

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis.....	X
Abbildungsverzeichnis.....	XIV
Tabellenverzeichnis.....	XXVIII
Formelverzeichnis	XXXII
1 Einleitung	1
1.1 Thematische Einleitung.....	2
1.1.1 Wirtschaftliche Bedeutung und Konsumgewohnheiten von <i>Daucus carota</i> L.....	2
1.1.2 Gesundheitsfördernde Inhaltsstoffe in der Karotte.....	6
1.2 Zielstellung.....	7
1.3 Allgemeine Grundlagen.....	9
1.3.1 <i>Daucus carota</i> L. (Botanik und Morphologie).....	9
1.3.2 Inhaltsstoffe von <i>Daucus carota</i> L.....	11
2 Stand der Forschung.....	12
2.1 Sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe.....	12
2.2 Carotinoide	14
2.2.1 Carotinoide – Vorkommen und Chemie.....	14
2.2.2 Biochemie und Biosynthese der Carotinoide	19
2.2.3 Bedeutung der Carotinoide.....	25
2.2.4 Konzentrationen der Carotinoide in der Karotte.....	25
2.2.5 Carotinoidverteilung innerhalb der Karotte.....	26
2.2.6 Einflussfaktoren auf den Carotinoidgehalt in Karotten	26

2.2.6.1 Sorte	26
2.2.6.2 Reife	27
2.2.6.3 Standort	27
2.2.6.4 Düngung	28
2.2.6.5 Schädlingsbefall/Schädlingsbekämpfung	29
2.2.7 Probenaufarbeitungs- und Carotinoidanalysemethoden	29
2.2.8 Carotinoid-Analytik	30
2.2.9 Aufarbeitungs- und Analysetechniken innerhalb des Instituts für ökologische Chemie, Pflanzenanalytik und Vorratsschutz – Quedlinburg (ÖPV-Q).....	31
2.2.10 Nachweismethode der Carotinoide nach LFGB.....	32
2.3 Polyacetylene	32
2.3.1 Chemische Struktur, gesundheitsfördernde Wirkung und Geschmack	32
2.3.2 Biosynthese der Polyacetylene des Falcarinol-Typs	35
2.3.2.1 Falcarinol	39
2.3.2.2 Falcarindiol	40
2.3.2.3 Falcarindiol-3-Acetat	41
2.3.4 Polyacetylene in der Karotte.....	41
2.3.5 Extraktionsmethoden von Polyacetylenen aus Karotten	43
2.3.6 Trennmethoden für den Nachweis von Polyacetylenen	44
2.3.7 Nachweis von Polyacetylenen mittels LC-MS.....	45
2.3.8 Nachweis von Polyacetylenen mittels GC.....	46
2.3.9 Nachweis von Polyacetylenen mit Hilfe der Raman-Spektroskopie	46

2.3.10 Probenaufarbeitungs- und Nachweismethoden von Polyacetylenen innerhalb des Instituts für ökologische Chemie, Pflanzenanalytik und Vorratsschutz Quedlinburg (ÖPV-Q).....	47
2.3.11 Nachweis der Polyacetylene nach den Vorschriften des LFGB	48
2.4 Zucker in Karotten.....	48
2.4.1 Monosaccharide.....	48
2.4.2 Disaccharide.....	49
2.4.3 Allgemeine Nachweismethoden für Monosaccharide.....	49
2.4.4 Nachweismethode des Saccharosegehalts in Frucht- und Gemüsesäften nach LFGB	50
2.4.5 Nachweismethode für D-Glucose und D-Fructose in Frucht- und Gemüsesäften nach LFGB.....	51
2.5 Flüchtige Inhaltsstoffe	52
2.5.1 Flüchtige Inhaltsstoffe in <i>Daucus carota</i> L.	54
2.5.2 Biosynthesewege der Terpene	55
2.5.2.1 Der Acetat-/Mevalonat-Weg (MVA-Weg).....	61
2.5.2.2 Der DOXP/MEP-Weg.....	62
2.5.3 Mono- und Sesquiterpene	64
2.5.3.1 Monoterpene.....	64
2.5.3.2 Sesquiterpene.....	64
2.5.4 Terpenmuster in Karotten.....	65
2.5.5 Methoden der Bestimmung der Terpene in Karotten	70
2.5.6 Aufarbeitungs-, Extraktions- und Analysemethoden im ÖPV-Q	71

