

Universität Kassel

Fachbereich Ökologische Agrarwissenschaften

Diplomarbeit

„Einfluss exogener und endogener Faktoren auf den Gehalt
sekundärer Pflanzenstoffe (Carotinoide und Polyphenole) von Möhre
(*Daucus carota* L.) und Weizen (*Triticum aestivum* L.)“

im Fachgebiet Ökologische Lebensmittelqualität und Ernährungskultur

1. Prüfer: Dr. J. Kahl
2. Prüfer: Prof. Dr. A. Ploeger
Betreuer: Dipl. Ing. agr. Marco Roose

Vorgelegt von: Kirsten Körner
Email: kirsten_koerner@web.de
Matrikelnummer: 25102297

Wolfsburg, den 07.01.2007

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei den Personen bedanken, ohne deren Unterstützung das Gelingen dieser Diplomarbeit nicht möglich gewesen wäre.

Frau Prof. Dr. A. Ploeger und Herrn Dr. J. Kahl dafür, dass sie mir das Erstellen dieser Diplomarbeit im Fachgebiet Ökologische Lebensmittelqualität und Ernährungskultur ermöglichten.

Herrn Dipl. Ing. agr. Marco Roose danke ich für die aufmerksame und umfassende Betreuung und Begleitung meiner Diplomarbeit.

Besonderer Dank gilt meinen Eltern, die mich bis zum Abschluss meines Studiums in jeder Hinsicht unterstützten und meinem Bruder für die technischen Hilfestellungen.

Des Weiteren danke ich meinen Freunden für die stets aufmunternden Worte und für das Verständnis, dass ich ihnen in den letzten Monaten nicht immer die volle Aufmerksamkeit schenken konnte.

„Der Weise aber entscheidet sich bei der Wahl der Speisen nicht für die größere Masse, sondern für den Wohlgeschmack“ (Epikur)

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Abgrenzung von primärem und sekundärem Stoffwechsel.....	4
3	Die Stoffgruppe der Carotinoide	7
3.1	Die biochemische Entstehung der Carotinoide	7
3.2	Die Funktionen der Carotinoide in der Pflanze	10
3.2.1	Carotinoide und ihre Bedeutung als Bestandteil des Chlorophylls.....	10
3.2.2	Carotinoide und ihre Schutzfunktion bei Lichtüberangebot	11
3.2.3	Die Bedeutung des Hormons Abscisinsäure	11
3.2.4	Funktionen der Carotinoide in nichtgrünen Pflanzenteilen.....	11
3.3	Die Bedeutung der Carotinoide für die menschliche Gesundheit	12
4	Die Stoffgruppe der Phenole	15
4.1	Die biochemische Entstehung der Phenole	16
4.2	Die Phenolcarbonsäuren	19
4.3	Die Polyphenole	19
4.3.1	Die Funktion der Polyphenole in der Pflanze	19
4.3.2	Die Bedeutung der Polyphenole für die menschliche Gesundheit.....	20
5	Der Einfluss exogener Faktoren auf die pflanzliche Entwicklung.....	22
5.1	Der Faktor Wasser.....	22
5.2	Die essentiellen Mikroelemente	23
5.3	Die Makroelemente	24
5.4	Der Faktor Licht	25
5.5	Das Kohlendioxid.....	27
5.6	Die Temperatur.....	27
5.7	Krankheitserreger und Schädlinge	28
6	Die genetische und epigenetische Konstitution von Pflanzen als endogener Faktor	29
7	Fokusprodukt 1: Möhre (<i>Daucus carota</i> L.)	31

7.1	Die Herkunft, Botanik und Anbauggebiete	31
7.1.1	Herkunft und Botanik.....	31
7.1.2	Die Anbauggebiete	32
7.2	Die Verwendungsmöglichkeiten der Kulturpflanze Möhre	33
7.3	Die Bedürfnisse der Möhre an den Boden	33
7.4	Die Ansprüche an das Klima.....	33
7.5	Möhrenanbau	34
7.5.1	Bedeutung, Ertragsbildung und ertragssichernde Maßnahmen.....	34
7.5.2	Einbindung in die Fruchtfolge.....	34
7.5.2	Zur Züchtung und Sortenwahl.....	35
7.6	Die Inhaltsstoffe und Qualitätsbildung.....	37
7.7	Der Gehalt an sekundären Pflanzenstoffen als Teilaspekt der Möhrenqualität: Einfluss exogener und endogener Faktoren	38
7.7.1	Carotinoide	38
7.7.2	Polyphenole	63
8	Fokusprodukt 2: Weizen (<i>Triticum aestivum L.</i>).....	66
8.1	Die Herkunft und Anbauggebiete.....	66
8.1.1	Herkunft	66
8.1.2	Anbauggebiete.....	66
8.2	Morphologie und Botanik.....	66
8.3	Die Verwendungsmöglichkeiten der Kulturpflanze Weizen.....	67
8.4	Die Bedürfnisse des Weizens an den Boden	68
8.5	Die Ansprüche an das Klima.....	68
8.6	Weizenanbau	68
8.6.1	Ertragspotential und ertragssichernde Maßnahmen im konventionellen und ökologischen Weizenanbau.....	68
8.6.2	Einbindung in die Fruchtfolge.....	69

8.7	Zur Züchtung und Sortenwahl.....	70
8.7.1	Die Zuchtziele	71
8.7.2	Die Sortenwahl	71
8.7.3	Zur Erzeugung von Weizensaatgut	72
8.8	Die Inhaltsstoffe und die Qualitätsbildung.....	72
8.9	Der Gehalt an sekundären Pflanzenstoffen als Komponente der Weizenqualität: Untersuchungen zu Carotinoiden und Phenolen in Weizensorten	74
9	Zusammenfassende Diskussion.....	79
10	Literaturverzeichnis	85

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Ableitung der sekundären Pflanzenstoffe aus dem Primärstoffwechsel (Quelle: SCHOPFER und BRENNICKE 2006).....	6
Abbildung 2	Die Biosynthese der Carotinoide anhand des plastidären Methylerythriolphosphatweg (vereinfachte Darstellung; Quelle: SCHOPFER und BRENNICKE 2006).....	9
Abbildung 3	Die bedeutendsten Grundkörper der Phenole und die charakteristischen Verbindungsgruppen (Quelle: RICHTER 1988).....	15
Abbildung 4	Die Biosynthese von Zimtsäure und p-Cumarsäure anhand des Shikimat-Wegs (1. Teil; Quelle: RICHTER 1988).....	16
Abbildung 5	Die Biosynthese von Zimtsäure und p-Cumarsäure anhand des Shikimat-Wegs (2. Teil; Quelle: RICHTER 1988).....	17
Abbildung 6	Die morphologische Entwicklung der Möhre (Quelle: KELLER <i>et al.</i> 1999).	32

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Schema der Terpenoidfamilie, die über die stufenweise Verknüpfung von C ₅ -Einheiten entsteht (Quelle: SCHOPFER und BRENNICKE 2006).....	8
Tabelle 2	Zusammenfassender Überblick über die wichtigsten Unterschiede im konventionellen und ökologischen Möhrenanbau:.....	37
Tabelle 3	Inhaltsstoffgehalte von Möhren bezogen auf 100 g Rohware (Quelle: KELLER <i>et al.</i> 1999).....	37
Tabelle 4	Zusammenfassende Übersicht: Auswirkung des exogenen Faktors Düngung auf den Carotinoidgehalt.	54
Tabelle 5	Zusammenfassende Übersicht: Auswirkung der Herbizidbehandlungen auf den Carotinoidgehalt.	58
Tabelle 6	Die verschiedenen Wachstumsstadien für Getreide (sog EC-Skala; Quelle: REINER 1992).	67
Tabelle 7	Tabellarischer Überblick über die wichtigsten Unterschiede im konventionellen und ökologischen Weizenanbau.	70

Zusammenfassung

Die vielfältigen Funktionen der sekundären Pflanzenstoffe sowohl im Organismus der Pflanze, als auch im Körper des Menschen bieten der Wissenschaft ein weites Betätigungsfeld. Die Carotinoide findet man in fast allen Plastiden der Pflanze und sie erfüllen dort Aufgaben in Form von Pigmenten, Antioxidantien, Hormonen und zählen außerdem zu den wichtigsten Bestandteilen des Photosyntheseapparates. Im menschlichen Organismus hingegen wirken sie als Provitamin A und in den Endverästelungen der Blutgefäße bei niedrigem Sauerstoffpartialdruck. Des Weiteren besitzen sie die Fähigkeiten freie Radikale unschädlich zu machen und wirken *in vitro* als Fänger von energiereichem Singulett-Sauerstoff. Die Polyphenole, die man zu der Stoffgruppe der Phenole zählt, befinden sich in den Randschichten von Obst, Gemüse, Getreide und anderen Samen. Ihnen obliegt die Aufgabe die darunter befindlichen Gewebe vor antioxidativem Verderb zu schützen. Im Körper des Menschen dagegen besitzen sie eine gerinnungshemmende Wirkung, schützen die Zellen vor Oxidation und üben Fähigkeiten aus, die Krebs vorbeugen können.

Im Zuge dieser Literaturarbeit werden endogene und exogene Faktoren beschrieben, die auf Pflanzen allgemein und auf die Fokusprodukte Möhre (*Daucus carota* L.) und Weizen (*Triticum aestivum* L.) speziell einwirken. Die pflanzenphysiologische Herkunft und Bedeutung der sekundären Pflanzenstoffgruppen Carotinoide und Polyphenole wird dargestellt. Schließlich wird die vorhandene Literatur ausgewertet, die sich mit der Beeinflussung des Gehaltes der genannten sekundären Pflanzenstoffe in den gewählten Fokusprodukten durch exogene und endogene Faktoren beschäftigt.

Die Beeinflussung des Polyphenolgehaltes in Möhre und des Carotinoid- und Polyphenolgehaltes in Weizen ist nur wenig untersucht. Dagegen ist die Beeinflussung des Carotinoidgehaltes in Möhren durch exogene und endogene Faktoren gut beschrieben.

Der Faktor „Sorte“ spielt aufgrund der vorhandenen genetischen Anlagen (carotinoidreich / carotinoidarm) eine wesentliche Rolle bei der späteren Ausbildung des Carotinoidgehaltes in der Möhre. Die Reife der Möhre, die u.a. das Ergebnis des Einwirkens exogener Faktoren, wie Temperatur, Wuchsraum, verfügbare Wassermenge im Boden sowie der Niederschläge ist, beeinflusst maßgeblich den späteren Gehalt an Carotinoiden. Des Weiteren üben noch anbautechnische Maßnahmen (z.B. Düngung, Herbizidbehandlungen, Produktionstechnik) einen Einfluss auf den Carotinoidgehalt der Möhre aus. Der Phenolgehalt in Möhren wurde bisher ausschließlich auf Sortenebene verglichen. In einer Studie von Zhang & Hamazu (2004) fand man heraus, dass der Phenol-Gehalt in den verschiedenen Geweben der Möhre

von der Schale in Richtung Phloem und Xylem anstieg, während sich die antioxidantischen und *radical scavening*¹ Aktivitäten auf gleiche Weise, wie der Phenol-Gehalt erhöhten und wiederum mit dem totalen Phenol-Gehalt korrelierten. Die phenolischen Extrakte verfügten über stärkere *radical scavening* Fähigkeiten, als die zum Vergleich herangezogenen Reinsubstanzen Chlorogensäure, Vitamin C und β -Carotin. Insgesamt wurde aufgrund dieser Studie vermutet, dass sich der höchste Gehalt an Phenolen in der Schale der Möhre befindet.

Das geringe Vorliegen von Studien bezüglich des Carotinoid- und Phenolgehaltes in Weizen kann man darauf zurückführen, dass die sekundären Pflanzenstoffe im Vergleich zum Proteingehalt keine wesentliche Rolle als Qualitätsmerkmal beim Fokusprodukt Weizen spielen. Der Gehalt an Phenolen und Carotinoiden wurde bisher ausschließlich auf Sortenebene untersucht. Die Untersuchungen ergaben, dass der Gehalt an sekundären Pflanzenstoffen (Phenole, Tocopherole, Carotinoide) stark durch die Sorte beeinflusst wird.

¹ Die Fähigkeit freie Radikale unschädlich zu machen

1 Einleitung

Der Ausdruck „Sekundäre Pflanzenstoffe“ fand zum ersten Mal vor ca. 100 Jahren durch den Pflanzenphysiologen und Nobelpreisträger Albrecht Kossel Verwendung (WATZL und LEITZMANN 1999). Die sekundären Pflanzenstoffe sind teilweise End- oder „Abfall“-Produkte des Stoffwechsels von Aminosäuren, Kohlenhydraten und Fetten oder aber Speicherstoffe, die erneut mobilisiert werden können (RICHTER 1988).

Die sekundären Pflanzenstoffe werden im Gegensatz zu primären Pflanzenstoffen nur in geringfügigen Mengen erzeugt. Sie bestehen aus unterschiedlichen chemischen Verbindungen und werden im so genannten sekundären Stoffwechsel gebildet. Die primären Pflanzenstoffe (z.B. Kohlenhydrate, Proteine und Fette) hingegen sind in der Pflanze am Energiestoffwechsel und am Aufbau der Zellen beteiligt. In Bezug auf den menschlichen Organismus besitzen die primären Pflanzenstoffe hauptsächlich eine Nährstofffunktion (WATZL und LEITZMANN 1999). In der Pflanze wirken sekundäre Pflanzenstoffe in Form von Farb- und Aromastoffen, Wachstumsregulatoren, natürlichen Schutzstoffen gegen Schädlinge oder aber als Fraßgifte. Die Pflanze verwendet somit diese Stoffe, um sich gegen natürliche Feinde, wie Insekten, Bakterien und Pilze zu schützen, aber auch um Nützlinge anzulocken (DITTRICH und LEITZMANN 1996).

In der Ernährungswissenschaft waren die sekundären Pflanzenstoffe ebenfalls schon länger bekannt, jedoch bezeichnete man sie hier als „Anti-Nährstoffe“ und hielt sie lange Zeit für ungesund. Man schloss dies daraus, weil einzelne Vertreter der sekundären Pflanzenstoffe für den Menschen eine toxische Wirkung haben (z.B. Phasin in rohen Gartenbohnen [*Phaseolus vulgaris* L.]). Diese Meinung wurde jedoch später revidiert und man erkannte, dass der überwiegende Teil dieser Stoffgruppe positive Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit hat. Hinzu kam noch, dass zuvor problematisch eingestufte Stoffe wie z.B. die Phytinsäure, die man in Getreide und Hülsenfrüchten vorfindet, andererseits auch positive Effekte in Bezug auf die Krebsabwehr aufweist (DITTRICH und LEITZMANN 1996).

Die Forschung auf dem Gebiet der biologisch aktiven Substanzen, zu denen neben den sekundären Pflanzenstoffen auch Ballaststoffe und Substanzen in milchsauer vergorenen Lebensmitteln gehören, befindet sich jedoch erst in den Anfängen. Das Potenzial umfasst mehr als 20.000 unterschiedliche Verbindungen alleine in Obst- und Gemüsearten und die Forschung wird zusätzlich durch die chemisch unterschiedlichen Strukturen dieser Stoffe erschwert. Doch die positiven Wirkungen, wie z.B. die Verhinderung schädlicher Oxidationen

oder die Abwehr der Krebszellen im menschlichen Organismus bietet der Forschung ein enorm wichtiges Betätigungsfeld (DITTRICH und LEITZMANN 1996).

Die Forschung auf gesundheitlicher Ebene bezüglich der sekundären Pflanzenstoffe steht jedoch auch gleichzeitig in Verbindung mit der Erforschung der Produkte, die sekundäre Pflanzenstoffe enthalten. Genauer formuliert, ist hiermit die Forschung im Bereich der Agrarwirtschaft gemeint und speziell auf den Gebieten des Pflanzenbaus und der Pflanzenproduktion, der Pflanzenphysiologie sowie der Lebensmittelqualität.

In den letzten Jahren nahmen die Diskussionen zwischen den Verbrauchern und den Erzeugern landwirtschaftlicher Produkte verstärkt zu. Im Vordergrund dieser Diskussionen standen hauptsächlich die ökologische und die konventionelle Produktionsrichtung. Dadurch entstanden unter anderem folgende Fragen:

1. Unterscheiden sich ökologisch erzeugte Pflanzenprodukte hinsichtlich ihres Gehalts an sekundären Pflanzenstoffen von Produkten, die auf konventionellem Weg erzeugt wurden?
2. Unterscheiden sich pflanzliche Produkte hinsichtlich ihres gesundheitlichen Wertes² nach dem Anbausystem aus dem sie stammen?

Durch diese Fragen ergibt sich die Überlegung, ob die exogenen³ Faktoren (z.B. Düngung, Pflanzenschutz, etc.) oder die endogenen⁴ Faktoren (z.B. Sorte) einen Einfluss auf den Gehalt an sekundären Pflanzenstoffen in landwirtschaftlich erzeugten Produkten haben. Diese Literaturarbeit soll dazu beitragen, die Bedeutung der exogenen und endogenen Faktoren sowie ihren Einfluss auf den Gehalt an sekundären Pflanzenstoffen zu klären und im Zuge dessen soll in die Diskussion, um die bereits genannten Fragen ein bisschen Licht gebracht werden.

² gemeint ist hiermit eine Quantifizierung der positiven bzw. negativen gesundheitlichen Wirkung eines Lebensmittels, wie diese aufgrund klinischer Studien evaluiert werden kann.

³ der Begriff „exogen“ steht für von außen her in den Organismus eindringende oder eingebrachte Stoffe (AHLHEIM 1970)

⁴ der Begriff „endogen“ hingegen steht für im Organismus selbst entstehende bzw. auslösende Stoffe (AHLHEIM 1970)

Zur Klärung der zuvor genannten Überlegungen werden in dieser Literaturarbeit die Produkte Möhre (*Daucus carota* L.) und Weizen (*Triticum aestivum* L.) herangezogen, da ihnen im ökologischen Landbau sowie bezüglich der Carotinoide (Möhre) eine große Bedeutung zukommt. Die Polyphenole hingegen nehmen durch den Besitz ihrer möglichen antikanzerogenen Wirkung (BRANDT und MOLGAARD 2001) einen hohen Stellenwert bei der Erforschung der sekundären Pflanzenstoffe ein.

2 Abgrenzung von primärem und sekundärem Stoffwechsel

In diesem Abschnitt werden die Funktionen und Bedeutungen des primären und des sekundären Stoffwechsels für die Pflanze näher erläutert, um die Beziehung zwischen diesen zwei Ebenen des Stoffwechsels und der Synthese der sekundären Pflanzenstoffe zu verdeutlichen.

„Nicht nur die wachsende Pflanze muss beständig eine Vielzahl organischer Verbindungen neu aufbauen. Da viele Moleküle, z.B. die RNA und die Enzymproteine, einem mehr oder minder raschen Umsatz unterworfen sind, muss die Pflanze auch dann einen aktiven, synthetischen Stoffwechsel durchführen, wenn keine Nettozunahme der Körpersubstanz erfolgt“ (SCHOPFER und BRENNICKE 2006). Die aufbauenden (anabolischen) Stoffwechselprozesse verlaufen im Gegensatz zu den abbauenden (katabolischen) Reaktionsbahnen unter Verbrauch meist großer Mengen an photosynthetisch bereitgestellter oder dissimilatorisch freier Enthalpie. Die hierbei verwendeten Energieüberträger sind in den meisten Fällen Phosphatanhydride z.B. ATP und so genannte Reduktionsäquivalente z.B. NADPH (SCHOPFER und BRENNICKE 2006).

