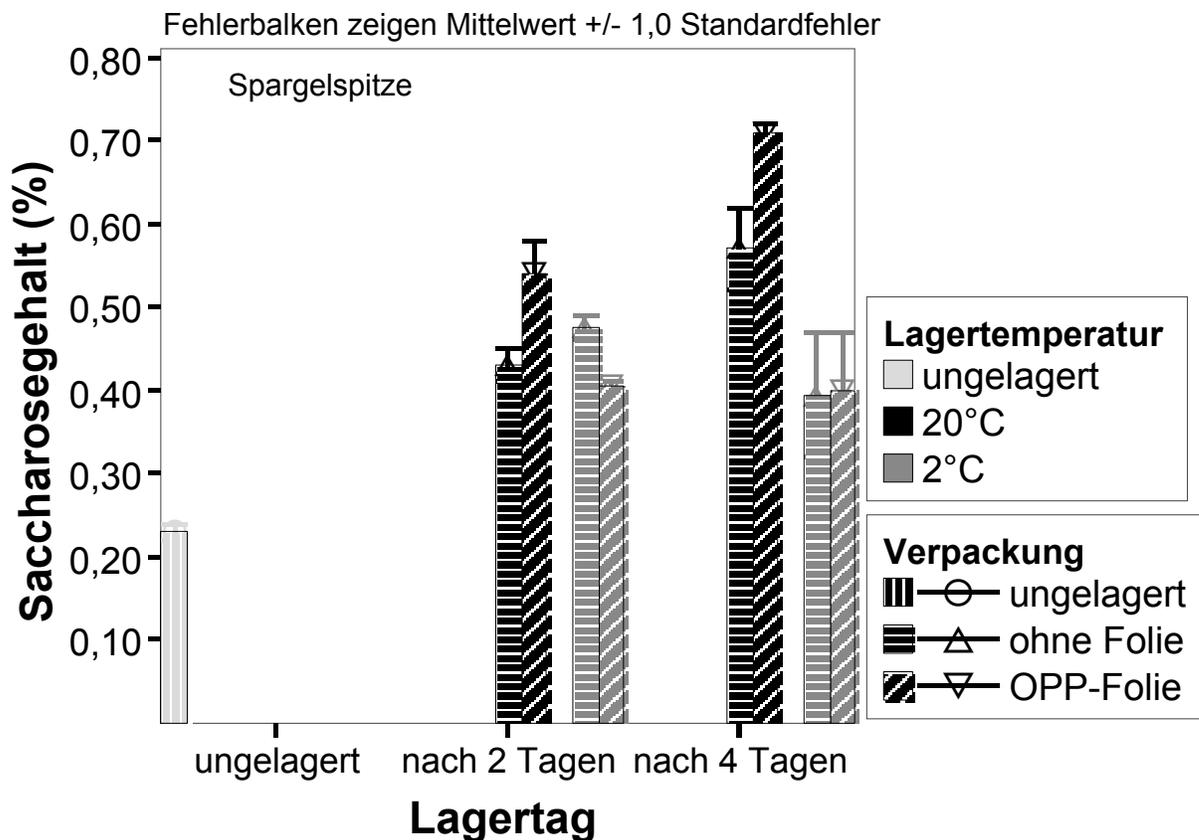


Abbildung 75: Einfluss von Lagerdauer und Behandlung auf den Saccharosegehalt von Spargel (Abschnitt: Spitze)

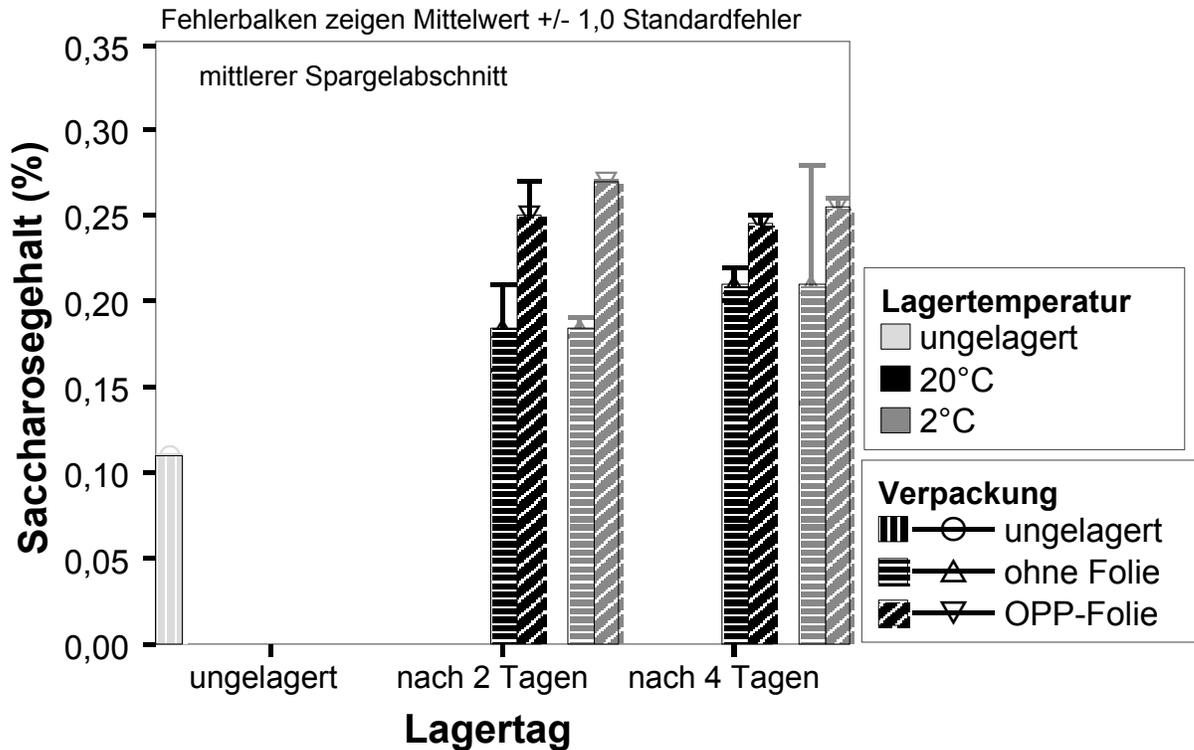


Abbildung 76: Einfluss von Lagerdauer und Behandlung auf den Saccharosegehalt von Spargel (Abschnitt: Mitte)

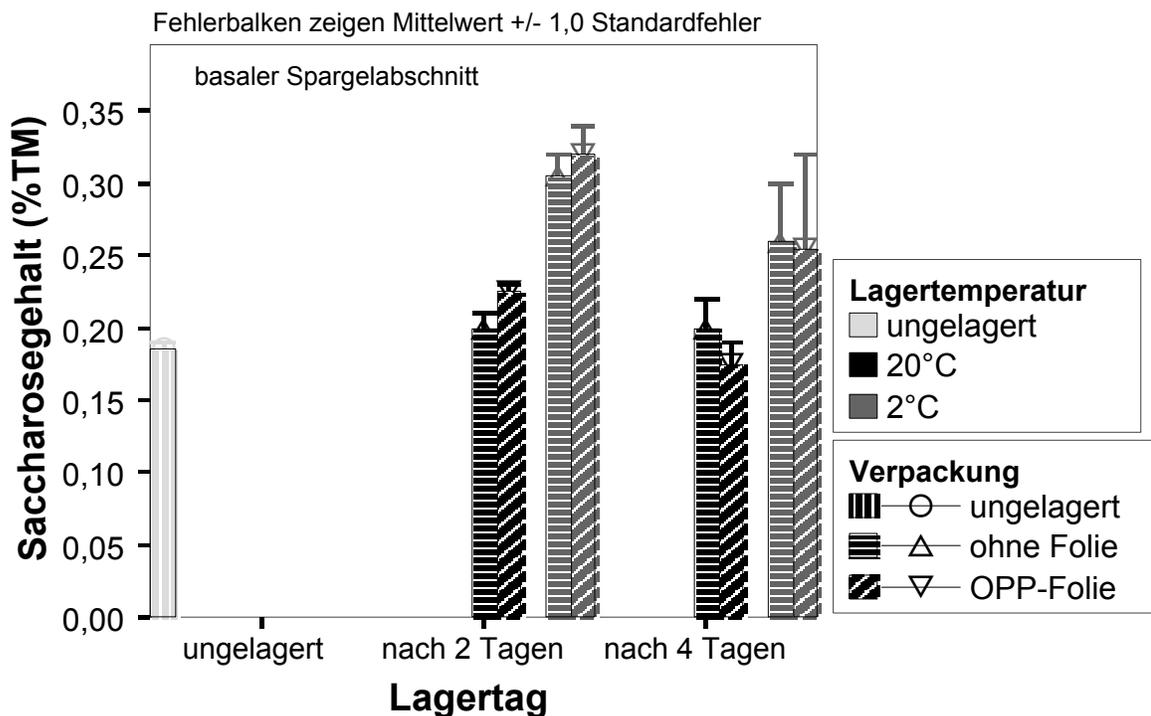


Abbildung 77: Einfluss von Lagerdauer und Behandlung auf den Saccharosegehalt von Spargel (Abschnitt: Basis)

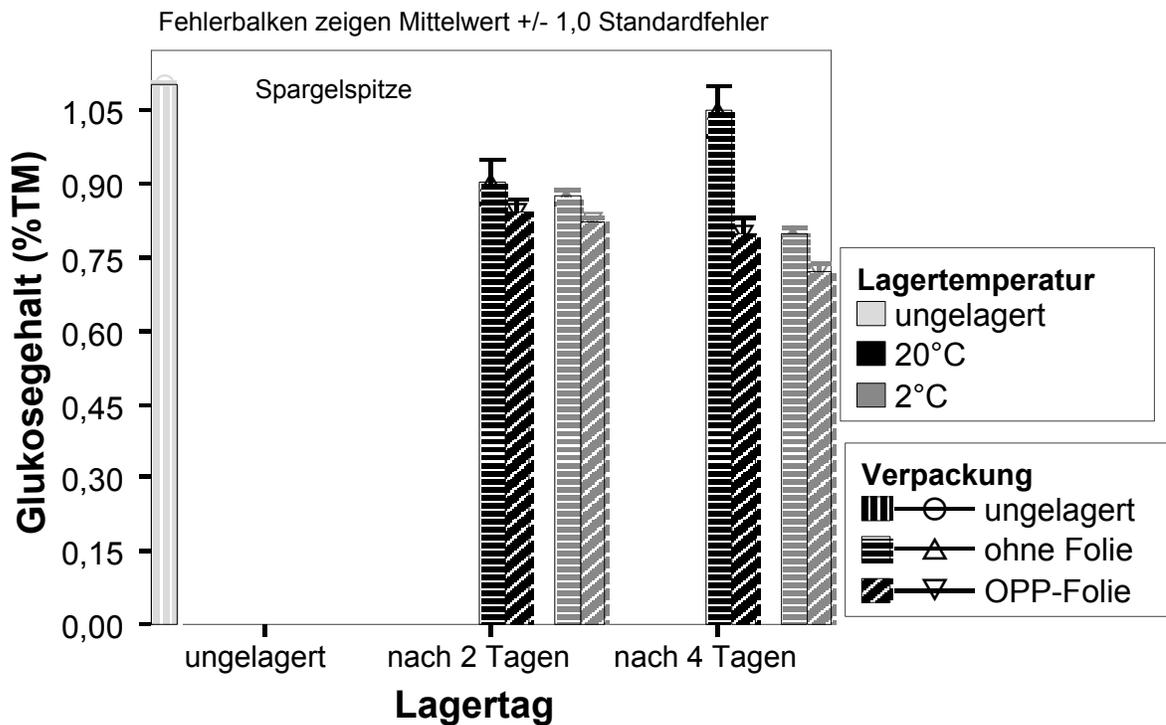


Abbildung 78: Einfluss von Lagerdauer und Behandlung auf den Glukosegehalt von Spargel (Abschnitt: Spitze)

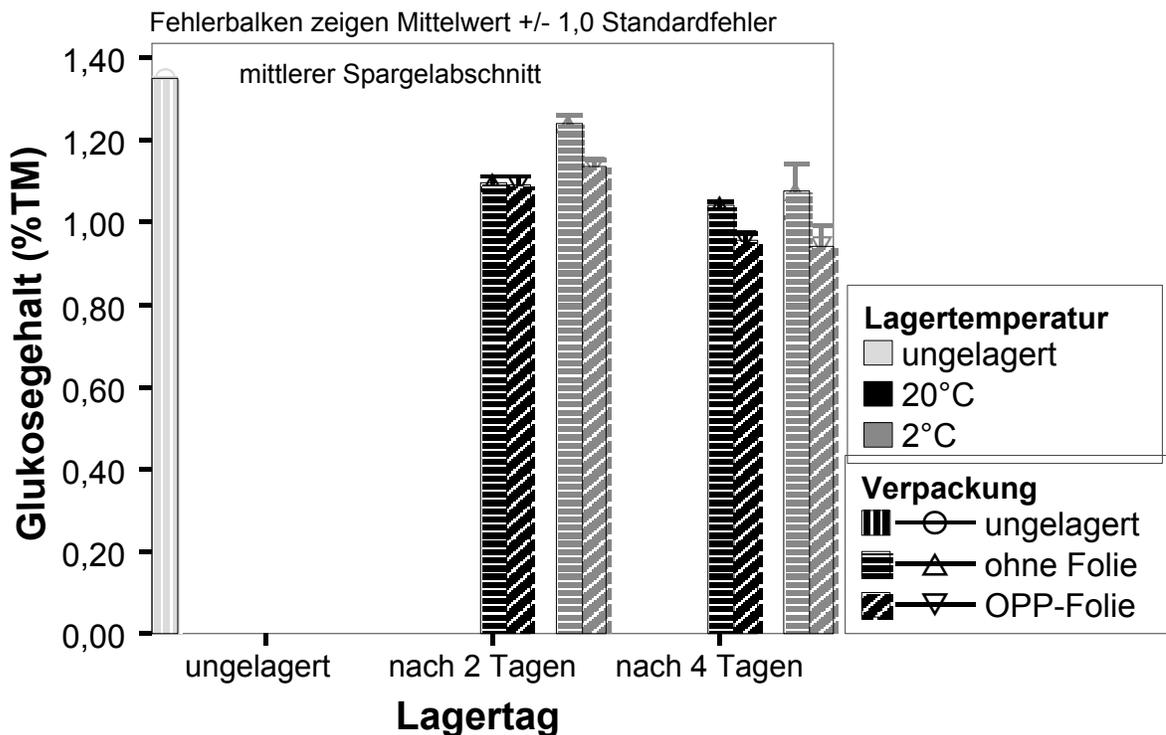


Abbildung 79: Einfluss von Lagerdauer und Behandlung auf den Glukosegehalt von Spargel (Abschnitt: Mitte)

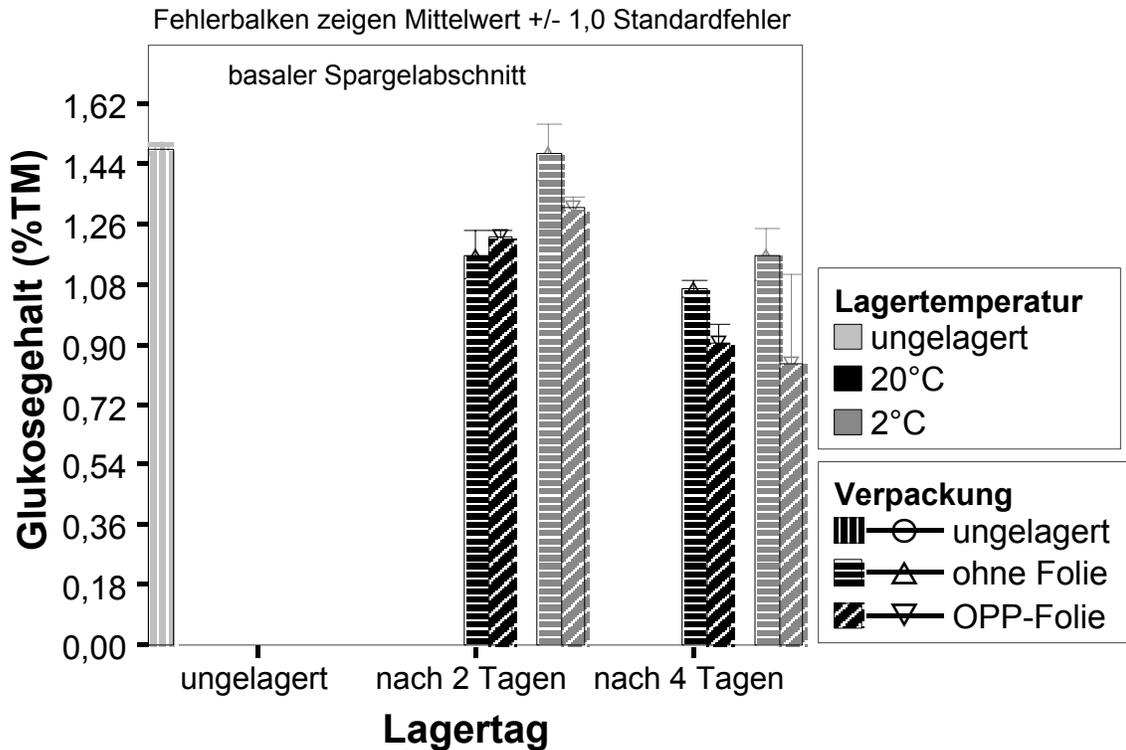


Abbildung 80: Einfluss von Lagerdauer und Behandlung auf den Glukosegehalt von Spargel (Abschnitt: Basis)

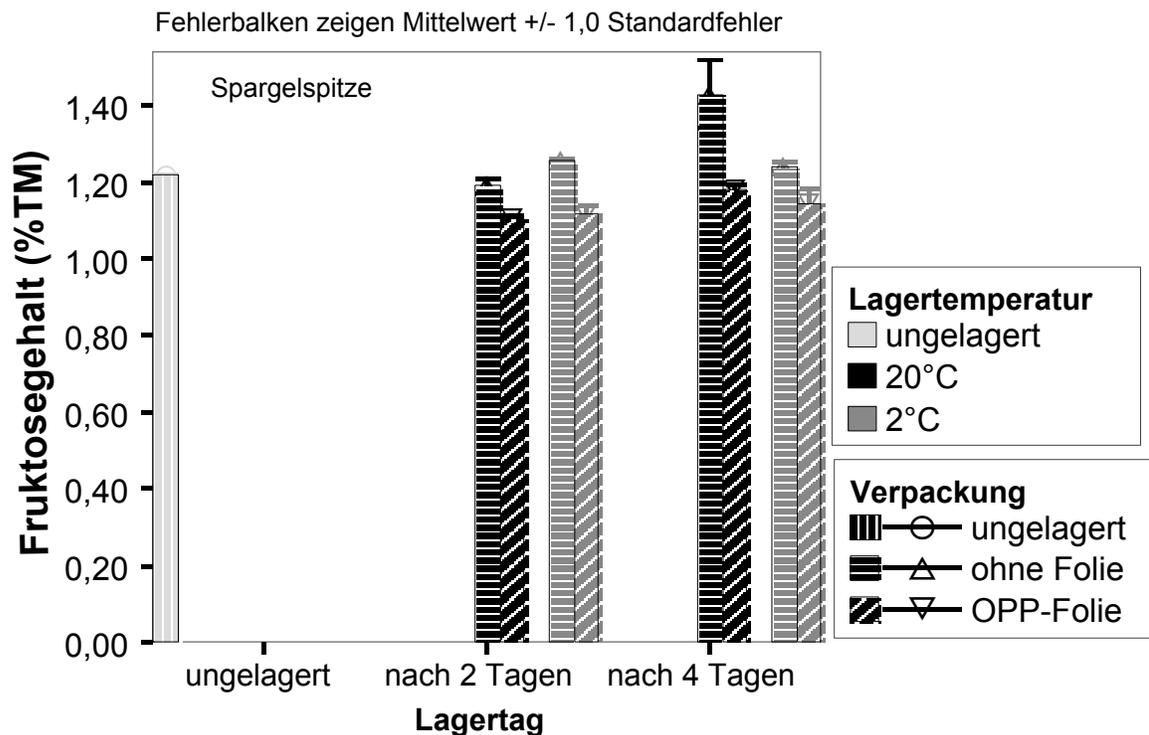


Abbildung 81: Einfluss von Lagerdauer und Behandlung auf den Fruktosegehalt von Spargel (Abschnitt: Spitze)

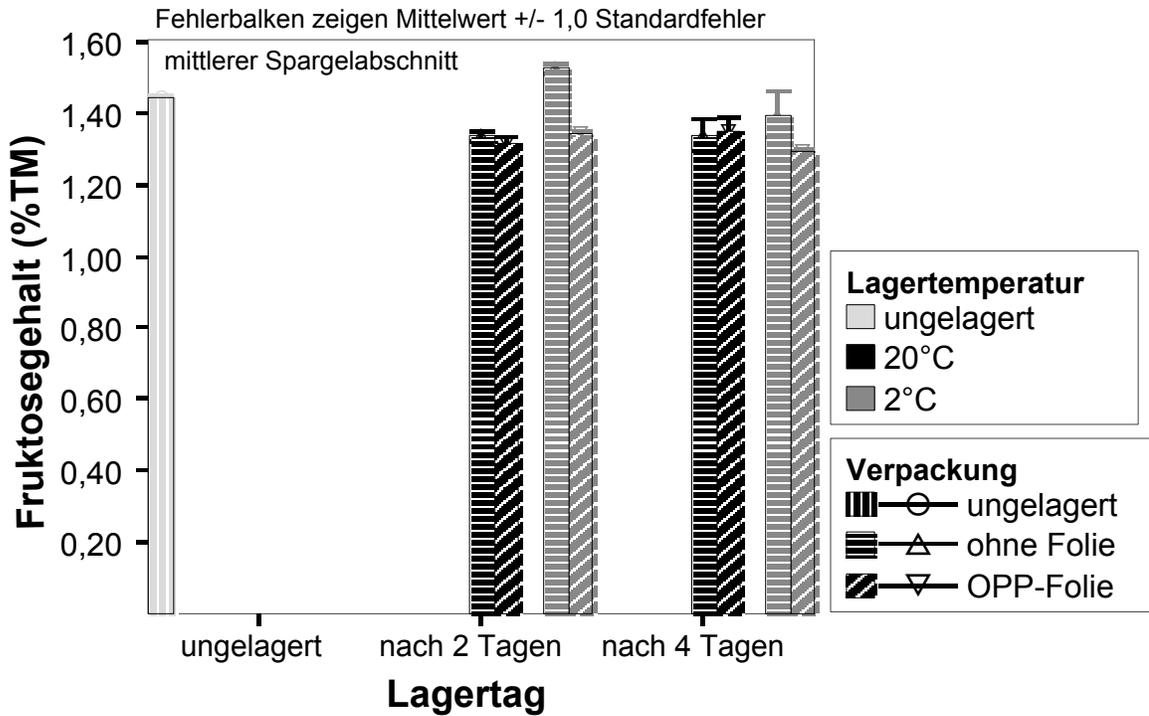


Abbildung 82: Einfluss von Lagerdauer und Behandlung auf den Fruktosegehalt von Spargel (Abschnitt: Mitte)

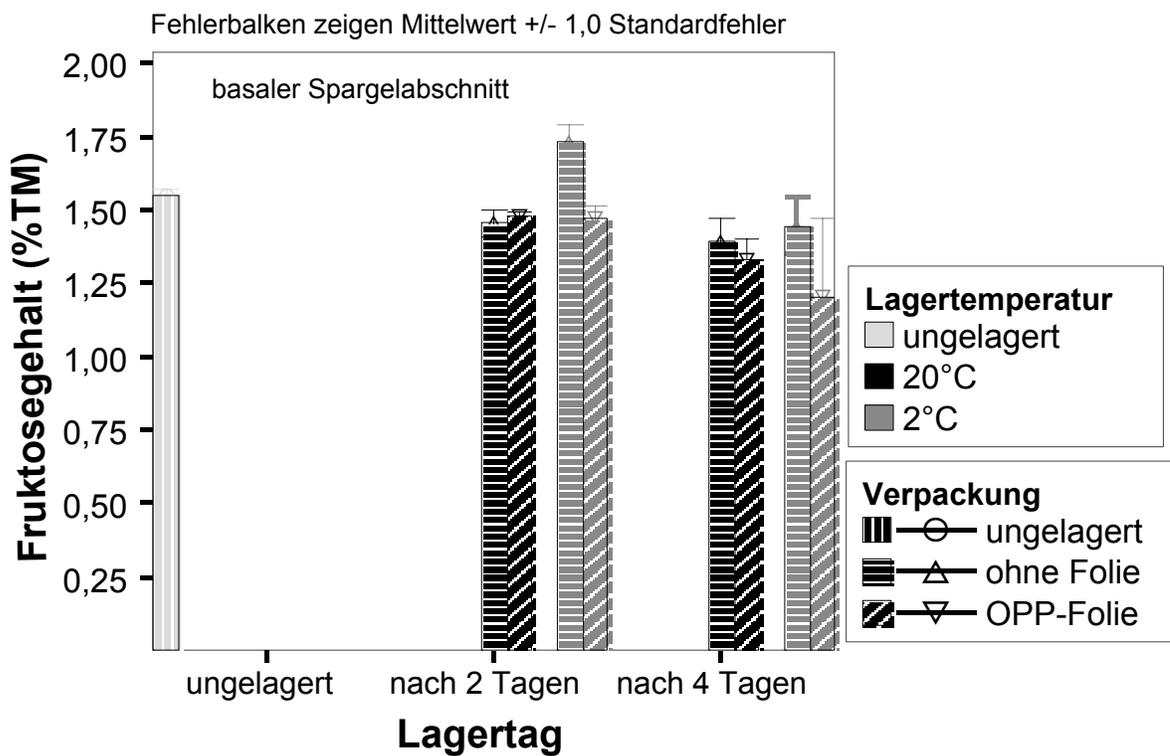


Abbildung 83: Einfluss von Lagerdauer und Behandlung auf den Fruktosegehalt von Spargel (Abschnitt: Basis)

### 3.3 Einfluss von Aufbereitungsverfahren auf die Produktqualität

#### 3.3.1 Kurzzeitlagerung von Convenience-Spargel

Geschälter Spargel wurde für vier Tage bei 2°C gelagert. Verwendet wurden eine mikroperforierte OPP-Folie und eine biologisch abbaubare Folie auf Cellulose-Basis (BAW-Folie). Kontrolle hierzu waren ungeschälter Spargel in OPP-Folie und unverpackter Spargel („ohne Folie“, nur Schnittenden foliert).

#### Veränderungen der Gaszusammensetzung innerhalb der Verpackung

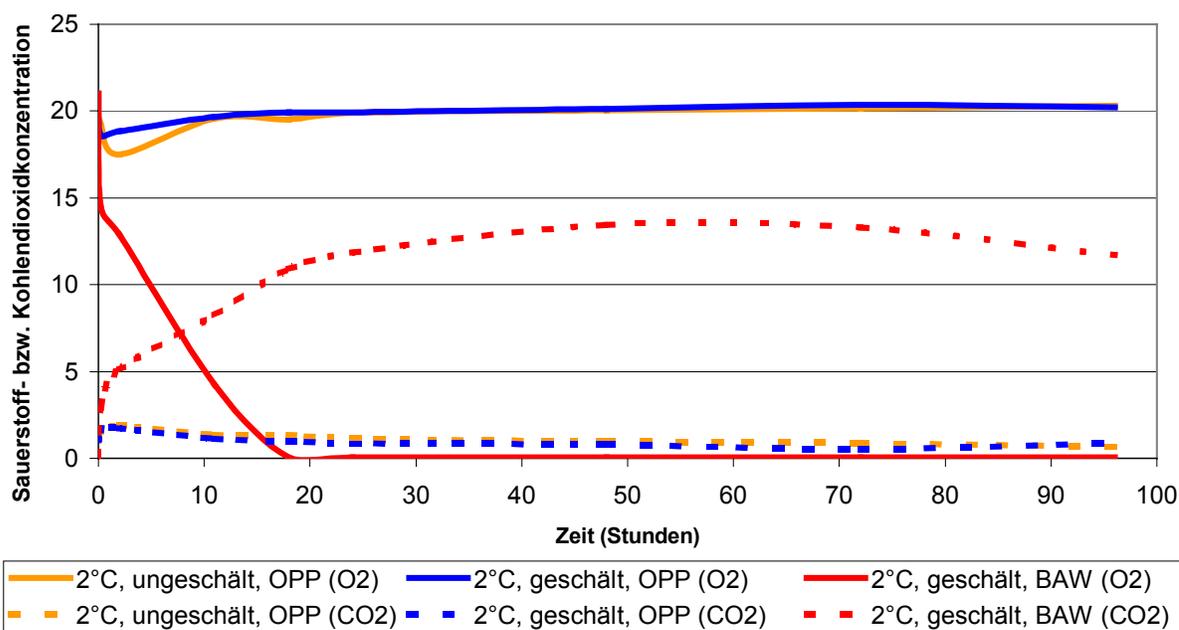
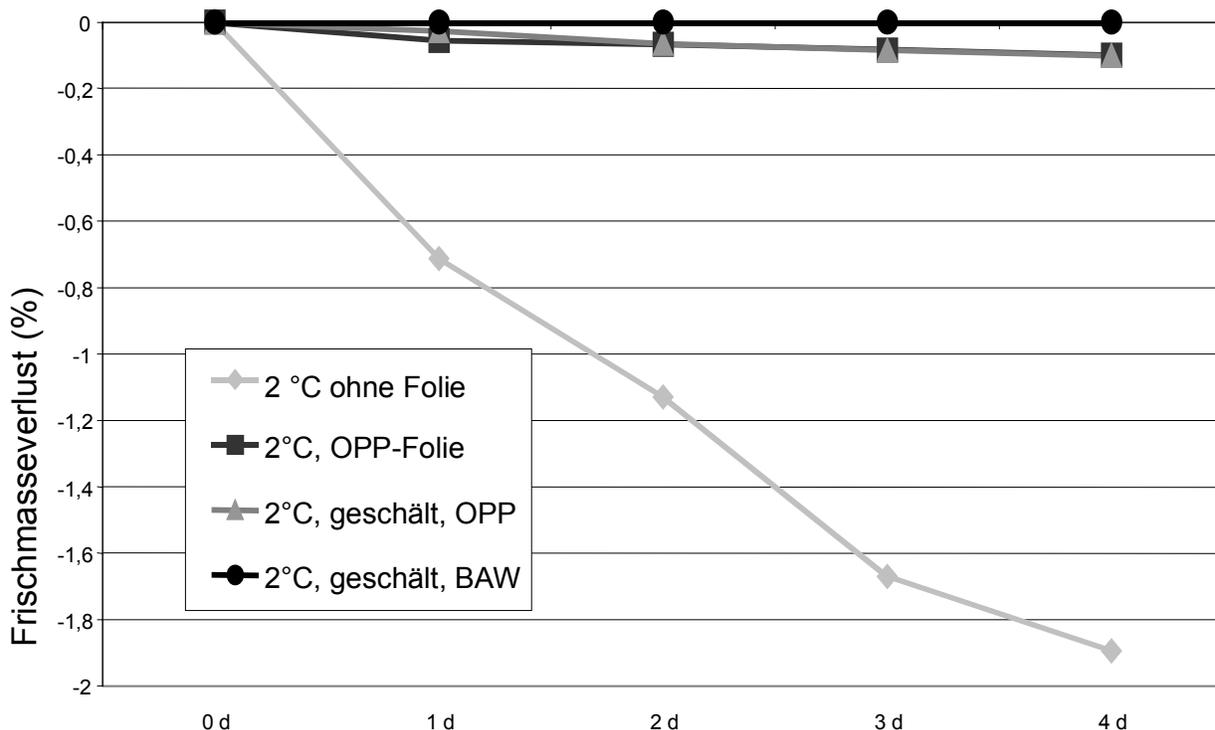


Abbildung 84: Veränderungen der Atmosphäre während der Kurzzeitlagerung von ungeschältem und geschältem (Convenience-)Spargel, gelagert bei 2°C in OPP-Folie und BAW-Folie (28. Mai bis 01. Juni 2001)

Beim ungeschältem und geschältem (Convenience-)Spargel in der mikroperforierten OPP-Folie veränderte sich die Gaszusammensetzung während der viertägigen Lagerung nur in den ersten 10 Stunden. In dieser Zeit kam es zu einem Anstieg der Kohlendioxidkonzentration auf 2,5% und zu einer Abnahme der Sauerstoffkonzentration auf 18%. Bei der Lagerung von geschältem (Convenience-)Spargel in der BAW-Folie kam es zu einem Anstieg der Kohlendioxidkonzentration nach 20 Stunden auf 13% und zu einer Abnahme der Sauerstoffkonzentration auf ca. 0,1% (Abbildung 84).