2.5.7 Nachweismethode der flüchtigen Inhaltsstoffe nach LFGB.....	71
3 Material und Methoden.....	72
3.1 Probenmaterial - Anbau, Kultivierung und Ernte	72
3.1.1 Karottenmaterial für die Assoziationsstudie	72
3.1.2 Assoziationsversuche I und II	73
3.1.3 Karottenmaterial für die zweiertigen, zweijährigen Feldversuche (Krakow- Quedlinburg)	73
3.1.4 Karottenmaterial für die Ontogenesestudie.....	75
3.1.4.1 Ontogeneseversuch I (Kulturmöhren)	77
3.1.4.2 Ontogeneseversuch II (Wildmöhren).....	78
3.2 Chemikalien, Referenzsubstanzen und Verbrauchsmaterialien.....	80
3.2.1 Chemikalien	80
3.2.2 Referenzsubstanzen und HPLC-Säulen	80
3.2.2.1 Carotinoide	80
3.2.2.2 Polyacetylene.....	82
3.2.2.3 Zucker.....	84
3.2.2.4 Flüchtige Inhaltsstoffe	86
3.2.3 Verbrauchsmaterialien.....	86
3.3 Geräte.....	86
3.4 Methoden.....	87
3.4.1 Probenvorbereitung der Karottenproben im Labor	87
3.4.2 Trockenmassebestimmung.....	88

3.4.3 Probenaufarbeitung der Möhren mittels beschleunigter Lösungsmittelextraktion (ASE)	89
3.4.4 Beschleunigte Probenaufarbeitung mittels Rotations-Vakuum-Konzentrator	98
3.4.5 Probenaufarbeitung für die Analytik von Zuckern	100
3.4.6 Probenaufarbeitung für die Analytik von flüchtigen Inhaltsstoffen	100
3.4.7 Identifizierung und Quantifizierung von Carotinoiden in Karotten mittels HPLC-DAD	100
3.4.8 Identifizierung und Quantifizierung der Polyacetylene mittels HPLC-MS	102
3.4.9 Identifizierung und Quantifizierung von Zuckern mittels HPLC-RI	105
3.4.10 Analytik der flüchtigen Inhaltsstoffe mittels HS-SPME-GC innerhalb des JKI-ÖPV	106
3.4.11 Methoden der statistischen Verrechnung	107
4 Ergebnisse	108
4.1 Ergebnisse der Methodenentwicklung	108
4.1.1 Ergebnisse des Gefrierlagerungsversuchs	108
4.1.2 Ermittlung der tatsächlichen Extraktionsausbeute der ASE bei Carotinoiden und Polyacetylenen	109
4.2 Ergebnisse des ersten Assoziationsversuchs mit 100 Kulturmöhrengenotypen	112
4.2.1 Verteilung der Carotinoide in 100 Kulturmöhrengenotypen	113
4.2.2 Verteilung der Polyacetylene in 100 Genotypen Kulturmöhren	118
4.2.3 Verrechnung der Carotinoid- und Polyacetylengehalte innerhalb des ersten Assoziationsversuchs	122
4.2.4 Korrelation zwischen flüchtigen Inhaltsstoffen in Karottenblättern und nicht-flüchtigen Inhaltsstoffen in den Karottenwurzeln bei 100 Kulturmöhrengenotypen	124

4.2.5 Verteilung der Zucker in 99 Kulturmöhrengenotypen	124
4.2.6 Überprüfung der Analysenergebnisse durch die Ergebnisse der statistischen Verrechnung	127
4.2.7 Ranking der höchsten Carotinoid-, Polyacetylen- und Zuckerkonzentrationen in den Kulturmöhren	128
4.3 Ergebnisse des zweiten Assoziationsversuchs	129
4.3.1 Verteilung der Carotinoide in 104 Wildmöhrengenotypen	130
4.3.2 Polyacetylenverteilung in 104 Wildmöhrengenotypen	134
4.3.3 Verrechnung der Carotinoiddaten mit Polyacetylendaten	139
4.3.4 Validierung der Analyseergebnisse anhand von statistischen Methoden	141
4.3.5 Verteilung der Polyacetylenkonzentrationen in Wild- und Kulturmöhren	141
4.4 Ergebnisse der zweijährigen, zweiortigen Feldversuche Krakow-Quedlinburg	145
4.4.1 Carotinoidkonzentrationen in den Jahren 2008 und 2009 an den Standorten Krakow und Quedlinburg	145
4.4.2 Polyacetylenkonzentrationen in den Jahren 2008 und 2009 an den Standorten Krakow und Quedlinburg	147
4.4.3 Zuckerkonzentrationen in den Jahren 2008 und 2009 an den Standorten Krakow und Quedlinburg	149
4.4.4 Bestimmung der Einflussfaktoren Standort und Jahr auf die nicht-flüchtigen Inhaltsstoffe in der Karotte	150
4.5 Ontogeneseversuche I und II	151
4.5.1 Ontogenese von Kulturmöhren am Beispiel der Sorten 'Nevis' und 'Rotin'	151
4.5.1.1 Bildungszeitpunkte von Carotinoiden in den Sorten 'Nevis' und 'Rotin' während des Wachstumsprozesses	152