Für die biogenetischen Stoffwechselprozesse hingegen stehen einfache Metaboliten aus der Glycolyse, dem Citrat- und dem Pentosecyclus als Bausteine zur Verfügung, hauptsächlich in Form von Carbonsäuren (z.B. Acetat oder Pyruvat sowie abgeleitete Aminosäuren) oder aber als verschiedene Zucker (z.B. Triosen, Pentosen). Der Sektor, in dem katabolische und anabolische Reaktionsbahnen zusammenlaufen, bezeichnet man als Intermediärstoffwechsel. Am anabolischen Stoffwechsel der grünen Blätter sind hauptsächlich die Chloroplasten beteiligt, denn sie verfügen über eine hohe Synthesekapazität durch Vorkommen von Aminosäuren, Proteinen, Fettsäuren und Lipiden. Die Synthesen werden zum großen Teil über die freie Enthalpie durch die Photosynthese versorgt. Die Produktion der essentiellen Bestandteile des zellulären Stoffwechsels für die Pflanze nennt man auch Primärstoffwechsel (SCHOPFER und BRENNICKE 2006).

Neben dem Primärstoffwechsel existiert noch der Sekundärstoffwechsel, indem die Pflanze eine große Anzahl von verschiedenen Syntheseprodukten erzeugt, die zwar nicht für jede einzelne Zelle von Bedeutung sind, hingegen jedoch für den gesamten Organismus. Diese Syntheseprodukte sind z.B. Farbstoffe, Duftstoffe und Alkaloide, die auch als „Naturstoffe“ bezeichnet werden. Diese „Naturstoffe“ werden auch als sekundäre Pflanzenstoffe betitelt und werden nur in ganz bestimmten Geweben und in ganz bestimmten Entwicklungsstadien in der Pflanze gebildet. Das Chlorophyll gehört zum Beispiel zu den sekundären Pflanzenstoffen, da

es ausschließlich in den photosynthetisch aktiven Zellen der Pflanze vorkommt. Das Hämoglobin hingegen, das im „Cytochrom C“ ein unentbehrlicher Bestandteil jeder einzelnen Zelle ist, gehört somit zum Primärstoffwechsel. Die Grenze zwischen Primärstoffwechsel und Sekundärstoffwechsel ist dem zu Folge nicht immer eindeutig zu ziehen. Die Bildung der sekundären Pflanzenstoffe ist somit eine integrale Leistung der differenzierten Pflanze. Das bedeutet, die höheren Pflanzen besitzen je nach Art ein spezifisches Spektrum an sekundären Inhaltsstoffen; der Primärstoffwechsel der verschiedenen Pflanzenarten hingegen ist sich sehr ähnlich (SCHOPFER und BRENNICKE 2006).

Im Unterschied zur Bildung der Komponenten des Primärstoffwechsels ist die Synthese und Akkumulation der sekundären Pflanzenstoffe eine Folge, die im Zuge der Differenzierung eintretender Zellspezialisierung geschieht. Die Kapazität einer Pflanze in Bezug auf sekundäre Pflanzenstoffe folgt somit einem distinkten, räumlichen und zeitlichem Muster und unterliegt häufig der Kontrolle durch Umweltfaktoren (z.B. Licht; SCHOPFER und BRENNICKE 2006).

Viele sekundäre Pflanzenstoffe gehen mit einer praktischen Bedeutung für den Menschen einher, da sie bestimmte pharmakologische Verbindungen besitzen. Diese pharmakologischen Verbindungen (z.B. Antibiotika) werden von unterschiedlichen Pilzen und Bakterien gebildet. Hauptsächlich Alkaloide, die bei zu hohen Dosen auf den tierischen Organismus toxisch wirken können, spielen in dieser Beziehung eine wesentliche Rolle. Zum Zusammenhang bezüglich des Primär- und des Sekundärstoffwechsels ist zu sagen, dass die sekundären Pflanzenstoffe an ganz verschiedenen Stellen vom Primärstoffwechsel abzweigen (SCHOPFER und BRENNICKE 2006; vgl. Abbildung 1) und damit auch sehr unterschiedlich mit dem Primärstoffwechselwechsel wirken.

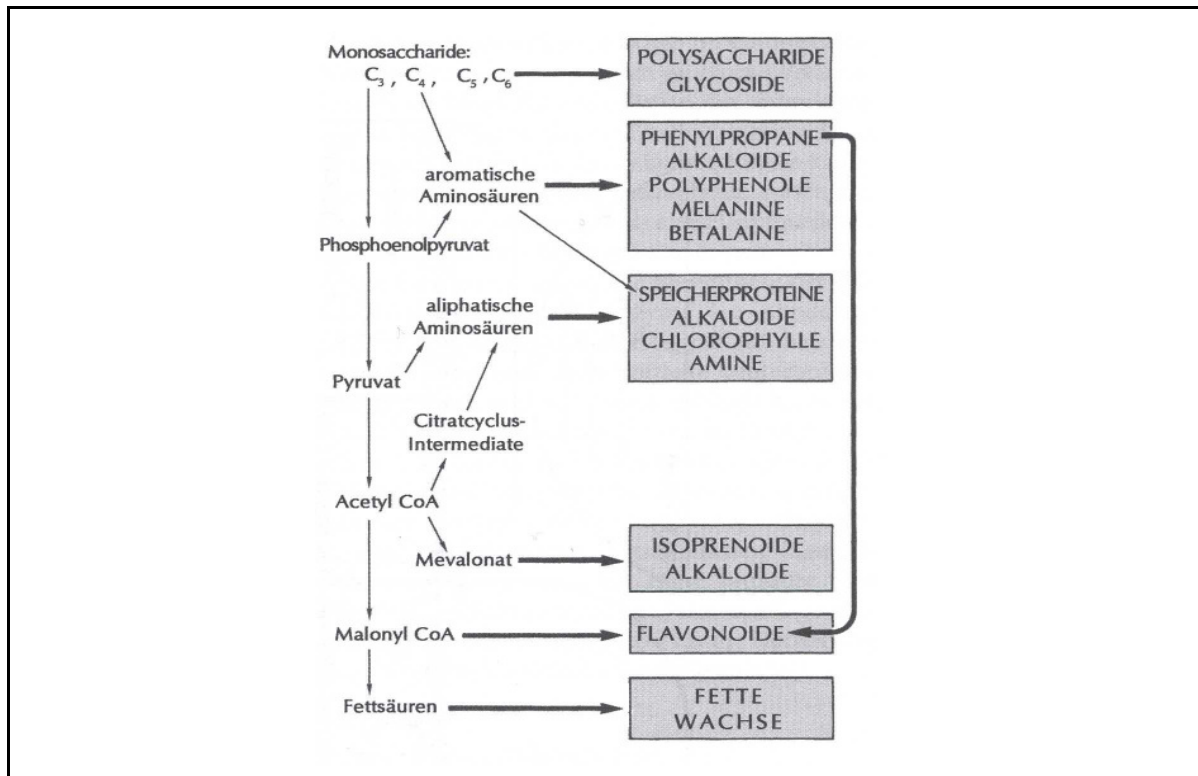


Abbildung 1 Ableitung der sekundären Pflanzenstoffe aus dem Primärstoffwechsel (Quelle: SCHOPFER und BRENNICKE 2006).

3 Die Stoffgruppe der Carotinoide

Die Carotinoide fungieren in den Pflanzen als Pigmente, Antioxidantien, Hormone und zählen zu den wichtigsten Bestandteilen des Photosyntheseapparates. Sie sind in fast allen Plastiden der Pflanze lokalisiert sowie in verschiedenen Pflanzenorganen und Geweben. Einige der Carotinoide dienen als Vorstufe für die spätere Bildung des wertvollen Vitamin A (HOWITT und POGSON 2006)

Sie bestehen aus einem System, von konjugierten Doppelbindungen, an dem ausschließlich Kohlenstoffatome beteiligt sind. Des Weiteren ist der Aufbau dieses Systems dafür verantwortlich, dass Carotinoide in Wasser unlöslich und in Fetten und fettlöslichen Mitteln gut löslich sind. Man teilt sie in die **Carotine**, mehrfach ungesättigte Kohlenwasserstoffe, und in die **Xanthophylle**, sauerstoffhaltige Derivate ein (RICHTER 1988).

Im Blatt wird die Farbe der Carotinoide oft von Chlorophyll verdeckt, dagegen tritt sie in den nichtgrünen Pflanzenteilen fast immer deutlich hervor (z.B. in der Wurzel der Karotte). Auch in den Blütenblättern mit gelb-oranger Färbung oder aber die Färbung des Herbstlaubes lässt sich auf einen hohen Gehalt an Carotinoiden in den jeweiligen Plastiden zurückführen (SCHOPFER und BRENNICKE 2006).

Die Carotinoide, die sich an der Photosynthese beteiligen, bezeichnet man als „Primär-carotinoide“. Denen stehen die „Sekundär-carotinoide“ gegenüber, welche in abwechslungsreicher Form hauptsächlich in Blüten und Früchten als Bestandteile von Plastiden, aber auch in heterotrophen Organismen wie Bakterien, Hefen und Pilzen vorliegen. Des Weiteren entstehen Sekundär-carotinoide auch in photosynthetisch aktiven Organismen im Zuge ungenügender Mineralsalz-Ernährung (RICHTER 1988).

3.1 Die biochemische Entstehung der Carotinoide

Das Grundgerüst der Carotinoide, das sich aus 40 Kohlenstoff-Atomen zusammensetzt, entsteht durch das Aneinanderfügen von 8 C₅-Einheiten im Rahmen des Terpenoidstammbaumes. Die Terpene (z.B. Isoprenoide, Prenylipide) setzen sich aus modularen Verknüpfungen von Isoprenbausteinen (C₅H₈) zusammen und bilden eine Großfamilie mit über 20.000 Vertretern (SCHOPFER und BRENNICKE 2006).

Die Biosynthese dieser Stoffklasse hat ihren Ursprung in dem Stoff Isopentenylidiphosphat bzw. dem isomeren Dimethylallyldiphosphat. Man bezeichnet diesen Stoff auch als „aktives Isopren“ und es existieren in der Pflanze zwei verschiedene Synthesewege für diesen Stoff. Der erste Syntheseweg für das Isopren findet im Cytoplasma statt und verläuft nach dem so

genannten klassischen Mevalonatweg, der aus insgesamt 6 Schritten besteht und auch bei der Hefe und in der Säugerleber vorkommt. Im Zuge häufiger Verknüpfungen von C₅-Einheiten entstehen im Cytoplasma Sesquiterpene (C₁₅) und Triterpene (C₃₀) (SCHOPFER und BRENNICKE 2006).

Tabelle 1 Schema der Terpenoidfamilie, die über die stufenweise Verknüpfung von C₅-Einheiten entsteht (Quelle: SCHOPFER und BRENNICKE 2006).

Klasse	Summenformel	Beispiele (einschließlich abgeleiteter Produkte)
Semiterpene	C ₅ H ₈	Isopentenylidiphosphat, „aktives Isopren“ (Isopren, Cytokinine)
Monoterpene	C ₁₀ H ₁₆	Geraniol (Menthol, Kampfer, Pinen, Citronellal)
Sesquiterpene	C ₁₅ H ₂₄	Farnesol (Zingiberen, Ubichinon, Plastochinon, Rishitin)
Diterpene	C ₂₀ H ₃₂	Geranylgeraniol (Phytol, Tocopherol, Gibberellinsäure, Fusiococcin)
Triterpene	C ₃₀ H ₄₈	Squalen (Steroide, Saponine, Brassinolide)
Tetraterpene	C ₄₀ H ₆₄	Phytoen, Carotine, Abscisinsäure
Polyterpene	(C ₅ H ₈) _n	Kautschuk, Guttapercha

Der zweite Syntheseweg für das Isopren existiert im Plastidenkompartiment und er verläuft auf prokaryotische Weise, wodurch das Isoprengerüst aus Pyruvat und Glycerinaldehydphosphat über das Zwischenprodukt Desoxyxylulosephosphat in insgesamt 7 Schritten errichtet werden kann. Dieser Weg wird auch als Methylerythriolphosphatweg bezeichnet und wird in der nächsten Abbildung dargestellt (SCHOPFER und BRENNICKE 2006).

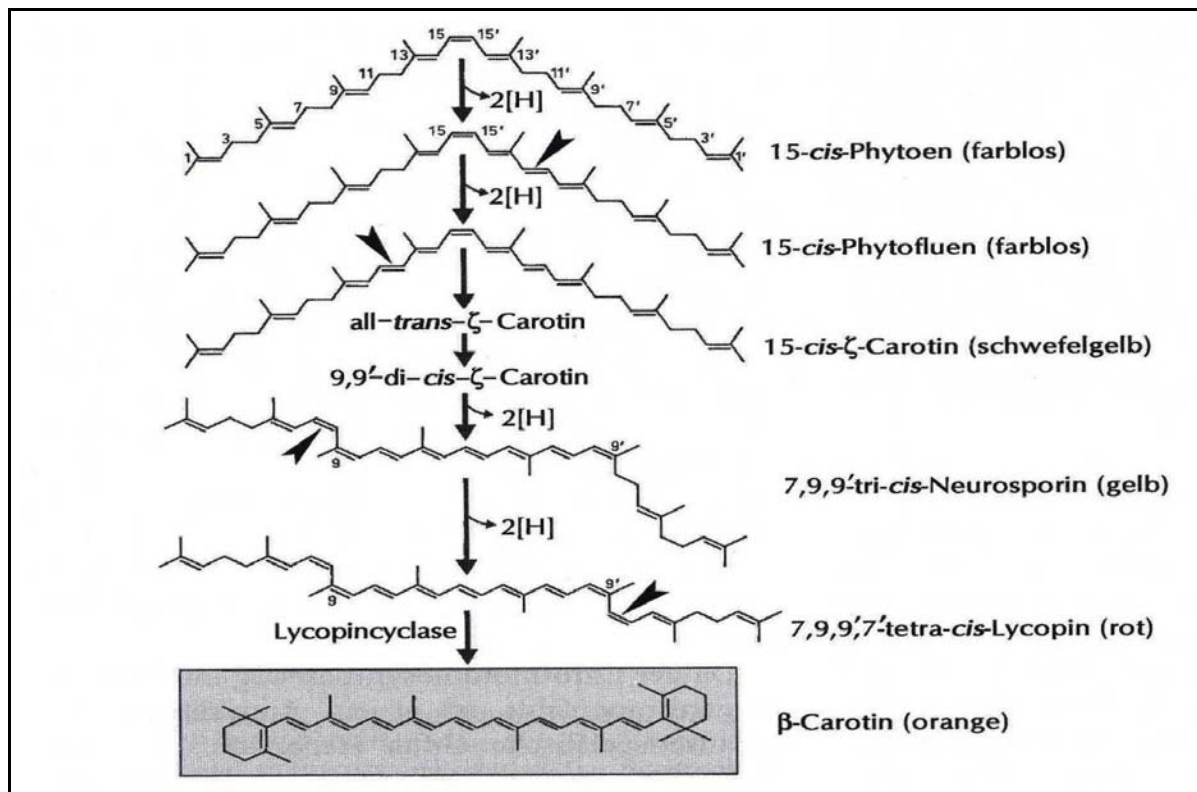
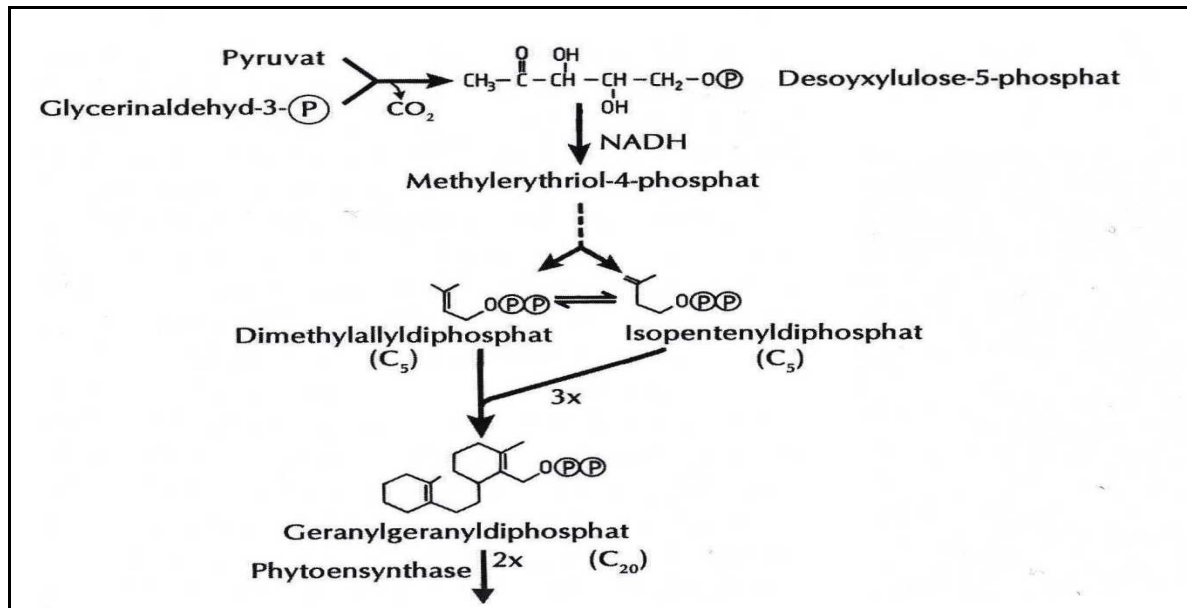


Abbildung 2 Die Biosynthese der Carotinoide anhand des plastidären Methylerythriolphosphatweg (vereinfachte Darstellung; Quelle: SCHOPFER und BRENNICKE 2006).

Der Methylerythriolphosphatweg stellt der Pflanze Mono-, Di- und Tetrapene zur Verfügung. Die vier C₅-Einheiten werden über „Kopf-Schwanz“-Verknüpfung durch Prenyltransferasen zum C₂₀-Molekül Geranylgeranyldiphosphat verbunden, aus dem durch „Kopf-Kopf“-Verknüpfungen die symmetrische C₄₀-Kette des Phytoens gebildet wird. Zur Bildung der Carotinoide sind zusätzlich vier Desaturierungsschritte nötig, in denen das für die Färbung verantwortliche konjugierte Doppelbindungssystem in der Acylkette entsteht. Das infolge

dieser Abläufe entstehende rote Lycopin wird später durch symmetrische Cyclisierung der Kettenenden zum β -Carotin umgewandelt, dieses bildet die Ausgangssubstanz für alle weiteren Carotinoide und Xanthophylle (sauerstoffhaltige Carotinoide). Durch Spaltung der Xanthophyllen kann es zur Entstehung des Hormons Abscisinsäure kommen. Die an der Carotinoidbiosynthese beteiligten Enzyme sind im Zellkern codiert und gelangen posttranslational aus dem Cytoplasma in die Plastiden. Im Zuge der Chloroplastenentwicklung im jungen Blatt läuft neben der Chlorophyllsynthese auch die Carotinoidsynthese ab. Diese beiden Synthesen werden über das Phytochrom reguliert und der Einbau der photosynthetischen Antennenkomplexe untersteht einer strengen Koordination (SCHOPFER und BRENNICKE 2006).

3.2 Die Funktionen der Carotinoide in der Pflanze

3.2.1 Carotinoide und ihre Bedeutung als Bestandteil des Chlorophylls

Das in den Blättern vorkommende Chlorophyll wird nicht in der Plastide akkumuliert, sondern in einem Verband von stöchiometrisch aufgebauten Holokomplexen, die sich aus Chlorophyll, Carotinoiden und Strukturproteinen zusammensetzen. Die Komponenten der Holokomplexe treten in konstanten Verhältnissen auf (z.B. Chlorophyll a / Chlorophyll b bzw. Chlorophyll / Carotinoide). Der Mechanismus der stöchiometrischen Akkumulation der Chlorophylle ist nicht bekannt, hingegen konnte die Regulation der Carotinoidbildung experimentell begründet werden. Somit wurde nachgewiesen, dass die Biosynthese der Carotinoide im Dunkeln nur bis zu einer bestimmten Grenze erfolgen kann, da sie dann durch eine negative *feedback*-Kontrolle gehemmt wird. Die Fähigkeit zur Carotinoidbildung verläuft parallel zur Protochlorophyllid-Synthese unter dem Einfluss des Faktors P_{fr} ⁵ stark erhöht ab. Auf Grund des negativen *feedbacks* kann sich die Phytochromwirkung nur geringfügig manifestieren und infolgedessen muss zusätzliches Chlorophyll gebildet werden, um den Einbau der Carotinoidmoleküle in die Holokomplexe zu ermöglichen und somit die *feedback*-Kontrolle aufzuheben. Diese verknüpfte Regulation ist ökonomisch und sichert gleichzeitig den zuverlässigen Schutz der Holokomplexe gegen Photooxidation in Folge von neu gebildetem Chlorophyll. Die Chlorophyllmoleküle, die nicht mit Carotinoiden in Verbindung stehen, besitzen eine photooxidative Wirkung und dieses Wissen ist schon seit längerem bekannt (SCHOPFER und BRENNICKE 2006).