## Äußere Qualitätsmerkmale



## Frischgewicht

Abbildung 85: Frischmasseverlust (%) von geschältem und ungeschältem Spargel bei viertägiger Lagerung bei 2°C

Bei 2°C gelagerter, ungeschälter Spargel ohne Folie (Kontrolle, Schnittenden foliert) zeigte innerhalb von 4 Tagen einen Frischmasseverlust von ca. 1,9%. Die in Folie gelagerten Spargelproben (ungeschält als Kontrolle und der geschälte Spargel) hatten nach viertägiger Lagerung einen Gewichtsverlust von weniger als 0,15% (Abbildung 85).

## Farbe

Die Veränderungen auf der Rot-Grün-Achse ( $a^*$ ), auf der Gelb-Blau-Achse ( $b^*$ ) und der Helligkeit ( $L^*$ ) wurden an der Spargelspitze und am basalen Abschnitt gemessen. Bei der Spargelspitze traten folgende Veränderungen ein:

- Abnahme der Helligkeit nach viertägiger Lagerung außer bei Spargel, der in BAW-Folie gelagert worden ist (Abbildung 86).
- Veränderungen auf der Gelb-Blau-Achse zu einem höheren Gelbanteil, insbesondere bei Spargel, der in OPP-Folie gelagert worden ist (Abbildung 88).
- Geringe Veränderungen der Spargelfarbe auf der Rot-Grün-Achse bei beiden Folientypen (Abbildung 87).

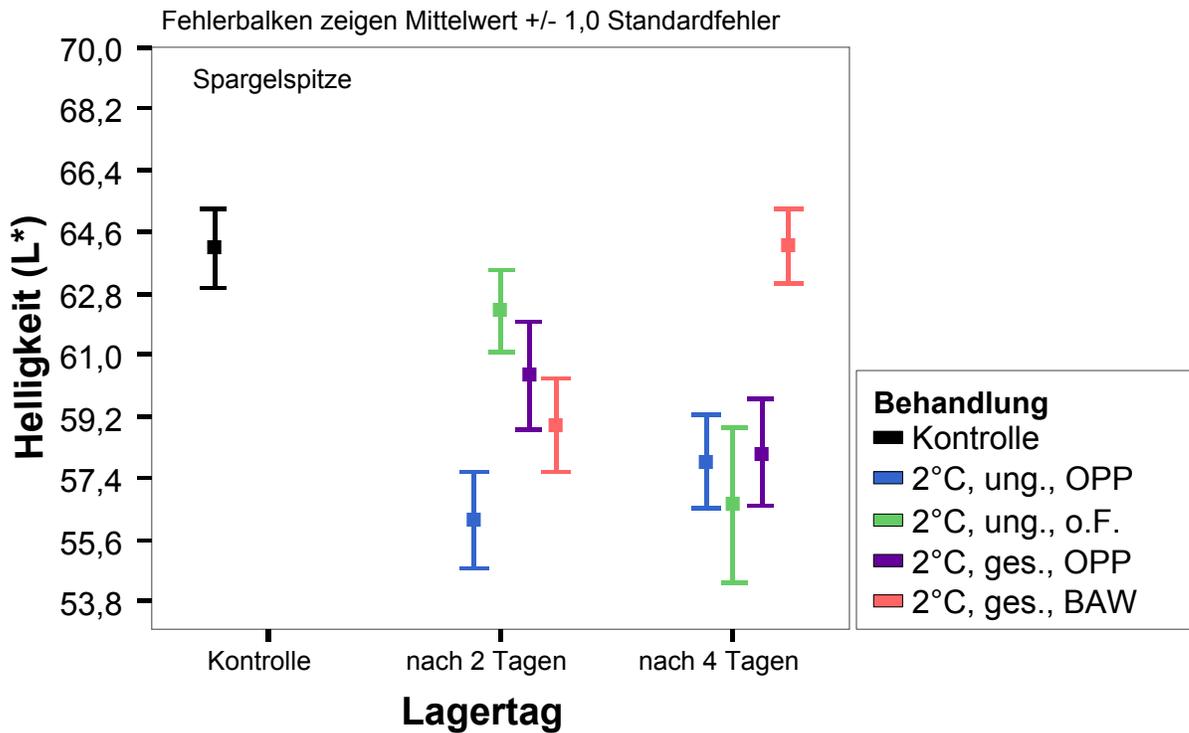


Abbildung 86: Einfluss von Lagerdauer und Behandlung auf die Helligkeit von Spargel (Abschnitt: Spitze)

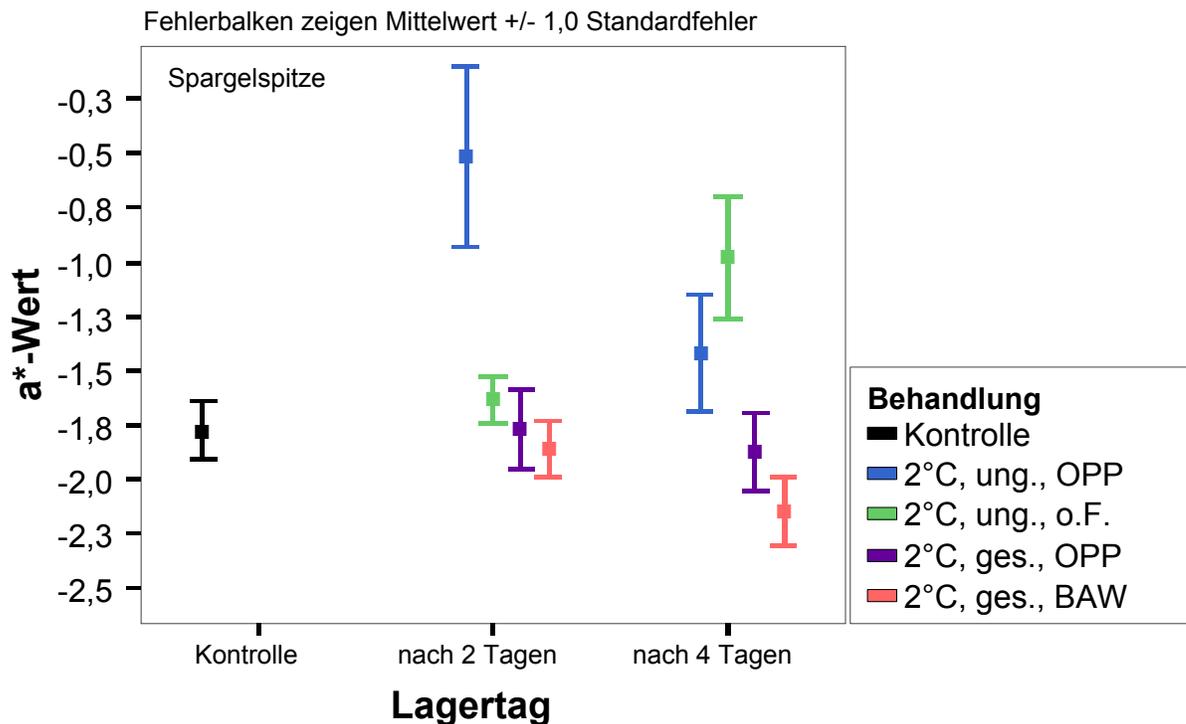


Abbildung 87: Einfluss von Lagerdauer und Behandlung bei Spargel auf die Veränderungen auf der Rot-Grün-Achse (a\*, Abschnitt: Spitze)

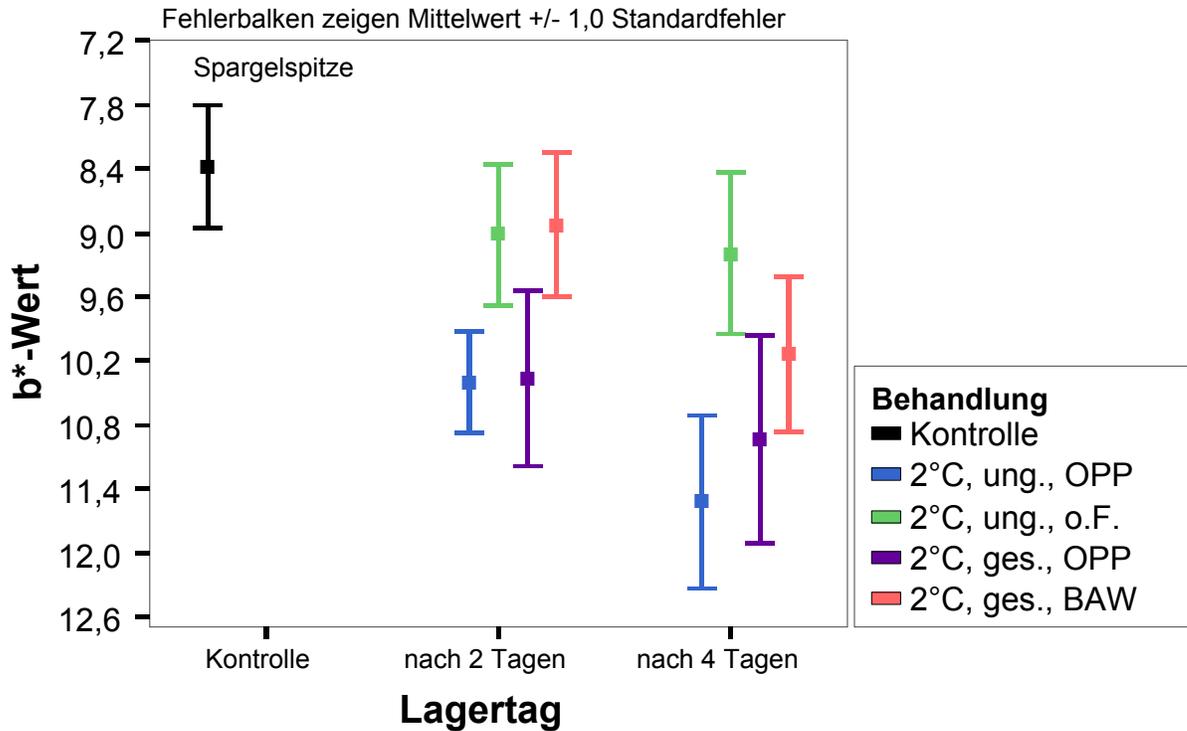


Abbildung 88: Einfluss von Lagerdauer und Behandlung bei Spargel auf die Veränderungen auf der Gelb-Blau-Achse ( $b^*$ , Abschnitt: Spitze)

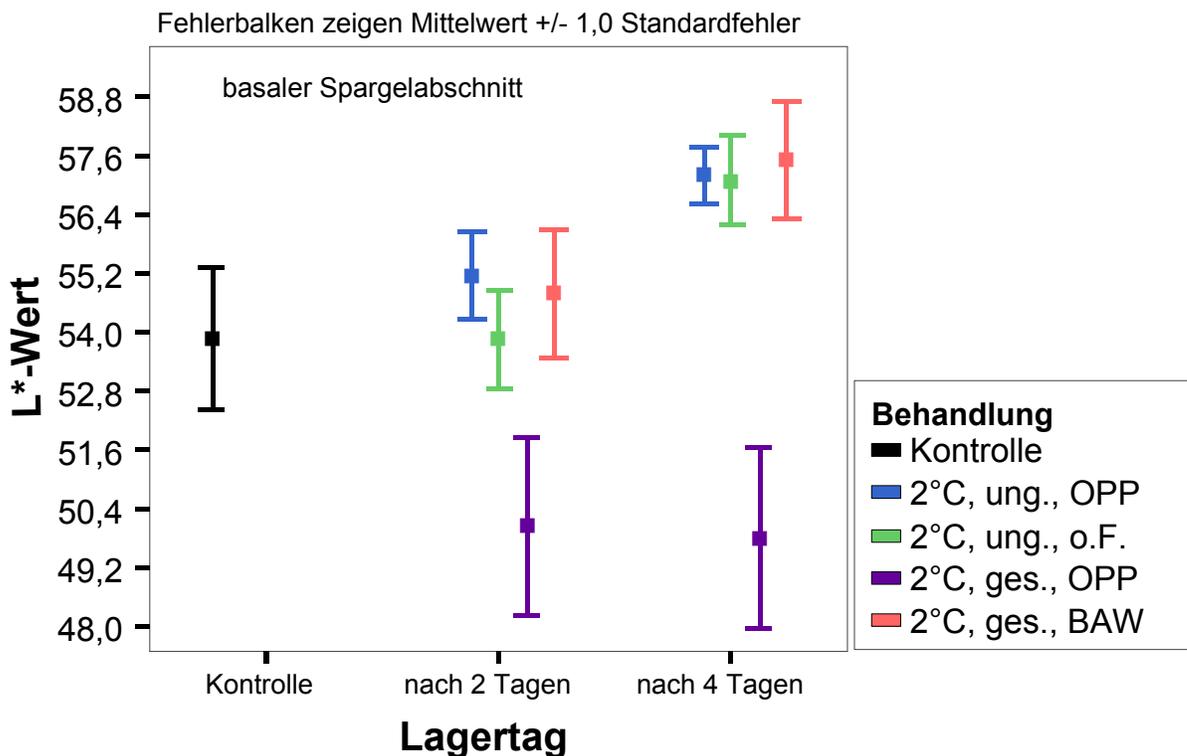


Abbildung 89: Einfluss von Lagerdauer und Behandlung auf die Helligkeit von Spargel (Abschnitt: Basis)

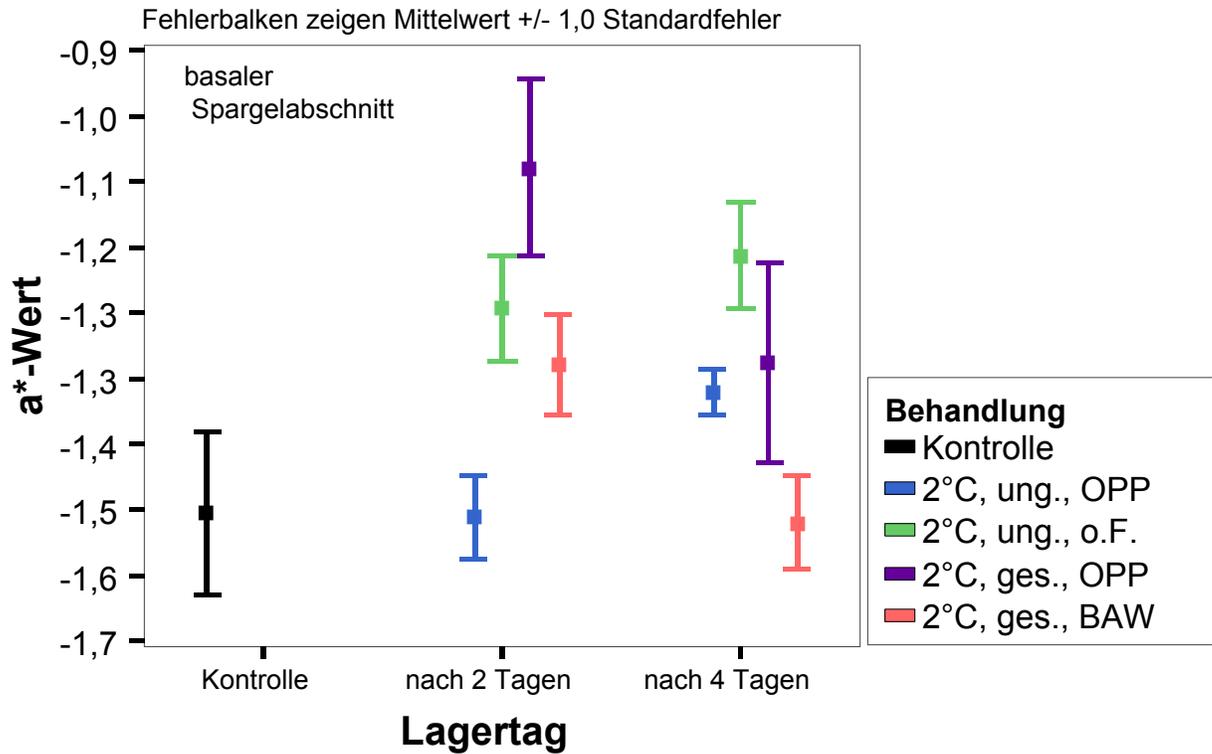


Abbildung 90: Einfluss von Lagerdauer und Behandlung bei Spargel auf die Veränderungen auf der Rot-Grün-Achse (a\*, Abschnitt: Basis)

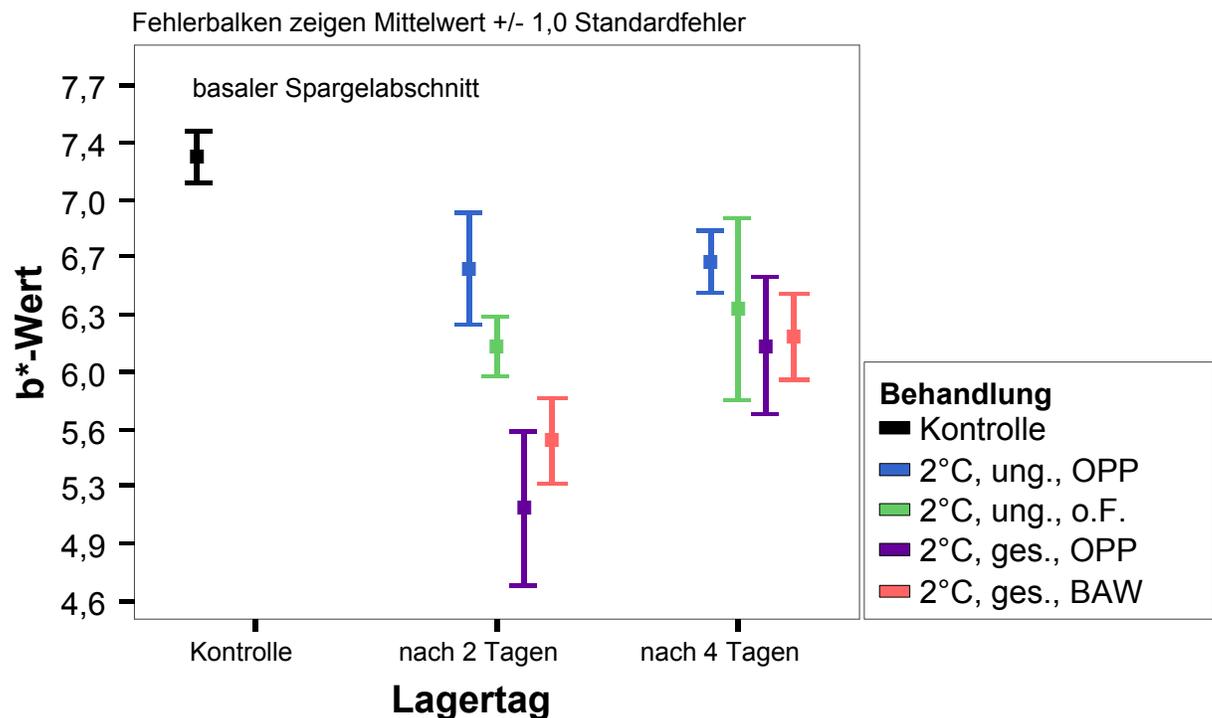


Abbildung 91: Einfluss von Lagerdauer und Behandlung bei Spargel auf die Veränderungen auf der Gelb-Blau-Achse (b\*, Abschnitt: Basis)

Beim basalen Abschnitt traten folgende Veränderungen ein:

- Geschälter Spargel in OPP-Folie war heller als ungeschälter Spargel. Zu Veränderungen während der Lagerung kam es nicht (Abbildung 89).
- Signifikante Veränderungen auf der Rot-Grün-Achse bei basalen Spargelabschnitten nach viertägiger Lagerung waren bei den unfolierten, ungeschälten Spargel nachweisbar (Abbildung 90).
- Nach viertägiger Lagerung veränderte sich bei allen Varianten gleichermaßen der  $b^*$ -Wert (Abbildung 91).

### Innere Qualitätsmerkmale

#### Gewebefestigkeit nach Warner-Bratzler

Es wurden Messungen der Gewebefestigkeit nach Warner-Bratzler durchgeführt.

Im Spitzenabschnitt verändert sich die Gewebefestigkeit nach viertägiger Lagerung bei 2°C bei den untersuchten Behandlungen nicht signifikant von der Kontrolle (Abbildung 92). Beim mittleren und basalen Abschnitt (Abbildung 93) nimmt die Gewebefestigkeit während der viertägigen Lagerung von ungeschälten Spargel in OPP-Folie signifikant ab. Bei den anderen Behandlungen kommt es zu keinen signifikanten Veränderungen.

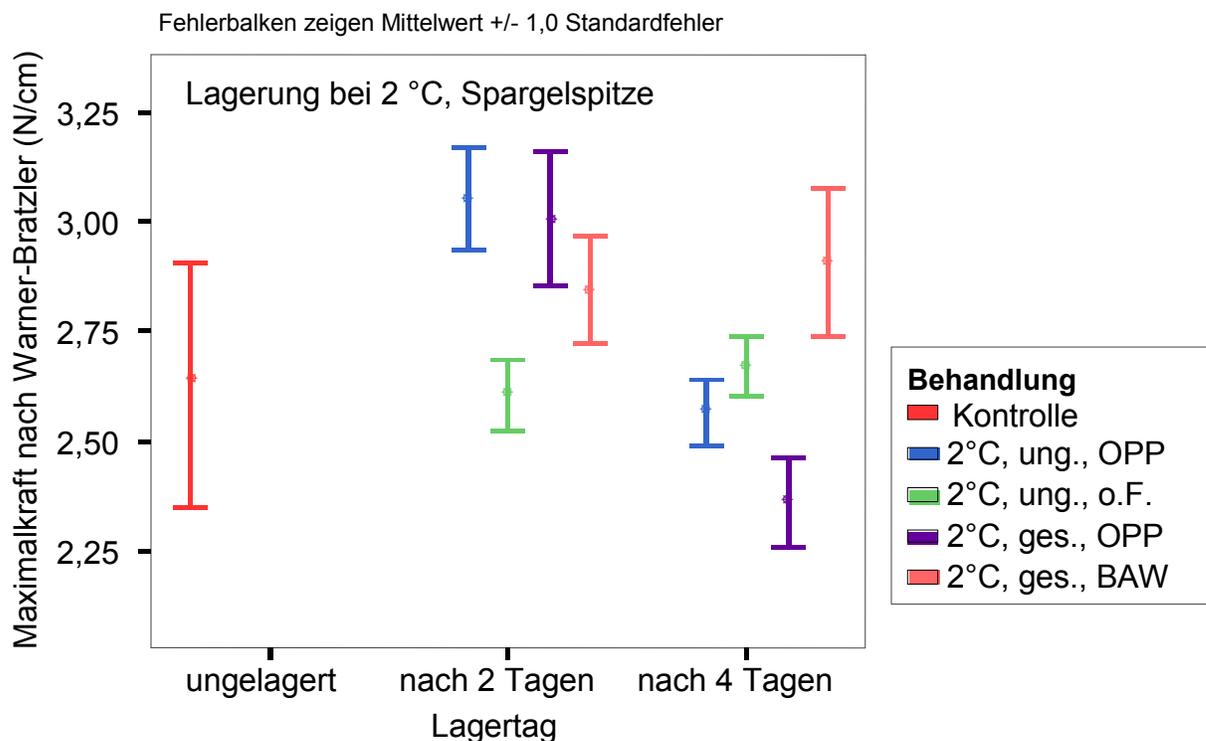


Abbildung 92: Einfluss von Lagerdauer und Behandlung auf die Gewebefestigkeit, ausgedrückt als Maximalkraft nach Warner-Bratzler (Abschnitt: Spitze)

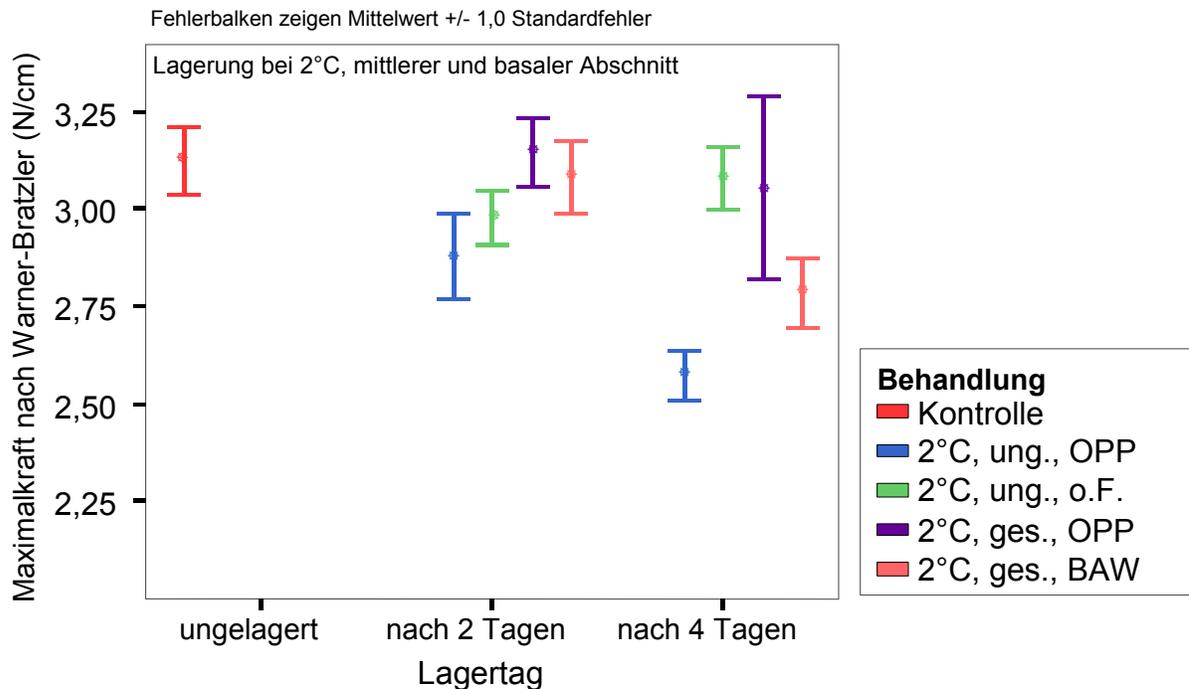


Abbildung 93: Einfluss von Lagerdauer und Behandlung auf die Gewebefestigkeit, ausgedrückt als Maximalkraft nach Warner-Bratzler (Abschnitt: mittlerer und basaler Abschnitt)

Trockensubstanzgehalt

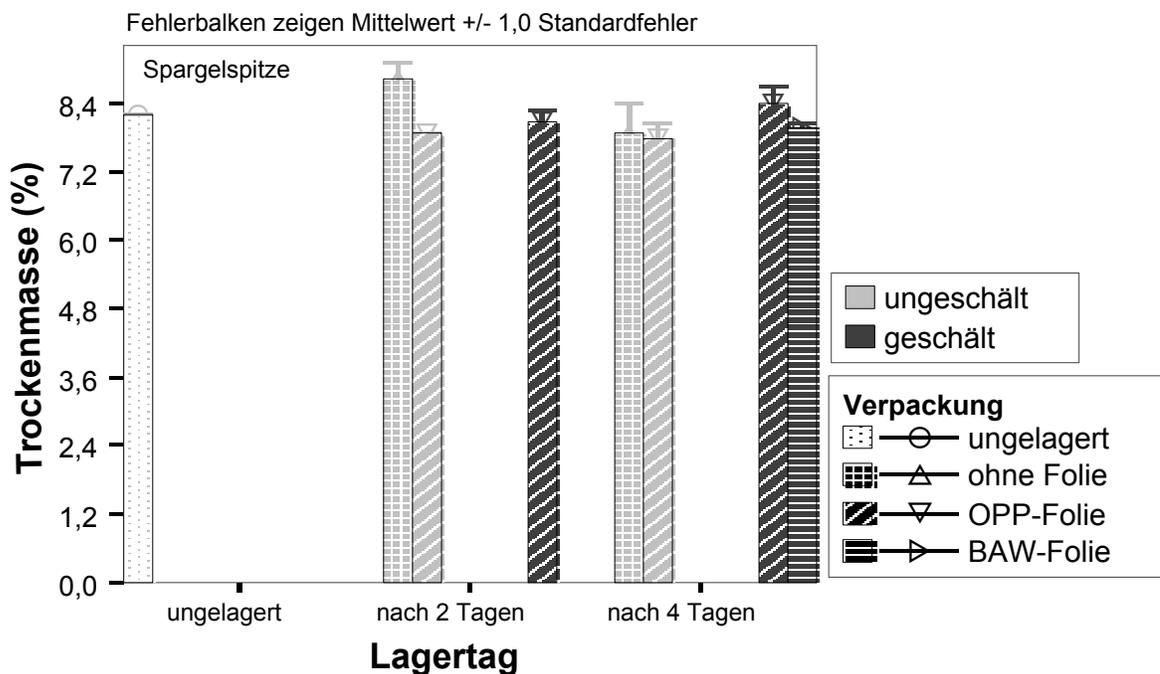


Abbildung 94: Einfluss von Lagerdauer und Behandlung auf den Trockensubstanzgehalt von Spargel (Abschnitt: Spitze)

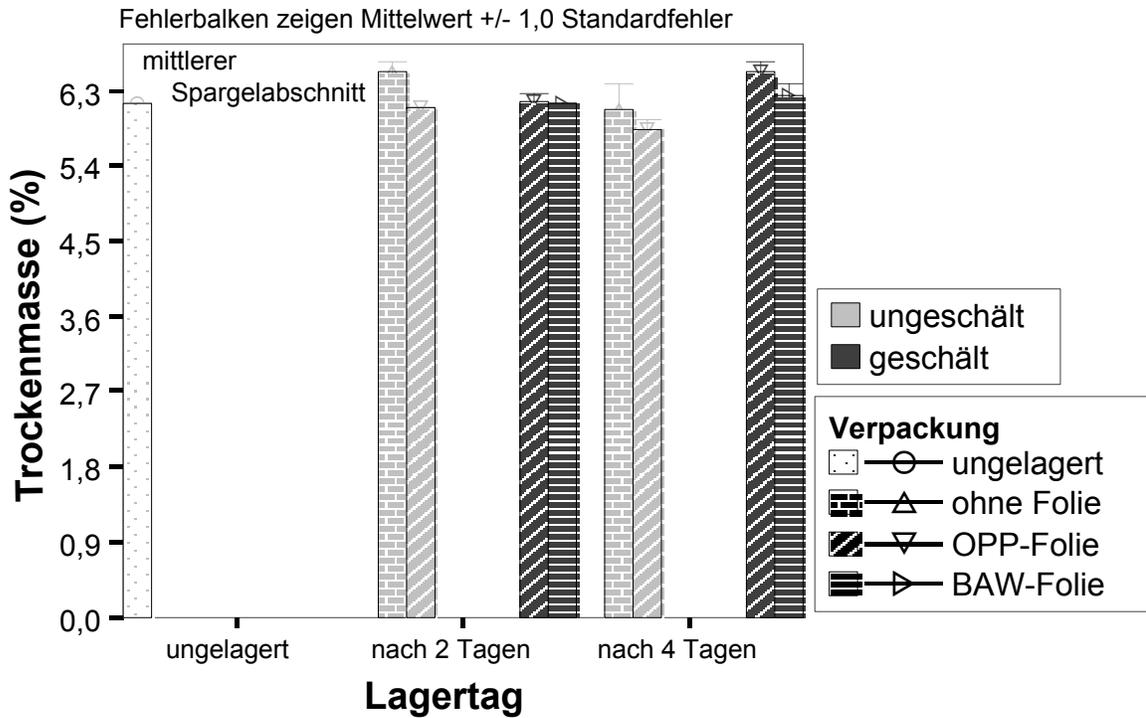


Abbildung 95: Einfluss von Lagerdauer und Behandlung auf den Trockensubstanzgehalt von Spargel (Abschnitt: Mitte)

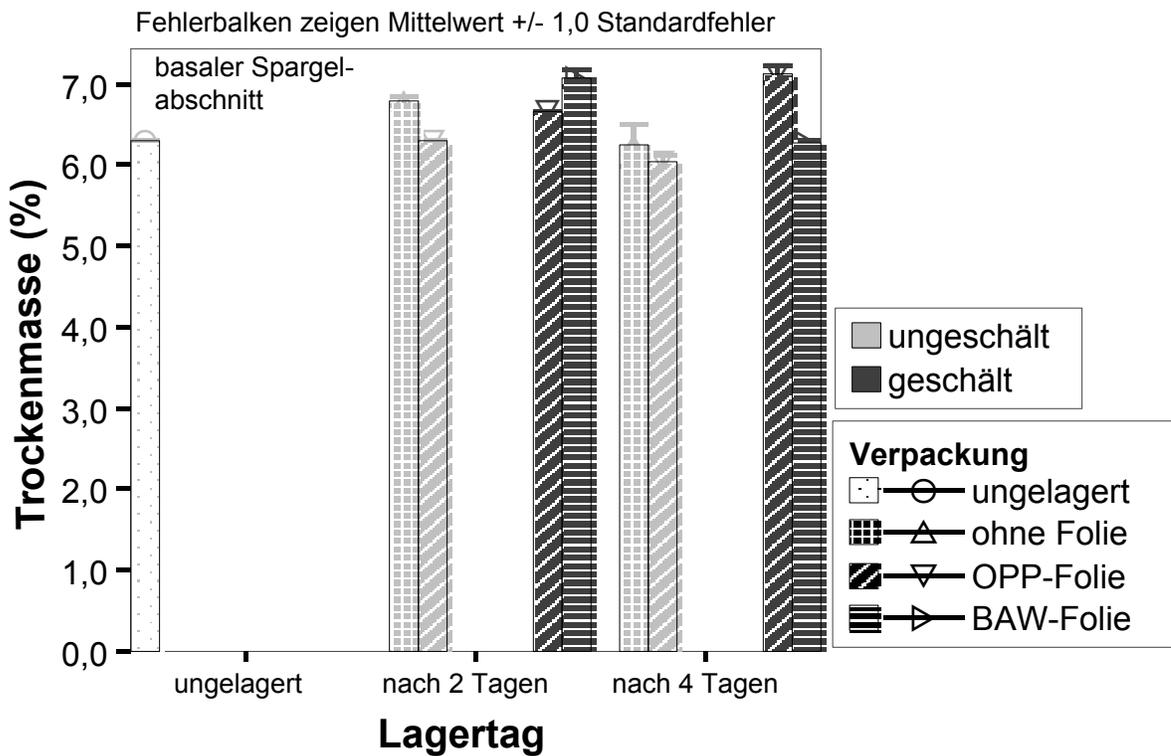


Abbildung 96: Einfluss von Lagerdauer und Behandlung auf den Trockensubstanzgehalt von Spargel (Abschnitt: Basis)

Signifikante Änderungen des Trockensubstanzgehaltes waren nicht nachweisbar (Abbildungen 94 bis 96)

### Ballaststoffgehalt

Signifikante Veränderungen im Gehalt an Ballaststoffen bei viertägiger Lagerung von ungeschältem und geschältem Spargel waren nicht nachweisbar (Abbildungen 97 bis 99). Nachfolgende Angaben geben Tendenzen wieder.