4.5.1.2 Bildungszeitpunkte von Polyacetylenen in den Sorten 'Nevis' und 'Rotin' während des Wachstumsprozesses	154
4.5.1.3 Bildungszeitpunkte von Zuckern in den Sorten 'Nevis' und 'Rotin' während des Wachstumsprozesses	156
4.5.1.4 Bildungszeitpunkte von Carotinoiden, Polyacetylenen und Zuckern in Karottenwurzel und Blatt bei 'Nevis' und 'Rotin'	157
4.5.2 Ontogenese von Wildmöhren am Beispiel der Genotypen DAL 377/00-10 und GRCGGB 11057	158
4.5.2.1 Bildungszeitpunkte von Carotinoiden in den Genotypen DAL 377/00-10 und GRCGGB 11057 während des Wachstumsprozesses	159
4.5.2.2 Bildungszeitpunkte von Polyacetylenen in den Genotypen DAL 377/00-10 und GRCGGB 11057 während des Wachstumsprozesses	161
5 Diskussion	163
5.1 Methodenentwicklung	163
5.1.1 Aufkonzentration der Proben durch den Rotations-Vakuum-Konzentrator	167
5.1.2 HPLC-Methoden zum Nachweis von Carotinoiden und Polyacetylenen	168
5.1.3 Validierung der entwickelten ASE-Methode	168
5.1.4 Tiefkühlagerung	169
5.1.5 Restfeuchtegehalt des gefriergetrockneten Karottenpulvers	170
5.2 Erster und zweiter Assoziationsversuch	171
5.2.1 Erster Assoziationsversuch	171
5.2.1.1 Verteilungsmuster der Carotinoidkonzentrationen in 100 Kulturzmöhrengenotypen	171
5.2.1.2 Verteilungsmuster der Polyacetylenkonzentrationen in 100 Genotypen Kulturzmöhren	173

5.2.1.3 Verrechnung der Carotinoid- und Polyacetyleneergebnisse in 100 Kulturmöhrengenotypen	176
5.2.1.4 Verteilungsmuster der flüchtigen Inhaltsstoffe in 100 Kulturmöhrengenotypen	176
5.2.1.5 Verteilungsmuster der Zucker in 99 Genotypen Kulturmöhren	177
5.2.1.6 Validierung der erhobenen Ergebnisse mittels statistischer Methoden	177
5.2.1.7 Ausblick	178
5.2.2 Zweiter Assoziationsversuch	179
5.2.2.1 Verteilungsmuster der Carotinoidkonzentrationen in 104 Wildmöhrengenotypen	179
5.2.2.2 Verteilungsmuster der Polyacetylenkonzentrationen in 104 Wildmöhrengenotypen	180
5.2.2.3 Verrechnung der Konzentrationen von Carotinoiden und Polyacetylenen in 104 Genotypen Wildmöhren	181
5.2.2.4 Validierung der erhobenen Ergebnisse	182
5.2.2.5 Ausblick	182
5.3 Feldstudien 2008 und 2009	183
5.3.1 Carotinoidgehalte in den Feldstudien 2008/2009	183
5.3.2 Polyacetylengehalte in den Feldstudien 2008/2009	184
5.3.3 Zuckergehalte in den Feldstudien 2008/2009	186
5.3.4 Einfluss des Standortes auf die nicht-flüchtigen Inhaltsstoffe in Karotten	186
5.3.5 Einfluss der Standorte Krakow/Quedlinburg auf die Konzentration nicht-flüchtiger Inhaltsstoffe	187
5.4 Ontogeneseversuche	187

5.4.1 Zeitpunkte der Carotinoidsynthese in den Sorten 'Nevis' und 'Rotin'	188
5.4.2 Syntheszeitpunkte der Polyacetylene in den Sorten 'Nevis' und 'Rotin'	190
5.4.3 Zuckersyntheszeitpunkte in den Sorten 'Nevis' und 'Rotin'	192
5.4.4 Korrelation zwischen Inhaltsstoffen in Blatt und Wurzel in den Sorten 'Nevis' und 'Rotin'	194
5.4.5 Syntheszeitpunkte der Carotinoide in den Genotypen DAL 377/00-10 und GRCGGB 11057	195
5.4.6 Syntheszeitpunkte der Polyacetylene in den Genotypen DAL 377/00-10 und GRCGGB 11057	196
6 Literaturverzeichnis	198
7 Anhang	215