⁵ P_{fr} (aktives Phytochrom), veranlasst im Kern die Transkription bestimmter Gene, deren Translationsprodukte aus dem Cytoplasma in die Plastide importiert werden

3.2.2 Carotinoide und ihre Schutzfunktion bei Lichtüberangebot

Beim Photosyntheseprozess der Pflanze entstehen reaktive Sauerstoffspezies (*reactive oxygen species*, ROS), wogegen die Chloroplasten jedoch unterschiedliche Desaktivierungsmechanismen besitzen. Einer, der im Zuge der Pigmentanregung in der Thylakoidmembran vorkommender angreifender Lichtschutzmechanismus, bezieht sich auf die in den Antennenkomplexen der beiden Photosysteme befindlichen Carotinoide. Die Carotinoide erfüllen entweder eine Aufgabe als akzessorische Lichtsammelpigmente oder übernehmen überschüssige Anregungsenergie vom Chlorophyll und überführen diese in harmlose Wärme. Diese Überführung in harmlose Wärme erfolgt durch eine schnelle Desaktivierung von Singulett-O₂ und Triplettchlorophyll. Zusätzlich haben Carotinoide die Aufgabe im UV-Blau-Bereich als Schirmpigmente zu wirken und speziell in der carotinoidhaltigen Hüllmembran der Chloroplasten (SCHOPFER und BRENNICKE 2006).

3.2.3 Die Bedeutung des Hormons Abscisinsäure

Die zur Gruppe der Carotinoide gerechnete Abscisinsäure (ABA) ist eine Sesquiterpenverbindung (C₁₅), deren Synthese vom Isopentenylidiphosphat ausgeht. Das ABA-Molekül wird im Gegenteil zu anderen Sesquiterpenen, die direkt durch stufenweise Verknüpfung von drei C₅-Körpern entstehen, durch Spaltung des Tetraterpengerüsts der Carotinoide gebildet. Die Abscisinsäure kann in vielen Teilen der Pflanze entstehen, man findet sie jedoch hauptsächlich in Blättern, Wurzeln und reifenden Früchten. Das Hormon Abscisinsäure ist in der Pflanze verhältnismäßig leicht transportierbar, da es von den Zellen in den Apoplasten ausgeschieden wird und man konnte es im Phloemsaft sowie auch im Xylemsaft nachweisen. Das ABA fungiert hauptsächlich als Stresshormon in der Pflanze und seine Synthese kann durch verschiedene stresserzeugende Umweltfaktoren (z.B. Trockenstress, Salzstress) ausgelöst werden. Des Weiteren sorgt dieses Hormon für die Reduktion des Sprosswachstums bei gesteigertem Wurzelwachstum, zur Hemmung der stomatären Transpiration bei Trockenstress, fördert die Kälte- und Frostresistenz sowie die stressresistenten Ruhezustände in Samen und Knospen (SCHOPFER und BRENNICKE 2006).

3.2.4 Funktionen der Carotinoide in nichtgrünen Pflanzenteilen

In den Blütenblättern und reifenden Früchten von Pflanzen fungieren Carotinoide mit intensiv gelber oder roter Färbung als Signalstoffe für Tiere, die Samen und Pollen verbreiten. Die Tiere können diese optischen Signale über den Photoreceptor Rhodopsin wahrnehmen. Das Chromophor des Rhodopsins, in diesem Fall das Retinal, entsteht durch die Spaltung der

zentralen Doppelbindung des Carotins (SCHOPFER und BRENNICKE 2006). Und auch die gelbe Färbung der Herbstblätter kann man auf die Carotinoide in den seneszenten Plastiden zurückführen, da sich nach dem Verschwinden der Chlorophylle die Eigenfarbe der Carotinoide durchsetzt (SCHOPFER und BRENNICKE 2006).

Pflanzen, die im Dunklen herangewachsen sind, enthalten in ihren Geweben Etioplasten. Diese werden unter der Einwirkung von Licht zu voll funktionsfähigen Chromoplasten umgewandelt (HOWITT und POGSON 2006). Diese Beobachtung kann man auch bei Möhren machen, deren oberes Ende eine grüne Färbung erhält, wenn sie nur unzureichend mit Erde bedeckt sind. In geringen Konzentrationen wirken die Carotinoide, Lutein und Violaxanthin bei der Entstehung der Chromoplasten aus den Etioplasten (PARK *ET AL.* 2002).

In den stärkehaltigen Samen von Weizen, Reis, Hirse und Mais besitzen die Amyloplasten die Aufgabe Stärkegranulate einzulagern. Carotinoide findet man in beachtlichen Mengen in den Maisamyloplasten und auch in den fast weißen Amyloplasten des Weizens liegen Carotinoide in geringen Gehalten vor. Die Carotinoid-Gehalte in den Samen des Weizens sind außerdem bedeutend für die ABA-Produktion, die Samenruhe und das antioxidative System (wehren freie Radikale ab und vermeiden Schädigungen sowie Alterungen des Samens; HOWITT und POGSON 2006).

3.3 Die Bedeutung der Carotinoide für die menschliche Gesundheit

Der überwiegende Teil der Carotinoide wird beim Menschen im Fettgewebe (80-85%), in der Leber (8-12%) und in der Muskulatur gespeichert. Im menschlichen Serum findet man hauptsächlich β -Carotin, α -Carotin, Lutein, Lykopen und β -Cryptoxanthin, deren mengenmäßige Anteile im Serum jedoch von der Ernährung des jeweiligen Menschen abhängig sind. Das β -Carotin nimmt dabei ca. 15-30% der menschlichen Serumcarotinoide ein. Für den Menschen sind die Carotinoide hauptsächlich in der Form „Vitamin A“ von wesentlicher Bedeutung, dabei besitzen nur eine kleine Menge der ca. 700 Carotinoide eine Provitamin A Wirkung. Von diesen ca. 700 Carotinoiden kann der Mensch etwa 40-50 resorbieren und metabolisieren. Die Anzahl der im menschlichen Serum nachzuweisenden Carotinoide beträgt ungefähr 14 (WATZL und LEITZMANN 1999).

Übersicht der im Humanblut nachweisbaren Carotinoide:

- α -Carotin *
- β -Carotin *
- γ -Carotin *
- δ -Carotin
- Neurosporen
- Lycopin
- Dimethoxyprolykopin
- Phytofluen
- Lutein
- Zeaxanthin
- α -Cryptoxanthin
- β -Cryptoxanthin *

Legende:

- * Wirksamkeit als Provitamin A
 Quelle: WATZL und LEITZMANN 1999

Wie schon im vorherigen Abschnitt erwähnt, wirkt nur ein geringer Anteil der Carotinoide als Provitamin-A. Doch neben der Funktion als Provitamin A, besitzen sie noch einige weitere bekannte Schutzwirkungen in Bezug auf den menschlichen Organismus. Sie wirken in den Endverästelungen der Blutgefäße bei niedrigem Sauerstoffpartialdruck als Antioxidantien und stimulieren in Folge bestimmte spezifische Mechanismen der Immunantwort. Zusätzlich agieren sie *in vitro* als Fänger von energiereichem Singulett-Sauerstoff, welcher im Körper zu beträchtlichen Zell- und DNA-Schädigungen führen könnte. Auch die Bedeutung der Carotinoide als Radikalfänger lässt darauf schließen, dass diese spezielle Funktion einen Schutzmechanismus vor Krebs- und Herz-Kreislauf-Erkrankungen darstellen könnte (WATZL und LEITZMANN 1999).

Das β -Carotin wurde bisher bezüglich seiner antioxidativen Wirkung am häufigsten untersucht. Dabei wurde festgestellt, dass es unabhängig von seiner Wirkung als Provitamin A besonders aktiv gegen Singulett-Sauerstoff arbeitet. Man vermutet, dass ein Molekül β -Carotin dazu fähig ist, zwei Radikale abzufangen und unschädlich zu machen. Diese dem β -Carotin zugesprochene antioxidative Wirkung ist auch eventuell der Grund für die Zusammenhänge zwischen β -Carotin-Aufnahme und β -Carotin-Serumspiegel und der auftretenden Häufigkeit unterschiedlicher Krebsarten. Es existieren weitere Hinweise, dass β -Carotin ausschließlich bei niedrigem Sauerstoffpartialdruck als Antioxidans seine Wirkung z.B. in den peripheren Geweben ausübt. Untersuchungen *in vitro* zum antioxidativen Potential von Carotinoiden zeigten, dass Lycopin, β -Cryptoxanthin und β -Carotin die Fähigkeit besitzen, spezielle freie Radikale (ABTS⁺) außerordentlich wirksam abhalten zu können. Die antioxidativen Eigenschaften dieser Carotinoide führt man auf ihre Fähigkeiten zurück, Elektronen oder Wasserstoffatome abzugeben sowie ihre bestehende leichte Oxidierbarkeit

(WATZL und LEITZMANN 1999). Einige weitere positive Auswirkungen der Carotinoide auf den menschlichen Organismus sind:

- antioxidative Wirkung (bei niedrigem Sauerstoffpartialdruck)
- Stimulation der Immunantwort
- Verringerung der Häufigkeit lichtinduzierter Tumore
- Hemmung der Mutagenese
- Hemmung der Tumorentwicklung
- Verhinderung von Zellkernschädigungen (WATZL und LEITZMANN 1999)

In einem Artikel des Journal of the American Medical Association (The ATBC Study Group 2003) wurde über eine Studie berichtet, die die Häufigkeit des Auftretens von Krebs sowie der dadurch verursachten Sterblichkeit bei bestimmten Teilnehmern nach der Verabreichung von synthetischem α -Tocopherol und β -Carotin untersuchte. Die Ergebnisse der Studie ergaben, dass zusätzlich verabreichtes synthetisches α -Tocopherol die Häufigkeit von Prostatakrebs mindert, während die zusätzliche Einnahme von synthetischem β -Carotin die Häufigkeit von Lungenkrebs sowie die Sterblichkeit erhöhte. Die Teilnehmer dieser Studie waren männliche Raucher zwischen 50 und 65 Jahren, die täglich 50g α -Tocopherol und 20g β -Carotin oder aber Placebos über einen Zeitraum von 5-8 Jahren erhielten (The ATBC Study Group 2003). Diese Studie zeigt, dass die Einnahme synthetischen β -Carotins nicht grundsätzliche positive Effekte zur Folge hat. Zum Vergleich muss die Wirkung von natürlichem β -Carotin geprüft werden.

4 Die Stoffgruppe der Phenole

Die Verbindungen dieser großen Gruppe von sekundären Pflanzenstoffen erkennt man daran, dass eine oder mehrere Hydroxy-Gruppen oder daraus entstandene Derivate an eine aromatische Ringstruktur gebunden sind. Die Phenole findet man meistens gebunden in den Glykosiden vor und speziell dann, wenn sie in der Zellvakuole gelöst wurden. Ihre wichtigsten Grundkörper und Ausgangssubstrate weisen in Struktur und Eigenschaften ihrer Verbindungen sehr starke Unterschiede auf (RICHTER 1988).

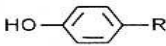
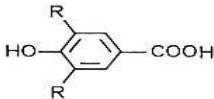
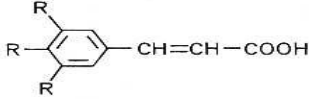
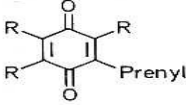
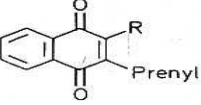
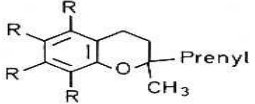
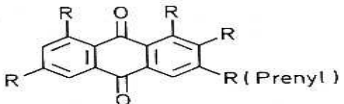
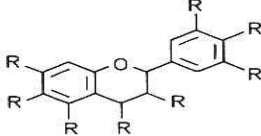
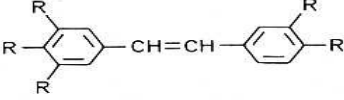
Substanzklasse	allgemeine Formel	Strukturmerkmale
einfache Phenole		C_6C_2 , C_6C_1 oder C_6 als Kohlenstoffgerüst infolge Seitenketten-Abbaus
Phenol-carbonsäuren	und  	C_6C_3 als Grundgerüst oder ein Vielfaches davon
erweiterte substituierte Phenole inklusive: Polyprenyl-Chinone, Anthrachinone	   	C_6C_2 , C_6C_1 oder C_6 als Grundgerüst Isopren-Einheiten als zusätzliche Strukturelemente
Flavonoide		$C_6C_3C_6$ -Gerüst; Seitenkette durch zusätzliche C_2 -Einheiten verlängert
Stilbene		$C_6C_2C_6$ als Grundgerüst; Einbeziehung eines C-Atoms der Seitenkette in die zweite C_6 -Ringstruktur

Abbildung 3 Die bedeutendsten Grundkörper der Phenole und die charakteristischen Verbindungsgruppen (Quelle: RICHTER 1988).

In Bezug auf die Biosynthese der Phenole weist diese eine bedeutende Gemeinsamkeit mit den stickstoffhaltigen Verbindungen der aromatischen Aminosäuren auf, da diese und die Schlüsselverbindung Zimtsäure über die gleiche Reaktionssequenz entstehen. Eine Verbindung von primärem und sekundärem Stoffwechsel ist an diesem Schnittpunkt klar ersichtlich (RICHTER 1988).

4.1 Die biochemische Entstehung der Phenole

Für den Aufbau der aromatischen Systeme von Phenolen stehen den Organismen verschiedenen Reaktionswege zur Verfügung. In dem folgenden Abschnitt wird jedoch ausschließlich der Reaktionsweg der höheren Pflanzen näher betrachtet, die die Zimtsäure und das Flavan-Gerüst entstehen lassen (RICHTER 1988).

Die Zimtsäure (Abbildung 5 Nr. 14) wird über den **Shikimisäure- oder Shikimat-Weg** gebildet und dieser ist gleichzeitig für die Synthese der aromatischen Aminosäuren zuständig, wie z.B. das Phenylalanin, das eine direkte Vorstufe der Zimtsäure darstellt. Ausgehend von den zwei Stoffen Phosphoenolpyruvat (Abbildung 4 Nr. 2) und Erythrose-4-phosphat (Abbildung 4 Nr. 1) bildet sich über einen C₇-Körper das 5-Dehydrochinat (Abbildung 4 Nr. 3) bzw. Chinat, welche beide Derivate des Cyclohexan sind (RICHTER 1988).

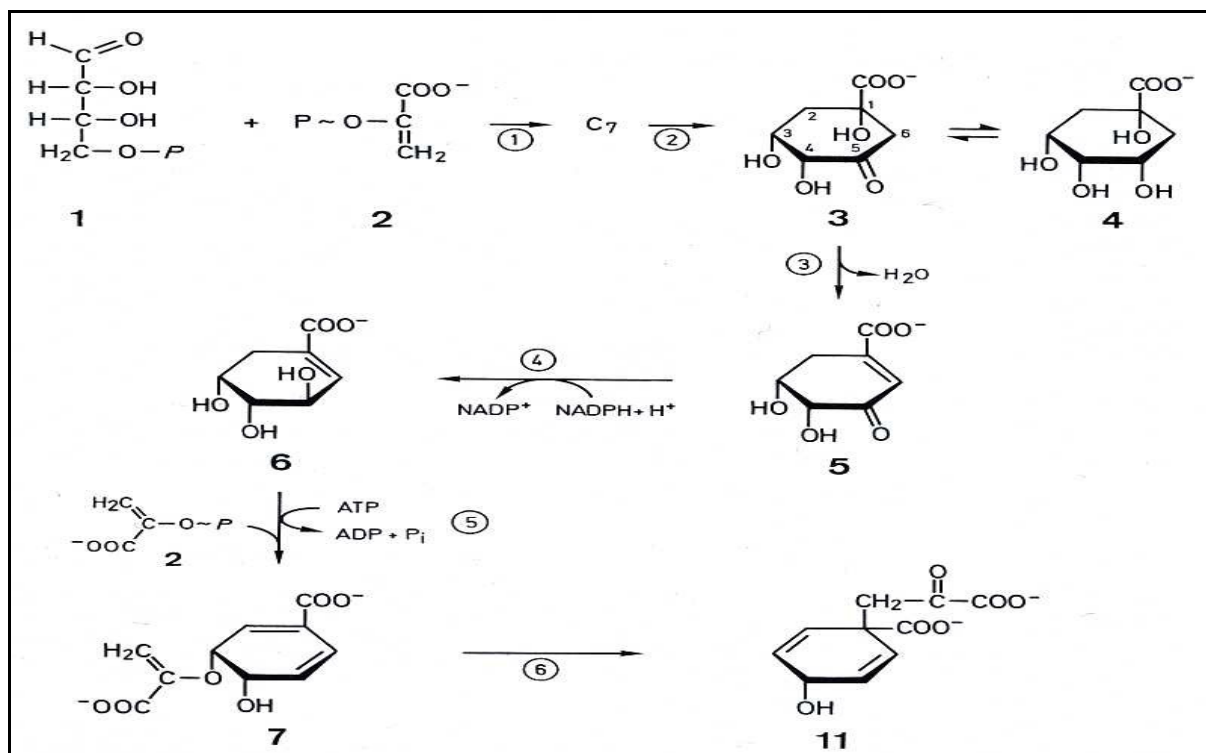


Abbildung 4 Die Biosynthese von Zimtsäure und p-Cumarsäure anhand des Shikimat-Wegs (1. Teil; Quelle: RICHTER 1988).

An diesem Punkt zweigt der Weg für die Entstehung der Phenolcarbonsäuren ab, der jedoch eher für Mikroorganismen charakteristisch ist. Eine Wasserabspaltung führt zum Dehydroshikimat (Abbildung 4 Nr. 5), welches mit Hilfe von $\text{NADPH} + \text{H}^+$ zum Shikimat (Abbildung 4 Nr. 6) abgebaut wird. Über Phosphorylierung und Reaktion mit Phosphoenolpyruvat bildet sich daraus ein reaktionsfähiger Enoether, das Chorimat (Abbildung 4 und 5 Nr. 7). An diesem Abschnitt werden die Voraussetzungen für verschiedene Reaktionswege bereitgestellt. Der eine Weg führt über Anthranilat (Abbildung 5 Nr. 8) zur aromatischen Aminosäure Tryptophan (Abbildung 5 Nr. 9), aus der später die Indolylessigsäure (Abbildung 5 Nr. 10) gebildet wird und der zweite Weg stellt die Zimtsäure (Abbildung 5 Nr. 14) bzw. *p*-Cumarsäure (Abbildung 5 Nr. 15) als erstes Derivat zur Verfügung. Dieser Reaktionsweg teilt sich auf der Stufe des Prephenat (Abbildung 5 Nr. 11) (RICHTER 1988).