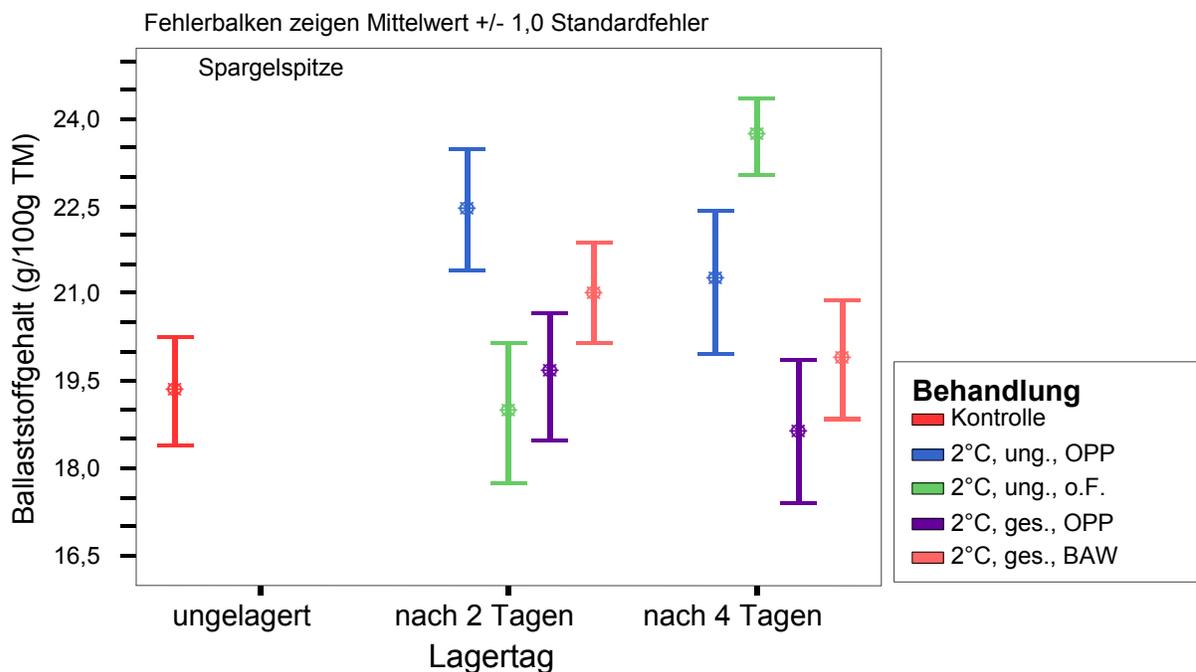


Abbildung 97: Einfluss von Lagerdauer und Behandlung auf den Ballaststoffgehalt (Abschnitt: Spitze)

Innerhalb von vier Tagen erhöhte sich der Ballaststoffgehalt in der Trockenmasse der Spargelspitze bei der ungeschälten unfolierten Variante von 19,3 g auf 23,7 g (Abbildung 97), im mittleren Abschnitt von 18,4 g auf 21 g (Abbildung 98), im basalen Abschnitt von 17,6 g auf 19 g (Abbildung 99).

Im mittleren Abschnitt verminderte sich der Ballaststoffgehalt bei den folierten und geschälten Varianten von 18,4 g auf 16,2 g bzw. 16,9 g.

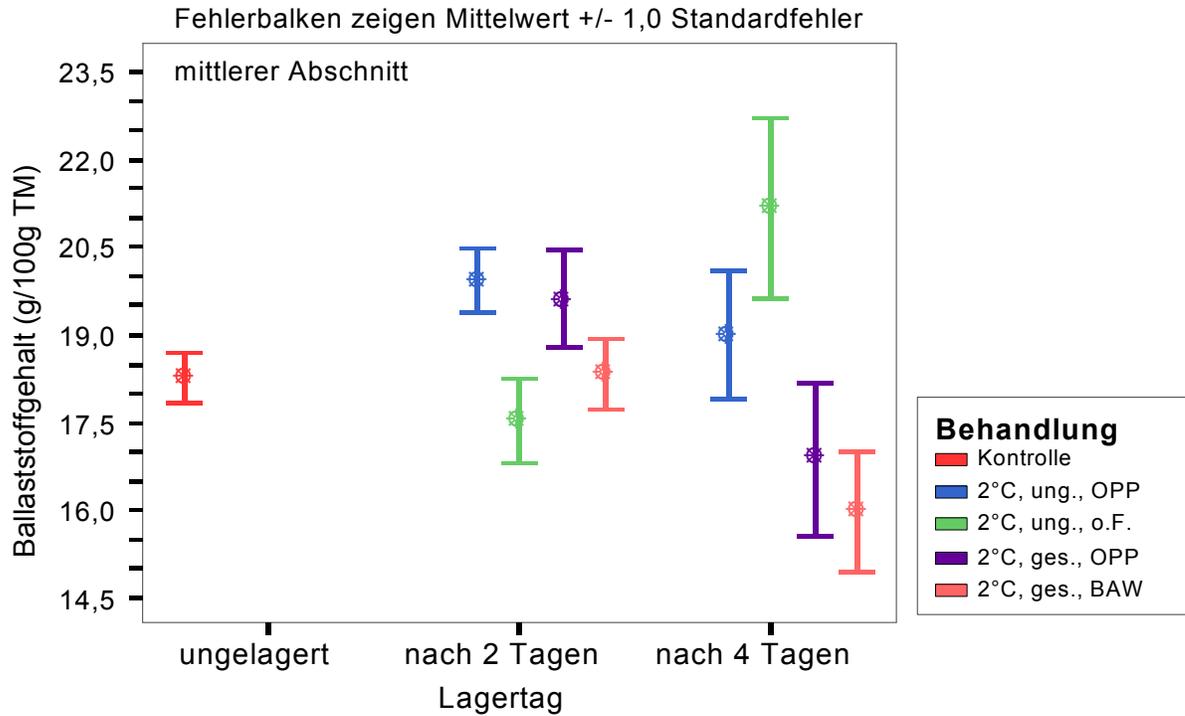


Abbildung 98: Einfluss von Lagerdauer und Behandlung auf den Ballaststoffgehalt (Abschnitt: Mitte)

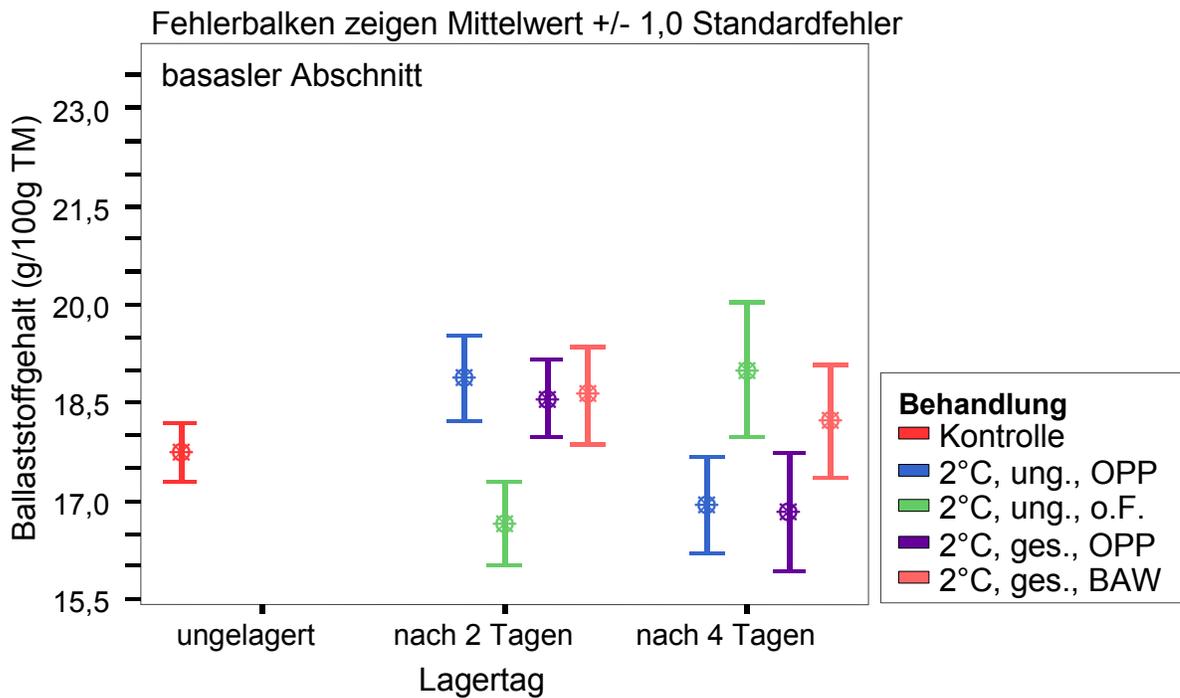


Abbildung 99: Einfluss von Lagerdauer und Behandlung auf den Ballaststoffgehalt (Abschnitt: Basis)

### Ligningehalt

Änderungen im Ligningehalt waren nachzuweisen. Der Ligningehalt nahm nach vier Tagen bei allen Varianten zu. Tendenziell war außerdem der Ligningehalt nach vier Tagen in der unfolierten Variante höher, als in den folierten Varianten (Abbildung 100).

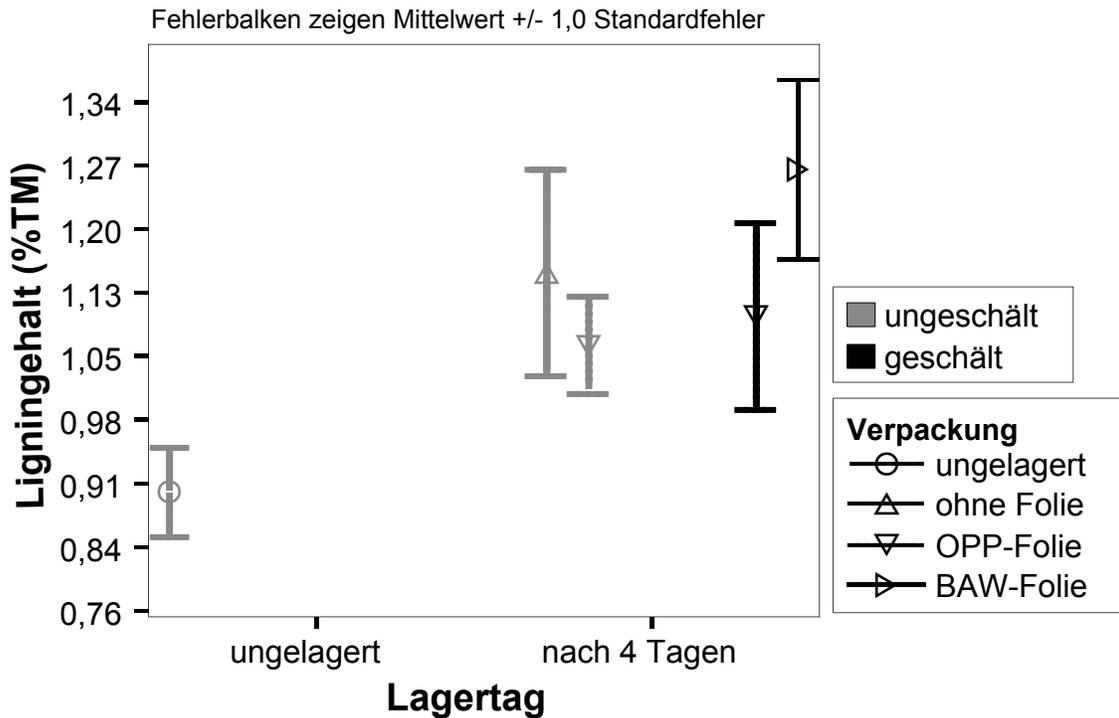


Abbildung 100: Einfluss von Lagerdauer und Behandlung auf den Ligningehalt der gesamten Spargelstange bei Lagerung von 2°C

### Zuckergehalt

Untersucht wurden die Veränderungen des Zuckergehaltes während der viertägigen Lagerung von Convenience-Spargel. Kontrolle hierzu war ungeschälter Spargel.

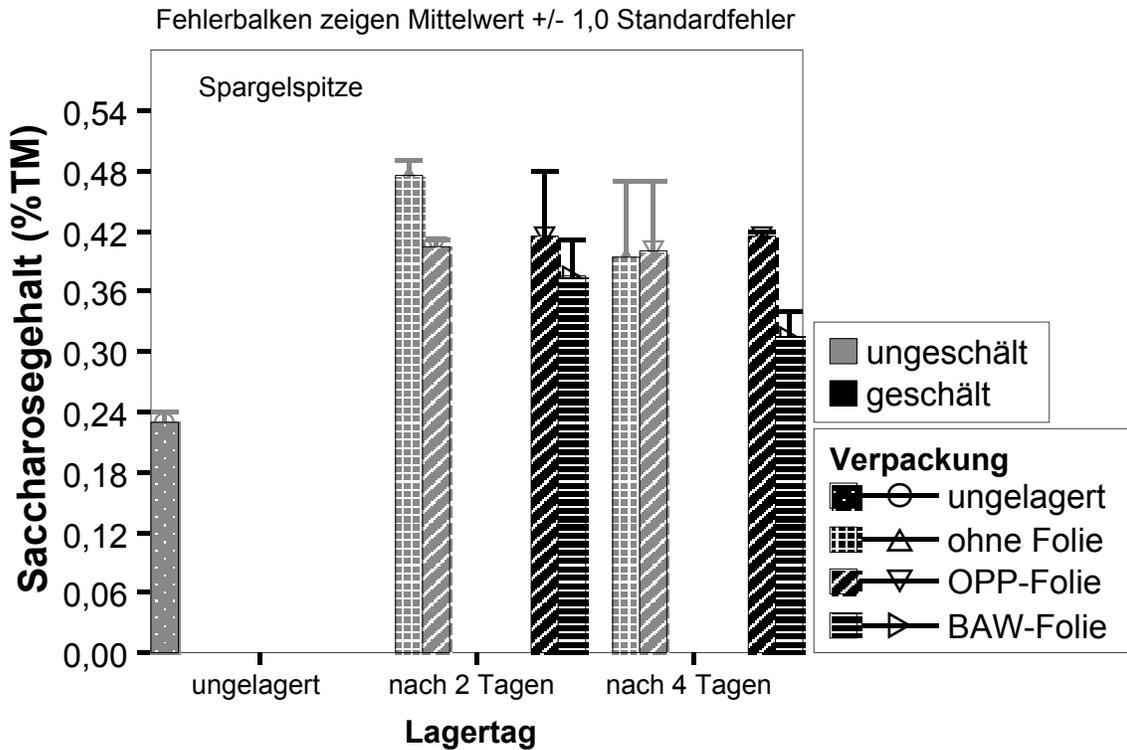


Abbildung 101: Einfluss von Lagerdauer und Behandlung auf den Saccharosegehalt von Spargel (Abschnitt: Spitze)

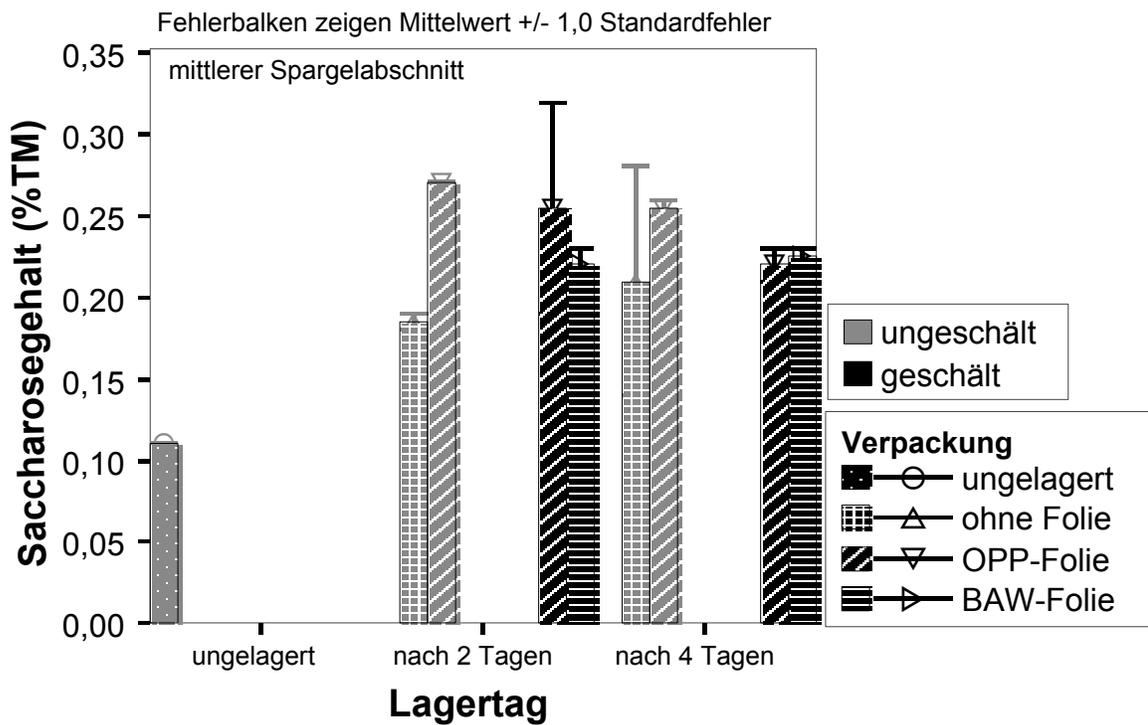


Abbildung 102: Einfluss von Lagerdauer und Behandlung auf den Saccharosegehalt von Spargel (Abschnitt: Mitte)

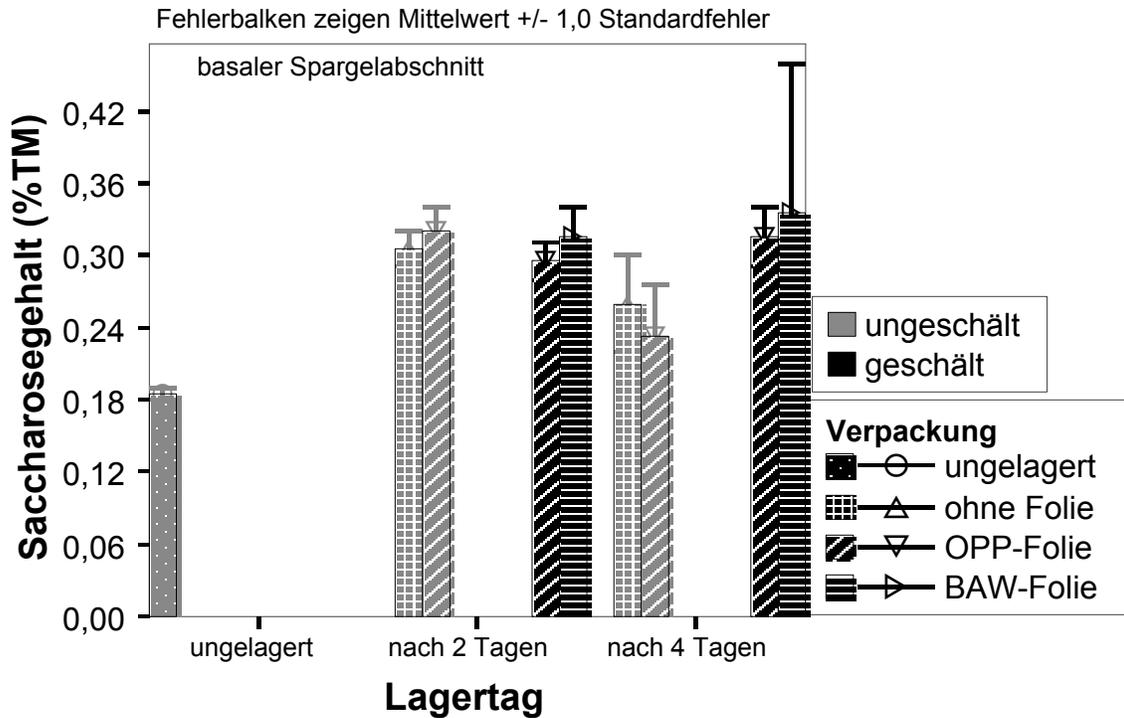


Abbildung 103: Einfluss von Lagerdauer und Behandlung auf den Saccharosegehalt von Spargel (Abschnitt: Basis)

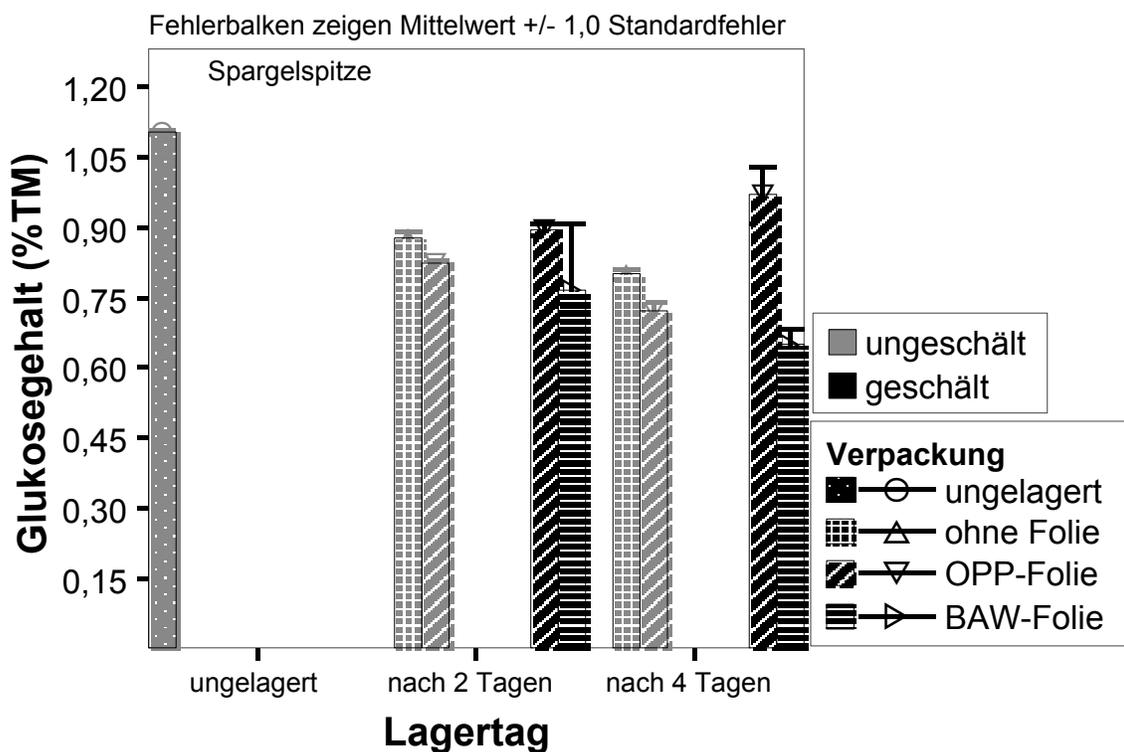


Abbildung 104: Einfluss von Lagerdauer und Behandlung auf den Glukosegehalt von Spargel (Abschnitt: Spitze)

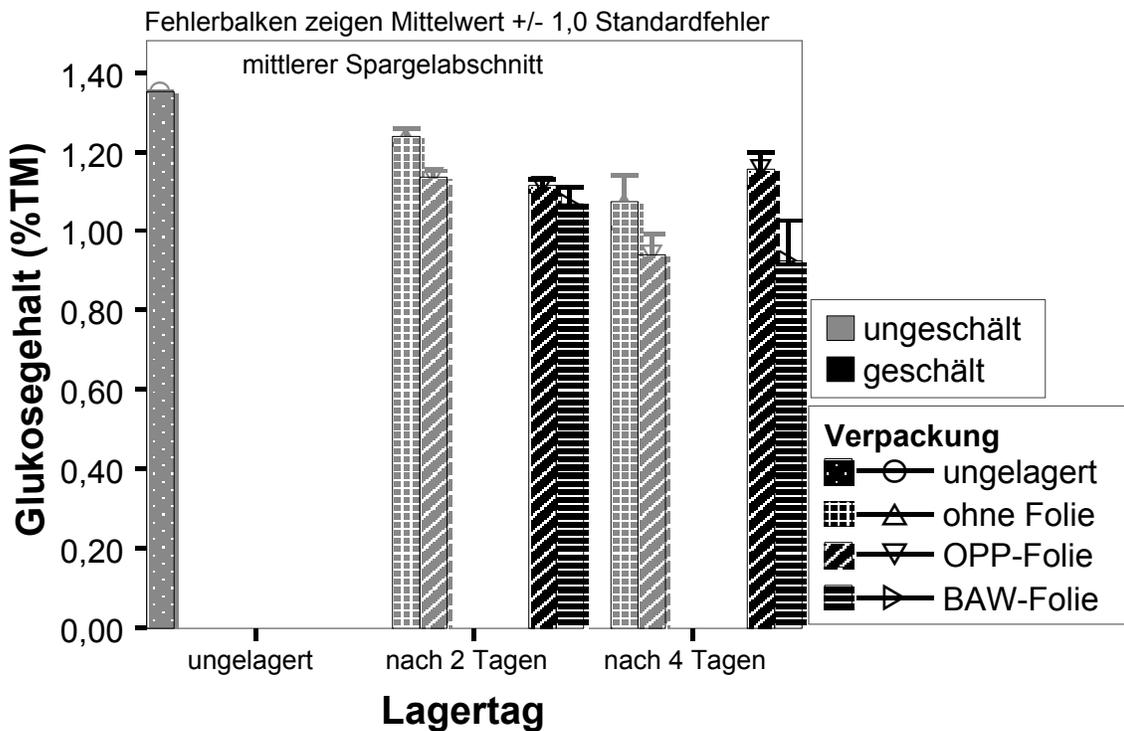


Abbildung 105: Einfluss von Lagerdauer und Behandlung auf den Glukosegehalt von Spargel (Abschnitt: Mitte)

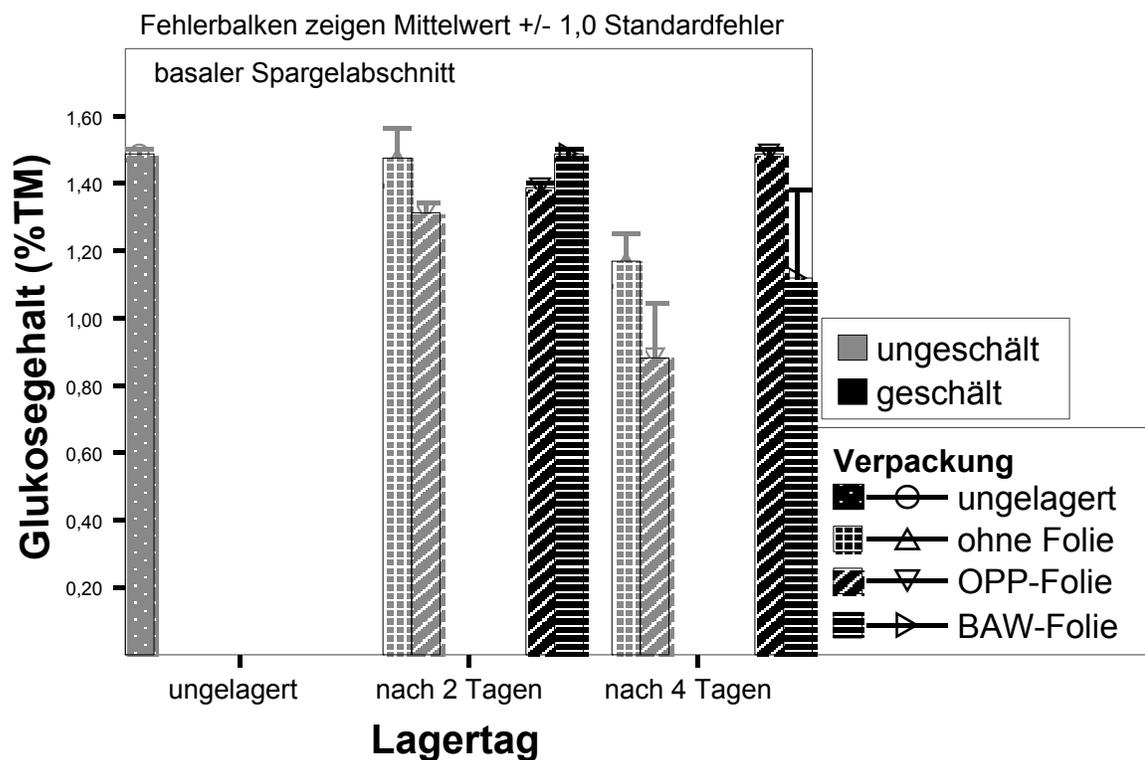


Abbildung 106: Einfluss von Lagerdauer und Behandlung auf den Glukosegehalt von Spargel (Abschnitt: Basis)

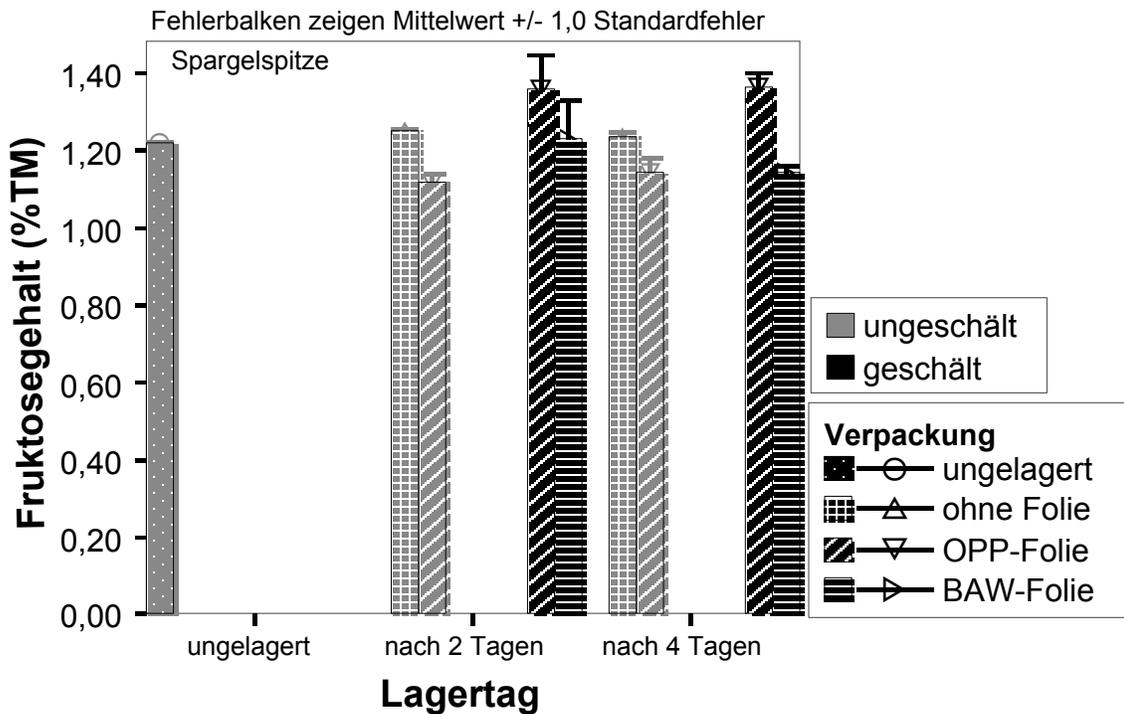


Abbildung 107: Einfluss von Lagerdauer und Behandlung auf den Fruktosegehalt von Spargel (Abschnitt: Spitze)

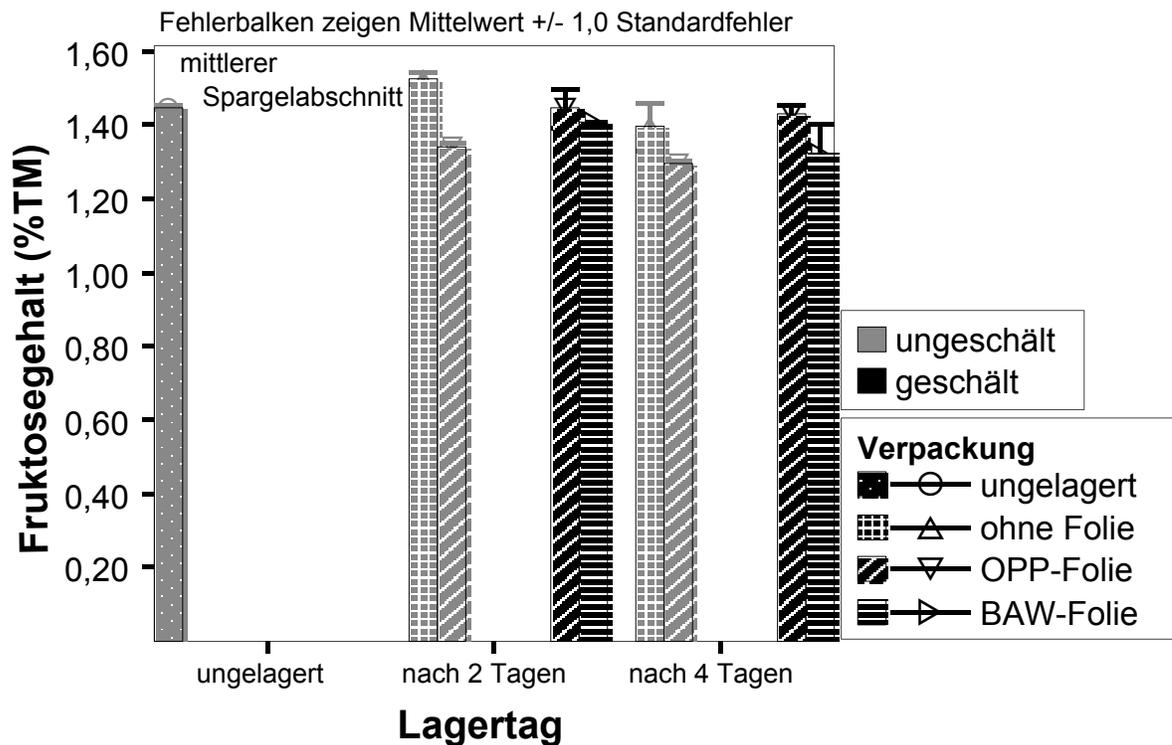


Abbildung 108: Einfluss von Lagerdauer und Behandlung auf den Fruktosegehalt von Spargel (Abschnitt: Mitte)

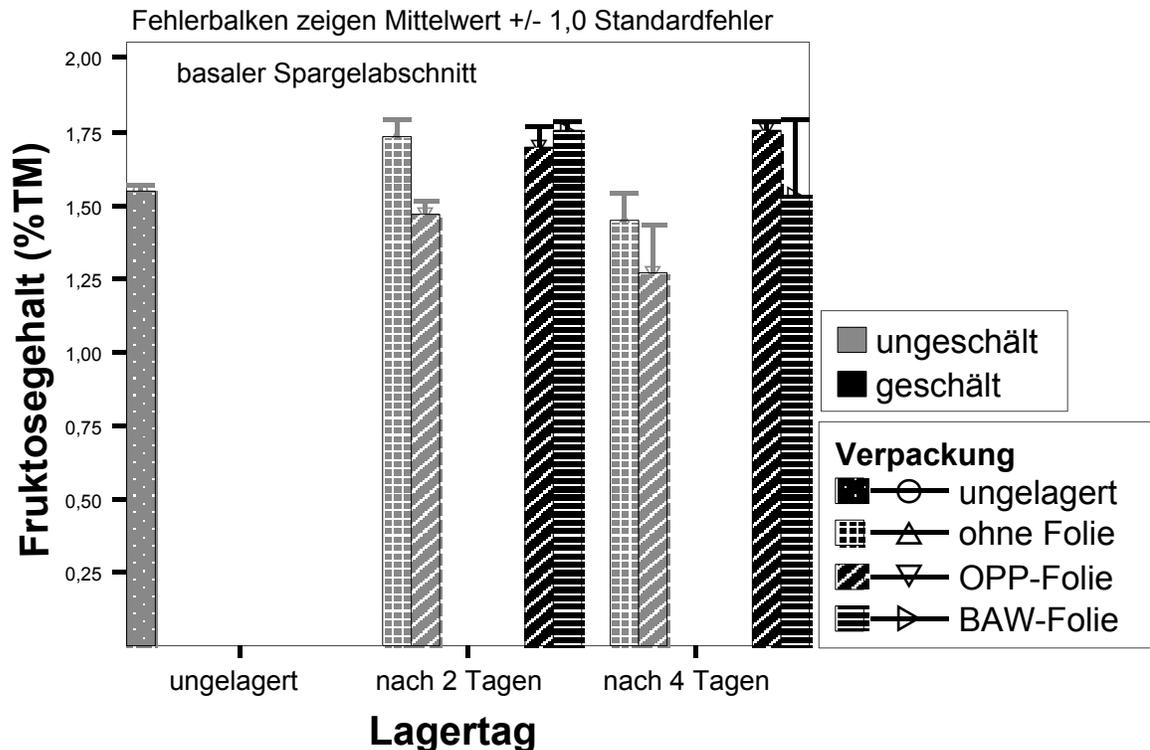


Abbildung 109: Einfluss von Lagerdauer und Behandlung auf den Fruktosegehalt von Spargel (Abschnitt: Basis)

Während der viertägigen Lagerung von geschältem (Convenience-)Spargel erhöhte sich der Gehalt an Saccharose signifikant.

- Im Spitzenabschnitt erhöht sich der Saccharosegehalt bei geschältem Spargel gleichermaßen wie beim ungeschälten Spargel in OPP-Folie um ca. 80%. Der Saccharosegehalt von in BAW-Folie gelagertem Spargel erhöhte sich um ca. 40% (Abbildung 101).
- Beim mittleren Abschnitt erhöhte sich der Saccharosegehalt nach vier Tagen bei allen folierten Varianten signifikant um ca. 120% (Abbildung 102).
- Beim basalen Abschnitt erhöhte sich der Saccharosegehalt nach vier Tagen bei allen folierten Varianten signifikant um ca. 65% (Abbildung 103).

Die Glukosegehalt verminderte sich nach viertägiger Lagerung bei fast allen Varianten signifikant.

- Im Spitzenabschnitt verminderte sich der Glukosegehalt bei der geschälten Variante in BAW-Folie um ca. 30%. Bei der geschälten Variante in OPP-Folie kam es zu einer Verminderung um 5% (Abbildung 104).
- Im mittleren Abschnitt verminderte sich der Glukosegehalt bei der ungeschälten Kontrollvariante in OPP-Folie und bei der geschälten Variante in BAW-Folie um ca. 30%. Bei der geschälten Probe in OPP-Folie verringerte sich der Glukosegehalt um 20% (Abbildung 105).



ruchsnoten wie ‚grüne Erbse‘ und ‚spargeltypisch‘ hatten nach zwei, bzw. viertägiger Lagerung andere Merkmale an Bedeutung gewonnen. Bei Lagerung des geschälten Produktes in BAW-Folie, in der sich eine modifizierte Atmosphäre einstellte, wurden verstärkt senfgurkenartige und hefig/vergorene Noten festgestellt, schließlich auch fruchtige Noten wahrgenommen. Bei geschältem Spargel in OPP-Folie und nicht geschältem, unverpacktem Spargel kam es dagegen bei 2° C im Lager nur zur Verringerung der ursprünglichen Eindrücke.

### 3.3.2 Mikrobielle Veränderungen während der Kurzzeitlagerung von Convenience-Spargel

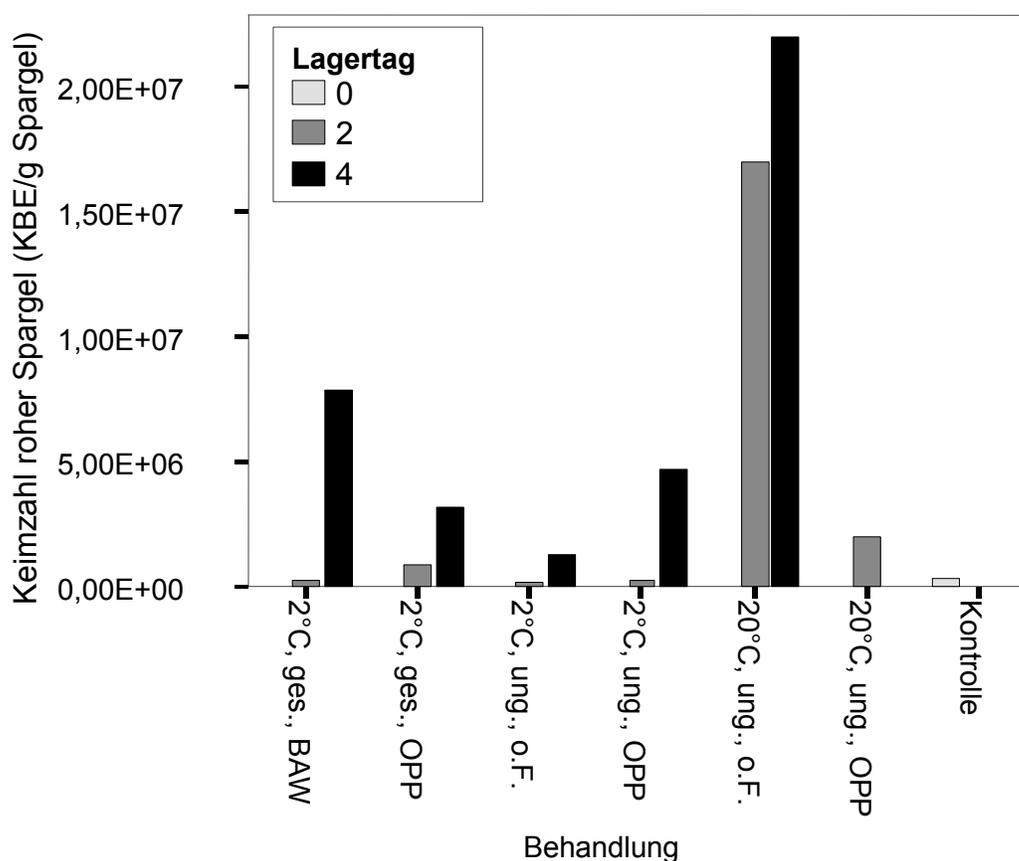


Abbildung 111: Keimzahl (Koloniebildende Einheiten) auf rohem Spargel nach viertägiger Lagerung

Die ersten dargestellten Ergebnisse zeigen nur Tendenzen, da bei den Untersuchungen nur an zwei Spargelstangen Untersuchungen durchgeführt worden sind. Bei dem bei 20°C gelagerten Spargel (ohne Folie) erhöhte sich die Gesamtkeimzahl von  $3,65 \cdot 10^5$  auf  $2,2 \cdot 10^7$ , bei folierter Lagerung (BAW) von geschältem Spargel bei 2°C auf  $7,9 \cdot 10^6$  (Abbildung 111).

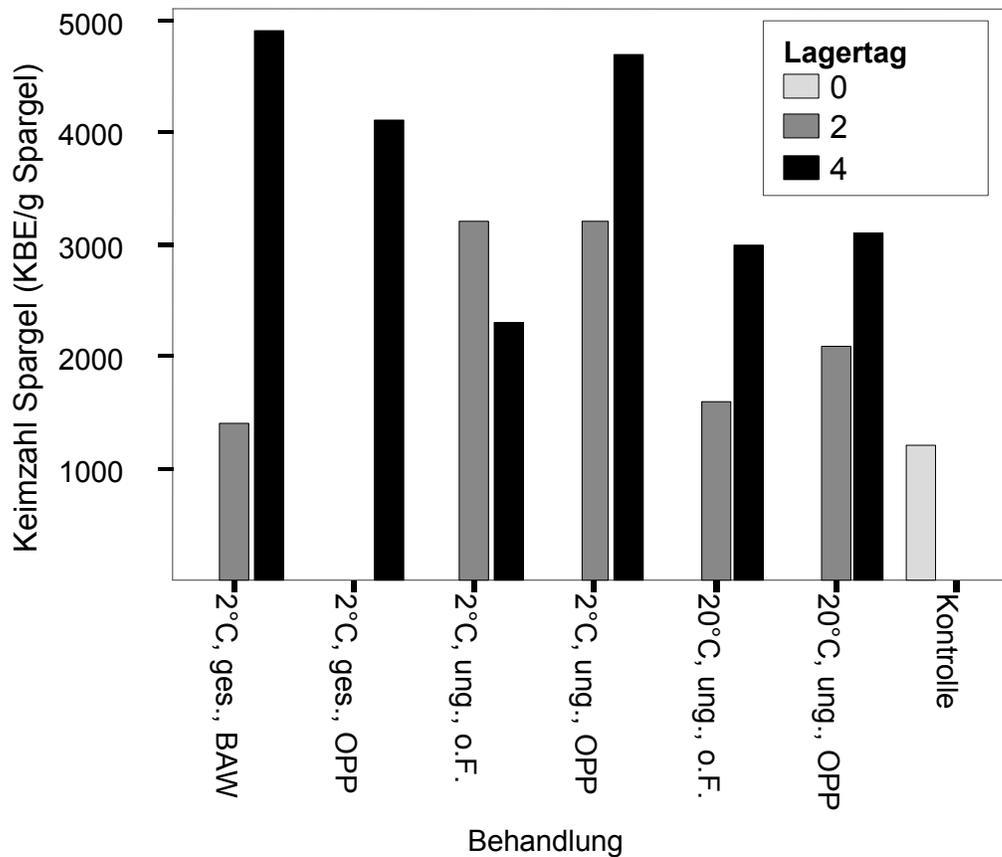


Abbildung 112: Keimzahl (Koloniebildende Einheiten) auf Spargel (10 min, 80°C) nach vier-tägiger Lagerung

Nach 10 Minuten Dämpfen bei 80°C war bei den 20°C-Varianten (Lagerdauer von vier Tagen) eine Gesamtkeimzahl von ca.  $3 \cdot 10^3$  Keimen zu messen. Bei der geschälten Variante in der biologisch abbaubaren Folie (BAW), die bei 2°C gelagert worden ist, betrug die Gesamtkeimzahl  $4,9 \cdot 10^3$  (Abbildung 112).

### 3.4 Erwartungen der Verbraucher an die Produktqualität

Die Frische und der Geschmack von Spargel war bei Verbrauchern jeden Alters und Geschlechts sehr wichtig bis wichtig (Abbildungen 113 und 114).

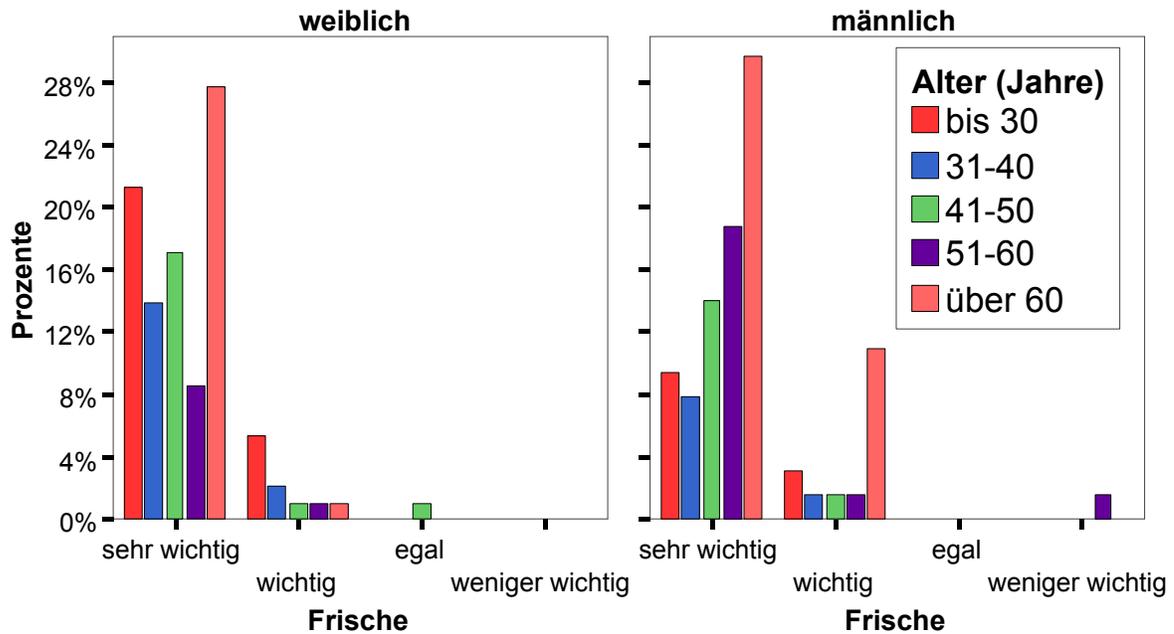


Abbildung 113: Die Wichtigkeit der Frische von weißem Spargel für den Verbraucher

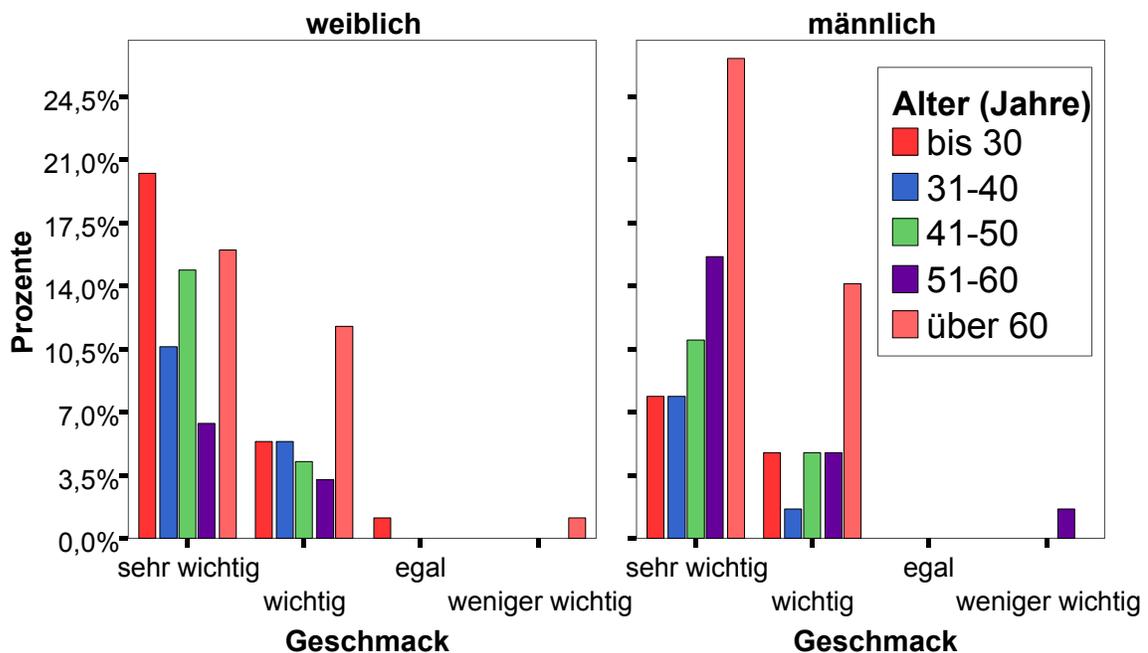


Abbildung 114: Die Wichtigkeit des Geschmacks von weißem Spargel für den Verbraucher

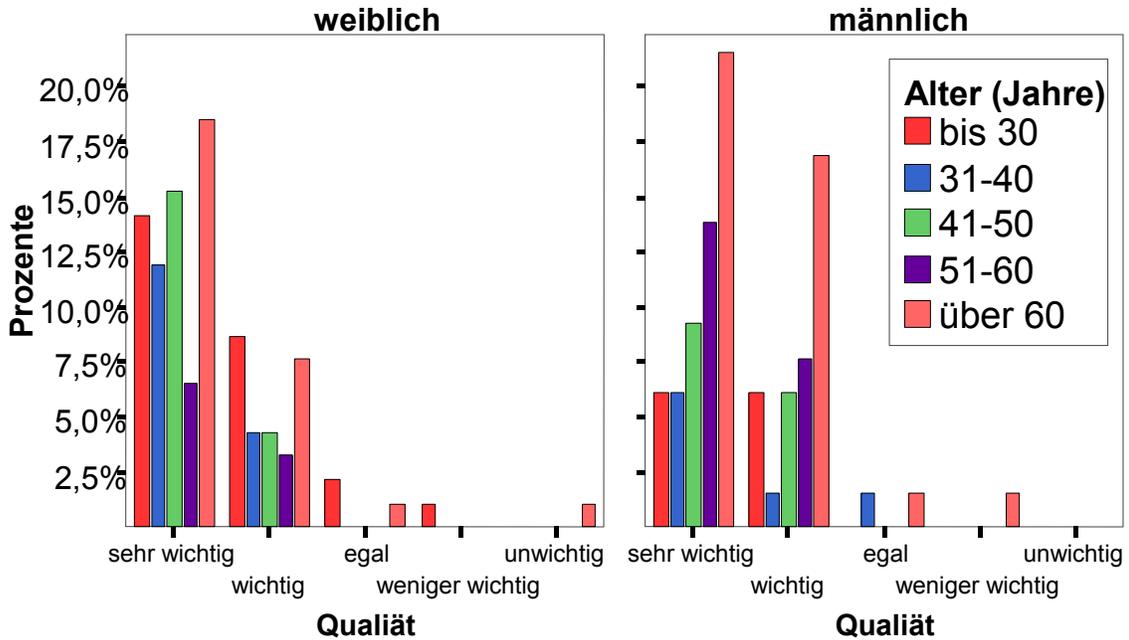


Abbildung 115: Die Wichtigkeit der Qualität von weißem Spargel für den Verbraucher

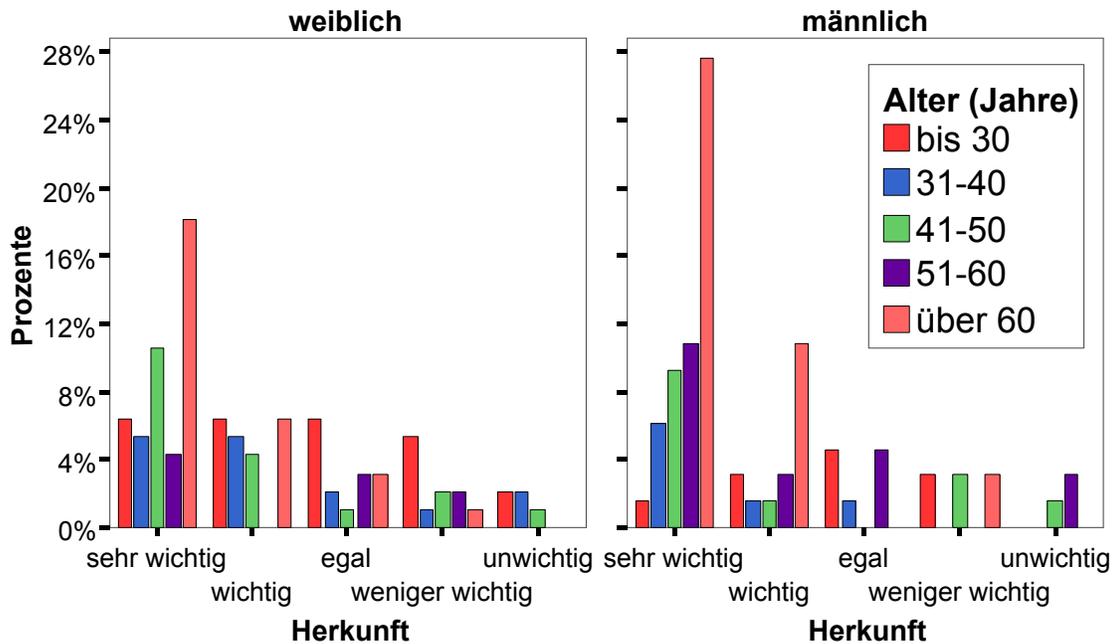


Abbildung 116: Die Wichtigkeit der Herkunft 'Deutschland' von weißem Spargel für den Verbraucher

Bei den über 60 jährigen Verbrauchern hatten die Herkunft und die Qualität von Spargel einen sehr hohen Stellenwert (sehr wichtig bis wichtig, Abbildung 115). Bei jungen Käufern (bis 40 Jahre) war die Qualität bedeutsam, die Herkunft bei einem vergleichsweise hohen Prozentsatz egal bis weniger wichtig (Abbildung 116).

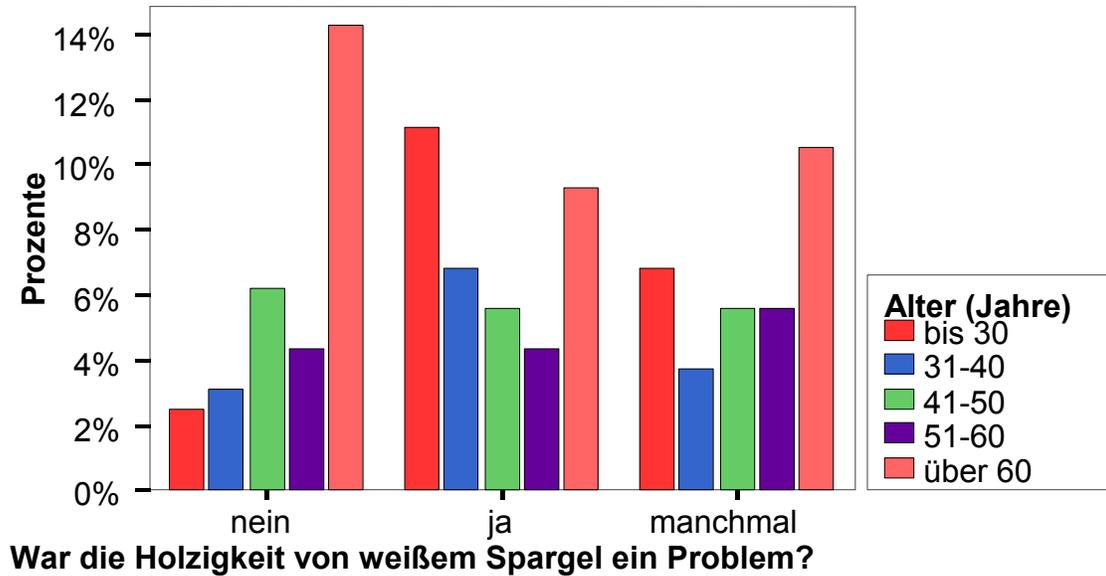


Abbildung 117: Die Holzigkeit von weißem Spargel als mögliches Problem beim Verzehr durch den Verbraucher

Die Holzigkeit stellte insbesondere für junge Verbraucher (bis 30 Jahre) ein Problem dar, für die über 60 jährigen war sie dagegen eher unbedeutend (Abbildung 117).