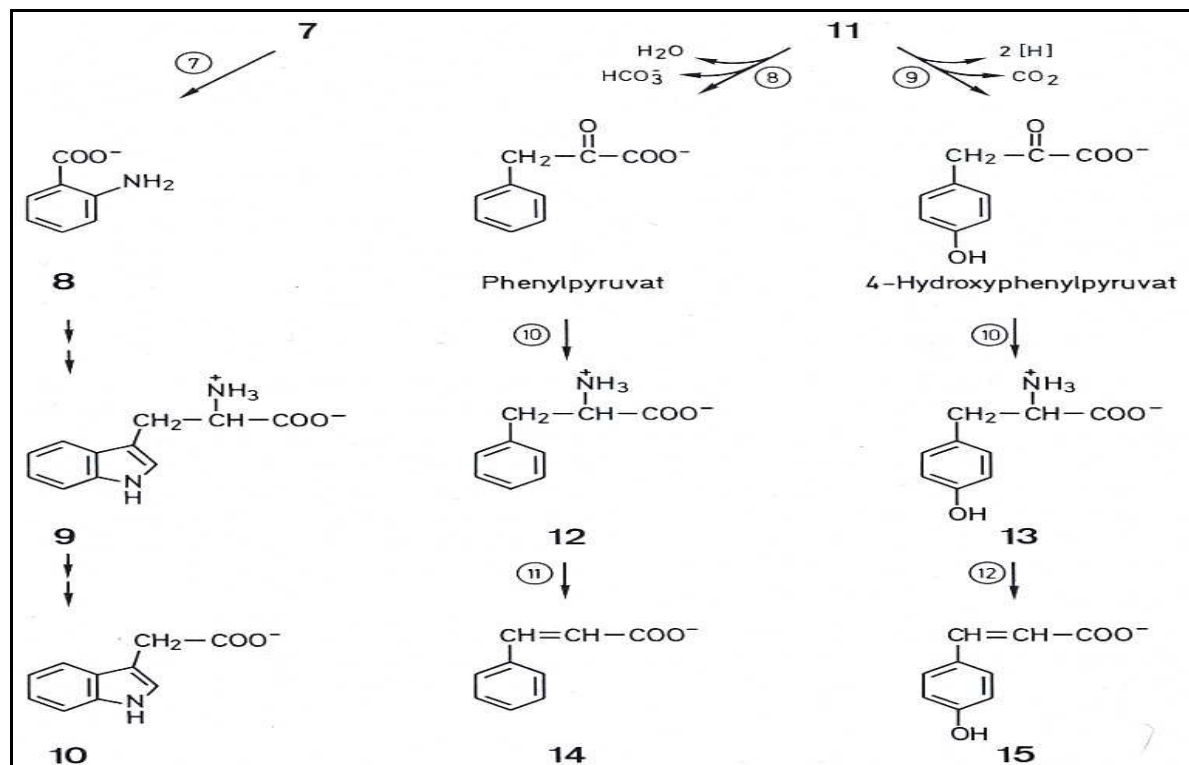


Abbildung 5 Die Biosynthese von Zimtsäure und *p*-Cumarsäure anhand des Shikimat-Wegs (2. Teil; Quelle: RICHTER 1988).

In Folge einiger experimenteller Daten wurde der Nachweis erbracht, dass der Syntheseweg für Shikimat bei höheren Pflanzen in den Chloroplasten abläuft. Die hierbei verwendeten Ausgangsverbindungen werden über die photosynthetische Kohlendioxidfixierung bereitgestellt. Die Verbindung Erythrose-4-phosphat dient als Zwischenverbindung bei der Regeneration von Ribulose-1,5-bisphosphat und das Phosphoenolpyruvat agiert als Umwandlungsprodukt für das 3-Phospho-D-glycerat in Folge einer plastidenspezifischen

Reaktionssequenz. Die am Shikimat-Weg beteiligten aktiven Enzyme gehören zu den Bestandteilen des Stroma. Dadurch sind Chloroplasten in der Lage eine Reihe von aromatischen Aminosäuren zu bilden, wie z.B. Phenylalanin oder Thyrosin sowie die aromatischen Molekül-Bausteine (z.B. Anthrachinonen) zu synthetisieren (RICHTER 1988).

Die oxidative Deaminierung von Phenylalanin zu Zimtsäure und von Thyrosin zu *p*-Cumarsäure wird durch charakteristische Enzyme katalysiert. Diese Enzyme sind die Phenylalanin-Ammoniumlyase und die Tyrosin-Ammoniumlyase. Die zuerst genannte agiert zum Beispiel als Schlüsselenzym an dieser Abzweigung, an der die Phenol Synthesewege von denen der Aminosäuren und Proteine abzweigen. Die Aktivität und auch die Synthese von Phenylalanin-Ammoniumlyase unterliegen somit der vielfältigen Kontrolle sehr verschiedener Faktoren, wie z.B. Licht, Temperatur, Ethylen und Kohlenhydratstoffwechsel (RICHTER 1988).

Zwei weitere Wege zur Bildung aromatischer Ringsysteme

Um aromatische Ringsysteme zu erzeugen, verfügen die Organismen noch über zwei weitere Wege, die jedoch von höheren Pflanzen eher selten genutzt werden. Der **Acetat-Malonat-Weg** funktioniert über die mehrfache Kondensation von Acetat-Einheiten. Dieser Weg zur Bildung von aromatischen Ringsystemen wurde jedoch hauptsächlich bei Mikroorganismen nachgewiesen und er verfügt über ein breites Spektrum von aromatischen Verbindungen. Der Begriff Acetat-Malonat-Weg weist darauf hin, dass im Zuge der Fettsäurebiosynthese Malonyl-CoA über Decarboxylierung die C₂-Einheiten zur Verlängerung einer Acyl-CoA-Verbindung bereitstellt. Diese Bereitstellung erfolgt über drei aufeinander folgende Schritte:

- die gebildete Polyketosäure cyclisiert zum aromatischen Ring mit Seitenkette
- nach Ablauf dieser Reaktion wird der erste aromatische Ring des Flavan-Grundgerüsts erzeugt
- dieser wird dann von Zimtsäure-Derivaten um einen heterocyclischen Mittelring sowie einen zweiten aromatischen Ring erweitert

Dadurch treffen sich die zwei Biosynthesewege für Phenole, die einen wichtigen Abschnitt im metabolischen Netzwerk der reichhaltigen Inhaltsstoffe höherer Pflanzen darstellen (RICHTER 1988).

Die dritte Möglichkeit zur Entstehung aromatischer Systeme, bietet der **Acetat-Mevalonat-Weg**. Er wird bei der Synthese cyclischer Monoterpene genutzt, welche dann durch Dehydrogenierung aromatischen Charakter erhalten (RICHTER 1988).

4.2 Die Phenolcarbonsäuren

Über die Grundsubstanz Zimtsäure entstehen zahlreiche Derivate, welche dann durch Substitutionen am aromatischen Ring gebildet werden. Diese Phenylpropan-Abkömmlinge oder Phenolcarbonsäuren haben eine Schlüsselstellung, weil sie mit den Synthesewegen zahlreicher Substanzen (z.B. Lignin, Flavonoide oder Stilbenen) zusammentreffen. Diese Synthesewege agieren gleichzeitig in unterschiedlichen Kompartimenten pflanzlicher Zellen unter Beteiligung von Isoenzymen bzw. Multi-Enzym-Komplexen. In der pflanzlichen Zelle liegen diese Verbindungen meistens in Bindung mit Zucker in Form von Glykosiden oder Ester vor. Zusätzlich findet man sie in den Depsiden esterartig gebunden an Verbindungen mit Carboxy-Gruppen. Darunter befinden sich auch Phenole, wie die Chlorogensäure, einem Depsid aus Kaffee- und Chinasäure (RICHTER 1988).

Die Hydroxilierung von *p*-Cumarsäure führt zum Beispiel zur Kaffeesäure und die Catechol-Methyltransferase wandelt über die Methylierung die Kaffeesäure zur Ferulasäure um, welche über die 5-Hydroxyferulasäure in Sinapinsäure übergeht. Diese Zimtsäurederivate übernehmen später wichtige Funktionen als Vorstufen von Grundbausteinen der Lignine (RICHTER 1988).

4.3 Die Polyphenole

Die Polyphenole können keine einheitliche Stoffgruppe für sich beanspruchen, viel mehr werden unter diesem Begriff Substanzen zusammengefasst, die aus der Struktur des Phenols hervorgehen (WATZL und LEITZMANN 1999). Somit zählt man eine große Anzahl von verschiedenen Verbindungen, wie Phenolsäuren, Hydroxyzimtsäuren und Flavonoiden, zu den Polyphenolen (DITTRICH und LEITZMANN 1996).

4.3.1 Die Funktion der Polyphenole in der Pflanze

Die Polyphenole trifft man in allen Pflanzen an und hauptsächlich in Form des Flavonoids Quercetin oder den Hydroxyzimtsäuren Kaffeesäure und Ferulasäure. Die Kaffeesäure findet man nicht nur in Kaffee, was man leicht vermuten könnte, sondern auch in Kartoffeln und anderen Gemüsearten (DITTRICH und LEITZMANN 1996).

In den Kartoffeln liegt die Kaffeesäure zu 50% in der Schale und den angrenzenden Geweben vor und bei der Karotte beinhaltet die Schale 85% der Polyphenole. In Bezug auf Getreide enthält die Kleie den höchsten Anteil an Polyphenolen in Form von Ferulasäure (WATZL und LEITZMANN 1999).

Die Randschichten von Weizen weisen beispielsweise eine Vielzahl von antioxidativ wirkenden Phenolsäuren auf und aufgrund dieser Tatsache, können Vollkornmehle im Gegensatz zu weißen Haushaltsmehlen, bei denen die Randschichten abgetrennt werden, freie Radikale abwehren (DITTRICH und LEITZMANN 1996).

Die Flavonoide existieren im Pflanzenreich in einer großen Vielzahl und inzwischen sind ca. 4000-5000 unterschiedliche Strukturen bekannt, aufgrund dessen sie auch einen wichtigen Bestandteil in der Ernährung einnehmen. Die gelben Flavone sind für den Namen der Flavonoide verantwortlich (lat. flavus = gelb). Die ebenso zu den Flavonoiden zählenden Anthozyane bewirken die roten, blauen und violetten Färbungen von Obst und Gemüse, wie Kirschen, Pflaumen, Beerenobst, Rotkohl und Auberginen. Die Farbintensität und der Anthozyangehalt dieser Flavonoide werden von Sorte und Klima stark beeinflusst. Der größte Anteil der Flavonoide kommt in der Natur nicht frei vor, das heißt sie sind meistens an Zucker gebunden. Das am häufigsten zu findende Flavonoid ist das Quercetin, dessen Glycosid als Rubin bezeichnet wird (WATZL und LEITZMANN 1999).

Der Aufenthaltsort der Polyphenole befindet sich, wie anhand der Beispiele Kartoffel und Karotte erläutert, vorwiegend in den Randschichten von Obst, Gemüse, Getreide und anderen Samen. Von dort aus, wird ihnen die Aufgabe erteilt, das darunter liegende Gewebe vor oxidativem Verderb zu schützen (DITTRICH und LEITZMANN 1996). Der höchste Gehalt an Phenolsäuren befindet sich in frisch geerntetem Obst und Gemüse, da die Phenolsäuren aufgrund ihrer Empfindlichkeit in Bezug auf die Oxidation während der Lagerung abgebaut werden (WATZL und LEITZMANN 1999).

4.3.2 Die Bedeutung der Polyphenole für die menschliche Gesundheit

Den Polyphenolen wird auch bezüglich der menschlichen Gesundheit eine Vielzahl von positiven Eigenschaften zu geschrieben. Sie sollen die menschlichen Zellen vor Oxidationen schützen können, sowie gerinnungshemmend wirken. Zusätzlich sollen sie noch Fähigkeiten besitzen, die gegen Krebs vorbeugen, die Mikroorganismen unterdrücken, die Immunabwehr begünstigen und den Blutdruck und Blutzuckerspiegel regeln (DITTRICH und LEITZMANN 1996).

Ein Beispiel für die positiven, gesundheitlichen Fähigkeiten von Polyphenolen, lässt sich anhand der Ellagsäure erläutern. Eine Phenolsäure, die aus zwei Gallussäuremolekülen besteht, nimmt aufgrund ihrer antikanzerogenen Wirkung im Kreis der Polyphenole eine besondere Stellung ein. Man findet sie hauptsächlich in Nüssen und Früchten, wo sie als Komplex an Taninen und Glucose gebunden vorliegt. Die Ellagsäure wird im Darm nur in

kleinen Mengen resorbiert und verhältnismäßig schnell wieder aus dem Organismus ausgeschieden. Deshalb können nur durch beständige Aufnahme dieser Phenolsäure ihre gesundheitsfördernden Eigenschaften für den menschlichen Organismus zum Einfluss kommen. Durchgeführte Resorptionsstudien wurden jedoch meistens mit gereinigten Substanzen durchgeführt, denn die Ellagsäure findet man in Pflanzen in Form von Glycosiden oder Ester vor und aufgrund dessen ist ihre Bioverfügbarkeit dann niedriger. Die Ellagsäure wird nach oraler Aufnahme favorisiert zur Lunge transportiert, denn dort lagen nach Untersuchungen die Konzentrationen 10fach höher als in der Leber vor. In ihrem Fall muss sie jedoch nicht erst resorbiert werden, um schützend zu wirken, denn sie verfügt auch über die Eigenschaft interstinale Entgiftungsenzyme zu induzieren sowie die Bioverfügbarkeit von Kanzerogenen im Darm zu reduzieren (WATZL und LEITZMANN 1999).

Den Phenolsäuren spricht man somit antikanzerogene, antimikrobielle und antioxidativ wirkende Fähigkeiten zu. Eine Reihe synthetischer Polyphenole (z.B. Gallussäureester), wurden als Lebensmittel-Antioxidantien erlaubt (WATZL und LEITZMANN 1999).

5 Der Einfluss exogener Faktoren auf die pflanzliche Entwicklung

Über die Atmosphäre werden der Pflanze die Elemente Kohlenstoff (als CO_2) und Sauerstoff (als O_2) zur Verfügung gestellt, jedoch benötigt sie noch wenigstens 15 weitere Elemente für den pflanzlichen Stoffwechsel, die in Form von Wasser (H_2O) und den darin enthaltenen gelösten anorganischen Nährstoffen (mineralische Nährsalze) aufgenommen werden. Man unterscheidet wegen ihres unterschiedlichen Bedarfs im Stoffwechsel zwischen Makroelementen (C, H, O, S, N, P, K, Ca, Mg) und Mikroelementen (Cl, Fe, B, Zn, Mn, Ca, Mo, Ni). Diese essenziellen Nährelemente werden meistens in Form von anorganischen Ionen über eine wässrige Lösung von der Pflanze aufgenommen. Eine so genannte Nährlösung kann bei ausgewogener Konzentration alle mineralischen Bedürfnisse der Pflanze zufrieden stellen. Die Aufnahme dieser mineralischen Nährstoffe wird von den höheren Pflanzen über die Wurzel reguliert, welche hierfür mit speziellen physiologischen Fähigkeiten ausgestattet ist, um die Bodenlösung aufzunehmen (SCHOPFER und BRENNICKE 2006). Ohne die Aufnahme, von Makro- und Mikroelementen sowie den Faktoren Wasser, Licht und Kohlendioxid, wäre für die Pflanze eine Regulation von primärem und sekundärem Stoffwechsel sowie die Erzeugung von primären- und sekundären Pflanzenstoffen nicht möglich.

5.1 Der Faktor Wasser

Das Wasser ist eine Flüssigkeit, die im physiologischen Temperaturbereich über eine relativ geringe Viskosität, eine hohe Dielektrizitätskonstante und eine minimale Quantenabsorption unterhalb von 850 nm verfügt. Aufgrund seiner geringen Größe und seiner Dipolnatur ist H_2O ein ausgezeichnetes Lösungsmittel für ein auffallend breites Spektrum stark polarer bis mäßig apolarer Teilchen, speziell für Ionen. Durch den polaren Aufbau des H_2O -Moleküls wird die Hydratisierung von Kationen und Anionen sowie der Makromoleküle (z.B. Proteine, Nukleinsäuren) ermöglicht (SCHOPFER und BRENNICKE 2006). Im Zuge der zuvor genannten Eigenschaften des Wassers, verfügen die meisten Organismen über einen hohen Wassergehalt und somit kann der Masseanteil des Wassers bei höheren Pflanzen ca. 90% und mehr der lebenden Substanz ausmachen (RICHTER 1988). Weiterhin ist das Wasser chemisch relativ inert und somit ein ideales Medium für die Diffusion und die chemischen Wechselwirkungen anderer Teilchen. Hinzu kommen noch seine hohe Verdampfungswärme, seine hohe Wärmekapazität und seine hohe Leitfähigkeit für Wärme, wodurch Wasser zu einem idealen Medium für die Thermoregulation wird. Da Wasser auch keine Kompressibilität aufweisen kann, wird diese Eigenschaft zur osmotischen Erzeugung von

hydrostatischem Druck verwendet. Die meisten genannten Eigenschaften des Wassers stehen mit seiner Fähigkeit zur Ausbildung von Wasserstoffbrücken in Verbindung (SCHOPFER und BRENNICKE 2006). Aufgrund der genannten Eigenschaften, erfüllt das Wasser eine große Anzahl verschiedener Funktionen in der Pflanze:

1. die Wasserstoffbrücken besitzen in Folge ihrer Zerreißfestigkeit und Benetzungsfähigkeit eine entscheidende Bedeutung bei dem Massentransport des Wassers in den kapillaren Gefäßen des Xylems (SCHOPFER und BRENNICKE 2006)
2. es fungiert auch außerhalb der Zellen als Transportmittel, mit dem hauptsächlich Nährsalze von der Wurzel in die oberirdischen Organe gelangen (RICHTER 1988)
3. Wasser ist ein direkter Reaktionspartner und Metabolit bei vielen biochemischen Umsetzungen (z.B. Hydrolyse, Photosynthese) (SCHOPFER und BRENNICKE 2006)
4. eine Verringerung des relativen Wassergehaltes auf 70-80% kann bei den meisten Pflanzenzellen zur Hemmung zentraler Stoffwechselprozesse (z.B. Atmung) führen (SCHOPFER und BRENNICKE 2006)
5. bei einer Austrocknung auf 50-60% des relativen Wassergehaltes erleidet die Pflanze in der Regel den Zelltod (SCHOPFER und BRENNICKE 2006)

Die Aufnahme von H₂O erfolgt bei den höheren Landpflanzen normalerweise über die Wurzel aus dem Boden und in Ausnahmefällen bei hoher Luftfeuchtigkeit auch gegebenenfalls durch Sprosssteile oder Luftwurzeln aus der Atmosphäre. Über eine durchgehende Verbindung vom Bodenwasser im Gebiet der Wurzel über den Spross bis hin zu den Orten der Transpiration an den Blättern wird der Transport von H₂O innerhalb der Pflanze gewährleistet. Die für den Transport von Wasser benötigte Energie entsteht über die Wasserpotentialdifferenz zwischen Boden und Atmosphäre (MOHR und SCHOPFER, P. 1992).

5.2 Die essentiellen Mikroelemente

In der pflanzlichen Ernährung wird ein Element als essentiell klassifiziert, wenn

- die Pflanze beim Fehlen dieses Elements ihren Lebenszyklus nicht gänzlich durchführen kann, oder
- das jeweilige Element ein wertvoller Bestandteil von Molekülen ist, die im Stoffwechsel der wachsenden Pflanze unentbehrlich sind.

Im Allgemeinen benötigt die Pflanze die Mikroelemente nur in kleinen Mengen und sie erfüllen in der Pflanze katalytische Funktionen als essentielle Cofaktoren von Enzymen. Eine große Anzahl der Enzyme besitzen ein oder mehrere Metallionen als ständig eingebaute Bestandteile des aktiven Zentrums (z.B. Cu^{2+} in verschiedenen Oxidasen). Da viele Pflanzen die Mikroelemente in ihren Samen lagern, werden Mangelsymptome erst dann sichtbar, wenn die endogenen Vorräte im Ablauf mehrerer auf dem Mangelmedium herangezogener Pflanzengenerationen stark gestreckt wurden. In der Landwirtschaft entstehen vereinzelt Mangelsymptome auf Böden, die eine intensive Nutzung erfahren und bei denen eine Unterversorgung eines bestimmten Mikroelementes vorliegt. Diese Unterversorgung führt häufig zu starken pflanzlichen Krankheitsbildern, wie z.B.,

- Verminderung des Wachstums und des Ertrages (Zwergwuchs bei Obstbäumen durch Zn-Mangel)
- Stoffwechsel- und Entwicklungsdefekte (Fe-, Mn- und Mo-Mangel führt zu Blattchlorosen)

Diese Mangelsymptome können durch eine dem Boden angepasste Mineraldüngung (richtige Auswahl und Dosierung der „Nährsalze“) vermieden werden. Die Anreicherung anderer Bodenkomponenten und die Veränderung des mikrobiellen Bodenlebens sollten dabei verhindert werden (SCHOPFER und BRENNICKE 2006).