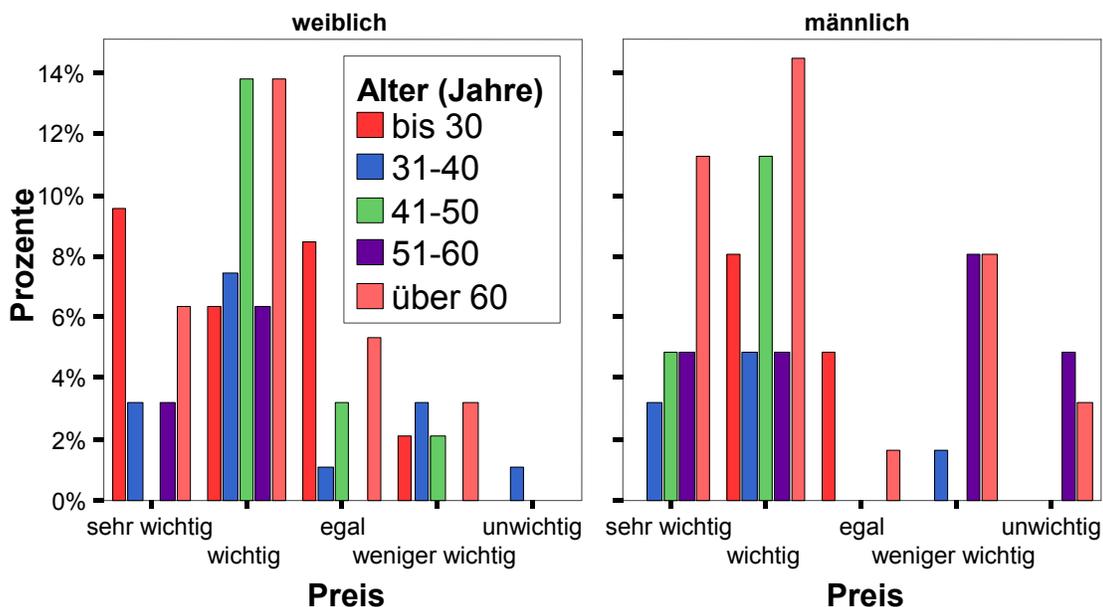


Abbildung 118: Die Wichtigkeit des Preises von weißem Spargel für den Verbraucher

Der Preis von Spargel war für die Mehrheit der Verbraucher ein wichtiges Kriterium beim Kauf (Abbildung 118). Für Verbraucher über 50 Jahre, insbesondere für männliche Verbraucher, war der Preis von Spargel hingegen weniger wichtig bis unwichtig (Abbildung 118).

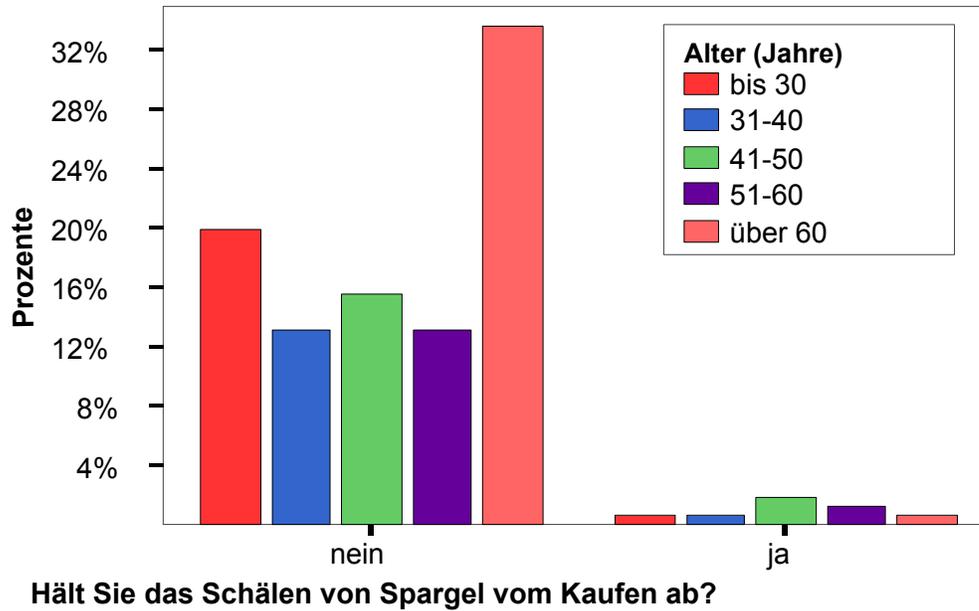


Abbildung 119: Das Schälen von weißem Spargel als mögliches Problem beim Kaufverhalten durch den Verbraucher

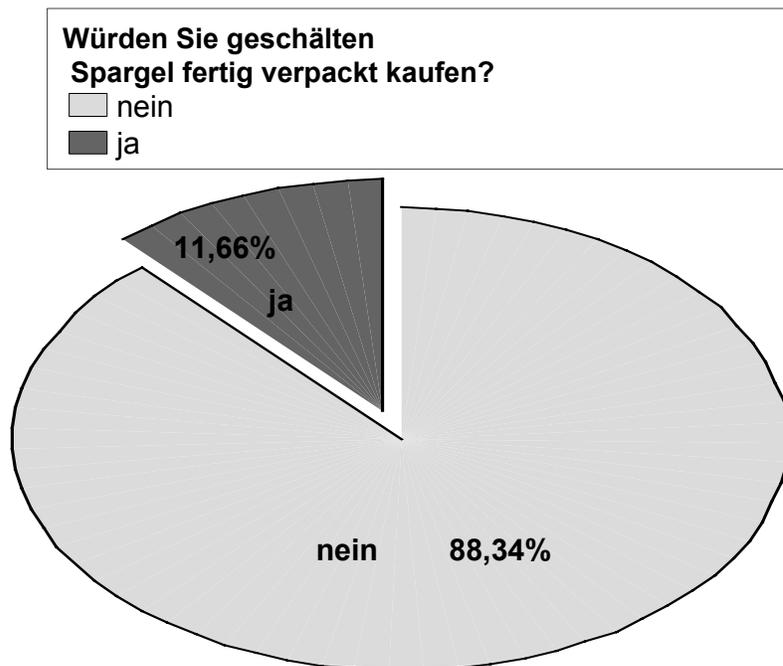


Abbildung 120: Geschälter und verpackter Spargel als Alternative für den Verbraucher

Das Schälen von Spargel stellte für alle Verbraucher, unabhängig vom Alter und Geschlecht, kein Problem dar (Abbildung 119). Ca. 12% aller Verbraucher würden Convenience-Spargel kaufen (Abbildung 120).

## 4 Diskussion

### 4.1 Einfluss von Kulturmaßnahmen auf Ernte und Produktqualität

Vorernteparameter wie die Bodentemperatur (TIEDJENS 1924, MACGILLIVRAY 1933, CLORE et al. 1976, ROBB 1984, ROSEN 1990, PANDITA und BHAN 1994, DFAULT 1996, MCCORMICK und GEDDES 1996, BROVELLI et al. 1998, LIAO et al. 1999, DEAN 1999, DROST 1999, WONNEBERGER 2000) und der Pflanzabstand (TAKATORI et al. 1975, McQUINN et al. 1981, MOTES et al. 1988, KAUFMANN und ORTH 1990, MCCORMICK und THOMSEN 1990, KELLY et al. 1999) bestimmen neben anderen Einflussfaktoren wesentlich Ernteparameter wie den Zeitpunkt der Ernte, die Menge und den Ernteverlauf sowie die Produktqualität von Spargel.

Der Einfluss der Bodentemperatur auf die Qualität und den Erntebeginn von Spargel wurden in dieser Arbeit im Gegensatz zu bisherigen Untersuchungen unter definierten Bedingungen untersucht. Unabhängig vom Witterungsverlauf wurden quantitative Versuche zur Wirkung der Bodentemperatur auf den Erntebeginn und äußere und innere Qualitätsparameter durchgeführt werden.

Der Erntebeginn von Spargel ist neben der Sorte (HARTMANN 1998) von der Wachstumsgeschwindigkeit abhängig (HARTMANN 1989, 1998, ROBB 1984). So beginnt das Spargelwachstum nach Robb (1984) bei 4,4°C und steigt im Temperaturbereich von 7°C bis 31°C linear an (CULPEPPER und MOON 1939). Bei nachhaltiger Überschreitung der Bodentemperatur von 12°C ist nach HARTMANN (1989) mit einem beschleunigtem Wachstum zu rechnen. Über die durchschnittliche Längenwachstumsrate pro Tag in Abhängigkeit von der Temperatur und der Stangenlänge informieren KAILUWEIT und KRUG (1995). So wächst eine 5 cm lange Spargelstange pro Tag bei 20°C um weitere 5 cm, bei 10°C hingegen nur um 1 cm. Das hieße, dass bei Temperaturen von 20°C Spargel nach ca. einer Woche geerntet werden könnte.

Neben der direkten Wirkung der Bodentemperatur auf die Wachstumsgeschwindigkeit, wird die Wasseraufnahme von Spargel (HARTMANN 1998) durch die Bodentemperatur beeinflusst. Dies wiederum beeinflusst die Wachstumsgeschwindigkeit durch Verlangsamung wassergebundener physiologischer Prozesse wie Ionentransport (NORTHCOTE 1972) und Enzymaktivität (STRASBURGER et al. 1991).

Die eigenen Untersuchungen zeigten, dass bei der Sorte 'Backlim' bei höheren Rhizomtemperaturen (20°C) die erste Ernte 20-22 Tage nach Beginn der Temperaturbeeinflussung einsetzte, 55-57 Tage eher als bei niedrigen Temperaturen (10°C). Die Unterschiede in den Untersuchungsergebnissen lassen sich mit der Einstellphase der Bodentemperatur erklären, innerhalb von 10 Tagen wurde nach Heizungsbeginn der Sollwert erreicht.

Neben äußeren Qualitätseigenschaften spielen beim Verbraucher und Handel innere Qualitätsmerkmale eine immer größere Rolle. Zum einen sind das der Schälverlust, zum anderen die Faserigkeit oder der Verholzungsgrad, die die Textur von Spargel bestimmen. Die Faserigkeit oder der Verholzungsgrad wurden als die qualitätsbestimmenden Merkmale bei Spargel beschrieben (WILEY et al. 1956, KRAMER et al. 1960, KAUFMANN 1965, CLORE et al. 1976, SOSA-CORONEL et al. 1976, BILLAU 1986, HARTMANN 1989, HEREDIA et al. 1995, POLL 1996, RODRIGO et al. 1997).

Im ersten Teil zur Diskussion der Textur wird die Gewebefestigkeit betrachtet, im Anschluss daran sollen die physiologischen Zusammenhänge zu texturrelevanten Inhaltsstoffen aufgezeigt werden.

Allgemeine Zusammenhänge zur Ausbildung der Faserigkeit durch Anbauparameter wie Temperatur lieferten TIEDJENS (1924), MACGILLIVRAY (1933), BILLAU (1986), KEULDER und RIEDEL (1990) und POLL (1996). BILLAU (1986) berichtete, dass bei niedrigen Bodentemperaturen eine erhöhte Gewebefestigkeit und erhöhte Lignifizierungstendenzen durch niedrige Wachstumsraten festzustellen waren.

In der vorliegenden Arbeit konnten diese Zusammenhänge bestätigt werden. Physikalische Messungen der Gewebefestigkeit nach Warner-Bratzler und Kramer-Scher am geschälten Spargelgewebe zeigten, dass bei niedrigen Unterboden- und Oberflächentemperaturen hohe Kräfte bis zum vollständigen Gewebebruch aufzuwenden waren. Im basalen Abschnitt waren beispielsweise 7% mehr Energie bei niedrigen Bodentemperaturen (7,5°C – 10,4°C) bis zum vollständigen Gewebebruch aufzuwenden als bei höheren Bodentemperaturen (17,9°C – 20,2°C).

Bei den eigenen Untersuchungen wurden darüber hinaus die beiden etablierten Methoden Kramer-Scher und Warner-Bratzler verglichen. Beide Methoden werden für die Messungen zur Gewebefestigkeit an Spargel eingesetzt (WILEY et al. 1956, KRAMER et al. 1960, SHARMA und WOLFE 1975, CLORE et al. 1976, MCGLYNN et al. 1993, SANCHEZ-PIEDA-INFESTANS et al. 1994, SÁNCHEZ et al. 1995, RODRIGO et al. 1998). Nach Auswertung und Faktoranalyse zeigten sich hohe Korrelationen zwischen beiden Methoden und Messgrößen wie Gesamtenergiegehalt bis zum vollständigen Gewebebruch und Maximalkraft, so dass beide Methoden und Messgrößen gleichberechtigt verwendet werden können. Aus praktischer Sicht wäre die Methode nach Warner-Bratzler vorzuziehen, da sie einfacher und schneller durchzuführen ist und so bei hohem Probenumfang schneller Ergebnisse liefert.

Die Untersuchungen erfolgten an einzelnen 7 cm langen Abschnitten, da zwischen den einzelnen Abschnitten Unterschiede zu erwarten waren (MACGILLIVRAY 1933, HAARD et al. 1974, BILLAU 1986, HENNION et al. 1992, BROVELLI et al. 1998, SIOMOS et al. 2000). BILLAU (1986) stellte durch mehrere punktuelle Messungen längs der Spargelstange fest, dass die Gewebefestigkeit von der Spitze her zur Basis zunimmt. Nach BROVELLI et al. (1997) hat die Spargelstange ebenfalls in der Längsrichtung und auch in Querrichtung keine homogene Textur.

Eigene abschnittsweise durchgeführten Untersuchungen zur Gewebefestigkeit nach der Methode Warner-Bratzler zeigten ebenfalls, dass beim basalen Abschnitt insgesamt 26% mehr Energie (KJ/cm) als bei der Spitze aufgebracht werden musste. BILLAU (1986) konnte ähnliche Größenordnungen (bis 30%) in Abhängigkeit von der Sorte und dem Bodentyp feststellen.

Ferner hat der Durchmesser der Spargelstange einen Einfluss auf die Gewebefestigkeit. So wählten einige Autoren für ihre Untersuchungen Spargel mit bestimmten Durchmesser und bezogen die Messgrößen auf den Durchmesser (HAARD et al. 1974, SHARMA und WOLFE 1975, BILLAU 1986, RODRIGO et al. 1997, 1998, BROVELLI et al. 1998). BROVELLI et al. (1998) wählten für Ihre Untersuchungen Grünspargel mit einem Durchmesser ab 9 mm, RODRIGO et al. (1997, 1998) wählten Durchmesser ab 11 mm. In der vorliegenden Arbeit wurden nur Spargelstangen berücksichtigt, die der Handelsklasse I angehörten (Durchmesser >14 mm).

Neben der Gewebefestigkeit ist der Schälabfall ein Qualitätsparameter. Bei der Schale einer Spargelstange handelt es sich um den Sklerenchymzylinder unter der Rinde ausgehend vom Perizykel, der verholzt sein kann (BILLAU 1986, HARTMANN 1989). KAUFMANN (1965) stellte fest, dass beim Bleichspargel bis zu 40% Schälverlust auftreten können. Angaben zum Einfluss der Temperatur oder anderer Einflussfaktoren wie die Sorte machte sie nicht. Nach BILLAU (1986) ist zu vermuten, dass die Temperatur den Schälabfall beeinflusst. Eigene Untersuchungen zeigten derartige Zusammenhänge auf. Bei niedrigen Unterbodentemperaturen war ein hoher Schalenanteil an der Frischmasse zu verzeichnen. Bei 7,5°C lag der Anteil bei 23%, bei einer Unterbodentemperatur von 19,4°C lag dieser Anteil bei 15%. Nach WALDRON und SELVENDRAN (1990a, b) werden hauptsächlich Cellulose und Pektine als texturrelevante Inhaltsstoffe unter der Epidermis gebildet, die zusammen mit der vom Sklerenchymzylinder ausgehenden Ligninbildung (BILLAU 1986) den Anteil der Schale ausmachen. Dieser ist temperaturabhängig, wie die eigenen Ergebnisse zeigten.

Zu den texturrelevanten Inhaltsstoffen zählen neben Ligninen Gerüstkohlenhydrate, die zusammen die Gerüstsubstanz der pflanzlichen Zelle darstellen. Sie bilden die hauptsächlichsten Komponenten der Ballaststoffe (SELVENDRAN 1984, SELVENDRAN und MACDOUGALL 1995, REDONDO-CUENCA et al. 1997).

Chemisch analysierbar sind zum einen die einzelnen Gerüstkohlenhydrate wie Cellulose, Hemicellulose und Pektine, sowie Lignine oder zum anderen die Gruppe der Ballaststoffe als Summe der Gerüstkohlenhydrate.

Mit der Gewebefestigkeit einhergehende texturrelevante Inhaltsstoffe werden durch die Bodentemperatur beeinflusst (SOSA-CORONELL ET AL. 1976, BILLAU 1986, BROVELLI et al. 1998). SOSA-CORONELL et al. (1976) stellten fest, dass höhere Temperaturen (21-26°C) einen geringeren Fasergehalt zur Folge hatten als niedrige Temperaturen (10°-15,5°C). BROVELLI et al. (1998) fanden bei ihren Untersuchungen, dass bei niedrigen Temperaturen im Frühjahr (15,3°C) der Fasergehalt signifikant niedri-

ger war als bei höheren Temperaturen im Sommer (24,3°C). Angaben dazu, in welcher Bodentiefe die Messungen der Temperaturen erfolgten und über welchen Zeitraum fehlten allerdings bei den Arbeiten und lassen somit keine quantitativen Rückschlüsse in Bezug auf die Bodentemperatur zu.

Bei beiden Arbeiten wurde der Fasergehalt nach der Methode nach SMITH und KRAMER (1947) gemessen. Bei dieser Methode wird durch Kochen und Filtration wasserunlösliches Zellgewebe gewonnen und nach einer Trocknungszeit in Relation zur Einwage gesetzt (Heißwasserextraktionsmethode). Nachteil dieser Methode ist, dass wasserlösliche Zellwandsubstanzen, wie wasserlösliches Pektin und Hemicellulose (VAN BUREN 1979), die am Zellwandaufbau beteiligt sind, nicht erfasst werden. Zur Summe der Fasern wurden daher nur ungenügende Angaben gemacht. In der vorliegenden Arbeit wurde daher zur umfassenden Darstellung der Summe der texturrelevanten Inhaltstoffe ("Summe der Fasern") die Bestimmung der Ballaststoffe nach einem enzymatisch-gravimetrischen Verfahren herangezogen.

Nach SOUCI ET AL. (1986) sind in 100 g frischen Spargel durchschnittlich 1,33 g, nach HERMANN (1999) 1,47 g Ballaststoffe enthalten. In den eigenen untersuchten Proben schwankte der Gehalt zwischen 0,53 g und 1,81 g in Abhängigkeit von der Bodentemperatur. Bei gleichen Bodentemperaturen hatten die Spargelspitzen einen niedrigeren Gehalt an Ballaststoffen als die basalen Abschnitte. Beim Vergleich der Spargelstangen, die bei homogenen Temperaturverhältnisse im Boden (9,6°C Unterbodentemperatur und 10,2°C Oberflächentemperatur sowie 19,8°C Unterbodentemperatur und 21,6°C Oberflächentemperatur) gewachsen sind, konnte festgestellt werden, dass bei den kalten Varianten um ca. 8% höhere Gehalte an Ballaststoffen als bei den warmen Varianten enthalten waren.

Bestanden zwischen Oberfläche und Unterboden hohe Temperaturunterschiede (Temperaturdifferenz 8°C), lag, wie die eigenen Ergebnisse zeigen, tendenziell ein niedrigerer Gehalt an Ballaststoffen vor als bei homogenen Bodentemperaturverhältnissen. Selbst bei einer höheren Unterbodentemperatur im Gegensatz zur Oberflächentemperatur (Temperaturdifferenz 4°C) waren geringere Ballaststoffgehalte im Spargel nachzuweisen als bei homogenen Bodentemperaturverhältnissen. Insbesondere beim basalen Spargelabschnitt konnte dies beobachtet werden und könnte durch temperaturabhängige wassergebundene Transportprozesse (HARTMANN 1998) und durch temperaturabhängige Enzymreaktionen (STRASBURGER et al. 1991) begründet sein.

Nach SELVENDRAN und MACDOUGLAS (1995) machen sich Veränderungen des Ballaststoffgehaltes auf die Textur bemerkbar. So konnten sie an Bohnenhülsen feststellen, dass bei einer Erhöhung des Ballaststoffgehaltes um 60% von 2,5 g/100 g Frischgewicht auf 4 g/100 g Frischgewicht die zarte, weiche Struktur verholzte. Eigene Ergebnisse zeigten, dass eine Verminderung des Ballaststoffgehaltes um ca. 20% bei einer Erhöhung der Unterbodentemperatur von 9,6°C auf 17,9°C eine signifikante Verminderung der Gewebefestigkeit um 15% zur Folge hatte und die Textur weicher wurde.

Einzelne texturrelevante Inhaltstoffe wie Cellulose, Hemicellulose, Pektin und Lignine wurden in Abhängigkeit von der Bodentemperatur in unterschiedlichen Konzentrationen in der Spargelstange festgestellt.

Die Einlagerung von Ligninen dient zur Erhöhung der Strukturstabilität und schützt vor Schädlingen und Krankheiten (SARKANEN und LUDWIG 1971). Nach VAN BUREN (1979) ist die Lignineinlagerung im Gewebe für die Qualität von Gemüse ein unerwünschter Prozess. Lignifiziertes Gewebe ist nach STERLING (1963) hart und hat eine faserige Textur. Die Lignifikation ist ein enzymgesteuerter Prozess des Sekundärstoffwechsels bei höheren Pflanzen (HAHLBROCK und GRISEBACH 1979). Aufgrund der Interaktionen mit andern Zellwandkomponenten, spielen Lignine eine signifikante Rolle bei der Texturausbildung, auch wenn es nur in geringer Konzentration vorliegt (STANLEY und AGUILERA 1985). Nach SCHUBERT (1965) werden die Ligninbausteine (Glucocumarylalkohol, Coniferin und Syringin) enzymatisch durch Peroxidase (SHARMA et al. 1975) zu Radikalen dehydriert, die sich hauptsächlich nichtenzymatisch zu einem dreidimensionalen Ligninkomplex zusammenschließen (NORTHCOTE 1972, STRASBURGER et al. 1991). Neben Cellulose (HELPER et al. 1970) kommt es dabei insbesondere mit Hemicellulose (BLOUIN et al. 1982) zu kovalenten Verknüpfungen.

Quantitativ bedeutsame Unterschiede zwischen den einzelnen Temperaturvarianten lagen bei den Ligninen vor. Der Ligningehalt reduzierte sich mit der Temperaturzunahme. Die Ligninbildung ist von der Enzymkonzentration und –aktivität abhängig (SHARMA et al. 1975, HENNION et al. 1992). HENNION et al. (1992) und HAARD et al. (1974) ermittelten bei Lagerversuchen von Spargel, dass im basalen Spargelabschnitt höhere Konzentrationen an Enzymen vorlagen. BILLAU (1990) konnte im basalen Spargelabschnitt höhere Ligningehalte nachweisen. Indirekt können diese Aussagen durch eigene Messungen der Gewebefestigkeit und des Ballaststoffgehaltes bestätigt werden. Bei der Gewebefestigkeit waren die basalen Abschnitte fester als die Spargelspitzen. Zudem konnten im basalen Abschnitt höhere Gehalte an Ballaststoffen gemessen werden als in den Spargelspitzen.

Im Gegensatz zu den Ligninen lagen Cellulose und Hemicellulose in Spargelstangen, die bei niedrigen Temperaturen gewachsen sind (9,6°C Unterbodentemperatur und 10,2°C Oberflächentemperatur) in geringerer Konzentration vor als bei Spargelstangen, die bei höheren Temperaturen (19,8°C Unterbodentemperatur und 21,6°C Oberflächentemperatur) gewachsen sind. Mögliche Ursache könnten hierbei temperaturabhängige Enzymaktivitäten sein (RICHTER 1998, STRASBURGER 1991) oder eine Inaktivierung der Enzyme durch Fehlen bestimmter Ionen ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ), die als Cofaktoren fungieren (DELMER und AMOR 1995). Hierbei könnte der Wassertransport eine Rolle spielen, der bei niedrigen Temperaturen in geringerem Maße abläuft als bei höheren Temperaturen (NORTHCOTE 1972, HARTMANN 1998).

Zusammenfassend zeigten physikalische Messungen zur Textur nach Warner-Bratzler bzw. Kramer-Scher bei kalten Varianten (9,6°C Unterbodentemperatur und

10,2°C Oberflächentemperatur) signifikante Festigkeitsunterschiede zu den warmen Varianten (19,8°C Unterbodentemperatur und 21,6°C Oberflächentemperatur). Chemisch-analytische Messungen hierzu bestätigten, dass insbesondere die Gehalte an Ligninen diese Festigkeitsunterschiede bewirkten. Tendenziell konnte auch gezeigt werden, dass bei niedrigen Temperaturen (9,6°C Unterbodentemperatur und 10,2°C Oberflächentemperatur) höhere Ballaststoffgehalte als Summe der Gerüstkohlenhydrate und Lignin in den Spargelstangen vorlagen als bei warmen Temperaturen (19,8°C Unterbodentemperatur und 21,6°C Oberflächentemperatur).

Ursache hierfür könnte nach HERNER (1990, zit. bei BROVELLI et al. 1998) die verminderte Wachstumsrate des Sprosses bei niedrigen Temperaturen und eine gleichbleibende Synthese von Fasern sein. Der Faseranteil im Spross ist daher höher als bei Spargelstangen, die bei höheren Temperaturen gewachsen sind. Nach KAUFMANN (1967) führen höhere Tagesmitteltemperaturen zu einer größeren Wachstumsgeschwindigkeit und gleichzeitig zu einer geringeren Verdickung der Faserzellwände. Zusammenhänge zwischen Bodentemperatur und Wachstumsgeschwindigkeit zeigten auch Robb (1984), HARTMANN (1989), KAILUWEIT und KRUG (1995) und WILSON et al. (1999) auf.

Nach RODRIGUEZ et al. (1999) und Smith und Stanley (1987) ist wahrscheinlich die Ligninmenge alleine nicht für die Verholzung ursächlich, vielmehr vermuten sie, dass die Verholzung durch verschiedenartige Verknüpfungen von Ligninen mit anderen Zellwandbestandteilen wie Polysacchariden und Proteinen verursacht wird.

Als weiterer qualitäts- und ertragsbeeinflussender Faktor wurde der Pflanzabstand untersucht. SANDERS et al. (1998) werteten Ertragsdaten von Grünspargel über 11 Jahre bei verschiedenen Pflanzabständen aus. Untersucht wurden Pflanzabstände von 15 cm, 22 cm und 30 cm innerhalb der Reihe bei einer Reihenweite von 1,5 m. Nach 11 Jahren zeigten sich zwischen diesen Varianten bezüglich der Gesamterträge keine signifikanten Unterschiede.

Die in den Versuchen aufgepflanzte Sorte 'Backlim' mit einer genetischen Veranlagung zu dickeren Stangen reagierte in den ersten Stechjahren nicht mit Ertragsunterschieden bei den untersuchten Pflanzabständen. KAUFMANN und ORTH (1990) und KELLY et al. (1999) fanden bei Grünspargel eine Abhängigkeit des Ertrages vom Pflanzabstand. Weite Pflanzabstände hatten geringere Erträge zur Folge. Das weist auf unterschiedliche Sortenreaktionen hin.

Ein Einfluss des Pflanzabstandes auf den Durchmesser und das Frischgewicht der einzelnen Spargelstangen konnte nachgewiesen werden. So waren Spargelstangen, die bei engem Pflanzabstand (15 cm) gewachsen sind, um 5-6% dünner und um 8-14% leichter als Spargelstangen, die bei weitem Pflanzabstand (30 cm) gewachsen sind. Außerdem lag bei engem Pflanzabstand ein um 6-10% geringerer Anteil an Spargelstangen mit einem Durchmesser größer als 14 mm vor. Demnach wurden bei engem Pflanzabstand weniger Spargelstangen der Handelsklasse I erzeugt.

Die Ergebnisse von MOTES et al. (1988) und SANDERS et al. (1998) geben Hinweise auf den Einfluss des Pflanzabstandes auf den Durchmesser und das Frischgewicht

von Grünspargel, können aber aufgrund der weitaus geringeren Frischgewichte und Durchmesser zu Vergleichen nicht herangezogen werden.

Zum Einfluss des Pflanzabstandes auf den Fasergehalt machten SOSA-CORONEL et al. (1976) und McQUINN et al. (1981) Angaben. Beide Autorengruppen fanden heraus, dass zwischen den Pflanzabständen 22,9 cm bzw. 45,7 cm keine signifikanten Unterschiede bezüglich des Fasergehaltes bestanden. Eigene Untersuchungen hierzu bestätigten, dass der Pflanzabstand innerhalb der Reihe keinen signifikanten Einfluss auf den Ballaststoffgehalt von Spargelstangen der Handelsklasse I hatte. Auch Dichtpflanzungen mit Pflanzabständen von 15 cm innerhalb der Reihe hatten keinen signifikanten Einfluss auf den Ballaststoffgehalt.

Zwischen den Spargelstangen weiter und enger Pflanzabstände bestanden demnach keine Unterschiede in der inneren Qualität, und es wurden in dem untersuchten Zeitraum (2000 bis 2001) keine signifikanten Ertragsunterschiede festgestellt. Allerdings war die Anzahl der Stangen mit einem Durchmesser über 14 mm bei weitem Pflanzabstand in beiden Jahren größer, und damit der Anteil an der Handelsklasse I. Dies könnte ein Grund sein, die weiten Pflanzabstände zu favorisieren. Allerdings müssten hierzu betriebswirtschaftliche Rechnungen durchgeführt werden.

## **4.2 Einfluss von Lagerung sowie Aufbereitung und Lagerung auf die Produktqualität**

Spargel gehört zu den Gemüsearten, die nach der Ernte aufgrund der hohen Stoffwechselaktivität einem schnellen Verderb und damit einer Qualitätsminderung unterliegen (RYALL und LIPTON 1979, KADER 1985, KING et al. 1986, HARTMANN 1989, POWRIE und SKURA 1991). Insbesondere küchenfertig aufbereiteter Spargel (Convenience-Spargel) unterliegt einem hohen Risiko der Qualitätsminderung und des Verderbs, da die Stoffwechselaktivität bis zum zwanzigfachen im Vergleich zu unbehandelter Ware ansteigen kann (CANTWELL 1999).

Zur Ernte hat die Spargelspitze die höchste Atmungsaktivität der gesamten Spargelstange, woraus zu schließen ist, dass das Wachstum der Spargelstange apikal, d. h. in der Spargelspitze, erfolgt (LILL et al. 1990). Durch sich teilende meristematische Zellen kommt es zu einer Erhöhung der Zellzahl mit anschließender Zellstreckung, wobei Energie verbraucht wird. Insbesondere Kohlenhydrate dienen hierbei neben Proteinen (KING et al. 1988b, LIPTON 1990) als Energie- und Bausteinlieferant. LILL et al. (1990) und HURST et al. (1993) zeigten, dass Glucose und Fructose in der Spargelspitze in geringerer Konzentration vorlagen, d.h. relativ schnell umgesetzt worden sind. In dem basalen Abschnitt lagen dagegen höhere Glucose- und Fructosegehalte vor. Bei eigenen Untersuchungen von frischem, ungelagerten Spargel lagen im basalen Abschnitt ebenfalls höhere Glukose- und Fruktosegehalte vor als in der Spargelspitze.

Die Nachlieferung von Kohlenhydraten erfolgt beim Spargel aus den Speicherwurzeln, hauptsächlich aus im Vorjahr eingelagerten Fructanen und in geringerer Menge aus Stärke (HARTMANN 1989, MARTIN 1989). Bei den Fructanen überwiegen in den Speicherwurzeln die mobileren, kurzkettigen Fructoside (MARTIN 1989). Als Transportform dient Saccharose (MARTIN 1989, HURST et al. 1993). Nach der Ernte von Spargelstangen stehen derartige Fructoside und Stärke aus den Wurzeln nicht mehr zur Verfügung, die Nachlieferung erfolgt dann aus dem verbliebenen Gewebe, hauptsächlich aus dem basalen Abschnitt (ROBB 1984, KING et al. 1988b, MARTIN 1989). Die eigenen Ergebnisse zeigten, dass der Saccharosegehalt nach viertägiger Lagerung bei 20°C in der Spargelspitze um ca. 160% - 200% anstieg. Im basalen Abschnitt hingegen kam es zu keiner signifikanten Änderung des Saccharosegehaltes bei den 20°C-Varianten. Es scheint im basalen Abschnitt ("source") eine Umwandlung von Stärke und Fructanen zu Saccharose mit anschließendem Transport zur Spargelspitze ("sink") erfolgt zu sein. Möglicherweise wurden zusätzlich während der viertägigen Lagerung Glucosemoleküle vom basalen Abschnitt zur Spargelspitze transportiert, da es zu einer stärkeren Abnahme des Glukosegehaltes in den mittleren und basalen Abschnitt kam. Derartige Veränderungen innerhalb der Spargelstange können durch Veränderungen des Trockenmassegehaltes bestätigt werden. So nahm die Trockenmasse der gesamten Spargelstange bei 20°C insgesamt zwar gering ab, hingegen kam es im basalen Abschnitt zu einer 20%igen Verringerung des Trockensubstanzgehaltes nach viertägiger Lagerung.

Die Produktqualität kann weiterhin durch Einflussfaktoren im Nachernteprozess beeinflusst werden. Hauptsächlich sind hier Temperatur und Verpackungsmaterialien, die die Atmosphäre innerhalb der Verpackung beeinflussen, neben weiteren Parametern wie Luftfeuchte und Lagerdauer zu nennen (SCOTT und KRAMER 1949, Clore et al. 1976, CHANG 1983, KING et al. 1986, KADER et al. 1989, LIPTON 1990, REDONDO-CUENCA et al. 1997, VILLANUEVA-SUÁREZ et al. 1999).

Die Intensität physiologischer Prozesse in der Spargelstange während der Nachernte wird im überwiegenden Maße durch die Temperatur beeinflusst (LIPTON 1990). So verlangsamen niedrige Temperaturen die Atmungsaktivität (SCHWEIGART et al. 1939, RYALL und LIPTON 1979, KING et al. 1988a, LIPTON 1990, BRASH et al. 1995), wassergebundene Transportprozesse (HARTMANN 1998) sowie viele Enzymaktivitäten (NORTHCOTE 1972). Bei 1°C atmet Spargel z.B. viermal schwächer als bei 20°C (KING ET AL. 1988).

Durch die Verringerung der Atmungsaktivität kommt es zu einer Verlangsamung von Ab- und Umbauprozessen (LIPTON 1990). SALTVEIT und KASMIRE (1985) konnten bei ihren Versuchen bei höheren Temperaturen einen geringeren Zuckergehalt feststellen als bei niedrigen Temperaturen. Derartige temperaturabhängige Veränderungen konnten in den eigenen Versuchen ebenfalls bei den untersuchten Zuckern festgestellt werden. So zeigte sich, dass bei 2°C höhere Glukose- und Fruktosegehalte in den mittleren und basalen Abschnitten vorlagen als bei 20°C. In der Spitze lagen

vergleichbare Gehalte vor. Insgesamt waren die Trockensubstanzverluste bei 2°C geringer als bei 20°C.

Weiterhin lagen bei 20°C höhere Saccharosegehalte im mittleren Abschnitt und in der Spargelspitze vor als bei 2°C und geringere Gehalte im basalen Abschnitt. Dies deutet darauf hin, dass ähnlich wie bei der Kartoffel (MARANGONI et al. 1997, DEITING et al. 1998, KRAUSE et al. 1998) und Süßkartoffel (HUANG et al. 1999) Enzyme der Saccharosebiosynthese wie Saccharosephosphatase bzw. Invertase bei niedrigen Temperaturen verstärkt aktiv sind und Saccharose aus Stärke, die überwiegend im basalen Abschnitt vorlag (MARTIN 1989), bildeten, hingegen aber ein verlangsamter Transport der Saccharose zum apikalem Spargelgewebe erfolgte. Dadurch kann es zur Anreicherung von Saccharose im basalen Gewebe bei niedrigen Temperaturen kommen.

Der Einfluss der Temperatur zeigte sich ebenfalls bei der Gewebefestigkeit und beim Ballaststoffgehalt von Spargel.

Die Gewebefestigkeit nach Warner-Bratzler war nach viertägiger Lagerung in allen Abschnitten bei 20°C höher als bei 2°C, im basalen Abschnitt z. B. um ca. 30%. Die bei 2°C gelagerten Abschnitte zeigten zur Kontrolle (ungelagerter Spargel) keine Veränderungen. CLORE et al. (1976) fanden bei ihren Untersuchungen einen Einfluss der Temperatur auf die Gewebefestigkeit von Spargel. So nahm mit Zunahme der Lagertemperatur die Gewebefestigkeit zu.

Im basalen Abschnitt nahm der Ballaststoffgehalt im Vergleich zur Kontrolle (ungelagerter Spargel) bei 20°C nach viertägiger Lagerung um ca. 15% zu, bei der 2°C-Variante hingegen waren keine signifikanten Änderungen zur Kontrolle eingetreten.

Unterschiede im Ligningehalt der gesamten Spargelstange waren in den eigenen Untersuchungen zwischen 20°C und 2°C nach viertägiger Lagerung nicht festzustellen. Nach RODRIGUEZ et al. (1999) könnten derartige Gewebefestigkeitszunahmen nach der Ernte ohne signifikante Veränderungen der Ligninmenge durch die Art der Verknüpfung von Ligninen mit anderen Zellwandbestandteilen wie Polysacchariden und Proteinen verursacht werden.

Durch die höhere Stoffwechselaktivität bei Temperaturen um 20°C unterlagen die untersuchten Spargelproben einem hohen Frischmasseverlust. Wie die Untersuchungen zeigten, betrug der Frischmasseverlust bei ungeschältem Spargel bei 20°C ca. 4% und war doppelt so hoch wie bei 2°C. Frischmasseverluste zwischen 3% und 6% führen nach REDONDO-CUENCA et al. (1997) zu einer sichtbaren Minderung der Qualität. Für ungeschälten unfolierten Spargel lag der Frischmasseverlust bei SIOMOS et al. (2000) bei 20°C ebenfalls bei 4%. SCOTT und KRAMER (1949) hingegen fanden bei Raumtemperatur einen Frischgewichtsverlust von 5,5%, allerdings machten sie keine Angaben zur Luftfeuchtigkeit während der Lagerung.

Neben der Temperatur beeinflussen Verpackungsmaterialien die Produktqualität von Spargel.

Eine Folierung bei ungeschält und geschält gelagertem Spargel reduzierte den Frischmasseverlust im Versuch unabhängig von der Temperatur auf unter 0,5%. Für folierten ungeschälten Spargel konnten BROWNE et al. (1989) ähnliche Frischmasseverluste (0,3% – 0,4%) finden.

Im eigenen Versuch konnten keine signifikante Veränderungen im Glukose- und Fruktosegehalt nach viertägiger Lagerung in perforierter Polypropylenfolie im Vergleich zu unfolierten Varianten unabhängig von der Temperatur festgestellt werden. Die eigenen Ergebnisse stimmen mit denen von BAXTER und WATERS (1991) überein, die innerhalb von vier Tagen keine signifikanten Unterschiede zwischen folierter und unfolierter Lagerung von ungeschältem Spargel fanden. Erst nach einer Lagerdauer von 2 Wochen waren signifikant geringere Glukose- und Fruktosegehalte in der folierten Variante zu messen (BAXTER und WATERS 1991).

Verpackungsmaterialien beeinflussen die Gaszusammensetzung innerhalb der Verpackung. Bei 20°C kam es bei den Untersuchungen innerhalb der mikroperforierten Polypropylenfolie zu einer Verringerung des Sauerstoffgehaltes auf 18% sowie einer Erhöhung des Kohlendioxidgehaltes auf 5%. Kohlendioxid hemmt ethylenabhängige Prozesse (BURG und BURG 1967). So ist die Lignifizierung von Spargel nach HAARD et al. (1974) im Nachernteprozess von der Ethylenkonzentration abhängig. Sie konnten zeigen, dass mit Anstieg der Ethylenkonzentration die Enzymgehalte von Isoperoxidase und Peroxidase sowie von Phenylalanin-Ammonium-Lyase (HSIAO et al. 1981) anstiegen. Gleichzeitig konnten sie signifikante Abnahmen der Gewebefestigkeit messen. Nach HAARD et al. (1974) produziert Spargel nach kurzer Lagerung bei 20°C zwischen 2,6 und 4,9 µl/kg Ethylen stündlich aufgrund der Wundreaktion nach der Ernte.

Ein Anstieg der Kohlendioxidkonzentration innerhalb der Verpackung hemmt die Lignifizierung von Spargel (LIPTON 1965). Eigene Ergebnisse lassen derartige Rückschlüsse ebenfalls vermuten, da der Ligningehalt in den folierten Varianten tendenziell niedriger war als in den unfolierten. Die Gewebefestigkeiten der bei 20°C in mikroperforierten Polypropylenfolie (5% CO<sub>2</sub>) gelagerten ungeschälten Spargelabschnitte waren signifikant niedriger, als die der unfolierten Variante. Zudem waren die Gewebefestigkeiten dieser geringer als die der Kontrolle (ungelagerter Spargel). EVERSON et al. (1992) stellten bei ihren Untersuchungen ebenfalls fest, dass Spargel in mikroperforierter Folienverpackung zarter war.

Der Ballaststoffgehalt von ungeschält und geschält gelagertem Spargel wurde durch die Auswirkungen der Folierungen auf die Gaszusammensetzung innerhalb der Verpackung nicht beeinflusst. Er war zur Kontrolle (ungelagerter Spargel) unverändert. Weiterhin kann durch eine veränderte Gaszusammensetzung innerhalb der Verpackung das mikrobielle Wachstum vermindert werden. Nach LIPTON (1965) reduzierten hohe Kohlendioxidgehalte (5-10%) mikrobielles Wachstum, insbesondere das Auftreten von bakterieller Weichfäule konnte während einer 7tägigen Lagerung vermindert werden. In den eigenen Untersuchungen wurde auf Spargel, der bei 2°C in unperforierter Folie gelagert worden ist, ein Anstieg der Keimzahl festgestellt, obwohl ein Anstieg der Kohlendioxidkonzentration gemessen werden konnte. Die Untersu-

chungen hierzu waren aber statistisch nicht signifikant, weitere Untersuchungen sind notwendig.

Bei der geschält gelagerten Variante in der unperforierten Folienverpackung kam es nach 20 Stunden zu einer Verminderung des Sauerstoffgehaltes auf 0,1% und einer Erhöhung des Kohlendioxidgehaltes auf 13%. Dadurch können nach GORRIS und PEPPELENBOS (1992) anaerobe Prozessen einsetzen, bei denen beispielsweise Ethanol und Acetaldehyd gebildet werden. Dies führt zu 'Off-Flavour'. Nach viertägiger Lagerung konnte bei dieser Variante nach sensorischer Prüfung ein senfgurkenartiger, hefig/vergorener Geruch festgestellt werden, der auf anaerobe Stoffwechselprozesse deutet.

Unterschiede zwischen geschält und ungeschält gelagertem Spargel bestanden in der Gewebefestigkeit, den Zuckergehaltes und dem Trockensubstanzgehalt. Insgesamt zeigte der geschält gelagerte Spargel aber keine wesentlichen Änderungen zur ungelagerten Kontrolle. Die Gewebefestigkeit des ungeschält gelagerten Spargels verminderte sich im Vergleich zur geschält gelagerten Variante. Sie veränderte sich nicht bei der geschält gelagerten Variante zur Kontrolle (ungelagerter Spargel). Der Trockensubstanzgehalt der geschält gelagerten Variante zeigte keine Veränderungen zur Kontrolle (ungelagerter Spargel). Geringe Veränderungen des Zuckergehaltes bei geschält gelagerten Spargel nach viertägiger Lagerung zur Kontrolle waren nachweisbar, konnten aber sensorisch nicht signifikant nachgewiesen werden. Tendenziell kam es bei der geschält gelagerten Variante in mikroperforierter Polypropylenfolie zur Verringerung der ursprünglichen sensorischen Eindrücke.

Weitere sichtbare Qualitätsänderungen können Farbveränderungen während der Lagerung sein. Diese wurden ebenfalls von Nachernteparametern wie Lagertemperatur und Verpackungsmaterialien beeinflusst. Die eigenen Untersuchungen hierzu zeigten, dass Farbveränderungen messbar, visuell aber unbedeutend waren. Am basalen Abschnitt kam es bei den 20°C-Varianten durch Änderung der Helligkeit und der Farbsättigung zu einer etwas kräftigeren und leicht dunkleren Spargeloberfläche. Bei den 2°C-Varianten traten dagegen nur unbedeutende Änderungen ein.

Verpackungsmaterialien beeinflussen nach SIOMOS et al. (2000) die Farbe von Spargel während der Lagerung. Veränderungen konnten über den  $a^*$ -Wert bei unfolierten Spargel festgestellt werden. Dieser war signifikant höher als bei der folierten Variante. Die eigenen Untersuchungen bestätigen diese Veränderungen, bei der Spargelspitze kam es bei der unfolierten Variante zu einer Erhöhung des  $a^*$ -Wertes zur Kontrolle. Beim basalen Abschnitt erhöhte sich der  $a^*$ -Wert bei den unfolierten und folierten Varianten gleichermaßen.

### 4.3 Erwartungen der Verbraucher an die Produktqualität

Die Umfrageergebnisse zu Spargel zeigten, dass die Verbraucher unabhängig vom Alter und Geschlecht, frischen weißen Spargel wünschen. Auch der Geschmack und die Qualität von weißem Spargel waren ihnen besonders wichtig. Diese Angaben decken sich mit Umfrageergebnissen, die allgemein zu Gemüse vom Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau Großbeeren / Erfurt e. V. in Atlanta und Berlin durchgeführt worden sind (BRÜCKNER et al. 1997). Die Qualität und die Frische von Gemüse waren hierbei in Berlin sehr wichtig und der Geschmack wichtig. HOBERG et al. (1998) gaben an, dass die Frische bei Spargel bedeutend sei.

Die regionale Präferenz von Gemüse war bei den Untersuchungen von BRÜCKNER et al. (1997) bei den Käufern hoch, Herkunftsangaben beim Verkauf von Gemüse waren also ein wichtiges Kriterium beim Gemüsekauf. Die eigenen Umfrageergebnisse zu Spargel belegten, dass insbesondere bei älteren Verbrauchern (über 60 Jahre) die Herkunft einen hohen Stellenwert hatte, bei jüngeren (unter 40 Jahre) hingegen die Herkunft egal bis weniger wichtig war. Für gute Qualitäten aus dem Herkunftsland Deutschland würden insbesondere männliche Verbraucher über 50 Jahre höhere Preise zahlen, Ihnen war der Preis von weißem Spargel weniger wichtig bis unwichtig.

Die Holzigkeit von weißem Spargel beim Verzehr stellte nach den vorliegenden Umfrageergebnissen insbesondere bei jüngeren Verbrauchern unter 30 Jahre ein Problem dar.

Zwar hielt das Schälen von weißem Spargel die Verbraucher vom Kauf nicht ab, dennoch würden 12% der Verbraucher geschälten (Convenience-)Spargel kaufen.

## 5 Zusammenfassung

Weißer Spargel (*Asparagus officinalis* L. [Liliaceae]) ist in Deutschland aufgrund der umfangreichen Anbauflächen, des hohen Selbstversorgungsgrades und der hohen Flächenerlöse eine wirtschaftlich bedeutende Gemüsekultur.

Von zentraler Bedeutung sowohl für den Verbraucher als auch für den Produzenten ist die Produktqualität, unabhängig vom Absatzweg oder Aufbereitungszustand. Insbesondere innere Qualitätseigenschaften wie die Faserigkeit oder der Verholungsgrad wurden als die qualitätsbestimmenden Faktoren beschrieben. Sie stellen für den Verbraucher ein Problem dar, wie eine Umfrage zeigte. Für den Produzenten sind außer den Qualitätsparametern weitere wichtige Kriterien der Erntebeginn und der Ernteverlauf.

Vorernteparameter wie die Bodentemperatur bestimmen neben anderen Einflussfaktoren wesentlich Ernteparameter wie den Beginn der Ernte sowie die Produktqualität.

Unter definierten Bedingungen wurde der Einfluss der Bodentemperatur auf den Erntebeginn und die Produktqualität, insbesondere auf die Gewebefestigkeit und texturrelevante Inhaltsstoffe von Spargel der Sorte 'Backlim' untersucht. Für die gezielte und unabhängige Steuerung der Bodentemperatur wurden Kulturgefäße konzipiert, mit denen unabhängig voneinander die Unterbodentemperatur und die Oberflächentemperatur geregelt werden konnte. Die Ernte setzte bei höheren Temperaturen (20°C) 20-22 Tage nach Beginn der Temperaturbeeinflussung ein, 55-57 Tage eher als bei niedrigeren Temperaturen (10°C).

Die vorliegenden Ergebnisse zeigten klare Zusammenhänge zwischen der Bodentemperatur und der physikalisch gemessenen Faserigkeit von Spargel. Mit abnehmender Bodentemperatur wurde das Spargelgewebe fester und damit faseriger. Zwischen den einzelnen Spargelabschnitten bestanden ebenfalls Unterschiede. So war der basale Abschnitt fester und damit faseriger als die Spargelspitze.

Chemisch-analytisch wurden texturrelevante Inhaltsstoffe untersucht. Hierzu zählen neben Ligninen Gerüstkohlenhydrate wie Cellulose, Hemicellulose und Pektine, die zusammen die Gerüstsubstanz der pflanzlichen Zelle darstellen. Sie bilden die hauptsächlichen Komponenten der Ballaststoffe.

In den kalten Varianten lagen ca. 8% höhere Ballaststoffgehalte vor als in den warmen Varianten. Bei den Ligninen lagen quantitativ bedeutsame Unterschiede zwischen den Varianten vor. Der Ligningehalt reduzierte sich mit der Temperaturzunahme von 10°C auf 20°C um ca. 30%. Im Gegensatz dazu lagen Cellulose und Hemicellulose bei Spargelstangen, die bei niedrigeren Temperaturen gewachsen sind, in geringerer Konzentration vor als bei Spargelstangen, die bei höheren Temperaturen gewachsen sind. Die Unterschiede der Gewebefestigkeit wurden hauptsächlich durch die Gehalte an Ligninen bewirkt.

Als weitere Fragestellung wurde untersucht, inwiefern der Pflanzabstand als Vorernteparameter die Produktqualität von Spargel beeinflusst. Es konnte gezeigt werden,

dass der Pflanzabstand keinen signifikanten Einfluss auf die Produktqualität, insbesondere auf texturrelevante Inhaltsstoffe sowie die Gewebefestigkeit hat.

Neben den qualitätsbeeinflussenden Vorernteparametern gibt es Parameter, die die Produktqualität von Spargel auch im Nachernteprozess beeinflussen.

Hauptsächlich sind hier Temperatur und Verpackungsmaterialien zu nennen.

Die Temperatur beeinflusst die Stoffwechselaktivität von ungeschältem Spargel nach der Ernte. Die Trockensubstanzverluste bei 2°C waren geringer als bei 20°C. Zusätzlich waren bei höheren Temperaturen (20°C) doppelt so hohe Frischmasseverluste zu verzeichnen als bei niedrigeren Temperaturen (2°C). Außerdem zeigte sich ein Temperatureinfluss auf die Gewebefestigkeit und den Ballaststoffgehalt. Beide nahmen nach viertägiger Lagerung bei höheren Temperaturen (20°C), insbesondere beim basalen Abschnitt, zu. Der Ligningehalt der gesamten Spargelstange erhöhte sich zwar nach der viertägigen Lagerung, ein Temperatureinfluss konnte jedoch nicht festgestellt werden.

Neben der Temperatur beeinflussen Verpackungsmaterialien die Produktqualität von Spargel. Eine Folierung von ungeschältem und geschältem Spargel reduzierte den Frischmasseverlust auf unter 0,5% und hatte keine Auswirkungen auf den Ballaststoffgehalt. Der Ligningehalt und die Gewebefestigkeit der ungeschält gelagerten Variante waren durch die Folierung geringer als in der unfolierten Variante.

Ein Trend beim Absatz von Spargel ist aufbereiteter Spargel, der vorrangig frisch geschält gehandelt wird. Da bei geschältem Spargel schnell mit Qualitätsverlusten zu rechnen ist, wurden geschälter und ungeschälter Spargel foliert verglichen. Mikrobielle Untersuchungen wurden durchgeführt, waren aber statistisch nicht abgesichert. Geringe Texturunterschiede als wichtigstes Qualitätskriterium nach der Lagerung zwischen foliertem ungeschält gelagertem Spargel und geschält gelagertem Convenience-Spargel konnten festgestellt werden. Texturelle Veränderungen des geschält gelagertem Spargel zur ungelagerten Kontrolle konnten nicht nachgewiesen werden. Unterschiede zeigten sich zwischen den Folien beim geschälten Spargel. Die Lagerung von geschältem Spargel sollte in mikroperforierter Polypropylenfolie (OPP) erfolgen, da in der gasdichten Folie auf Cellulose-Basis anaerobe Prozesse nachgewiesen werden konnten, die die sensorische Qualität beeinflussten.

Die Empfehlungen haben aufgrund der Versuchsanstellung nur für Kurzzeitlagerung Gültigkeit.

## 6 Summary

White asparagus (*Asparagus officinalis* L. [Liliaceae]) is a vegetable of economic significance in Germany based on its extensive areas of cultivation, high degree of self-sufficiency and the high yield.

The quality of the product is, irrespective of the distribution channel or state of processing, of central importance for consumer and producer alike. In particular, intrinsic qualities such as fibrousness or the degree of woodiness were described as the factors determining quality. A survey has shown that consumers perceive these factors as problematic. In addition to quality parameters, further important criteria for the producer are the beginning and course of the harvest.

In addition to other influencing factors, pre-harvest parameters such as soil temperature determine essential harvest parameters such as the beginning of the harvest and the quality of the product.

The influence of soil temperature on the beginning of the harvest and the product quality, in particular on tissue firmness and substances relevant to texture contained in asparagus of the 'Backlim' kind was studied in defined conditions. Culture receptacles able to regulate the temperature in the soil and on the surface independently of each other were designed for the purpose of targeted and separate control of soil temperature. Harvest began 20-22 days after the introduction of temperature as an influencing factor in the case of higher temperatures (20°C) - 55-57 days earlier than in the case of lower temperatures.

The results obtained showed clear connections between soil temperature and the fibrousness of the asparagus that was measured physically. The asparagus tissue became firmer and therefore more fibrous with decreasing soil temperature. There were also differences between the individual sections of the asparagus. The base section was firmer and therefore woodier than the tip.

Substances relevant to texture were analysed chemically. In addition to lignines, these substances include framework carbohydrates such as cellulose, hemicellulose, and pectin, which together make up the framework substance of the plant cell. They form the principal components of the roughage.

The cool variants had approximately 8% more roughage content than the warm ones. There were quantitative differences of significance between the variants in the case of the lignines. The lignine content fell by approximately 30% as the temperature increased from 10°C to 20°C. In contrast, concentrations of cellulose and hemicellulose were lower in the case of asparagus grown at lower temperatures than in the case of asparagus grown at the higher ones. The differences in tissue firmness were primarily due the lignine content.

A further question examined was the extent to which the pre-harvest parameter of distance between the plants influences the quality of the asparagus product. It was shown that the distance between the plants had no significant influence on the product quality, in particular with regard to substances relevant to texture or tissue firmness.

In addition to pre-harvest parameters that influence quality, there are parameters that affect the quality of asparagus during the post-harvest process.

The main factors in this context are temperature and packaging materials.

Temperature has an influence on the metabolic activity of unpeeled asparagus after harvesting. The loss of dry substances was less at 2°C than at 20°C. The loss of fresh mass was twice as high at higher temperatures (20°C) than at lower ones (2°C). Furthermore, temperature influenced tissue firmness and roughage content. Both increased – particularly in the base section - after a four-day storage period at higher temperatures (20°C). Although the lignine content of the asparagus spear as a whole increased after a four-day storage period, there was nothing to indicate that this was due to temperature factors.

Apart from temperature, materials used for packaging influence the quality of asparagus. Film-wrapping of peeled and unpeeled asparagus reduced the loss of fresh mass to under 0.5% and had no effects on the roughage content. The lignine content and tissue firmness of the variant stored unpeeled were lower in the film-wrapped variant than in the non-film-wrapped variant.

A trend on the asparagus market is processed asparagus that is primarily marketed freshly peeled. As rapid decrease in quality is to be expected in the case of peeled asparagus, film-wrapped peeled and unpeeled asparagus were compared. Microbial tests were carried out, but the results were not sufficient for statistical purposes.

Slight differences in the texture – the most important quality criterion after a storage period – were established between foil-wrapped asparagus stored in an unpeeled condition and convenience asparagus stored in a peeled condition. No changes in texture were found between asparagus that had been stored in a peeled condition and the control product that had not been stored. There were differences regarding the film wrapping in the case of peeled asparagus. Storage of peeled asparagus should be in micro-perforated polypropylene foil (OPP) as anaerobic processes were established in the gas-tight cellulose-based film that influenced the sensors quality.

The recommendations are only valid for short-term storage due to the experimental nature of the subject.

## 7 Ausblick

Spargel ist in Deutschland aufgrund der hohen Flächenerlöse von herausragender ökonomischer Bedeutung. In den letzten Jahren kam es zu einer starken Ausweitung der Anbauflächen. Zudem stieg der Selbstversorgungsgrad von 1995 bis 2000 von 39 auf 57% an. Hierbei wurde der Anteil importierter Ware, mit Ausnahme von der aus Griechenland, bei konstanten Verbrauchsmengen in Deutschland zurückgedrängt.

Käufer in Deutschland bevorzugen Spargel aus heimischen Anbau aufgrund von Frische und der sensorischen Qualität. Verbraucher gaben in einer Befragung auf der Internationalen Grünen Woche an, dass die Holzigkeit von weißem Spargel ein Problem ist. Die Faserigkeit oder der Grad der Verholzung ist von der Bodentemperatur abhängig. Allgemeine qualitative Zusammenhänge hierzu lagen vor.

In der vorliegenden Arbeit wurden erstmals grundlegende quantitative Zusammenhänge zwischen der Bodentemperatur und der Gewebefestigkeit sowie texturrelevanten Inhaltsstoffen unter definierten statischen Temperaturbedingungen geschaffen. Aus diesen Daten könnten direkt anbautechnische Empfehlungen zur Ernteverfrühung durch konstanten Wärmeeintrag in den Boden (Abwärmennutzung) abgeleitet werden.

Mit den Ergebnissen wurden gleichzeitig Grundlagen geschaffen, mit denen im Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau Großbeeren / Erfurt e. V. weitere Modellversuche angelegt worden sind. Hieraus soll abgeleitet werden, wie mit Hilfe von Folien und Folien-Vlies-Kombinationen die Bodentemperaturen während der Spargelernte so gestaltet werden können, dass ein möglichst gleichmäßiger Ernteverlauf mit gleichmäßiger Qualität entsteht. Durch bisherigen Folieneinsatz in der Praxis waren zwar Ernteverfrühungen möglich, doch traten aufgrund zeitlich dynamischer Temperaturverläufe unter folienbedeckten Spargeldämmen qualitative Mängel sowie ungleichmäßiger Ernteverläufe auf. Vorhersagen, welche Folienkombination bzw. Folien-Vlies-Kombination in welcher Weise die Bodentemperatur beeinflussen, sind aufgrund fehlender Ergebnisse bisher nicht machbar.

Aus den vorliegenden kausalanalytischen Ergebnissen zum Einfluss der Bodentemperatur auf die Bildung texturrelevanter Inhaltsstoffe und deren Auswirkungen auf die Gewebefestigkeit von Spargel und zum anderen aus den derzeit durchgeführten Folienversuchen können Möglichkeiten für eine optimierte Kulturführung entwickelt werden. Ziel hierbei ist eine Saisonverfrühung mit qualitativ und quantitativ gleichmäßigem Ertragsangebot, wobei die entstehenden hohen Aufwendungen für verfrühende Folien durch hohe Erlöse wett gemacht werden können. Eine weitere Verdrängung der Importware und frühzeitiger und langfristiger Bindung von Produzent und Supermarkt, Discounter und Verbrauchermarkt wären hierdurch möglich.

Die Schaffung neuer Produkte mit hoher Produktqualität könnte die Vermarktung von Spargel erweitern. Die Aufbereitung von Spargel als Convenience-Produkt in Folienverpackungen stellt eine Möglichkeit der Erweiterung des Angebotes und damit eine alternative Vermarktungsmöglichkeit dar.

Convenience-Spargel würde nach eigenen Umfrageergebnissen von 12% der Verbraucher gekauft werden. Aufgrund möglicher hoher Stoffwechselaktivitäten kann es zu Veränderungen der Qualität, insbesondere textueller Veränderungen in der Nachernte kommen. In der vorliegenden Arbeit wurden keine textuellen Veränderungen des geschält gelagerten Spargels zu ungelagertem Spargel festgestellt. Die Ergebnisse zur Behandlung in der Nachernte beziehen sich auf Lagerung in mikroperforierter Polypropylenfolie und bei 2°C. Diese Temperaturen können beim Produzenten in der Nachernte erreicht werden. In weiterführenden Arbeiten sollten texturrelevante Veränderungen bei höheren Temperaturen (8°C – 10°C), wie sie im Distributionsprozess oder beim Verbraucher vorliegen können, untersucht werden.

Aufgrund der statistisch nicht abgesicherten mikrobiellen Untersuchungen in der vorliegenden Arbeit wären hierzu weitere Untersuchungen notwendig.