5.3 Die Makroelemente

Die Makroelemente nehmen in der Pflanze eine zentrale Bedeutung bei der Bildung von biologischen Molekülen und Molekülkomplexen ein. Die Stoffe N, S und P findet man zum Beispiel in Aminosäuren bzw. Nukleotiden und den daraus zusammengesetzten Makromolekülen (DNA, RNA, Proteine) (SCHOPFER und BRENNICKE 2006). Die Funktionen der einzelnen Makroelemente in der Pflanze sind sehr unterschiedlich.

Das Fe ist ein Bestandteil von Hämoproteinen, des Ferredoxins und anderen Enzymen und das Makroelement Mg ist wiederum an der Bildung des Chlorophylls beteiligt. Das Kalium (K) liegt vermutlich immer in der Pflanze als freies Kation vor und ist das quantitativ vorherrschende anorganische Ion in der Pflanzenzelle. In Form von K^+ beeinflusst das Kalium das Milieu des Protoplasmas und in Verbindung mit dem antagonistisch wirkenden Ca^{2+} hat es Einfluss auf den kolloidalen Quellungszustand des Plasmas. Zusätzlich fungiert es als mobiler Träger positiver Ladungen, als Cofaktor von Enzymen (z.B. bei der Glycolyse und der Proteinbiosynthese) sowie als transportierbares Osmoticum für die osmotischen Bewegungen in der Pflanze. Das Ca^{2+} besitzt neben der zuvor genannten Funktion im Protoplasma noch als

Bestandteil der Pektine in Verbindung mit Mg^{2+} eine wichtige Bedeutung für die Zellwand der Pflanze und ist infolgedessen ein wichtiger Faktor für die funktionelle und strukturelle Integrität von Biomembranen (SCHOPFER und BRENNICKE 2006).

Bei natürlichen Bedingungen nimmt die Pflanze die Makroelemente fast immer in ihrer maximal oxidierten Form (z.B. CO_2 , H_2O , K^+) auf und über diesen Redoxzustand verfügen die meisten dieser Kationen auch noch nach der Aufnahme in die Zelle. Die Nährelemente, welche in den Samen gespeichert wurden, werden nach der Keimung remobilisiert und in die wachsenden Organe des jungen Keimlings und hauptsächlich in die Blätter transportiert. Eine erneute Umverteilung der Nährelemente von den Blättern in die Früchte und Samen findet nach der Blütenbildung statt. Die Verschiebung der Nährelemente zwischen den verschiedenen Organen erfolgt nach dem source-sink-Prinzip. Die Aufnahme und Aufbereitung der Nährelemente steht für die Pflanze mit einem hohen Energieeinsatz in Verbindung. Da davon ausgegangen wird, dass die Pflanze normalerweise über keine beträchtlichen Speicherkapazitäten für Nährelemente verfügt, muss eine beständige Versorgung der Pflanze von außen gewährleistet werden. Hauptsächlich die Makroelemente P und N müssen der Pflanze regelmäßig zur Verfügung stehen, da eine Abwesenheit dieser Elemente im Wurzelmedium bereits nach geringer Zeit zu morphologischen und physiologischen Mangelsymptomen führen kann (SCHOPFER und BRENNICKE 2006).

5.4 Der Faktor Licht

Das Licht (in der Natur hauptsächlich das Sonnenlicht) dient der Pflanze nicht nur als Energiequelle, sondern ist auch Lieferant für eine große Anzahl von verschiedenen Informationen und zusätzlich fungiert es als Signal bei der Steuerung verschiedener Entwicklungsprozesse. Das helle Sonnenlicht sorgt auf der Erdoberfläche für einen Energiefluss von 500 W m^{-2} , dieser Bereich wird auch von der pflanzlichen Photosynthese genutzt. In der Funktion als Signalgeber kann das Licht in noch sehr viel niedrigeren Intensitätsbereichen seine Eigenschaften wirksam machen (SCHOPFER und BRENNICKE 2006).

Der Begriff Licht steht hauptsächlich für den Bereich mit Wellenlängen von 320 nm (UV-A) bis 760 nm, welcher für das menschliche Auge sichtbar ist. Die Photonen (Quanten) innerhalb dieses Spektralbereiches können nur von wenigen Molekültypen (z.B. Carotinoide oder Chlorophylle) der Pflanzen absorbiert werden. Die anderen Moleküle (z.B. Wasser, Proteine, Lipide), die in der pflanzlichen Zelle vorkommen, können in einem Spektralbereich von 320 bis 760 nm keine Photonen absorbieren und somit auch keine elektrochemische Anregung

hervorrufen. Um eine elektrochemische Anregung herbeizuführen, würden diese Moleküle energiereichere Photonen benötigen, welche jedoch nur über kürzerwellige elektromagnetische Strahlung innerhalb oder unterhalb des UV-Bereiches zur Verfügung gestellt werden können (SCHOPFER und BRENNICKE 2006).

Die Moleküle, welche im Wellenlängenbereich von 320 und 760 nm selektiv Protonen absorbieren und in Folge dessen eine elektronische Anregung erfahren, werden als Farbstoffe betitelt. Bei den höheren Pflanzen erfüllen diese Farbstoffe eine Reihe unterschiedlicher Funktionen:

1. **Die Lichtmessung**, hierfür bilden die Pflanzen neben den Massenzpigmenten auch Sensorpigmente in geringer Anzahl aus, welche folgende Funktionen an und in der Pflanze erfüllen.
 - a) Die pflanzliche Entwicklung und Reproduktion wird in Abhängigkeit des vorhandenen Genmaterials optimiert
 - b) Die bestmögliche Modulation des pflanzlichen Verhaltens (z.B. intrazelluläre Bewegungen) wird erreicht
2. **Der Lichtschutz** erfolgt durch die Absorption von schädlicher Strahlung durch unterschiedliche Farbstoffe. Als Beispiel kann man an dieser Stelle die Jugendanthocyane aufführen, welche die Flavine und Porphyrine des Keimlings vor der photooxidativen Wirkung hoher Lichtflüsse bewahren. Die für den Lichtschutz in Frage kommenden Farbstoffe sind die Chlorophylle, die Carotinoide und die Anthocyane. Zu den Sensorpigmenten zählt man 4 Photorezeptortypen:
 - a) UV-B-Photoreceptor (280-350 nm)
 - b) Cryptochrom (340-520 nm)
 - c) Phototropin (340-520 nm)
 - d) Phytochrom (660-730 nm)
3. **Die Lichtnutzung**, beinhaltet die Absorption und Übertragung von Energie zur Funktion des Photosyntheseapparates sowie die Entstehung der optischen Kommunikation (z.B. Farbstoffe in Samen und Früchten, Blütenfarbstoffe) zwischen Pflanze und Tier (SCHOPFER und BRENNICKE 2006).

5.5 Das Kohlendioxid

Die gesamte Vegetation auf der Erde hat einen Jahresbedarf an CO_2 von ungefähr 8% der CO_2 -Menge die in der Luft vorhanden ist. Bei Vorhandensein von günstigen Wachstumsbedingungen liegt der tägliche Bedarf unserer Kulturpflanzen bei 150-220 kg CO_2 /ha. Die Kohlensäure ist im Gegenteil zu den anderen Gasen in der Luft viel schwerer und lagert sich deshalb in der bodennahen Schicht im Bereich der Pflanzen ab. Die abgelagerte Menge CO_2 kann jedoch den Bedarf der Pflanzen nicht einmal für den Zeitraum von einer Stunde decken und deshalb ist eine kontinuierliche Nachlieferung von CO_2 aus der Atmosphäre durch Umwälzung oder Turbulenz der Luft von enormer Bedeutung. Der Kohlensäurebedarf der Pflanze ist somit sehr hoch und daraus folgt, dass die Trockensubstanz der Pflanze zu ca. 40% aus Kohlenstoff besteht. Die restlichen Prozent setzen sich aus Wasserstoff, Sauerstoff und Mineralstoffen zusammen (AMBERGER 1996).

Die Pflanze nimmt die Kohlensäure durch die Blätter über die Stomata auf, wobei die Regulation des Öffnungsmechanismus von den Faktoren Licht und Feuchtigkeit abhängig ist. Bei Anwesenheit von hoher Lichtstärke, Luftfeuchtigkeit und niedrigem CO_2 -Partialdruck öffnet sich die Stomata. Hingegen führt es zu einem Spaltöffnungsschluss bei Einflüssen wie ungenügender Belichtung, Trockenheit und hohen Temperaturen. Die Ausübung der Stomatabewegung entsteht prinzipiell aus den Änderungen des osmotischen Wertes der Schließzellen (K^+ und org. Anionen) und wird zusätzlich durch Hormone wie die Abscisinsäure beeinflusst. Die wichtigste Bedeutung der Kohlensäure für die Pflanze besteht darin, dass sie den Grundstoff für die Kohlenhydratbildung im Rahmen der Photosynthese bereitstellt. Des Weiteren hat die CO_2 Konzentration einen direkten Einfluss auf die Assimilationsleistung der Pflanze. Die Organismen, die die Fähigkeit besitzen CO_2 zu reduzieren, bezeichnet man als C-autotroph und sie verfügen über photosensible Farbstoffsysteme (Chlorophylle, Carotinoide), die in bestimmten Organellen photosynthetisch aktiver Zellen vorkommen (AMBERGER 1996).

5.6 Die Temperatur

Unter dem Begriff „Temperatur“ bezeichnet man den durch die mittlere kinetische Energie der Moleküle bedingten Wärmezustand der Materie. Die Existenz und Stabilität der Makromoleküle sowie das grundsätzliche Leben ist von einem bestimmten Temperaturbereich abhängig. Dies gilt ebenfalls für eine große Anzahl von chemischen und physiologischen Prozessen. In Bezug auf die Pflanze ist damit ihr Wachstum, die Stoffaufnahme, die Photosynthese und Photorespiration sowie die Atmung gemeint. Da Pflanzen nur eine geringfügige Eigenwärme produzieren, müssen bestmögliche

Wachstumstemperaturen über die eingestrahlte Wärme für die Pflanze geschaffen werden. Die Strahlen der Wellenlängen 800-5000 nm erzeugen Wärmeenergie und regeln auf diese Weise die Geschwindigkeit der biologischen Abläufe. Ungefähr 50 % der Sonnenenergie werden im Zustand von ultravioletter Strahlung emittiert. Hinzu kommt, dass in der obersten Bodenschicht eine geringe Wärmemenge durch die chemisch-biologische Umsetzung der organischen Substanz gebildet wird (AMBERGER 1996).

5.7 Krankheitserreger und Schädlinge

Das Wachstum, die Entwicklung und die Ertragsleistung von Kulturpflanzen können in qualitativer und quantitativer Richtung negativ beeinflusst werden, wenn zwischen der jeweiligen Kulturpflanze und bestimmten pflanzlichen und tierischen Organismen ein parasitäres Verhältnis besteht. Für das Auftreten von Krankheiten werden hauptsächlich Viren, Bakterien und Pilze verantwortlich gemacht. Des Weiteren zählt man auch die höheren Pflanzen, die sich als Voll- bzw. Halbschmarotzer (z.B. Wachtelweizen) auf Kulturpflanzen angesiedelt haben, zu den Krankheitserregern. Im Zusammenhang mit der Gruppe der tierischen Schädlinge sind insbesondere Nematoden, Milben und Insekten zu nennen, aber auch einige größere Tiere (z.B. Mäuse, Vögel und Wildtiere) können enorme Schäden an Kulturpflanzenbeständen verursachen. Durch produktionstechnische Verfahren (z.B. Bodenbearbeitung, Düngung, Saatbettbereitung) und eine der Pflanze individuell angepasste Fruchtfolgegestaltung kann der durch Krankheitserreger und Schädlinge verursachte Krankheitsdruck verringert werden. Als letzte Maßnahme können noch chemische Mittel mit verschiedenen Wirkungsbereichen (z.B. (Insektizide), (Akarizide)) zum Einsatz kommen (GEISLER 1980).

6 Die genetische und epigenetische Konstitution von Pflanzen als endogener Faktor

Die Kulturpflanze ist die Basis des landwirtschaftlichen Pflanzenbaus und sie besitzt aufgrund ihrer genetischen Beschaffenheit die Fähigkeit eine bestimmte Ertragsleistung zu erzielen. Die Höhe dieser Ertragsleistung ist abhängig von den Umweltfaktoren und dem Einfluss, den diese auf die Merkmale in der Pflanze ausüben (GEISLER 1980).

Im Pflanzenbau strebt man das Ziel an, die am Standort vorhandenen Wachstumsfaktoren durch die Verwendung einer zweckmäßigen Produktionstechnik bestmöglich auszunutzen. Um letztendlich das genetisch kontrollierte Reservoir der Kulturpflanze in einem möglichst großen Umfang zu verwirklichen. Bevor man sich jedoch für eine bestimmte Produktionstechnik entscheidet, erfolgt die Wahl einer für den Standort optimalen genetischen Konstitution. Infolgedessen wird die erzielte Leistung im Pflanzenbau durch die Auswahl der Art bzw. innerhalb der Art einer Sorte sowie durch den Einsatz einer zweckmäßigen Produktionstechnik gelenkt. Viele Merkmale der Pflanze sind durch die Abhängigkeit zu den angebotenen Umweltfaktoren des jeweiligen Standortes mehr oder weniger starken Veränderungen ausgesetzt. Daraus resultieren unterschiedliche Ertragsleistungen an verschiedenen Standorten oder in verschiedenen Jahren. Die genetische Steuerung der Merkmalsausbildung im Organismus der Pflanze sowie die Regulation der Genaktivität sind der Ausgangspunkt für die Beziehung zwischen den Erbanlagen der Pflanze und den unterschiedlich starken Ausbildungen der Einzelmerkmale in Bezug zu den Umweltfaktoren (GEISLER 1980).

Die Epigenetik befasst sich mit dem Studium von Effekten, die auf mitotische und /oder meiotische Art und Weise vererbt werden und nicht durch eine Änderung der DNA entstanden sind. Die epigenetischen Effekte beeinflussen erheblich das Wachstum und die Entwicklung der Pflanze. In Folge dessen, nimmt die epigenetische Kontrolle der Genexpression einen wichtigen Stellenwert bei der Entwicklung eines Organismus ein, denn viele Gene sollten nur zu bestimmten Zeitpunkten in einem spezifischen Zelltyp aktiv sein und ansonsten dauerhaft unterdrückt werden. Die Existenz von epigenetischen Veränderungen ermöglicht der Pflanze eine schnelle Einstellung auf verschiedene Umwelteinflüsse (MOCH 2004).

Die schnelle Anpassung der Pflanze an Umwelteinflüsse durch epigenetische Veränderungen lässt sich anhand der Beispiele Lein und Petunien nachvollziehen.

In einem Versuch, wurden bestimmten Leinpflanzen verschiedene Gaben von Stickstoff, Kalium, Phosphor und Calcium verabreicht. Der dadurch entstandene Umweltstress führte zu genomischen Veränderungen in der Pflanze. OH & Cullis entdeckten darauf hin verschiedene labile DNA-Sequenzen bei denen Amplifizierungen, Deletionen sowie Umordnungen erfolgt waren. Die genomischen Veränderungen lösten dadurch eine phänotypische Stabilität aus. Die Folge war, dass die Versuchspflanzen ebenso stressfrei wuchsen wie die Vergleichspflanzen (MOCH 2004).

Ein Versuch mit Petunienpflanzen im Freiland, der 1990 in Deutschland durchgeführt wurde, lieferte das Resultat, dass auch in transgenen Pflanzen epigenetische Veränderungen stattfinden. Nach einer Hitzewelle mit bis zu 36°C änderte sich die Blütenfarbe der Petunienpflanzen. Vorher verfügten 92% der Blüten über eine lachsrote Färbung, so wiesen nach der Hitzewelle nur noch 37% der Petunienpflanze diese Färbung auf. Die Reduktion des lachsroten Phänotyps resultierte aus der Methylierung des 35 S Promotors aufgrund des erfolgten Hitzestresses (MOCH 2004).

7 Fokusprodukt 1: Möhre (*Daucus carota* L.)

Die Möhre (*Daucus carota* L. ssp. *sativus*) wird zu der Familie der *Apiaceae* gezählt und man verwendet für sie auch die Bezeichnungen Mohrrübe oder Gelbe Rübe (KELLER *et al.* 1999). Bereits in vorchristlicher Zeit gebrauchten die Menschen die Möhre, aber wahrscheinlich ausschließlich zu medizinischen Zwecken (FRITZ und STOLZ 1989). Das Volk der Germanen baute sie unter der Bezeichnung „morha“ an und die Pfahlbauern im Kanton Bern nutzten diese Pflanze einst vor ungefähr 4000 Jahren. Man unterscheidet diese Pflanze in Bezug auf ihre Verwendung nach Futter- und Speisemöhren. Die zwei verschiedenen Nutzungsrichtungen sind sich jedoch in Hinsicht auf die Produktionstechnik sehr ähnlich (KELLER *et al.* 1999).

7.1 Die Herkunft, Botanik und Anbauggebiete

7.1.1 Herkunft und Botanik

Das genetische Zentrum der europäischen Möhrenformen findet man nach Wawilov (1949/1950) in der Türkei (Anatolien) und das der asiatischen Möhrenformen in Mittelasien. Die heimische, wild vorkommende Möhre und die im Mittelmeerraum beheimatete Riesenmöhre könnten über Bastardierung Ausgangsformen für die Kulturmöhre geschaffen haben. Die Kulturform agg. *carota* soll der Kulturmöhre verwandtschaftlich näher sein, als die Wildsippen, die man agg. *gingidium* zuordnet und die bei der Entwicklung der Kulturmöhre keine wesentliche Bedeutung aufzeigen. Die ältesten Kulturformen der Möhre stellen die asiatischen, carotinfreien, anthocyanhaltigen Sippen da. Durch Kreuzungen mit anderen Formen entstanden anthocyanfreie weiße und stark carotinhaltige gelbe und rote Möhren. Den Ursprung der heutigen „Karotinmöhren“ findet man in Nordwesteuropa (KELLER *et al.* 1999).

Die zuvor erläuterte Herkunftsgeschichte der Möhre ist auch in Bezug auf den Gehalt an Carotinoiden in der Möhrenwurzel bedeutend. Zur Domestizierung der Möhre wurden vermutlich Wildmöhren der Subspezies *Daucus carota* ssp. *carota* (fast carotinoidfrei) und *Daucus carota* ssp. *maxima* (wenig Carotinoide) gekreuzt und in Folge dessen entstand die heutige - stark carotinhaltige - Kulturmöhre (RUBATZKI *et al.* 1999). Somit könnte man annehmen, dass der Carotinoidgehalt auf evolutionärer Ebene für die Möhre keine Bedeutung hat. Deshalb würde vermutlich auch der Versuch, einen Zusammenhang zwischen Carotinoidgehalt und exogenen Faktoren herzustellen, zu keinen Ergebnissen führen. Auch ist anzunehmen, dass die Carotinoidproduktion für die pflanzliche Entwicklung (z.B. Überlebens bzw. Reproduktionsrate) keine große Rolle spielt. Auf diesen Aspekt weist auch die parallele

Existenz von Möhrenvarietäten hin, die sich in Hinsicht auf ihre Carotinoidgehalte und deren Zusammensetzungen unterscheiden.