## 8 Literatur

- Anonymus (1999): Verordnung zur Festsetzung der Vermarktungsnorm für Spargel. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften.
- Anonymus (2001): Spargelinformationen. Asparagus Handels- und Vertriebsgesellschaft, Hoya.
- AOAC: Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. Association of Official Analytical Chemists. Arlington
- Backinger, G.T.; A. Kramer, R.W. Decker and A.P. Sidwell (1957): Application of Work Measurement to the Determination of Fibrousness in Asparagus. Food Technologie, 9, 585-589.
- Baxter, L. und L. Waters (1991): Quality Changes in Asparagus Spears Stored in a Flow-through CA System or in Consumer Packages. HortScience, **26**, 399-402
- Benson, B. L. (1999): World Asparagus Production Areas and Periods of Production. Acta Horticulturae, **479**, 43-50.
- Berger, H.; Galletti, L. ; Escalona, V. und C. Sáenz (1997): Modified Atmosphere and Ascorbic Acid for Minimally Processed Lettuce. In: Gorny, J. R. (ed): Proceedings of Fresh-Cut Fruits and Vegetables and MAP. Davis, California, USA.
- Billau, W. (1986): Untersuchungen über Lokalisation und Ausmaß der Lignifizierung in Pflanzen von *Asparagus officinalis* L. Dissertation Universität Hohenheim.
- Billau, W.; Buchloh, G. und H. D. Hartmann (1990): The Influence of Temperature, Cultivar, Soil Type and Stalk Diameter on the Lignification of White Asparagus. Acta Horticulturae, **271**, 173-184.
- Blouin, A.; Zarins, M. und J. P. Cherry (1982): Discoloration of Proteins by Binding with Phenolic Compounds. In: Food Protein Deterioration: Mechanism and Functionality. (J.P. Cherry, ed), pp. 67-91. American Chemical Society, Washington, D.C.
- Boehringer Mannheim GmbH (1995): Methoden der enzymatischen BioAnalytik und Lebensmittelanalytik. Boehringer Mannheim GmbH
- Botor, I.; Schneeweiß, V. und R. Winkler (1997): Stickstoff/Proteinbestimmung in Mehl und Getreide. GIT Labor-Fachzeitschrift, , 612-615.
- Bourne, M. C. (1978): Texture Profile Analysis. Food Technology, **7**, 62-66.
- Bourne, M. C. (1982) : Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement. Academic Press, New York.
- Brash, D. W.; Charles, C. M.; Wright, S. und B. L. Bycroft (1995): Shelf Life of Stored Asparagus is Strongly Related to Postharvest Respiratory Activity. Postharvest Biology and Technology, **5**, 77-81.
- Brockes, A. (1980): Was ist Farbe – kann man sie messen? Physik in unserer Zeit, **11**, 169-178.
- Brovelli, E. A.; Cuppett, S. L.; Uhlinger, R. D. und J. K. Brecht (1998): Textural Quality of Green and White Asparagus. Journal of Food Quality, **22**, 497-504.
- Browne, K. M.; Everson, H.P. und J. D. Geeson (1989): Life of Asparagus after the Cut. Grower, **111**, 56-61.
- Brückner, B.; Schonhof, I.; Florkowski, W.; Auerswald, H. und B. Röger (1997): Qualitätsanforderungen an Gemüse aus der Sicht der Konsumenten. In: Auswertungs- und Informationsdienst für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten – aid (Editor). Juristische Problembereiche und Qualitätsmanagement, 3474: 128-138.

- Brückner, B. (2001): Mündliche Mitteilung. Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau Großbeeren / Erfurt e. V.
- Burg, S. P. und E. A. Burg (1967): Molecular Requirements for the Biological Activity of Ethylene. *Plant Physiology*, **42**, 144.
- Cantwell, M. (1999): Fresh-Cut Fruits and Vegetables. Aspects of Physiology, Preparation and Handling that Affect Quality. Fresh-Cut Workshop, University of California, Davis, USA.
- Chang, D. C. (1983): Fine Structural Changes of Asparagus Spears during Storage. *Acta Horticulturae*, **138**, 305-311.
- Chen, S. C.; Lin, C.-H. und J. C. Hsue (1980): On the Study of Postharvest Lignification of White Asparagus Stalks. *Natl. Sci. Coun. Mont ROC*, **8**, 627-634.
- Clore, W. J.; Carter, G. H. and S. R. Drake (1976): Pre- and Postharvest Factors Affecting Textural Quality of Fresh Asparagus. *Journal of the American Society of Horticultural Science*, **101**, 576-578.
- Culpepper, C. W. und H. H. Moon (1939): Changes in the Composition and Rate of Growth along the Developing Stemm of Asparagus. *Plant Physiologie*, **14**, 677-698.
- Dautel, M.; Zimmermann, C. und R. Buschmann (1996): Bestimmung des Proteingehalts in Fleischerzeugnissen nach der Dumas-Methode. *Deutsche Lebensmittel-Rundschau*, **92**, 390-393.
- Day, B. P. F. (1993): Fruit and Vegetables. In: Parry, R.T. (ed): Principles and Applications of Modified Atmosphere Packaging of Food, Blackie Academic and Professional, London, U.K.
- Dean, B. B.; (1999): The Effect of Temperature on Asparagus Spear Growth and Correlation of Heat Units Accumulated in the Field with Spear Yield. *Acta Horticulturae*, **479**, 288-295
- Deiting, U.; Zrenner, R. und M. Stitt (1998): Similar Temperature Requirement for Sugar Accumulation and for the Induction of new Forms of Sucrose Phosphate Synthase and Amylase in Cold-stored Potato Tubers. *Plant Cell and Environment*, **21**, 127-138.
- Delmer, D. P. und Y. Amor (1995): Cellulose Biosynthesis. *The Plant Cell*, **7**, 787-1000.
- Drake, S. R.; Nelson, J. W.; Powers, J. R. und R. E. Early (1979): Fresh and Processed Asparagus Quality as Influenced by Field Grade. *Journal of Food Quality*, **8**, 149-155.
- Drost, D. T. (1999): Irrigation Effects on Asparagus Root Distribution. *Acta Horticulturae*, **479**, 283-288.
- Dufault, R. J. (1996): Relationship between Soil Temperatures and Spring Asparagus Spear Emergence in Coastal South Carolina. *Acta Horticulturae*, **415**, 157-161.
- Everson, H. P.; Waldron, K. W. ; Geeson, J. D. und K. M. Browne (1992): Effect of Modified Atmospheres on Textural and Cell Wall Changes of Asparagus during Shelf-life. *International Journal of Food Science and Technology*, **27**, 187-199.
- Francis, F. J. (1980): Color Quality Evaluation of Horticultural Crops. *HortScience*, **15**, 58-59.
- Francis, F. J. und F. M. Clydesdale (1975) : Food Colorimetry : Theory and Application. The Avi Publishing Company, Westport, Connecticut.
- Freudenberg, K. (1959): Biosynthesis and Constitution of Lignin. *Nature*, **183**, 1152.
- Gorny, J. R. (1997): A Summary of CA and MA Requirements and Recommendations for Fresh-cut (minimally Processed) Fruits and Vegetables. In: Gorny, J. R. (ed): Proceedings of Fresh-Cut Fruits and Vegetables and MAP. Davis, California, USA.

- Gorris, L. G. M. und H. W. Peppelenbos (1992): Modified Atmosphere and Vacuum Packaging to Extend the Shelf Life of Respiring Food Products. *HortTechnology*, **2**, 303-309.
- Graefe, J. (2001): Mündliche Mitteilung. Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau Großbeeren / Erfurt e. V.
- Granger, D. (1997): Kjeldahl Versus Dumas - Which Gives the "Right" Answer. *Chemistry in New Zealand*, **61**, 7.
- Haard, N. F.; Sharma, S. C.; Wolfe, R. und C. Frenkel (1974): Ethylene induced Isoperoxidase Changes during Fiber Formation in Post-Harvest Asparagus. *Journal of Food Science*, **39**, 452-456.
- Hahlbrock, K. und H. Grisebach (1979): Enzymatic Controls in the Biosynthesis of Lignin and Flavanoids. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, **30**, 105-130.
- Hartmann, H. D. (1989): Spargel. Grundlagen für den Anbau. Ulmer Verlag, Stuttgart.
- Hartmann, H. D. (1998): Wasseraufnahme bei Spargel. *Rheinische Monatschrift*, 576-577.
- Heimdal, H.; Kuhn, B. F.; Poll, L. und L. M. Larsen (1995): Biochemical Changes and Sensory Quality of Shredded and MA-packaged Iceberg Lettuce. *Journal of Food Science*, **60**, 1265-1266.
- Helper, P. K.; Fosket, D.E. und E.H. Newcomb (1970): Lignification during Secondary Wall Formation in Coleus: An electron microscope study. *American Journal of Botany*, **57**, 85.
- Henkel, M. und U. Schreckenbach (1986): Zur Anwendung der Farbmesstechnik in der Lebensmittelindustrie. *Lebensmittelindustrie*, **33**, 14-17.
- Hennion, S.; Little, C. und H. A. Hartmann (1992): Activities of Enzymes Involved in Lignification during the Postharvest Storage of Etiolated Asparagus Spears. *Physiologia Plantarum*, **86**, 474-478.
- Heredia, A.; Guillen, R.; Sanchez, C.; Jimenez, A.; Felizon, B. und J. Fernandez-Bolanos (1995): Effects of Processing on Dietary Content of Asparagus. *European Journal of Clinical Nutrition*, **49**, 268-270.
- Herner, R. C. (1990): Factors Affecting Fiber Content of Asparagus. *The Great Vegetable Growers News*, 14-15.
- Herrmann, K. (1996): Inhaltsstoffe des Spargels. *Die industrielle Obst- und Gemüseverwertung*, 250-256.
- Heyes, J. A.; Burton, V.M. und L. A. de Vre (1998): Cellular Physiology of Textural Change in Harvest Asparagus. *Acta Horticulturae*, **464**, 455-460.
- Hils, A. (1991): Farbmessung von Rotweinessigen und Rotwein. Ein Beitrag zur Qualitätssicherung. *Industrielle Obst- und Gemüseverwertung*, **76**, 42-51.
- Hoberg, E.; Ulrich, D. und D. Standhardt (1998): Sensorische Qualitätsbestimmung bei Spargel (*Asparagus officinalis* L.). *Deutsche Gesellschaft für Qualitätsforschung, Vortragstagung Dresden*, 141-152.
- Hsiao, P.; Su, J. und H. Sung (1981): Changes of some Enzyme Activities and Levels of Metabolites of Asparagus Spaers after Harvest. *Journal of the Chinese Agricultural and Chemistry Society*, **19**, 1-11.
- Huang, H. (1970): Asparagus Research in Taiwan. *Proceedings: Vth International Asparagus Symposium*, 240-257.
- Hunt, R. W. G. (1987): *Measuring Colour*. Ellis Horwood, Chichester, West Sussex, England.

- Hurst, P. L.; Hyndman, L. M. und P. J. Hannan (1993): Sucrose Synthase, Invertases and Sugars in Growing Asparagus Spears. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, **21**, 331-336.
- Hurst, P. L.; Cheer, V.; Sinclair, B. K. und D. E. Irving (1997): Biochemical Responses of Asparagus to Controlled Atmosphere Storage at 20°C. *Journal of Food Biochemistry*, **20**, 463-472.
- Huyskens-Keil, S. und R. Kadau (2001): Convenience: Folienverpackungen für geschälte Spargel im Test. *Gemüse*, **6**, 25-26.
- Jacob, F.; Jäger, E. und E. Ohmann (1994): *Lehrbuch der Botanik*. Gustav Fischer Verlag, Jena.
- Jiao, D.; Yu, M. C.; Hankin, J. H.; Low, S.-H. und F.-L. Chung (1995): Total Isothiocyanate Contents in Cooked Vegetables Frequently Consumed in Singapore. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **46**, 1055-1058.
- Kader, A. A.; Zagory, D. und E. L. Kerbel (1989): Modified Atmosphere Packaging of Fruits and Vegetables. *Critical Review in Food Science Nutrition*, **28**, 1-30.
- Kader, A. A. (1985): *Modified Atmosphere: an Indexed Reference List with Emphasis on Horticultural Commodities*. Postharvest Horticultural Series.
- Kailuweit, H. D. und H. Krug (1995): Wärme fördert das Längenwachstum, höherer Bodenwiderstand das Dickenwachstum bei Spargel. *Taspo*, **3**, 45-46.
- Kaufmann, F. und W. D. Orth (1990): Principles of Plant Density for Green Asparagus Harvested by Different Methods. *Proceedings: VIIth Int. Asparagus Symposium*, 227-233.
- Kaufmann, F. (1965): Die Faserigkeit von Spargeltrieben in Abhängigkeit vom Entwicklungszustand der Spargelstangen. *Archiv für Gartenbau*, **13**, 221-233.
- Kaufmann, F. (1967): Der Einfluß der Wachstumsgeschwindigkeit und -dauer auf die Faserigkeit von grünen Spargeltrieben. *Archiv für Gartenbau*, **15**, 89-100.
- Kaufmann, F. (1978): Zur Beeinflussung des Gebrauchswertes von Spargel durch Verpackung und Lagerung. *Archiv für Gartenbau*, **26**, 297-305.
- Kelly, J. F.; Price, H. C.; Bakker, J. und N. L. Myers (1999): Plant Spacing Effects on Yield and Size of Asparagus. *Acta Horticulturae*, **479**, 414-415.
- Ketsa, S. und J. Uthairurt (1987): Chemical Composition on White and Green Spears of Asparagus. *Asean Food Journal*, **3**, 77-78.
- Keulder, P. C. und C. A. H. Riedel (1996): Influence of Low Temperatures during Harvest on Asparagus Yield. *Acta Horticulturae*, **415**.
- Kidmose, U. und K. Kaack (1999): Changes in Texture and Nutritional Quality of Green Asparagus Spears (*Asparagus officinalis* L.) during Microwave Blanching and Cryogenic Freezing. *Acta Agriculturae Scandinavicae*, **49**, 110-116.
- King, G. A.; Henderson, K. G. und R. E. Lill (1986): Asparagus: Effect of Controlled Atmosphere Storage on Shelf-Life of four Cultivars. *New Zealand Journal of Experimental Agriculture*, **14**, 421-424.
- King, K. (1987): Method of Rapid Extration of Pectic Substances from Fruits. *Food Chemistry*, 112.
- King, G. A.; Henderson, K.G. und R. E. Lill (1988a): Shelf-life of Stored Asparagus is Strongly Related to Post-harvest Accumulated Heat Units. *Annals of Applied Biology*, **112**, 329-335.

- King, G. A.; Henderson, K. G.; o'Donoghue, E. M.; Martin, W. und R. E. Lill (1988b): Flavour and Metabolic Changes in Asparagus during Storage. *Scientia Horticulturae*, **36**, 183-190.
- King, G.A.; D.C. Woolard, D.E. Irving und W.M. Borst (1990): Physiological Changes in Asparagus Spear Tips after Harvest. *Physiolgia Plantarum*, **80**, 393-400.
- Kramer, A.; Wiley, R. C.; Twigg, B. A.; Decker, R. W. und A. P. Sidewell (1960): The Measurement of Fibrouness of Asparagus. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science*, **76**, 382-388.
- Krause, K. P.; Reimholz, R.; Nielsen, T. H.; Sonnewald, U. und M. Stitt (1998): Sucrose Metabolism in Cold-stored Potato Tubers with Decreased Expression of Sucrose Phosphate Synthase. *Plant cell and environment*, **21**, 285-299.
- Liao, M. T.; Nichols, M. A. und K. J. Fisher (1999): Effects of Soil Type and Depth on Spear Yield and Quality of Asparagus (*Asparagus officinalis* L.). *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, **27**, 43-46.
- Lill, R. E.; G. A. King und E. M. o'Donoghue (1990): Physiological Changes in Asparagus Spears immediately after Harvest. *Scientia Horticulturae*, **44**, 191-199.
- Lipton, W. J. (1960): Effect of Atmosphere Composition on Quality. *California Asparagus*, **428**, 26.
- Lipton, W. J. (1965): Post-Harvest Responses of Asparagus Spears to High Carbon Dioxide and Low Oxygen Atmospheres. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science*, **86**, 347-356.
- Lipton, W. J. (1990): Postharvest Biology of Fresh Asparagus. *Horticultural Review*, **12**, 69-115.
- MacGillivray, J. H.; (1933): Seasonal Variations in the Tenderness of Asparagus. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science*, **30**, 558-560.
- Marangoni, A. G.; Duplessis, P. M. und R. Y. Yada (1997): Kinetic Model for Carbon Partitioning in Solanum Tuberosum Tubers Stored at 2 Degrees C and the Mechanism for Low Temperature Stress-induced Accumulation of Reducing Sugars. *Biophysical Chemistry*, **65**, 211-220.
- Martin, S. (1989): Untersuchungen über den Kohlenhydratstoffwechsel von Spargel (*Asparagus officinalis* L.) in Abhängigkeit von der jahreszeitlichen Entwicklung der Pflanze. Dissertation Universität Hohenheim.
- McGuire, R. G. (1992): Reporting of Objective Color Measurements. *HortScience*, **27**, 1254-1255.
- McGlynn, W. G; Davis, D. R. und F. Honarmand (1993): Gluconic Acid Influences Texture and Color of Canned Asparagus. *Journal of Food Science*, **58**, 614-615.
- McCormick, S. J. und B. Geddes (1996): Effect of Production Temperatures on the Quantity and Quality of Green Asparagus Spears. *Acta Horticulturae*, **415**, 263.
- McCormick, S. J. und D. L. Thomson (1990): Management of Spear Number, Size, Quality and Yield in Green Asparagus through Crowndepth and Population. *Proceedings: VIIth Int. Asparagus Symposium*, 151-157.
- McQueen, R. E. und J. W. G. Nicholson (1979): Modification of Neutral Detergent Fiber Procedure for Cereals and Vergetables by Using Amylase. *Journal of AOAC International*, **62 (3)**, 676-680.
- McQuinn, S. D.; Motes, J. E. und A. G. Taylor (1981): Effect of Asparagus Plant-population and Planting Depth on Spear Fiber Content and Yield. *HortScience*, **16**, 410-410.

- Meusel, H.; Jäger, E. ; Rauschert, S. und E. Weinert (1978): Vergleichende Chronologie der zentraleuropäischen Flora. VEB Gustav Fischer Verlag, Jena.
- Minolta (1996): Exakte Farbkommunikation. Vom Farbgefühl bis zur objektiven Messung. Minolta GmbH, Ahrensburg, Deutschland.
- Mohr, H. und P. Schopfer (1992): Lehrbuch der Pflanzenphysiologie. Springer-Verlag, Berlin.
- Morris, L. L. und A. E. Watada (1960): Elongation and Bending of Asparagus Spears. California Agriculture, **14**, 15.
- Motes, J. E.; Bostian, B. und N. Maness (1988): Asparagus Production as influenced by Crown Planting Depth and in-row Spacing. HortScience, **23**, 763-763.
- Nicolaise-Scupin, L. (1985): Leitfaden für Lagerung und Transport von Gemüse und essbaren Früchten. Hempel-Verlag, Wolfsburg.
- Northcote, D. H. (1972): Chemistry of Plant Cell Wall. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, **23**, 113.
- Pandita, P. N.; und M. K. Bhan (1994): Effect of Weather Factors on Yield of *Asparagus officinalis* L.. Journal of Economic and Taxonomic Botany, **18**, 705-709.
- Poll, J. T. K.; (1996): The Effect of Temperature on Growth and Fibrousness of Green Asparagus. Acta Horticulturae, **415**, 183-187.
- Qi, L. und A. E. Watada (1997): Quality Changes of Fresh-cut Fruits in CA Storage. In: Gorny, J. R. (ed): Proceedings of Fresh-Cut Fruits and Vegetables and MAP. Davis, California, USA.
- Powrie, W. D. und B. J. Skura (1991): Modified Atmosphere Packaging of Fruits and Vegetables. In: Ooraikul, B.; Styles, M. E. (eds): Modified Atmosphere Packaging of Food. Ellis Horwoody, London.
- Redondo-Cuenca, A.; Villanueva-Suarez, M. J.; Rodriguez-Sevilla, M. D. und A. Heredia-Moreno (1997): Changes in Insoluble and Soluble Dietary Fiber of White Asparagus (*Asparagus officinalis* L.) during Different Conditions of Storage. Journal of Agricultural and Food chemistry, **45**, 3228-3232.
- Richter (1998): Stoffwechselphysiologie der Pflanzen. Physiologie und Biochemie des Primaer- und Sekundaerstoffwechsels. Thieme-Verlag, Stuttgart.
- Robb, A. (1984): Physiology of Asparagus (*Asparagus officinalis* L.) as related to the Production of the Crop. . New Zealand Journal of Experimental Agriculture, **12**, 251-260.
- Rodrigo, C.; Mateu, A.; Alvarruiz, A.; Chinesta, F. und M. Rodrigo (1998): Kinetic Parameters for Thermal Degradation of Green Asparagus Texture by Unsteady-state Method. Journal of Food Science, **63**, 126-129.
- Rodrigo, C.; Rodrigo, M. und S. M. Fiszman (1997): The Impact of high-temperature, short-time thermal Treatment on Texture and Weight loss of Green Asparagus. Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und -forschung, **205**, 53-58.
- Rodriguez, R.; Jimenez, A.; Guillen, R.; Heredia, A. und J. Fernandez-Bolanos (1999): Turnover of White Asparagus Cell Wall Polysaccharides during Postharvest Storage. Journal of Agricultural and Food Chemistry, **47**, 4525-4531
- Rosen, A. (1990): Spargelanbau unter Folie. Gemüse, **10**, 490-491.
- Ryall, A. L. und W. Lipton (1979): Handling, Transportation and Storage of Fruits and Vegetables. Vol. 1. Vegetables and Melons. 2<sup>nd</sup> edition. Conneticut, AVI Publishing Company.
- Saltveit, M. E. Jr. und R. F. Kasmire (1985): Changes in Respiration and Composition of Different Length Asparagus Spears During Storage. HortScience, **20**, 1114-1116.

- Sanchez, M. T.; Hermida, J. R.; Cano, G. und F. Torralbo (1995): Texture of Blanched and Frozen Asparagus. *Alimentaria*, **5**, 49-52.
- Sanchez-Pineda-Infantas, M. T.; Cano-Munoz, G. und J. R. Hermida-Bun (1994): Blanching, Freezing and Frozen Storage Influence Texture of White Asparagus. *Journal of Food Science*, **59**, 821-823.
- Sanders, D. C.; Cure, J. D. ; Sperry, W. J.; Gilsanz, J. C.; Prince, C. A. und O. Bandele (1998): Long-term Effects of Rows per Bed and In-row Spacing on Yield and Spear Size of Asparagus. *HortScience*, **33**, 652-654.
- Sarich, W.; Sanner, G. und C. Simon (1996): Die Bestimmung des Gesamtstickstoffs in Düngemitteln mit dem macro N (modifiziertes Verfahren nach Dumas) im Vergleich zur klassischen Kjeldahl- Destillation. *Agribiological Research*, **49**, 39-51.
- Sarkanen, K. V. und C. H. Ludwig (1971): Lignins. Occurrence, Formation, Structure and Reactions. John Wiley & Sons, New York.
- Scheer, C., Brückner, B. und A. Kirchhof (2001): Die Bestimmung des Proteingehaltes in Spargelproben mit dem Elementaranalysator Vario EL (nach Dumas) im Vergleich zur klassischen Kjeldahl-Destillation (unveröffentlicht).
- Schubert, W. J. (1965): Lignin Biochemistry. Academic Press, New York.
- Schweigart, H. A.; Welsch, J. und E. Kellner (1939): Über die Atmungs- und Lagerversuche mit Spargel. *Vorratspflege und Lebensmittelforschung*, **2**, 28-48.
- Schweizer, T. F. und P. Würsch (1979): Analysis of Dietary Fibre. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **30**, 613-619.
- Schweizer, T. F. (1986): Methoden zur Bestimmung von Nahrungsfasern, S. 53-73. In: Amado, R. (ed.): *Nahrungsfasern - Dietary Fibres*. Academic Press, London.
- Scott, L. E. und A. Kramer (1949): Physiological Changes in Asparagus after Harvest. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science*, **54**, 357-366.
- Selvendran, R. R. und A. J. MacDougall (1995): Cell-wall Chemistry and Architecture in Relation to Sources of Dietary Fibre. *European journal of clinical nutrition*, **49**, 27-41.
- Selvendran, R. R. (1984): The Plant Cell Wall as a Source of Dietary Fibre. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 320-337.
- Sharma, S. C.; Wolfe, R. R. und N. F. Haard (1975): Evaluation of Methods for Measuring Asparagus Texture. *Journal of Food Science*, **40**, 1021-1024.
- Simmone, A. H.; Simonne, E. H.; Eitenmiller, R. R.; Mills, H. A. und C. P. Cresman (1997): Could the Dumas Method Replace the Kjeldahl Digestion for Nitrogen and Crude Protein Determinations in Foods. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **73**, 39-45.
- Simonne, E. H.; Harris, C. E. and H. A. Mills (1998): Does the Nitrate Fraction Account for Differences Between Dumas-N and Kjeldahl-N in Vegetable Leaves?. *Journal of Plant Nutrition*, **21**, 2527-2534.
- Siomos, S.; Sfakiotakis, E. M. und C. C. Dogras (2000): Modified Atmosphere Packaging of White Asparagus Spears: Composition, Color and Textural Quality Responses to Temperature and Light. *Scientia Horticulturae*, **84**, 1-13.
- Smith, H. R. und A. Kramer (1947): The Fiber Content of Canned Green Asparagus. *Canner*, **104**, 14-16.
- Smith, J. L. und D. W. Stanley (1987): Nonenzymatic Lignification of Asparagus? *Journal of Texture Studies*, **18**, 339-358.
- Souci, S.; Fachmann, W. und H. Kraut (1986): Nährwerttabellen. Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH, Stuttgart.

- Sosa-Coronel, J.; Vest, G. und R. C. Herner (1976): Distribution of Fiber Content in Asparagus Cultivars. *HortScience*, **11**, 149-151.
- Southgate, D. A. T. (1995): *Dietary Fibre Analysis*. The Royal Society of Chemistry, Cambridge, Great Britain.
- Stanley, D. W. und J. M. Aguilera (1985): A Review of Textural Defects in Cooked Reconstituted Legumes – the Influence of Structure and Composition. *Journal of Food Biochemistry*, **9**, 277-323.
- Sterling, C. (1963): Texture and Cell Wall Polysaccharides in Foods. In: Leitch, J. M. and D. N. Rhodes (eds.): *Recent Advances in Food Science*. Butterworths, London.
- Stone, H. und J. Siedel (1974): Sensory Evaluation by Quantitative Descriptive Analysis. *Food Technologie*, **28**, 24-34.
- Stone, H. und J. Siedel (1993): *Sensory Evaluation Practices*. 2nd ed. Academic Press, San Diego, Californien.
- Strasburger, E.; Noll, F.; Schenk, H.; Schimpfer, A. F. W.; Sitte, P.; Ziegler, H.; Ehrendorfer, F. und A. Bresinski (1991): *Lehrbuch der Botanik*. 33. Aufl., Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, Jena, New York.
- Takatori, F.; Souther, F. und T. Stillman (1975): Influence of High Density Planting on Yield and Quality of Green Asparagus. *California Agriculture*, **29**, 10-11.
- Tiedjens, V. (1924): Some Physiological Aspects of *Asparagus officinalis* L.. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science*, **105**, 332-335.
- van Buren, J. P. (1979): The Chemistry of Texture in Fruits and Vegetables. *Journal of Texture Studies*, **10**, 1-23.
- van Soest, P. J. und R. W. McQueen (1973): The Chemistry and Estimation of Fibre. *Proceedings of the Nutrition Society*, **32**, 123-131.
- Villanueva-Suarez, M. J.; Redondo-Cuenca, A.; Rodriguez-Sevilla, M. D. und A. Heredia-Moreno (1999): Postharvest Storage of White Asparagus (*Asparagus officinalis* L.): Changes in Dietary Fiber (Nonstarch Polysaccharides). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **47**, 3832-3836.
- Waldron, K. W.; und R. R. Selvendran (1990a): Composition of the Cell Walls of Different Asparagus Tissues. *Physiologia Plantarum*, **80**, 568-575.
- Waldron, K. W.; und R. R. Selvendran (1990b): Effect of Maturation and Storage on Asparagus Cell Wall Composition. *Physiologia Plantarum*, **80**, 575-583.
- Wiles, P. G.; Gray, I. K.; Kissling, R. C.; Delahanty, C.; Evers, J.; Greenwood, K.; Grimshaw, K.; Hibbert, M.; Kelly, K.; Luckin, H.; McGregor, K.; Morris, A.; Petersen, F.; Ross, F. und M. Valli (1998): Routine Analysis of Protein by Kjeldahl and Dumas Methods: Review and Interlaboratory Study Using Dairy Products. *Journal of AOAC International*, **81**, 620-631.
- Wiley, R.; Elehwany, N.; Kramer, A. und F. J. Hager (1956): The Shear-press - An Instrument for Measuring the Quality of Foods. IV Application to Asparagus. *Food Technology*, **10**, 439-443.
- Wilson, D. R.; Cloughley, C. G. und S. M. Sinton (1999): Model of the Influence of Temperature on the Elongation Rate of Asparagus Spears. *Acta Horticulturae*, **479**
- Wolf, J. (1942): Untersuchungen an Spargel. III. Der Gasstoffwechsel von Spargel bei verschiedenen Temperaturen. *Gartenbauwissenschaft*, **16**, 525-549.
- Wonneberger, C. (2000): Farbige Folien bei Spargel. *Gemüse*, **36**, 37-38.
- Zhang, M. und G. S. Mittal (1994): Effects of Kramer-Shear-Press-Test: Conditions on the Shear Properties of Beef Products. *Meat Science*, **38**, 407.

Zhang, M. und G. S. Mittal (1993): Measuring Tenderness of Meat Products by Warner Bratzler Shear Press. *Journal of Food Processing and Preservation*, **17**, 351.

ZMP (2001): ZMP-Bilanz Gemüse 2001, Verlag Zentrale Markt- und Preisberichtsstelle für Erzeugnisse der Land-, Forst und Ernährungswirtschaft GmbH, Bonn.

## Anhang

### Sortiernormen für weißen, langen Spargel

Gemäß der Verordnung Nr. 2377/1999 vom 9. November 1999 der Kommission der Europäischen Gemeinschaften zur Festsetzung der Vermarktungsnorm für Spargel wurden die einzelnen Spargelstangen entsprechend der Vorgaben für weißen Spargel bonitiert (Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften, 1999). Folgende Mindesteigenschaften mussten erfüllt sein:

- ganz,
- gesund; ausgeschlossen sind Erzeugnisse mit Fäulnisbefall oder anderen Mängeln, die sie zum Verzehr ungeeignet machen,
- frei von Schäden, die durch unsachgemäßes Waschen hervorgerufen wurden (die Spargelstangen dürfen gewaschen, aber nicht gewässert sein),
- sauber; praktisch frei von sichtbaren Fremdstoffen,
- von frischem Aussehen und Geruch,
- praktisch frei von Schädlingen,
- praktisch frei von Schäden durch Schädlinge,
- praktisch frei von Quetschungen und Druckstellen,
- frei von anomaler äußerer Feuchtigkeit, d.h. nach etwaigem Waschen bzw. Kühlen mit kaltem Wasser wieder ausreichend getrocknet,
- frei von fremdem Geruch und/oder Geschmack

Die Schnittflächen am unteren Ende mussten möglichst glatt sein und sich im rechten Winkel zur Längsachse der Spargelstange befinden. Die Spargelstangen durften nicht hohl, gespalten, abgeschält oder gebrochen sein. Kleine, nach dem Stechen entstandene Risse waren jedoch zulässig, sofern die Gütetoleranzen und Grenzwerte nicht überschritten wurden.

Seit 1997 wenden alle deutschen Erzeugerorganisationen schärfere Sortierungsvorschriften an, als in der EU-Vermarktungsnorm festgelegt ist. Die Einteilung von weißem, langen Spargel (über 17 cm Länge) in Klassen erfolgt nach dem Durchmesser der Spargelstangen in der Stangenmitte entsprechend der von der Bundesvereinigung der Erzeugerorganisationen Obst und Gemüse verfassten Sortierungsvorschrift.