In Rahmen der Morphologie, erzeugt die Möhre im ersten Vegetationsjahr eine fleischig verdickte Speicherwurzel sowie eine Blattrosette und primär findet die Bildung der Pfahlwurzel statt. In Folge des sekundären Dickenwachstums bildet sich an den Leitbündeln ein Kambiummantel der zur Verbreiterung des Zentralzylinders nach innen Holz bildet und zur Verdickung der Rinde nach außen Bast. An der Entstehung des Rübenkörpers spielen zum einen Teil das Hypokotyl und zum anderen Teil die Pfahlwurzel eine wesentliche Rolle und die Färbung des Speicherorgans übernehmen in verschiedenen Anteilen die Chlorophylle, die Carotinoide und die Anthocyane. Die beim Möhrenanbau gegebenenfalls auftretende Verzweigung der Pfahlwurzel (auch „Beinigkei“ genannt) ist ungewollt. Die Möhrenpflanze an sich besitzt ein stark gefiedertes Blatt, der verzweigte Blütenstengel sowie die schwach gewölbten Blütendolden mit vorwiegend zwittrigen weißen oder rötlichen Blüten und Samen, welche je zwei Teilfrüchte ausbilden, entstehen erst im zweiten Vegetationsjahr. Im ersten Anbaujahr sollte ein vorzeitiges Schossen der Möhrenpflanze vermieden werden, da dies zu einer schlechten Möhrenqualität führt (KELLER *et al.* 1999).

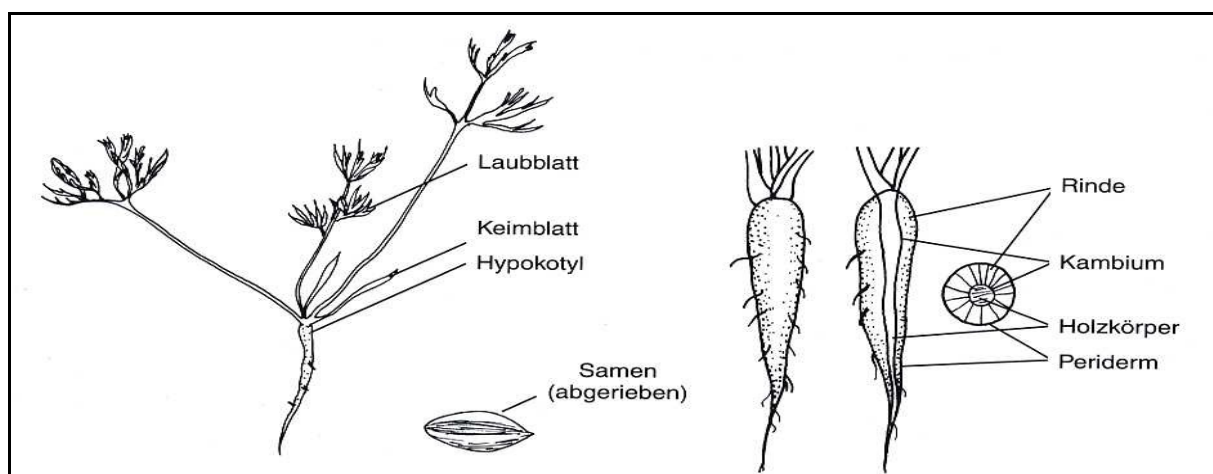


Abbildung 6 Die morphologische Entwicklung der Möhre (Quelle: KELLER *et al.* 1999).

7.1.2 Die Anbauggebiete

Auf einer Fläche von rund 470.000 ha werden weltweit Möhren angebaut und die Erntemenge betrifft ungefähr 5,4 Mio. t. Die Hauptanbauggebiete sind die USA, China, die ehemalige Sowjetunion, Polen und Japan. Dem Möhrenanbau in Europa hingegen gehen die Länder Italien, Niederlande und Frankreich nach. Die Fläche der auf Freiland angebauten Möhren beträgt ca. 9000 ha und das sind rund 9% der gesamten Gemüseanbaufläche. Das Land Niedersachsen nimmt in der deutschen Möhrenproduktion die führende Stellung ein. Das Angebot an Möhren steht den Verbrauchern in Deutschland ganzjährig zur Verfügung und es

werden zusätzlich aus den Ländern Luxemburg, Belgien, Spanien, Israel und USA Möhren importiert. Der durchschnittliche Pro-Kopf-Verbrauch von Möhren in Deutschland liegt bei 6,5 kg/pro Jahr (BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT 2005).

7.2 Die Verwendungsmöglichkeiten der Kulturpflanze Möhre

Die Möhre wird in der Schweine-, Schaf- und Pferdezucht sowie in der Geflügelhaltung als Konzentrat und Diätfutter verwendet. In den Bereichen der Rinderhaltung und Milchviehhaltung spielt sie hingegen als Hauptfutterkomponente eine Rolle. Von der Möhrenpflanze können die Rübe und das Blatt verfüttert werden und die Silierung der Möhre ohne Verwendung von Siliermitteln ist ebenfalls möglich (KELLER *et al.* 1999).

Als Speisemöhre gelangt sie frisch oder konserviert im Zustand von Steril-, Gefrier-, Trocken-, Sauerkonserven oder verstärkt als Saft (v.a. aus ökologischem Anbau) in die Hände der Verbraucher und man zählt sie zu den meist verarbeiteten gemüsebaulichen Rohstoffen. Der Unterschied zwischen roten und gelben Speisemöhren liegt im Geschmack, da die gelben Speisemöhren als Gemüse zubereitet wesentlich milder sind (KELLER *et al.* 1999). Im rohen Zustand und nüchtern verzehrt, wird der Möhre eine harntreibende Wirkung zugesprochen und sie soll ebenfalls ein bekanntes Mittel gegen Würmer sein. Die ätherischen Öle der Möhre sind antibakteriell und beeinflussen die Verdauung und Milchsekretion positiv. Als Sirup verwendet, kann die Möhre schleimlösend wirken und die Widerstandskraft gegen Infektionskrankheiten steigern (FRITZ und STOLZ 1989).

7.3 Die Bedürfnisse der Möhre an den Boden

Für den Anbau von Möhren sind tiefgründige, steinfreie, neutral-alkalisch reagierende lehmige Sand-, sandige Lehm-, Lehm-(Löß-) und auch anmoorige Böden mit gutem Strukturzustand von Vorteil. Die sandigeren Böden erleichtern das Auflaufen sowie die Ernte im Spätherbst. Die Böden, die eine Neigung zur Staunässe haben oder aber Unterbodenverdichtungen aufweisen, sind für den Anbau von Möhren ungünstig (KELLER *et al.* 1999).

7.4 Die Ansprüche an das Klima

Die Entwicklung der Möhre gestaltet sich im kontinental beeinflussten sowie im niederschlagsarmen Tiefland, im Regenschatten der Gebirge und in Höhenlagen unter 500 m ü. M. außerordentlich gut. Ihr Temperaturminimum für die Keimung liegt bei 4-5 °C und sie weist eine Verträglichkeit für schwache Fröste auf. Die Faktoren Hitze und Trockenheit hingegen erschweren der Pflanze den Entwicklungsprozess. Den größten Wasserbedarf benötigt die Möhrenpflanze in der Hauptwachstumsphase von Mitte Juli bis Mitte September und ein sonniger, nicht zu niederschlagsreicher, milder Herbst beeinflusst positiv das

Dickenwachstum und die Carotinbildung. Den Befall der Pflanze durch die Möhrenfliege kann man mittels offener Lagen und großflächigem Anbau vermindern (KELLER *et al.* 1999).

7.5 Möhrenanbau

7.5.1 Bedeutung, Ertragsbildung und ertragssichernde Maßnahmen

7.5.1.1 Im konventionellen Anbau

Es können Erträge von durchschnittlich 600 dt/ha Wurzeln und 100-120 dt/ha Blatt erzielt werden. Auch Wurzelerträge von 1000 dt/ha sind im Bereich des Möglichen. Um die Erträge zu sichern, sind Maßnahmen wie die Wahl von Lagen mit langem, mildem Herbst sowie bewässerungsfähige Standorte und humose Böden mit gutem Strukturzustand für die Entwicklung der Möhrenpflanze von großer Bedeutung. Zusätzlich sollte man die Pflanze während der langsamen Jugendentwicklung einer möglichst geringen Unkrautbelastung aussetzen sowie integrierte Pflanzenschutzmaßnahmen vornehmen und die spätere Ernte mit möglichst schonender Erntetechnik durchführen (KELLER *et al.* 1999).

7.5.1.2 Im ökologischen Anbau

Im ökologischen Möhrenanbau erntet man ca. 8-10 Bund pro qm bei Bundmöhren und mit ungefähr 250 dt kann beim Frühanbau von Kiloware rechnen. Die Erträge bei Sommer- und Herbstmöhren bewegen sich im Rahmen von 350 bis 450 dt/ha und beim Anbau von Industriemöhren für die Verarbeitung erzielt man Erträge bis zu 800 dt/ha. Die ertragssichernden Maßnahmen, wie die Bekämpfung von Unkraut erfolgt im ökologischen Landbau vor dem Auflaufen der Möhre durch Abflammen. Die Unkräuter nach dem Auflaufen der Möhrenpflanze versucht man durch leichtes Anhäufeln zu reduzieren. Zusätzlich gebraucht man noch verschiedene Hackgeräte und viel Zeit wird auch in die Unkrautbekämpfung durch Handjäte investiert. Eine Düngung der Möhre tritt gewöhnlich nur bei Kaliummangel ein. Durch die richtige Sortenwahl, eine angemessene Stickstoffversorgung und einen weiten Reihenabstand versucht man z.B. den Befall der Pflanze mit *Alternaria*-Blattflecken zu vermeiden (DRANGMEISTER 2003).

7.5.2 Einbindung in die Fruchtfolge

7.5.2.1 Im konventionellen Anbau

Die Futtermöhren werden innerhalb der Fruchtfolge meistens zwischen verschiedenen Getreidearten angebaut. Die Kombination der Möhre mit Feldfutterpflanzen, wie zum Beispiel Kohl oder Porree, wird ebenfalls empfohlen. Eine Anbaupause von wenigstens 4 Jahren sollte aufgrund des möglichen Auftretens von Wurzelgallenälchen, wandernder

Wurzelnematoden, Möhrenzystenälchen und unterschiedlicher Schadpilze eingehalten werden. Bei Monokulturanbau konnten bei Sandböden ab dem dritten Anbaujahr und auf Lehm- und Lößböden ab dem 5. Anbaujahr schwere Ertragseinbußen beobachtet werden. Weitere niedrigere Erträge so um die 50% werden beim Anbau nach Winterzwischenfrucht und bei der Einsaat als Sommergerste im Unterschied zum Anbau als Hauptfrucht erzielt. Die Ackerrückstände der Möhre sind mit 7-10 dt/ha Trockenmasse eher gering, jedoch hinterlässt diese Kultur den Boden in einem guten Garezustand (KELLER *et al.* 1999).

7.5.2.2 Im ökologischen Anbau

Die Möhre wird in der Fruchtfolge des ökologischen Landbaus aufgrund ihres verhältnismäßig geringen Nährstoffbedarfs eher weiter hinten platziert. Somit trifft man sie öfters nach einer stark zehrenden Gemüsekultur oder nach dem Anbau von Weizen an. Bei der Verwendung als Sägemüse sollte der Möhre ein gut abgesetztes Saatbett zur Verfügung stehen. Im Frühanbau ist ein Unkrautvorlauf nicht zu verwirklichen, dagegen ist diese Maßnahme bei späteren Saatterminen auf unkrautreichen Flächen zu befürworten. Die späte Rodung von Lagermöhren bringt für den Boden negative Folgen, wie zum Beispiel Fahrspuren mit sich. Um den Zustand des Bodens zu verbessern oder den Unkrautdruck zu verringern, wird öfters nach Möhren Klee gras angebaut (DRANGMEISTER 2003).

7.5.2 Zur Züchtung und Sortenwahl

Im Zuge von intensiver züchterischer Arbeit konnte ein breites Spektrum früher, mittelfrüher und später Möhrensorten erschaffen werden, von denen allerdings nur die späte Reifegruppe als Futtermöhre eine Bedeutung hat. Das größte Gewicht bei der Zucht von Möhrenpflanzen nimmt die Selektion der Ausgangselternpaare in der aussichtsreichen Heterosiszüchtung ein und bei der Entscheidung potentieller Hybridpartner hat die allgemeine Kombinationseignung der männlich-sterilen mütterlichen Hybridpartner die essentiellste Bedeutung. Im Vorfeld hat noch eine breite ökologische Überprüfung des Ausgangs- und Zuchtmaterials zu erfolgen (KELLER *et al.* 1999).

7.5.2.2 Die Zuchtziele

Die bedeutendsten Ziele bei der Zucht von Möhren sind

- Schaffung von hoher Leistungsfähigkeit und Ertragssicherheit
- Regelmäßige intensive Färbung von Herz- und Rindenteil
- hohe Gehalte an Carotin, Vitamin C und Zucker
- hoher Gehalt an Trockensubstanz

- gleichmäßige Wuchsform und glatter Rübenkörper
- hoher Laubansatz und Tauglichkeit zur maschinellen Ernte
- Toleranz und komplexe Resistenz gegenüber verschiedenen Krankheiten und Schädlingen

Die internationalen Genbanken findet man in Deutschland im Institut für Pflanzengenetik und Kulturpflanzenforschung Gatersleben, in Russland im Vavilow-Institut für Pflanzenbau (VIR) in St. Petersburg und auch am Horticultural Research International Institute in Littlehampton (UK) (KELLER *et al.* 1999).

7.5.2.3 Die Sortenwahl

Im konventionellen Möhrenanbau entscheidet man sich ausschließlich bei der Wahl des Saatgutes für Hybriden.

Die Vorteile des Hybridsaatgutes sind:

- bessere Erträge
- größere Einheitlichkeit
- schnellerer Zuchtfortschritt bei der Etablierung von Resistenzen und anderen Eigenschaften (ARNCKEN 2006).

In der ökologischen Landwirtschaft hingegen, äußerten die Gegner der Hybridsorten ethische, politische und ökologische Bedenken bei der weiteren Verwendung von Hybriden im ökologischen Landbau. Im Vordergrund ihrer Argumentation stand die Sorge, dass durch die Züchtung von Hybriden die innere Qualität der Kulturpflanze geschädigt werden könnte. In Folge dessen, gewannen in den letzten Jahren vermehrt die offenbestäubenden Sorten (auch „samenfest“ genannt) an Interesse im ökologischen Landbau (ARNCKEN 2006).

7.5.2.4 Zur Erzeugung von Möhrensaatgut

Die Gewinnung von Saatgut erfolgt aus fertigen Möhren (Pflanzlingen) oder feldüberwinternden Beständen mit bleistiftstarken Rüben. Das für den Handel bestimmte Saatgut verfügt später über eine Mindestkeimfähigkeit von 65% und ist 3-4 Jahre keimfähig. Der halbrunde, abgeriebene Samen besitzt eine Länge von 2-4 mm und eine Breite von 1-2 mm (KELLER *et al.* 1999).

Tabelle 2 Zusammenfassender Überblick über die wichtigsten Unterschiede im konventionellen und ökologischen Möhrenanbau:

	konventioneller Möhrenanbau	ökologischer Möhrenanbau
Ertragspotential	600-1000 dt/ha Wurzeln (KELLER <i>et al.</i> 1999)	350-450 dt/ha Wurzeln (bei Sommer-/Herbstmöhren), ca. 800 dt/ha Wurzeln bei Industriemöhren (DRANGMEISTER 2003)
Fruchtfolge	zwischen verschiedenen Getreidearten, oder in Kombination mit Feldfutterpflanzen (KELLER <i>et al.</i> 1999)	Anbau erfolgt oft nach einer stark zehrenden Gemüsekultur oder nach dem Anbau von Weizen (DRANGMEISTER 2003)
Sortenwahl	Hybridsorten (ARNCKEN 2006)	Hybridsorten und in den letzten Jahren vermehrt samenfeste Sorten (ARNCKEN 2006)
Maßnahmen zur Bekämpfung von Unkraut, Pflanzenkrankheiten und Schädlingen	Maschinenhacke, Abflammen, möglichst geringer Anteil an Handjäte, Pflanzenschutzmittel (KELLER <i>et al.</i> 1999)	Abflammen, Anhäufeln, Maschinenhacke, Prinzip der weiten Reihe, hoher Anteil Handjäte, möglichst geringer Einsatz von Pflanzenschutzmitteln (z.B. Insektizide) (GEORGE und EGBAL 2003)

7.6 Die Inhaltsstoffe und Qualitätsbildung

Die Möhre verfügt über eine hohe Anzahl von wertvollen Inhaltsstoffen. Insbesondere durch ihren hohen Carotingehalt von ca. 24 mg/100 g Frischmasse, aber auch durch ihre hohen Vitamin-C- und Zucker-Gehalte hat sie eine ernährungsphysiologisch wichtige Bedeutung (KELLER *et al.* 1999).

Tabelle 3 Inhaltsstoffgehalte von Möhren bezogen auf 100 g Rohware (Quelle: KELLER *et al.* 1999)

Inhaltsstoff	g		Inhaltsstoff	mg	
	Mittel	Bereich		Mittel	Bereich
Wasser	88,0	87,5-92,0	Mineralstoffe		
Protein	1,0	0,7- 1,2	Natrium	60	32- 83
Fett	0,2	0,1- 0,3	Kalium	290	201-346
Kohlerhydrate (verwertbar)	4,9	3,6- 8,2	Magnesium	18	15- 24
Ballaststoffe (gesamt)	3,4	3,4- 3,7	Calcium	41	25- 52
Mineralstoffe	0,9	0,7- 1,0	Phosphor	35	30- 44
			Nitrat	50	9-110
			Vitamine		
			Carotin	12	6- 21
			Vitamin E	0,6	- -
			Nicotinamid	0,6	0,4- 1
			Pantothensäure	0,3	0,2- 1

7.7 Der Gehalt an sekundären Pflanzenstoffen als Teilaspekt der Möhrenqualität: Einfluss exogener und endogener Faktoren

7.7.1 Carotinoide

Der Carotingehalt der Möhre steht in einem engen Zusammenhang mit der Sortenwahl, denn die Sorten weisen in Bezug auf den Carotingehalt große Unterschiede auf. Des Weiteren steigt der Carotingehalt mit der zunehmenden Reife des Möhrenkörpers (ROUX 1965; HABBEN 1972; BARANSKA *ET AL.* 2006), jedoch wird diese Entwicklung stark durch die vorherrschenden Umweltfaktoren beeinflusst. Somit üben die Parameter Temperatur, Wuchsraum, verfügbare Wassermenge im Boden sowie die Niederschläge (in Form von Regen oder Beregnung) einen großen Einfluss auf die Reife des Möhrenkörpers und damit auf die Höhe des Carotingehaltes aus. Da z.B. hohe Temperaturen und eine geringe Wasserverfügbarkeit die Reife, die Ausfärbung der Möhre und die Höhe des Carotingehaltes fördern. Im Gegenteil dazu aber beeinflussen hohe Wassermengen und niedrige Temperaturen den Carotingehalt negativ (ROUX 1965).

BARANSKA *ET AL.* (2006) führten einen Versuch zum Thema „Gewebespezifische Anhäufung von Carotinoiden in Möhrenwurzeln“ durch. Mit Hilfe der Raman-Spektroskopie konnten sie eine sensible Ermittlung über das Vorkommen von Carotinoiden in lebendem Gewebe leiten und die Raman-Kartierung gab zusätzlich Aufschluss über die räumliche Verteilung der Carotinoide in den gemessenen Möhren. Die wichtigsten Carotinoide der Möhre (α -, β -Carotin, Lutein und Lykopin) wurden in diesem Versuch in Bezug auf ihre Verteilung und ihren Gehalt bewertet. Die Herkunft sowie die Farbe der Möhren waren verschieden. Das β -Carotin war zwischen den Wurzelabschnitten (Periderm, Kambium) unterschiedlich verteilt, je nach dem ob orange, gelbe, rote oder purpurne Möhren untersucht wurden. Im sekundären Phloem nahm der β -Carotin-Gehalt vom Periderm in Richtung des Kambiums zu, aber von den geschlossenen Zellen hin zu den Kambiumgefäßen verringerte er sich. Das α -Carotin und das Lutein wiesen in den jüngeren Zellen höhere Gehalte auf, als das β -Carotin, während das Lykopin im sekundären Phloem vergleichbare Gehalte aufzeigte (BARANSKA *ET AL.* 2006).

Zusammenfassend ergibt sich aus dieser Vorbemerkung, dass die in Folge zu analysierenden Literaturfundstellen aufgrund der unterschiedlichen Reife der Proben nur begrenzt miteinander verglichen werden können.

Untersuchungen zu dem Einfluss des Standortes

In dem Zeitraum von Oktober 1944 bis April 1945 führte JANES (1946) eine Untersuchung durch, in der er den Einfluss des Standortes sowie der Düngermenge auf das Trockengewicht, den Ascorbinsäuregehalt und den Carotingehalt in Kohl, Brokkoli und Möhren untersuchte. Dazu wurden in der Zeitspanne von Oktober bis Mai auf sieben Standorten, die sich von Homestead im Süden bis Gainesville im Norden ausdehnten, zwei Möhrensorten (*Danvers Half-Long* und *Imperator*) angebaut (JANES 1946).

Aufgrund der weiten Verteilung der Standorte wuchsen die Kulturen unter verschiedenen klimatischen Bedingungen sowie auf unterschiedlichen Böden heran. Die Kulturen erhielten drei verschiedene Düngungsvarianten (normale Dosierung, die $\frac{1}{2}$ der Dosierung und die $1\frac{1}{2}$ Dosierung) basierend auf der üblichen Durchschnittsmenge, die für die jeweilige Kultur, den Boden sowie die Region empfohlen wurde. Jede dieser Behandlungen wurde auf den verschiedenen Standorten zweimal ausgebracht (JANES 1946).

Die meisten geernteten Möhren besaßen eine Länge von 1 *inch* und mehr im Durchmesser und keine der Möhren lag in ihrer Größe unter einem $\frac{1}{2}$ *inch*. Es fand allerdings kein Versuch zu unterschiedlichen Reifestadien der Möhre statt. Nur in Gainesville und Homestead wurden auf einer bestimmten Anbaufläche zwei verschiedene Möhrenernten durchgeführt. Nach der Ernte wurden die Proben der verschiedenen Kulturen nach Gainesville gebracht und dort bis zur chemischen Untersuchung bei 5°C eingelagert. Die chemische Analyse wurde 36 Stunden nach erfolgter Ernte abgeschlossen (JANES 1946).

Die Möhren, die an verschiedenen Zeitpunkten und Standorten geerntet wurden, zeigten im Zuge dieses Versuches unterschiedliche Carotingehalte auf. Ein Beispiel dafür, waren die in Belle Glade geernteten Möhren (Ernte nach 138 Tagen), sie verfügten über einen Carotingehalt von 6-7 mg pro 100 g Trockenmasse. Im Vergleich dazu, besaßen die in Hastings angebauten Möhren (Ernte nach 111 Tagen) einen Carotingehalt von 11-11,5 mg pro 100g Trockenmasse. Aus den Ergebnissen, konnte geschlossen werden, dass die erhöhte Dosierung des Düngers eine Verzögerung des Wachstums der Möhrenwurzel hervorgerufen hatte. Der Einfluss der Düngung auf den Carotingehalt hingegen war nicht klar ersichtlich, da die Ernte der Möhrenproben an den verschiedenen Standorten ebenfalls zu unterschiedlichen Zeitpunkten statt gefunden hatte. Es wurde jedoch vermutet, dass das jeweilige Klima einen größeren Einfluss auf den Carotingehalt ausgeübt hatte, als die Bodenart. Da in dieser Untersuchung die Art des verwendeten Düngermittels nicht angegeben wurde, lassen sich nur schwer Schlüsse über dessen Wirkung ziehen (JANES 1946).

Im Rahmen eines randomisierten Feldversuches prüften BOOTH und DARK (1949) die Auswirkungen der Umwelt sowie des Parameters Reife auf den Gehalt an Carotinoiden in Möhren.

Durch die Anwendung bestimmter Anbaubedingungen waren gespaltene Möhrenwurzeln (Beinigheit) entstanden, deren Werte über einen Zeitraum von drei Saisonen mit nicht gespaltenen Möhren verglichen wurden. In jeder Reihe einer Parzelle befanden sich 17 Möhren. In vielen Reihen hatten sich keine gespaltenen Möhren entwickelt. Gespaltene Möhren wurden von der Untersuchung ausgeschlossen. Die Verteilung, der gespaltenen Möhren innerhalb einer Reihe war sehr unterschiedlich da einige Reihen nur eine gespaltene Möhre aufwies und in vielen anderen Reihen hingegen mehr als eine gespaltene Möhre herangewachsen war. Die chemische Untersuchung ergab, dass die Spaltung der Möhrenwurzel keinen Einfluss auf den Carotinoidgehalt hatte. In manchen Fällen splitterte das Phloem der Möhrenwurzel der Länge nach. Das Xylem quoll im Zuge der wachsenden Möhrenwurzel an und splittende Ränder entstanden, weil sich das Phloem halbrund um das Xylem ausdehnte. Man vermutete, dass die Spaltung einen Einfluss auf den Carotinoidgehalt haben könnte und, dass die zuvor angewandte chemische Untersuchung in diesem Fall ungeeignet gewesen war. Deshalb wurden andere gespaltene Möhrenwurzeln ein weiteres Mal separat analysiert. Das Ergebnis dieser Analyse zeigte, dass 5% der gespaltenen Möhrenwurzeln über einen höheren Carotinoidgehalt verfügten, als die normal entwickelten. Auch mit einer weiteren ähnlichen Analyse, in der die Zylindertechnik angewandt wurde, wiesen die gespaltenen Möhrenwurzeln einen höheren Carotinoidgehalt auf. Somit wurde vermutet, dass die Spaltung einen geringen Einfluss auf die Carotinoidbildung ausgeübt hatte (BOOTH und DARK 1949).

In einem weiteren Versuch wurde der Einfluss von Maden der Möhrenfliege auf die Pigmente in der Möhre untersucht. Die befallenen Möhrenwurzeln wiesen 16 % mehr Pigmente auf als die nicht befallenen und in einer weiteren Untersuchung besaßen die infizierten Möhrenwurzeln 5% mehr Pigmente als die nicht infizierten. Daraus schloss man, dass der Befall der Möhrenwurzel mit der Möhrenfliege die Pflanze stimulierte und in Folge dessen dazu animierte mehr Carotinoide einzulagern. Eine weitere Möglichkeit bestand darin, dass die Möhrenfliege im Vorfeld bereits stark carotinhaltige Möhren zur Ablage ihrer Eier ausgewählt hatte und die Pflanze in Folge der Schädigung (Verlust von Wasser und Metaboliten) mehr Carotinoide gebildete (BOOTH und DARK 1949).

Auch die Wirkung der Vereinzelnung von Pflanzen (Bestandesdichte) auf den Carotinoidgehalt wurde untersucht, indem man die eine Hälfte der Samen (drei verschiedener Sorten) jeweils in einem Abstand von 8 cm einsäte und die andere Hälfte der Samen in üblichem Saatabstand ablegte. Die Pflanzen der nicht vereinzelnungten Samen waren in ihrem Erscheinungsbild schmaler, wiesen jedoch trotzdem noch eine akzeptable Größe auf. Eine Menge von 700 Möhrenwurzeln wurde analysiert und es konnte kein, durch die Vereinzelnung der Pflanzen, hervorgerufener Effekt nachgewiesen werden (BOOTH und DARK 1949).

Der Einfluss des Saatzeitpunktes auf den Carotinoidgehalt wurde 1941 geprüft, indem man die Samen einer frühen Marktsorte in wöchentlichen Abständen einsäte. Die Ernte dieser Möhren wurde im Dezember durchgeführt. Im Rahmen dieses Versuches konnte beobachtet werden, dass der Carotinoidgehalt unabhängig vom Saatzeitpunkt bis zu dem Monat Juni anstieg, danach aber stetig abfiel. Auch im Jahr 1943 sank bei Arten der Sorte *Red-cored Chantenay* der Carotinoidgehalt ab dem Monat Juni ab. Im Gegenteil dazu, wurde in demselben Jahr bei den frühen Marktsorten beobachtet, dass der Carotinoidgehalt bereits einen Monat früher abfiel. Im Jahr 1945 säte man zwischen April und Mai eine Möhrensorte mit hohem Carotinoidgehalt aus, deren Ernte im Herbst statt fand. Der Zeitpunkt, an dem in diesem Versuch der Carotinoidgehalt absank, lag in der Mitte des Aprils und früher. In Folge dieser Versuche kamen BOOTH und DARK (1949) zu dem Schluss, dass die üblich angebauten Sorten vor dem Monat Mai eingesät werden sollten und die Sorten mit hohem Carotinoidgehalt möglichst früh im Frühjahr.

Inwiefern sich die jährlich wechselnden Wachstumsbedingungen auf den Carotinoidgehalt in Möhren auswirken, untersuchte man unter anderem, indem die Samen einer bestimmten Möhrensorte auf verschiedenen Gebieten eines Standortes in Cambridge zu sieben unterschiedlichen Saisons eingesät wurden. In den ersten drei Jahren analysierte man 100 Möhren jeder Sorte, im Jahr 1945 reduzierte man jedoch die zu untersuchende Anzahl auf 40 Möhren. In den späteren Ergebnissen kamen Saisons mit hohen sowie niedrigen Carotinoidgehalten vor. Zusätzlich konnte festgestellt werden, dass die verschiedenen Wachstumsbedingungen in den jeweiligen Saisons die Sorten mit hohem Carotingehalt stärker beeinflusst hatten, als die Sorten mit durchschnittlichem Carotinoidgehalt (BOOTH und DARK 1949).

Um zu untersuchen, inwiefern sich das Alter der Samen auf den Carotinoidgehalt in Möhren auswirkt, wurden zwei verschiedene Versuche durchgeführt. In dem einen Versuch wurden Samen derselben Herkunft über zwei aufeinanderfolgende Jahre eingesät und den

Carotinoidgehalt ermittelte man jeweils im Herbst. Insgesamt führte man 25 Vergleiche zwischen dem ersten Jahr und der letzten Saat durch und 21 Ergebnispaare erhielt man insgesamt in den zwei Jahren. Im späteren Gesamtergebnis enthielten die Möhren, die aus älteren Samen herangewachsen waren 3% mehr Pigmente, als die Möhren, die sich aus jüngeren Samen entwickelt hatten. In dem anderen Versuch wurden die Samen der gleichen Herkunft verwendet, jedoch aus zwei aufeinanderfolgenden Ernten. Allerdings war eine Probe mit Samen 1 Jahr älter als die übrigen Proben. Auch in diesem Versuch besaßen die Möhren, die aus älteren Samen herangewachsen waren höhere Carotinoidgehalte. Insgesamt zog man aus diesen Versuchen den Schluss, dass der aufgetretene Effekt sich sehr gering bemerkbar machte und augenscheinlich nicht zu erkennen war und zusätzlich verringerte er sich mit der Zeit. Für die Entstehung des höheren Carotinoidgehaltes in Möhren, die aus älteren Samen herangewachsen waren, wurden folgende Möglichkeiten in Erwägung gezogen:

1. jüngere Samen benötigen mehr Zeit zum Keimen, als ältere Samen und somit erreicht die Möhre vermutlich nicht die vollständige Reife
2. die Samen, aus denen die Möhren mit geringem Carotinoidgehalt entstanden, besaßen eine geringere Entwicklungsfähigkeit
3. der Versuch bestand aus einem größeren Anteil an Paaren aus einem carotinoidarmen Jahr, als aus einem carotinoidreichen Jahr (BOOTH und DARK 1949)

In einem weiteren randomisierten Feldversuch untersuchten BOOTH und DARK (1949) den Einfluss verschiedener Standorte auf den Carotinoidgehalt in Möhren. Insgesamt acht verschiedene Möhrensorten wurden 1945 auf schwarzem Moorboden in Chatteris und auf Flussskies in Cambridge angebaut. Einen ähnlichen Versuch führte man ebenfalls 1946 in Risby und in Cambridge auf sandigem Lehmboden durch. Jeder dieser Standorte wurde mit einer für diese Kultur üblichen Düngermenge behandelt und die Entfernung zwischen diesen drei Standorten betrug 50 km (BOOTH und DARK 1949).

In jedem Jahr zeigten die Ergebnisse statistisch signifikante Unterschiede in den jeweiligen Probenpaaren der verschiedenen Standorte auf. In dem Versuchsjahr 1946 enthielten die Proben des Standortes Cambridge zum Beispiel höhere Carotinoidgehalte als die Proben aus Risby. Aufgrund der unterschiedlichen Werte der jeweiligen Standorte, vermutete man, dass sowohl der Standort als auch die jeweilige Bodenart den Carotinoidgehalt in den Möhren beeinflusst hatte (BOOTH und DARK 1949).

In einem Versuch prüften BANGA und DE BRUYN (1955) den Einfluss niedriger Temperaturen auf den Carotingehalt in verschiedenen Möhrensornten. Die Samen, von vier verschiedenen Möhrensornten (*Chantenay Long Type*, *Meaux*, *Berlikumer Bierma* und *Amsterdam Forcing*), wurden am 28. Juli 1954 in zwei Asbest-Rahmen eingesät. Der Boden innerhalb der Rahmen bestand zu einem Teil aus gesiebttem Lehm und des Weiteren aus Torfmull und Gartenboden. Die zwei Räume, in denen der Versuch stattfand, waren klimatisiert und künstlich beleuchtet und bis zum Auflaufen der Pflanzen am 10. August 1954 verfügten die zwei Räume über identische Bedingungen. Zu diesem Zeitpunkt wurde der eine Raum auf eine Temperatur von 18°C eingestellt und der andere Raum erhielt eine Temperatur von 8°C. Außerdem versorgte man die Pflanzen in beiden Räumen für 12 Stunden am Tag mit künstlichem Licht und die Wasserversorgung der Pflanzen (Wassertemperatur 11°C) erfolgte über Fließendwasser. Die Ernte von einer Reihe jeder Möhrensorte erfolgte am 28. Oktober 1954 aus dem auf 18°C temperierten Raum und die Ernte aus dem auf 8°C temperierten Raum fand am 25. November 1954 statt. Die letzten zwei vorgenommenen Ernten aus dem auf 18°C temperierten Raum betrugten einen Abstand von vier Wochen (BANGA und DE BRUYN 1955).

Die Ergebnisse zeigten, dass bei gleichem Wurzelgewicht, die Möhren aus dem auf 8°C eingestellten Raum auf die Trockenmasse bezogen niedrigere Carotingehalte aufwiesen als die bei 18°C herangezogenen Möhren. Da die Temperatur, in diesem Versuch der einzige beeinflussende Parameter war, konnte man diesen für die unterschiedlichen Carotingehalte verantwortlich machen. Die Sorten *Chantenay Long Type* und *Meaux* zeigten im Zuge der Untersuchung am deutlichsten, dass die Temperatur im ersten Stadium der Entwicklung nur einen sehr geringen Einfluss auf den Carotingehalt ausübt. Die Ursache dafür, lag im noch jungen Alter der Pflanzen, indem sie noch nicht fähig waren, eine große Menge an Carotinoiden zu bilden. In dem auf 18 °C temperierten Raum, stieg der Carotingehalt in den Pflanzen (z.B. bei der Sorte *Amsterdam Forcing*) zunächst bis zu einem bestimmten Maximum sehr schnell an, danach fand eine eher langsamere Bildung der Carotinoide statt. Des Weiteren reifte die Sorte *Amsterdam Forcing* von allen Möhrensornten am schnellsten (BANGA und DE BRUYN 1955).

In einem Zeitungsbericht der Rheinischen Monatsschrift für Gemüse, Obst und Zierpflanzen erläutert MEHWALD (1965) anhand einiger in Schleswig-Holstein stattgefundenen Karotinuntersuchungen aus den Jahren 1954-1964 die Zusammenhänge zwischen Möhrenanbau und erhaltenen Carotinwerten. Die Ergebnisse zeigten, dass die Carotinwerte

der verschiedenen Möhrensorten (Bauers Kieler rote, Lange rote stumpfe ohne Herz, lange rote stumpfe (Typ Nord), Rote Riesen, Rothild, Nantaise, Nantaise „Rotin“, Neuzucht I, Neuzucht II) erheblich schwankten, die Mittelwerte hingegen wurden als gut befunden. Die Aufzeichnungen der Durchschnittstemperaturen, Niederschläge und Sonnenscheinstunden der untersuchten Jahre in dem Zeitraum von Juli bis Oktober zeigten, dass diese Parameter den Carotingehalt nicht wesentlich beeinflusst hatten. Im Gegensatz dazu, übten die verschiedenen Bodenarten einen erheblichen Einfluss auf den Carotingehalt aus. Aufgrund der geringen Probenanzahl die im Rahmen dieser Untersuchungen analysiert wurde, ist die Aussagekraft dieser Studie jedoch eingeschränkt (MEHWALD 1965).

Einen Gefäßversuch, in dem die Auswirkungen von Boden und Witterung auf den Ertrag sowie den Gehalt an Carotin, Zucker und Rohfaser in Möhren untersucht werden sollten, führte HABBEN (1972) in dem Zeitraum von 1969-1970 durch. Zur besseren Abgrenzung der Parameter Witterung und Boden im Rahmen dieses Gefäßversuches wählte man gleiche und unterschiedliche Böden an mehreren Standorten (Hannover, Geisenheim und Weihestephan) im Freien. Die in diesem Versuch verwendeten Mitscherlichgefäße wurden für einen Umfang von sechs Wiederholungen vorbereitet und als anzubauende Sorte wählte man den Nantaise-Stamm Sperlings Frühbund (HABBEN 1972).

Die aus Möhrenanbaugebieten stammenden Böden, ein Niedermoorboden aus Karlshuld und ein feinsandiger Lehm aus Schrobenhausen, wurden jeweils an den zuvor genannten Standorten eingesetzt. Zusätzlich versuchte man die Anbaumaßnahmen einheitlich zu gestalten, so dass man die später auftretenden Unterschiede zwischen den Standorten nur auf den Einfluss der Witterung zurückführen konnte. Jedoch musste bei diesem Versuch bedacht werden, dass an Tagen mit hoher Einstrahlung die Temperaturen in den Mitscherlichgefäßen um ein Wesentliches höher waren als unter normalen Bodenbedingungen und das sich die physikalischen Eigenschaften des Bodens durch die Aufbereitung verändert hatten (HABBEN 1972).

Die Düngung erfolgte pro Gefäß in folgender Dosierung:

- 1,2g N als $\text{NH}_4 \text{NO}_3$
- 2,0 g K_2O als K_2OS_4
- 2,0g P_3O_5 als $\text{CaHPO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$
- 0,2g MgO als $\text{MgSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$

Kalium, Magnesium und 1/3 der N-Menge vermengte man vor der Einsaat mit dem Boden und die übrigen N-Gaben erfolgten in Form von zwei Kopfdüngungen während der Vegetation (HABBEN 1972).

Eine Anzahl von 30 Samen setzte man in die mit 3,9 kg Niedermoorboden bzw. 6,8 kg Mineralboden gefüllten Mitscherlichgefäße und sobald zwei Blätter entstanden waren, vereinzelt man auf 10 Pflanzen/Gefäß. Die Gefäße wurden über den gesamten Versuchszeitraum natürlichen Witterungsbedingungen ausgesetzt und erhielten bei Bedarf Leitungswasser. Die Ernte der jeweiligen Flächen erfolgte später zu 3 verschiedenen Zeitpunkten und in einem Abstand von 3 Wochen. Der letzte Schritt vor den chemischen Untersuchungen umfasste die Bestimmung der Wurzel-Blatterträge auf denen basierend dann eine repräsentative Mischprobe aus 10 Pflanzen jeder Wiederholung erstellt wurde (HABBEN 1972).