Für die Mindestdurchmesser von weißem, langem Spargel und die Größensortierung gilt folgendes:

<b>Klasse</b>	<b>Mindestdurchmesser</b>	<b>Größensortierung</b>
Extra	16 mm	16 – 26 mm, 16 mm und mehr mit einer Abweichung von höchstens 8 mm in einem Packstück/Bündel
I	14 mm	14 – 18 mm, 14 mm und mehr mit einer Abweichung von höchstens 10 mm in einem Packstück/Bündel
II	14 mm	14 mm und mehr

**Besondere Merkmale von weißem, langen Spargel**

<b>Klasse</b>	<b>Besondere Merkmale</b>	<b>zulässig</b>
Extra	Gerade, gesunde Stangen, Köpfe weiß und geschlossen, nicht hohl, nicht holzig	Nach dem Stechen eingetretener rötlicher Anlauf der Stangen und leichter, durch Schälern entfernbare Rost
I	Gerade, gesunde Stangen, Köpfe weiß und geschlossen, nicht hohl, nicht holzig	Nach dem Stechen eingetretener rötlicher Anlauf der Stangen
II	Stangen gut gewachsen, jedoch auch leicht gebogen, nicht hohl und nicht gespalten	Stangen mit nicht so fest geschlossenen Köpfen, die eine Färbung haben, jedoch nicht grün sein dürfen, leichter durch Schälern entfernbare Rost, leicht holzig

*Tabelle A.1: Multiple lineare Regression zur Darstellung der Zusammenhänge zwischen Anteil Schale an der Frischmasse und Unterboden- und Oberflächentemperatur als unabhängige Größen (ganze Stange)*

**Koeffizienten<sup>a,b</sup>**

Modell		Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Signifikanz
		B	Standardfehler	Beta		
1	(Konstante)	15,151	,782		19,382	,000
	Unterbodentemperatur (°C)	,808	,366	,155	2,207	,028

a. Abhängige Variable: Anteil Schale an Frischmasse (%)

b. Abschnitt = ganze Stange

**Ausgeschlossene Variablen<sup>b,c</sup>**

Modell	Beta In	T	Signifikanz	Partielle Korrelation	Kollinearitätsstatistik	
					Toleranz	
1	Oberflächentemp.	-,124 <sup>a</sup>	-1,778	,077	-,126	,999

a. Einflußvariablen im Modell: (Konstante), Unterbodentemperatur (°C)

b. Abhängige Variable: Anteil Schale an Frischmasse (%)

c. Abschnitt = ganze Stange

*Tabelle A.2: Multiple lineare Regression zur Darstellung der Zusammenhänge zwischen Anteil Schale an der Frischmasse und Unterboden- und Oberflächentemperatur als unabhängige Größen (Abschnitt: Mitte)*

**Koeffizienten<sup>a,b</sup>**

Modell		Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Signifikanz
		B	Standardfehler	Beta		
1	(Konstante)	15,666	,813		19,264	,000
	Unterbodentemperatur (°C)	1,484	,381	,181	3,897	,000

a. Abhängige Variable: Anteil Schale an Frischmasse (%)

b. Abschnitt = Mitte

**Ausgeschlossene Variablen<sup>b,c</sup>**

Modell	Beta In	T	Signifikanz	Partielle Korrelation	Kollinearitätsstatistik	
					Toleranz	
1	Oberflächentemp.	-,086 <sup>a</sup>	-1,859	,064	-,088	1,000

a. Einflußvariablen im Modell: (Konstante), Unterbodentemperatur (°C)

b. Abhängige Variable: Anteil Schale an Frischmasse (%)

c. Abschnitt = Mitte

*Tabelle A.3: Multiple lineare Regression zur Darstellung der Zusammenhänge zwischen Anteil Schale an der Frischmasse und Unterboden- und Oberflächentemperatur als unabhängige Größen (Abschnitt: Basis)*

**Koeffizienten<sup>a,b</sup>**

Modell		Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Signifikanz
		B	Standardfehler	Beta		
1	(Konstante)	15,784	1,011		15,606	,000
	Unterbodentemperatur (°C)	1,416	,474	,140	2,990	,003
2	(Konstante)	18,591	1,419		13,098	,000
	Unterbodentemperatur (°C)	1,429	,470	,141	3,040	,003
	Oberflächentemp.	-1,063	,380	-,130	-2,797	,005

a. Abhängige Variable: Anteil Schale an Frischmasse (%)

b. Abschnitt = Basis

*Tabelle A.4: Korrelationskoeffizienten für den Zusammenhang zwischen Energiebedarf nach Warner-Bratzler im Spitzengewebe der Spargelstange und dem Durchmesser am Messpunkt*

**Korrelationen<sup>a</sup>**

		Gesamtenergiebedarf nach Warner-Bratzler (KJ)	Durchmesser am Messpunkt
Gesamtenergiebedarf nach Warner-Bratzler (KJ)	Korrelation nach Pearson	1,000	,849**
	Signifikanz (2-seitig)	,	,000
	N	164	164
Durchmesser am Messpunkt	Korrelation nach Pearson	,849**	1,000
	Signifikanz (2-seitig)	,000	,
	N	164	164

\*\* Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

a. Abschnitt = Spitze

**Tabelle A.5: Korrelationskoeffizienten für den Zusammenhang zwischen Energiebedarf nach Warner-Bratzler im mittleren Spargelabschnitt und dem Durchmesser am Messpunkt**

**Korrelationen<sup>a</sup>**

		Gesamtenergiebedarf nach Warner-Bratzler (KJ)	Durchmesser am Messpunkt
Gesamtenergiebedarf nach Warner-Bratzler (KJ)	Korrelation nach Pearson	1,000	,832**
	Signifikanz (2-seitig)	,	,000
	N	165	165
Durchmesser am Messpunkt	Korrelation nach Pearson	,832**	1,000
	Signifikanz (2-seitig)	,000	,
	N	165	165

\*\* . Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

a. Abschnitt = Mitte

**Tabelle A.6: Korrelationskoeffizienten für den Zusammenhang zwischen Energiebedarf nach Warner-Bratzler im basalen Spargelabschnitt und dem Durchmesser am Messpunkt**

**Korrelationen<sup>a</sup>**

		Gesamtenergiebedarf nach Warner-Bratzler (KJ)	Durchmesser am Messpunkt
Gesamtenergiebedarf nach Warner-Bratzler (KJ)	Korrelation nach Pearson	1,000	,732**
	Signifikanz (2-seitig)	,	,000
	N	163	163
Durchmesser am Messpunkt	Korrelation nach Pearson	,732**	1,000
	Signifikanz (2-seitig)	,000	,
	N	163	163

\*\* . Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

a. Abschnitt = Basis

**Tabelle A.7: Kovarianzanalyse zur Darstellung der Zusammenhänge zwischen Maximalkraft und abhängigen Größen wie Temperatur und Durchmesser (Abschnitt: Spitze)**

**Tests der Zwischensubjekteffekte<sup>b</sup>**

Abhängige Variable: Maximalkraft nach Warner-Bratzler (KN)

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Korrigiertes Modell	9,661E-03 <sup>a</sup>	11	8,782E-04	38,048	,000
Intercept	2,114E-05	1	2,114E-05	,916	,340
DSCHNITT	7,922E-03	1	7,922E-03	343,188	,000
UNTERB	6,326E-05	2	3,163E-05	1,370	,257
OBERFLAE	1,304E-04	3	4,345E-05	1,883	,135
UNTERB * OBERFLAE	4,641E-04	5	9,282E-05	4,021	,002
Fehler	3,185E-03	138	2,308E-05		
Gesamt	,174	150			
Korrigierte Gesamtvariation	1,285E-02	149			

a. R-Quadrat = ,752 (korrigiertes R-Quadrat = ,732)

b. Abschnitt = Spitze

*Tabelle A.8: Kovarianzanalyse zur Darstellung der Zusammenhänge zwischen Maximalkraft und abhängige Größen wie Temperatur und Durchmesser (Abschnitt: Mitte)*

**Tests der Zwischensubjekteffekte <sup>b</sup>**

Abhängige Variable: Maximalkraft nach Warner-Bratzler (KN)

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Korrigiertes Modell	1,375E-02 <sup>a</sup>	11	1,250E-03	22,214	,000
Intercept	5,930E-05	1	5,930E-05	1,054	,306
DSCHNITT	1,159E-02	1	1,159E-02	206,058	,000
UNTERB	1,777E-04	2	8,887E-05	1,580	,210
OBERFLAE	8,154E-05	3	2,718E-05	,483	,694
UNTERB * OBERFLAE	8,350E-05	5	1,670E-05	,297	,914
Fehler	8,100E-03	144	5,625E-05		
Gesamt	,329	156			
Korrigierte Gesamtvariation	2,185E-02	155			

a. R-Quadrat = ,629 (korrigiertes R-Quadrat = ,601)

b. Abschnitt = Mitte

*Tabelle A.9: Kovarianzanalyse zur Darstellung der Zusammenhänge zwischen Maximalkraft und abhängige Größen wie Temperatur und Durchmesser (Abschnitt: Basis)*

**Tests der Zwischensubjekteffekte <sup>b</sup>**

Abhängige Variable: Maximalkraft nach Warner-Bratzler (KN)

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Korrigiertes Modell	2,472E-02 <sup>a</sup>	11	2,247E-03	15,604	,000
Intercept	1,067E-03	1	1,067E-03	7,407	,007
DSCHNITT	1,588E-02	1	1,588E-02	110,258	,000
UNTERB	9,430E-04	2	4,715E-04	3,274	,041
OBERFLAE	3,264E-03	3	1,088E-03	7,555	,000
UNTERB * OBERFLAE	2,466E-04	5	4,932E-05	,342	,886
Fehler	2,031E-02	141	1,440E-04		
Gesamt	,568	153			
Korrigierte Gesamtvariation	4,503E-02	152			

a. R-Quadrat = ,549 (korrigiertes R-Quadrat = ,514)

b. Abschnitt = Basis

*Tabelle A.10: Varianzanalyse zur Darstellung der Zusammenhänge zwischen Maximalkraft und Unterboden- und Oberflächentemperatur als abhängige Größen (Abschnitt: Spitze)*

**Tests der Zwischensubjekteffekte <sup>b</sup>**

Abhängige Variable: Maximalkraft nach Warner-Bratzler (KN/cm)

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Korrigiertes Modell	3,485E-06 <sup>a</sup>	11	3,168E-07	2,673	,004
Intercept	8,421E-04	1	8,421E-04	7104,753	,000
UNTERB	1,901E-07	2	9,506E-08	,802	,450
OBERFLAE	2,997E-07	3	9,991E-08	,843	,472
UNTERB * OBERFLAE	2,892E-06	6	4,820E-07	4,067	,001
Fehler	1,802E-05	152	1,185E-07		
Gesamt	9,598E-04	164			
Korrigierte Gesamtvariation	2,150E-05	163			

a. R-Quadrat = ,162 (korrigiertes R-Quadrat = ,101)

b. Abschnitt = Spitze

*Tabelle A.11: Varianzanalyse zur Darstellung der Zusammenhänge zwischen Maximalkraft und Unterboden- und Oberflächentemperatur als abhängige Größen (Abschnitt: Mitte)*

**Tests der Zwischensubjekteffekte <sup>b</sup>**

Abhängige Variable: Maximalkraft nach Warner-Bratzler (KN/cm)

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Korrigiertes Modell	2,019E-06 <sup>a</sup>	11	1,835E-07	,755	,684
Intercept	1,246E-03	1	1,246E-03	5123,376	,000
UNTERB	8,959E-08	2	4,480E-08	,184	,832
OBERFLAE	5,626E-07	3	1,875E-07	,771	,512
UNTERB * OBERFLAE	1,135E-06	6	1,891E-07	,778	,589
Fehler	3,720E-05	153	2,431E-07		
Gesamt	1,408E-03	165			
Korrigierte Gesamtvariation	3,921E-05	164			

a. R-Quadrat = ,051 (korrigiertes R-Quadrat = -,017)

b. Abschnitt = Mitte

Tabelle A.12: Varianzanalyse zur Darstellung der Zusammenhänge zwischen Maximalkraft und Unterboden- und Oberflächentemperatur als abhängige Größen (Abschnitt: Basis)

Tests der Zwischensubjekteffekte <sup>b</sup>

Abhängige Variable: Maximalkraft nach Warner-Bratzler (KN/cm)

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Korrigiertes Modell	1,381E-05 <sup>a</sup>	11	1,255E-06	2,000	,032
Intercept	2,255E-03	1	2,255E-03	3593,470	,000
UNTERB	2,532E-06	2	1,266E-06	2,017	,137
OBERFLAE	8,917E-06	3	2,972E-06	4,736	,003
UNTERB * OBERFLAE	2,486E-06	6	4,144E-07	,660	,682
Fehler	9,477E-05	151	6,276E-07		
Gesamt	2,491E-03	163			
Korrigierte Gesamtvariation	1,086E-04	162			

a. R-Quadrat = ,127 (korrigiertes R-Quadrat = ,064)

b. Abschnitt = Basis

Tabelle A.13: Multiple lineare Regression zur Darstellung der Zusammenhänge zwischen Maximalkraft und Unterboden- und Oberflächentemperatur als unabhängige Größen (Abschnitt: Basis)

Koeffizienten<sup>a,b</sup>

Modell	Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Signifikanz
	B	Standardfehler	Beta		
1 (Konstante)	4,229	,177		23,836	,000
Oberflächentemp.	-,161	,062	-,207	-2,596	,010

a. Abhängige Variable: Maximalkraft nach Warner-Bratzler (N/cm)

b. Abschnitt = Basis

Ausgeschlossene Variablen<sup>c</sup>

Modell	Beta In	T	Signifikanz	Partielle Korrelation	Kollinearitätsstatistik
					Toleranz
1 Unterbodentemperatur (°C)	-,112 <sup>a</sup>	-1,399	,164	-,113	,991

a. Einflußvariablen im Modell: (Konstante), Oberflächentemp.

b. Abhängige Variable: Maximalkraft nach Warner-Bratzler (N/cm)

c. Abschnitt = Basis

Tabelle A.14: Korrelation zur Darstellung der Zusammenhänge zwischen Energie und abhängige Größen wie Unterboden-, Rhizom und Oberflächentemperatur (Abschnitt: Spitze)

Korrelationen<sup>a</sup>

		Unterboden temperatur	Oberflächent emperatur	Rhizomtem peratur (°C)	Gesamtenergi egehalt nach Warner-Bratzl er (KJ/cm)
Unterbodentemperatur	Korrelation nach Pearson	1,000	-,113	,766**	-,232**
	Signifikanz (2-seitig)	,	,148	,000	,003
	N	164	164	164	164
Oberflächentemperatur	Korrelation nach Pearson	-,113	1,000	,432**	-,051
	Signifikanz (2-seitig)	,148	,	,000	,514
	N	164	164	164	164
Rhizomtemperatur (°C)	Korrelation nach Pearson	,766**	,432**	1,000	-,276**
	Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	,	,000
	N	164	164	164	164
Gesamtenergiegehalt nach Warner-Bratzler (KJ/cm)	Korrelation nach Pearson	-,232**	-,051	-,276**	1,000
	Signifikanz (2-seitig)	,003	,514	,000	,
	N	164	164	164	164

\*\* . Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

a. Abschnitt = Spitze

Tabelle A.15: Korrelation zur Darstellung der Zusammenhänge zwischen Energie und abhängige Größen wie Unterboden-, Rhizom und Oberflächentemperatur (Abschnitt: Mitte)

Korrelationen<sup>a</sup>

		Unterboden temperatur	Oberflächent emperatur	Rhizomtem peratur (°C)	Gesamtenergi egehalt nach Warner-Bratzl er (KJ/cm)
Unterbodentemperatur	Korrelation nach Pearson	1,000	-,066	,760**	-,210**
	Signifikanz (2-seitig)	,	,396	,000	,007
	N	165	165	165	165
Oberflächentemperatur	Korrelation nach Pearson	-,066	1,000	,491**	,060
	Signifikanz (2-seitig)	,396	,	,000	,445
	N	165	165	165	165
Rhizomtemperatur (°C)	Korrelation nach Pearson	,760**	,491**	1,000	-,127
	Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	,	,103
	N	165	165	165	165
Gesamtenergiegehalt nach Warner-Bratzler (KJ/cm)	Korrelation nach Pearson	-,210**	,060	-,127	1,000
	Signifikanz (2-seitig)	,007	,445	,103	,
	N	165	165	165	165

\*\* . Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

a. Abschnitt = Mitte

Tabelle A.16: Korrelation zur Darstellung der Zusammenhänge zwischen Energie und abhängige Größen wie Unterboden-, Rhizom und Oberflächentemperatur (Abschnitt: Basis)

Korrelationen<sup>a</sup>

		Unterboden temperatur	Oberflächent emperatur	Rhizomtem peratur (°C)	Gesamtenergi egehalt nach Warner-Bratzl er (KJ/cm)
Unterbodentemperatur	Korrelation nach Pearson	1,000	-,099	,755**	-,154*
	Signifikanz (2-seitig)	,	,207	,000	,050
	N	163	163	163	163
Oberflächentemperatur	Korrelation nach Pearson	-,099	1,000	,468**	-,326**
	Signifikanz (2-seitig)	,207	,	,000	,000
	N	163	163	163	163
Rhizomtemperatur (°C)	Korrelation nach Pearson	,755**	,468**	1,000	-,333**
	Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	,	,000
	N	163	163	163	163
Gesamtenergiegehalt nach Warner-Bratzler (KJ/cm)	Korrelation nach Pearson	-,154*	-,326**	-,333**	1,000
	Signifikanz (2-seitig)	,050	,000	,000	,
	N	163	163	163	163

\*\* - Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

\* - Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant.

a. Abschnitt = Basis

Tabelle A.17: Multiple lineare Regression zur Darstellung der Zusammenhänge zwischen Gesamtenergie und Unterboden- und Oberflächentemperatur als unabhängige Größen (Abschnitt: Spitze)

Koeffizienten<sup>a,b</sup>

Modell		Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardi sierte Koeffizien ten	T	Signifikanz
		B	Standardf ehler	Beta		
1	(Konstante)	1,281E-02	,001		11,145	,000
	Oberflächentemp.	1,107E-03	,000	,220	2,693	,008

a. Abhängige Variable: Gesamtenergie nach Warner-Bratzler (KJ/cm)

b. Abschnitt = Spitze

Ausgeschlossene Variablen<sup>b,c</sup>

Modell		Beta In	T	Signifikanz	Partielle Korrelation	Kollinearit ätsstatisti k
						Toleranz
1	Unterbodentemperatur (°C)	,106 <sup>a</sup>	1,294	,198	,108	,992

a. Einflußvariablen im Modell: (Konstante), Oberflächentemp.

b. Abhängige Variable: Gesamtenergie nach Warner-Bratzler (KJ/cm)

c. Abschnitt = Spitze

*Tabelle A.18: Multiple lineare Regression zur Darstellung der Zusammenhänge zwischen Gesamtenergie und Unterboden- und Oberflächentemperatur als unabhängige Größen (Abschnitt: Basis)*

**Koeffizienten<sup>a,b</sup>**

Modell		Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Signifikanz
		B	Standardfehler	Beta		
1	(Konstante)	5,503E-02	,003		16,232	,000
	Oberflächentemp.	-4,19E-03	,001	-,276	-3,523	,001
2	(Konstante)	6,458E-02	,005		13,570	,000
	Oberflächentemp.	-4,49E-03	,001	-,296	-3,846	,000
	Unterbodentemperatur (°C)	-4,29E-03	,002	-,215	-2,797	,006

a. Abhängige Variable: Gesamtenergie nach Warner-Bratzler (KJ/cm)

b. Abschnitt = Basis

*Tabelle A.19: Varianzanalyse zur Darstellung der Zusammenhänge zwischen Maximalkraft nach Kramer-Scher und Unterboden- und Oberflächentemperatur als abhängige Größen (Abschnitt: Spitze)*

**Tests der Zwischensubjekteffekte<sup>b</sup>**

Abhängige Variable: Maximalkraft nach Kramer-Scher (N/g)

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Korrigiertes Modell	2161,165 <sup>a</sup>	11	196,470	2,852	,002
Intercept	469274,703	1	469274,70	6812,850	,000
UNTERB	457,900	2	228,950	3,324	,039
OBERFLAE	986,536	3	328,845	4,774	,003
UNTERB * OBERFLAE	1069,444	6	178,241	2,588	,020
Fehler	10469,885	152	68,881		
Gesamt	548848,700	164			
Korrigierte Gesamtvariation	12631,051	163			

a. R-Quadrat = ,171 (korrigiertes R-Quadrat = ,111)

b. Abschnitt = Spitze

*Tabelle A.20: Varianzanalyse zur Darstellung der Zusammenhänge zwischen Maximalkraft nach Kramer-Scher und Unterboden- und Oberflächentemperatur als abhängige Größen (Abschnitt: Mitte)*

**Tests der Zwischensubjekteffekte<sup>b</sup>**

Abhängige Variable: Maximalkraft nach Kramer-Scher (N/g)

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Korrigiertes Modell	1138,916 <sup>a</sup>	11	103,538	2,039	,028
Intercept	373783,723	1	373783,72	7359,758	,000
UNTERB	101,626	2	50,813	1,001	,370
OBERFLAE	605,156	3	201,719	3,972	,009
UNTERB * OBERFLAE	473,205	6	78,867	1,553	,165
Fehler	7770,488	153	50,788		
Gesamt	421539,082	165			
Korrigierte Gesamtvariation	8909,404	164			

a. R-Quadrat = ,128 (korrigiertes R-Quadrat = ,065)

b. Abschnitt = Mitte

*Tabelle A.21: Varianzanalyse zur Darstellung der Zusammenhänge zwischen Maximalkraft nach Kramer-Scher und Unterboden- und Oberflächentemperatur als abhängige Größen (Abschnitt: Basis)*

**Tests der Zwischensubjekteffekte<sup>b</sup>**

Abhängige Variable: Maximalkraft nach Kramer-Scher (N/g)

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Korrigiertes Modell	2727,380 <sup>a</sup>	11	247,944	1,316	,221
Intercept	666850,654	1	666850,65	3539,080	,000
UNTERB	197,850	2	98,925	,525	,593
OBERFLAE	844,739	3	281,580	1,494	,218
UNTERB * OBERFLAE	1292,014	6	215,336	1,143	,340
Fehler	28452,151	151	188,425		
Gesamt	749524,908	163			
Korrigierte Gesamtvariation	31179,531	162			

a. R-Quadrat = ,087 (korrigiertes R-Quadrat = ,021)

b. Abschnitt = Basis

Tabelle A.22: Multiple lineare Regression zur Darstellung der Zusammenhänge zwischen Gesamtenergie und Unterboden- und Oberflächentemperatur als unabhängige Größen (Abschnitt: Mitte)

**Koeffizienten<sup>a,b</sup>**

Modell		Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Signifikanz
		B	Standardfehler	Beta		
1	(Konstante)	45,583	1,514		30,110	,000
	Oberflächentemp.	1,484	,525	,220	2,826	,005

a. Abhängige Variable: Maximalkraft nach Kramer-Scher (N/g)

b. Abschnitt = Mitte

**Ausgeschlossene Variablen<sup>b,c</sup>**

Modell		Beta In	T	Signifikanz	Partielle Korrelation	Kollinearitätsstatistik
						Toleranz
1	Unterbodentemperatur (°C)	,117 <sup>a</sup>	1,510	,133	,120	,999

a. Einflußvariablen im Modell: (Konstante), Oberflächentemp.

b. Abhängige Variable: Maximalkraft nach Kramer-Scher (N/g)

c. Abschnitt = Mitte

Tabelle A.23: Varianzanalyse zur Darstellung der Zusammenhänge zwischen Gesamtenergie nach Kramer-Scher und Unterboden- und Oberflächentemperatur als abhängige Größen (Abschnitt: Spitze)

**Tests der Zwischensubjekteffekte**

Abhängige Variable: Gesamtenergie nach Kramer-Scher (KJ/g)

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Korrigiertes Modell	9,508E-02 <sup>a</sup>	11	8,644E-03	2,936	,002
Intercept	24,686	1	24,686	8385,414	,000
UNTERNEU	4,998E-02	2	2,499E-02	8,488	,000
OBERFLAE	2,872E-02	3	9,572E-03	3,252	,024
UNTERNEU * OBERFLAE	3,563E-02	6	5,938E-03	2,017	,068
Fehler	,389	132	2,944E-03		
Gesamt	27,233	144			
Korrigierte Gesamtvariation	,484	143			

a. R-Quadrat = ,197 (korrigiertes R-Quadrat = ,130)

b. Abschnitt = Spitze

Tabelle A.24: Varianzanalyse zur Darstellung der Zusammenhänge zwischen Gesamtenergie nach Kramer-Scher und Unterboden- und Oberflächentemperatur als abhängige Größen (Abschnitt: Mitte)

**Tests der Zwischensubjekteffekte<sup>b</sup>**

Abhängige Variable: Gesamtenergie nach Kramer-Scher (KJ/g)

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Korrigiertes Modell	4,350E-02 <sup>a</sup>	11	3,954E-03	1,331	,213
Intercept	22,012	1	22,012	7409,036	,000
UNTERNEU	1,700E-02	2	8,498E-03	2,860	,060
OBERFLAE	9,701E-03	3	3,234E-03	1,088	,356
UNTERNEU * OBERFLAE	1,468E-02	6	2,446E-03	,823	,553
Fehler	,437	147	2,971E-03		
Gesamt	24,220	159			
Korrigierte Gesamtvariation	,480	158			

a. R-Quadrat = ,091 (korrigiertes R-Quadrat = ,023)

b. Abschnitt = Mitte

Tabelle A.25: Varianzanalyse zur Darstellung der Zusammenhänge zwischen Gesamtenergie nach Kramer-Scher und Unterboden- und Oberflächentemperatur als abhängige Größen (Abschnitt: Basis)

**Tests der Zwischensubjekteffekte<sup>b</sup>**

Abhängige Variable: Gesamtenergie nach Kramer-Scher (KJ/g)

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Korrigiertes Modell	,316 <sup>a</sup>	11	2,869E-02	4,454	,000
Intercept	41,402	1	41,402	6427,785	,000
UNTERNEU	4,890E-02	2	2,445E-02	3,796	,025
OBERFLAE	,162	3	5,411E-02	8,401	,000
UNTERNEU * OBERFLAE	9,009E-02	6	1,502E-02	2,331	,035
Fehler	,908	141	6,441E-03		
Gesamt	45,228	153			
Korrigierte Gesamtvariation	1,224	152			

a. R-Quadrat = ,258 (korrigiertes R-Quadrat = ,200)

b. Abschnitt = Basis

Tabelle A.26: Multiple lineare Regression zur Darstellung der Zusammenhänge zwischen Gesamtenergie nach Kramer-Scher und Unterboden- und Oberflächentemperatur als unabhängige Größen (Abschnitt: Spitze)

**Koeffizienten<sup>a,b</sup>**

Modell		Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Signifikanz
		B	Standardfehler	Beta		
1	(Konstante)	,463	,013		34,474	,000
	Unterbodentemperatur (°C)	-1,54E-02	,006	-,211	-2,566	,011

a. Abhängige Variable: Gesamtenergie nach Kramer-Scher (KJ/g)

b. Abschnitt = Spitze

**Ausgeschlossene Variablen<sup>c</sup>**

Modell		Beta In	T	Signifikanz	Partielle Korrelation	Kollinearitätsstatistik
						Toleranz
1	Oberflächentemp.	-,014 <sup>a</sup>	-,170	,865	-,014	,992

a. Einflußvariablen im Modell: (Konstante), Unterbodentemperatur (°C)

b. Abhängige Variable: Gesamtenergie nach Kramer-Scher (KJ/g)

c. Abschnitt = Spitze

Tabelle A.27: Multiple lineare Regression zur Darstellung der Zusammenhänge zwischen Gesamtenergie nach Kramer-Scher und Unterboden- und Oberflächentemperatur als unabhängige Größen (Abschnitt: Mitte)

**Koeffizienten<sup>a,b</sup>**

Modell		Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Signifikanz
		B	Standardfehler	Beta		
1	(Konstante)	,414	,012		34,464	,000
	Unterbodentemperatur (°C)	-1,35E-02	,005	-,195	-2,487	,014

a. Abhängige Variable: Gesamtenergie nach Kramer-Scher (KJ/g)

b. Abschnitt = Mitte

**Ausgeschlossene Variablen<sup>b,c</sup>**

Modell		Beta In	T	Signifikanz	Partielle Korrelation	Kollinearitätsstatistik
						Toleranz
1	Oberflächentemp.	,042 <sup>a</sup>	,531	,596	,042	,999

a. Einflußvariablen im Modell: (Konstante), Unterbodentemperatur (°C)

b. Abhängige Variable: Gesamtenergie nach Kramer-Scher (KJ/g)

c. Abschnitt = Mitte

Tabelle A.28: Multiple lineare Regression zur Darstellung der Zusammenhänge zwischen Gesamtenergie nach Kramer-Scher und Unterboden- und Oberflächentemperatur als unabhängige Größen (Abschnitt: Basis)

**Koeffizienten<sup>a,b</sup>**

Modell		Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Signifikanz
		B	Standardfehler	Beta		
1	(Konstante)	,609	,019		32,515	,000
	Oberflächentemp.	-2,74E-02	,007	-,322	-4,176	,000
2	(Konstante)	,661	,026		25,123	,000
	Oberflächentemp.	-2,91E-02	,006	-,341	-4,504	,000
	Unterbodentemperatur (°C)	-2,34E-02	,008	-,209	-2,756	,007

a. Abhängige Variable: Gesamtenergie nach Kramer-Scher (KJ/g)

b. Abschnitt = Basis

## Danksagung

Bei besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. Dietrich Knorr für die Betreuung und jederzeit gewährte Unterstützung der Arbeit.

Frau Dr. Ilona Schonhof gilt mein Dank sowohl für die fachliche Unterstützung bei der Bearbeitung des DFG-Projektes als auch für die Betreuung und konstruktive Kritik, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Gleichermaßen gilt mein Dank Herrn Dr. Bernhard Brückner für die fachliche Unterstützung bei der Bearbeitung des DFG-Projektes sowie für die zahlreichen Anregungen, die zur Erstellung der Arbeit beigetragen haben.

Bei Frau Dr. Schreiner möchte ich mich für die fachliche Hilfestellung und die konstruktive Kritik, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben bedanken und besonders für das Vertrauen, das sie mir während dieser Zeit entgegenbrachte.

Des weiteren möchte ich mich bedanken bei:

Frau Elke Büsch und Ursula Zentner für den unermüdlichen Einsatz bei der Ernte und Aufbereitung des Spargels.

Bei Frau Andrea Maikath für die Unterstützung bei den chemischen Analysen.

Bei allen beteiligten Mitarbeitern des Instituts für Gemüse- und Zierpflanzenbau Großbeeren/ Erfurt e. V., insbesondere bei Herrn Jörg Bigus, Ingo Hauschild, Dieter Franzke, Heinrich Zozmann, Monika Grohmann sowie bei Uwe Kunert und seinen Mitarbeitern für die Hilfe bei der praktischen Versuchsdurchführung.

Der Deutschen Forschungsgesellschaft, die diese Arbeit im Rahmen der Förderung von Forschungsvorhaben in den Bereichen Gartenbau, Landwirtschaft, Pflanzenernährung und –physiologie finanziell unterstützte.

## Lebenslauf

Name: Christian Scheer  
Geburtstag, -ort: 5. Oktober 1970 in Berlin  
Eltern: Joachim Scheer und Ingeborg Scheer, geb. Reinki  
Familienstand: ledig  
Nationalität: deutsch

### Schule/ Ausbildung:

1977 – 1983 Grundschole Am Amalienhof, Berlin-Spandau  
1983 – 1990 Kant-Gymnasium, Berlin-Spandau  
- Abschluss: Abitur  
1990 – 1992 Botanischer Garten und Botanisches Museum  
- Abschluss: Zierpflanzengärtner

### Studium:

1992 – 1998 Humboldt-Universität zu Berlin,  
Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät  
Studiengang Gartenbauwissenschaften  
- Abschluss: Diplom-Agraringenieur  
1999 – 2002 Technische Universität, Berlin  
Fakultät III Prozesswissenschaften  
FG Lebensmitteltechnologie

### Berufliche Tätigkeiten:

1995 – 1998 Humboldt-Universität zu Berlin,  
Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät  
FG Obstbau  
- Tutor  
1995 – 1998 Firma Offis Personalservice GmbH & Co. KG  
- Akquisiteur  
2000 – 2002 Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau  
Großbeeren/Erfurt e. V., Abteilung Qualität  
- wissenschaftlicher Mitarbeiter