Die über die Varianzkomponentenschätzung erhaltenen Ergebnisse in Bezug auf den Carotingehalt fielen folgendermaßen aus:

- Die Carotinbildung wurde wesentlich von den gewählten Erntezeitpunkten und dem damit verbundenen Reifestadium beeinflusst (Varianzanteil 59%)
- Die standortspezifischen Parameter Boden und Witterung wirkten nur mit einem geringen Anteil von 8-9% der Gesamtstreuung auf den Carotingehalt ein und trotzdem beeinflussten auch diese Faktoren den Provitamin-A-Gehalt hochsignifikant
- Die auf den Niedermoorböden angebauten Möhren verfügten im Verlauf des gesamten Versuchszeitraumes über höhere Carotingehalte, als die auf den Lehm Böden angebauten Möhren

Im Rahmen der Faktorenanalyse, konnte nachgewiesen werden, dass die Parameter Temperatur und Reifegrad den Carotingehalt in den Möhren am meisten beeinflusst hatten. Deshalb führte man auch die geringeren Carotingehalte am Standort Weihenstephan auf die niedrigeren Temperaturen zurück, die dort während des gesamten Versuchszeitraumes vorgelegen hatten (HABBEN 1972).

Den Einfluss, den der Parameter Temperatur auf den Carotingehalt der Möhre bewirkt hatte, führte man darauf zurück, dass die Temperatur die jeweilige Reife beschleunigt und zusätzlich eine direkte Wirkung auf die Carotinsynthese der Möhre ausgeübt hatte. Des Weiteren, konnte man anhand dieses Versuches beobachten, dass der Provitamin-A-Gehalt

eng mit dem Ertrag korreliert und somit zog man den Schluss, dass sich die Böden mit hoher Ertragsfähigkeit für den Möhrenanbau am Besten eigneten (HABBEN 1972).

Versuche zur Wirkung verschiedener Düngungsvarianten

In den Untersuchungen von PFÜTZER und PFAFF (1935) wurde der Einfluss von Dünger auf den Vitamingehalt der Pflanzen geprüft. Zur Durchführung dieser Untersuchungen verwendete man Pflanzenmaterial, das aus exakten Feldversuchen (Ertragsversuchen) hervorgegangen war. Eine Mittelprobe wurde aus mehreren Parallelpzellen entnommen und ausschließlich Material, das mit dem Durchschnitt übereinstimmte, wurde letztendlich für die Untersuchungen verwendet. Auch die gesamte Ernte von zur Verfügung stehenden Kastenversuchen zog man in die Untersuchungen mit ein (PFÜTZER und PFAFF 1935).

Die Feldversuche hatte man auf einem Boden des Limburger Hofes mit folgenden Eigenschaften durchgeführt:

- neutraler, humoser Boden
- mit starkem Stickstoffbedürfnis
- geringem Phosphor- und Kalibedürfnis

Die höchste Düngierzufuhr mit Nitrophoska II bzw. III wurde dem Nährstoffbedarf des Bodens angepasst (PFÜTZER und PFAFF 1935).

Die Düngung der verschiedenen Gemüsekulturen (Rotkohl, Mangold, Speisemöhren, Spinat, etc.) mit Volldünger beziehungsweise Stickstoffdünger hatte eine Erhöhung des Provitamin-A-Gehaltes in den jeweiligen Kulturen zur Folge. Die gesteigerte Höhe lag jedoch in den untersuchten Kulturen unterschiedlich vor. Eine wesentliche Steigerung des Provitamin-A-Gehaltes wiesen die grünen Blätter des Grünkohls sowie die Speicherorgane der Möhren auf. Die Böden, die eine erhebliche Stickstoffdüngung im Zuge der Untersuchungen erhalten hatten, fielen im nach hinein durch bedeutende Ertragsteigerungen sowie einer wesentlichen Steigerung des Carotinertrages je Flächeneinheit auf (PFÜTZER und PFAFF 1935).

Im Rahmen einer Untersuchung prüfte POLLARD (1941) die Wirkungen verschiedener Düngemittel auf den Carotingehalt von Möhrenwurzeln. Die Düngung wurde in folgenden Versionen durchgeführt:

- ohne Stickstoff (L)
- Stalldünger (O)

- ohne Kali (N)
- ohne Phosphat (M)
- nur Stickstoff (J)
- Volldünger (K)
- Stickstoff und Phosphat mit NaCl
- Volldünger mit KCl

Von den drei behandelten Flächen wurden willkürlich Proben aus den zuvor genannten Düngungsvarianten gezogen. Im Anschluss daran wurden die Möhren für die chemische Untersuchung vorbereitet. Die Analyse der Möhrenproben konnte keine großen Unterschiede bezüglich des Carotingehaltes im Zusammenhang mit den verschiedenen Düngungsvarianten aufzeigen. Die Proben der Flächen, die eine Düngung mit hohem Stickstoffanteil (N, M, J, K) erhalten hatten, wiesen geringfügig höhere Carotingehalte auf, als die Proben der Flächen, die keine oder nur eine geringe Stickstoffdüngung (O, L) bekommen hatten. Die Düngungsvarianten die zusätzlich Chloride enthalten hatten, lieferten Carotinwerte, die zwischen den zuvor genannten Düngungsvarianten lagen, obwohl der Stickstoffanteil vergleichbar zu den Düngungsvarianten (N, M, J, K) war. Somit wurde vermutet, dass die Höhe der Carotinbildung im Wesentlichen von dem zur Verfügung stehenden Stickstoff abhängt. Im Gegensatz dazu beeinflusst die Anwesenheit von Chloriden die Carotinbildung nachteilig (POLLARD 1941).

In einem zweijährigen experimentellen Versuch untersuchte (SCHARRER und BÜRKE 1953) den Einfluss der Ernährung auf die Provitamin-A-(Carotin)-Bildung in landwirtschaftlichen Nutzpflanzen. Neben der Durchführung von Mangeldüngungsversuchen sollte die physiologische Funktion jedes einzelnen Nährstoffes in Folge von Nährstoffsteigerungsversuchen ermittelt werden. Zur Realisierung dieses Versuches verwendete man Mitscherlichgefäße sowie unterschiedliche handelsübliche Düngemittel, die es ermöglichen sollten die physiologischen Verhaltensweisen der Anionen in Bezug auf die Carotinsynthese aufzuzeigen. Unter Verwendung des Kultursubstrates „Hirschauer Quarzsand“ erfolgte die Anlage des Düngungsversuchens in einem Umfang von 4 Parallelen (SCHARRER und BÜRKE 1953).

Die Mitscherlichgefäße standen während des gesamten Versuchszeitraumes im Freien und nur bei auftretendem Wasserdefizit wurde mit destilliertem Wasser nachgegossen. Diese

Maßnahme sollte eine oxydative, fermentative und photochemische Destruktion der empfindlichen Carotinpigmente vermeiden. Die spätere analytische Auswertung wurde umgehend nach dem Schnitt der jeweiligen Pflanzen durchgeführt, welche sich alle im gleichen Entwicklungsstadium befanden. Aufgrund des schwankenden Wassergehaltes der jeweiligen Pflanzen wurde zusätzlich neben dem Frischgewicht auch die Trockensubstanz bestimmt (SCHARRER und BÜRKE 1953).

Im Jahr 1952 führte man im Rahmen dieses Versuches einen Düngungsversuch mit Möhren durch, indem geklärt werden sollte, inwiefern sich unterschiedliche K-Düngemittel auf den Carotingehalt der Möhre auswirken. Des Weiteren prüfte man die Auswirkungen einer Kombinationsdüngung chemisch reiner K- und Mg-Salze, die ihren Vorteil in der Ausschaltung der Anionenwirkung besaß. Die Analyse des Carotingehaltes wurde sowohl an der Möhrenwurzel als auch am Möhrenkraut durchgeführt (SCHARRER und BÜRKE 1953).

Einen Anstieg des Carotingehaltes erwirkte man bei dem Möhrenkraut durch K-Düngungen zum Ertragsoptimum hin. Im Gegensatz dazu, beeinflusste ein überreichliches K-Angebot die Carotinbildung auf negative Weise. Die gleichen Zusammenhänge ließen sich bei der Möhrenwurzel beobachten. Durch den Einsatz der Kombinationsdüngung mit chemisch reinen K- und Mg-Salzen konnte sowohl der Carotingehalt als auch Ertragssteigerungen bei der Möhrenwurzel und auch beim Kraut erreicht werden. Des Weiteren wurde die Beobachtung gemacht, das Kalium als K_2SO_4 in Verbindung mit einer zusätzlichen Mg-Düngung das Carotinbildungsvermögen positiver beeinflusste als die Düngung mit Kaliumchlorid (SCHARRER und BÜRKE 1953).

Von den verwendeten K-Düngesalzen verursachte die Kalimagnesia beim Möhrenkraut den prozentual höchsten Carotingehalt und -ertrag. Darauf folgte in abnehmender Reihenfolge das schwefelsaure Kali, das 40%ige Kalisalz und letztendlich das Kainit. Bei der Möhrenwurzel bewirkten das Kalimagnesia und der schwefelsaure Kali die größten Mehrerträge an Gesamtcarotin/Gef. (aufgrund der höheren Ertragsleistung an Trockenmasse). Das 40%ige Kalisalz hingegen führte den höchsten prozentualen Carotingehalt bezogen auf die Trockensubstanz herbei. Dieses Ergebnis entstand durch den besonders hohen Wassergehalt der mit dem 40%igen Kalisalz behandelten Möhren. Die negativste Wirkung auf die grundsätzliche Entwicklung und die Carotinsynthese der Möhrenwurzel übte der Kainit aus. Diese Wirkung führte man auf die hohe Salzkonzentration und den hohen Gehalt an Chloriden zurück (SCHARRER und BÜRKE 1953).

In dem Zeitraum von 1969-1971 führte HABBEN (1973) einen Versuch zum Thema „Einfluss steigender Stickstoff- und Kaliumgaben auf den Gehalt an Carotin, Zucker, Rohfaser und Nitrat in Möhren“ durch. Die Versuche wurden in Mitscherlichgefäßen durchgeführt, die mit 3,5 kg Einheitserde 0 (45 Vol.-% Untergrundlehm und 55. Vol.-% Torf) gefüllt waren. Die Versuche hatten einen Umfang von fünf Wiederholungen. Die gesamten K_2O - und P_2O_5 -Gaben sowie $\frac{1}{3}$ der N-Gabe erhielt die Erde vor der Einsaat und die restliche N-Menge wurde in zwei Kopfdüngungen eingeteilt und der Pflanze während der Vegetation zugeführt. Die Möhrensamen (Sorte: „Nantaise“) ließ man drei Tage bei 20°C in einem Keimschrank vorkeimen. Eine Menge von 20 vorgekeimten Samen wurde in einzelne Gefäße verteilt und kurz nach dem Erscheinen der Laubblätter vereinzelt. Die Gefäße platzierte man im Sommer 1969 und 1970 in einer Vegetationshalle und im Winter/Frühjahr 1970 und 1971 in einem Gewächshaus (HABBEN 1973).

Die Möhrenpflanzen zeigten ein fast einheitliches Verhalten in Bezug auf die Düngung und deshalb mittelte man die Ergebnisse der Versuche. Nur bei den Nitratgehalten wurden die Ergebnisse aus Winter- und Sommeranbau einzeln dargestellt, weil sich eine hochsignifikante Wechselwirkung Düngung /Versuche einstellte (HABBEN 1973).

Der Versuch erbrachte in Bezug auf die β -Carotin-Gehalte in den Möhren folgende Ergebnisse:

- im Frühjahr 1970 und 1971 wiesen die Möhren höhere Carotingehalte auf als im Sommer 1969 und 1970, der Grund dafür, vermutete man, waren die höheren Temperaturen beim Anbau im Gewächshaus
- der Carotingehalt der Möhrenwurzel stieg in Folge des Wachstums und der Reife an, der Carotingehalt in den Blättern war generell niedriger als in den Wurzeln und sank mit zunehmendem Alter der Pflanze
- die Stickstoffdüngung begünstigte ebenfalls die Carotinbildung und den Provitamin A-Gehalt
- der Carotinertrag erhöhte sich bei steigenden Stickstoffgaben stärker, als der Carotingehalt, dies führte man auf die durch die Stickstoffdüngung erhöhten Wurzeleerträge und Provitamin-A-Gehalte zurück
- die Carotinbildung im Möhrenblatt wurde durch die Stickstoffdüngung stärker beeinflusst, als die Carotinbildung in der Wurzel

- die Kaliumdüngung hatte nur einen sehr geringen Einfluss auf die Carotingehalte, die geringen Gehalte an Carotin stiegen auch hier im Blatt höher an, als in der Möhrenwurzel (HABBEN 1973)

HABBEN (1973) führte die Effekte unterschiedlicher Stickstoffgaben auf den Carotingehalt darauf zurück, dass der Stickstoff in seinen Eigenschaften nicht nur das vegetative Wachstum der Möhre beeinflusste, sondern auch eine direkte Wirkung auf die Carotinsynthese ausübte. Hinzu kam, dass er in eigenen Untersuchungen einen Zusammenhang zwischen Größe der jeweiligen Möhre und ihrem Carotingehalt feststellen konnte. Somit stellte er die Vermutung auf, dass die Stickstoffdüngung zunächst primär auf das Wachstum einwirkt und sich der Provitamin-A-Gehalt nur erhöht, weil er mit der Größe der Wurzel eng korreliert. Er verglich anlehnd an BANGA und DE BRUYN (1964) den Provitamin-A-Gehalt mit dem durchschnittlichen Wurzelgewicht, um zu untersuchen, ob die Stickstoffdüngung einen direkten Einfluss auf die Carotinsynthese hat. Aus seinen ermittelten Werten geht hervor, dass das Carotin bei hoher Stickstoffdüngung höhere Gehalte aufweist, als bei geringerer Stickstoffversorgung. In Bezug auf die Kaliumdüngung mutmaßte er, dass die Kaliumversorgung den Provitamin-A-Gehalt über die jeweilige Möhregröße bestimmt hatte (HABBEN 1973).

In einem Feldversuch prüfte NILSSON (1979) in dem Zeitraum von 1975-1976 die Auswirkungen verschiedener Düngungsvarianten (organisch und mineralisch) auf den Ertrag, die Lagerfähigkeit, die Qualität und die chemischen Verbindungen von Möhren (*Daucus carota* L.), Kohl (*Brassica oleracea* L.) und Lauch (*Allium porrum* L.). Die Versuchsfelder waren in Parzellen unterteilt, deren Größe 3,24 m² betrug und die Düngung der Kulturen wurde in folgenden Varianten durchgeführt:

1. NPK Mineraldünger (normale Dosierung)
2. Stalldünger + organischer Dünger (Geflügelmist)
3. PK Mineraldünger (Dosierung wie beim NPK-Mineraldünger) + organischer Stickstoff in Form von getrocknetem Blut und Hirschhornmehl

Zusätzlich brachte man noch die verschiedenen Düngungsvarianten in der Hälfte ihrer Dosierung aus (NILSSON 1979). Der Anteil des verfügbaren Stickstoffs in den Varianten 2 und 3 war genau so hoch wie in der Variante 1 unter der Annahme, dass 70% des organischen Stickstoffes verfügbar waren. Jede Düngungsvariante wurde dreifach wiederholt, wodurch

man eine Parzellenanzahl von 54 Stück erhielt. Die Möhren erhielten jedes Jahr 100 kg N/ha, 70 kg P/ha, 160 kg K/ha und 30 kg M/ha (NILSSON 1979).

Jede Parzelle bestand aus vier Reihen und der Reihenabstand betrug 45 cm. Die Parzellen befreite man per Hand vom Unkraut und Insektizide setzte man nur bei Bedarf ein. Des Weiteren entwickelten sich die Pflanzen unter natürlichen Bedingungen und nur beim Auftreten von Trockenperioden wurde bewässert. Nach der Ernte der Möhrenproben wurden diese in einem gekühlten Raum eingelagert. Die für die chemische Analyse willkürlich gezogenen Möhrenproben bestanden aus 20 Klasse I Wurzeln in der Größe von 15-35 mm (NILSSON 1979). Das Ergebnis der chemischen Analyse ergab in Bezug auf die Möhren, dass keine der angewendeten Düngungsvarianten und Dosierungen eine Wirkung auf den Carotingehalt in den Möhren ausgelöst hatte (NILSSON 1979).

Eine Untersuchung mit dem Schwerpunkt „Auswirkungen der Stickstoffdüngung und Unkrautbekämpfung auf die Nährstoffqualität von Möhren“ leitete SANDHU *ET AL.* (1988) in dem Zeitraum von 1984-1985. Ein Umfang von 14 Herbizidbehandlungen stand im Vergleich zu *weed free control* und *unweeded control*. Im zweiten Jahr der Untersuchung wurden verschiedene Stickstoffbehandlungen (0, 20, 40, 60 und 80 kg N/ha) auf den Teilflächen ausgebracht und im Jahr zuvor hatten die Flächen bereits fünf Behandlungen zur Unkrautbekämpfung erhalten. Die in unterschiedlich hohen Dosen verwendeten Herbizide waren: Fluchloralin, Metoxuron, Linuron, Methbenzthiauron, Isoproturon, Metribuzin und Terbutryn. Über den gesamten Anbauzeitraum von zwei Jahren wurde die Möhrensorte Nr.29 angepflanzt (SANDHU *ET AL.* 1988).

Der Boden auf dem die Feldversuche durchgeführt wurden, verfügte über folgende Eigenschaften:

- sandiger Lehm bestehend aus:
 - 67,00-72,4 % Sand
 - 7,00-8,00 % Lehm
 - 20,5-25,0 % Ton (SANDHU *ET AL.* 1988)

Die Bodenuntersuchung in dem Zeitraum von 1984-85 ergab einen pH-Wert von 8,5 (alkalisch), geringe Kohlenstoffgehalte (0,3 %), eine optimale elektrische Leitfähigkeit von 0,24 mmhos/cm, hohe verfügbare Stickstoff-(210 kg/ha) und Kaliumgehalte (360 kg/ha), aber geringe Phosphorgehalte (30 kg/ha) (SANDHU *ET AL.* 1988). In dem Zeitraum von 1985-1986 hingegen verfügten die Versuchsfelder über folgende Bodenwerte:

- pH-Wert: 8,9
- mittlere elektrische Leitfähigkeit (0,20 mmhos/cm)
- Kohlenstoffgehalte (0,27%)
- Phosphor (32,5 kg/ha)
- Kalium (345 kg/ha)
- Stickstoff (151,5 kg/ha) (SANDHU *ET AL.* 1988)

Die erhöhten Werte beim Carotiningehalt, bei den löslichen Feststoffen und den organoleptischen Eigenschaften der Möhren dieser Untersuchung wurden auf die Herbizidbehandlungen mit Fluchloralin und die gesteigerten Stickstoffbehandlungen (0-80 kg/ha) zurückgeführt (SANDHU *ET AL.* 1988).

In einem Versuch von LECLERC *ET AL.* (1991) wurden die Auswirkungen von mineralischem und organischem Dünger auf die Vitamin- und Mineralstoffgehalte von Möhren und Knollensellerie (*Apium graveolens* L.) erforscht. Der großflächig angelegte Versuch fand in den Jahren 1987 und 1988 in den Regionen Burgund und Dôle in Frankreich statt. Ziel des Versuches war die Klärung der Frage, wie die Düngung (organisch vs. mineralisch) u.a. den Carotinoidgehalt der untersuchten Kulturen beeinflusst. Die getesteten Düngungsvarianten wurden in der gleichen Region, auf dem gleichen Bodentyp, mit denselben Sorten und den gleichen Wachstumsperioden (120 Tage bei den Möhren) angewendet. Man versuchte die Aussattermine möglichst einheitlich zu gestalten. Im Ergebnis zeigten die organisch gedüngten Möhren höhere β -Carotin-Gehalte, als die mineralisch gedüngten Proben. Diese Ergebnisse waren jedoch letztendlich umstritten, da verschiedene veröffentlichte Publikationen diese Ergebnisse bestätigten und wiederum auch widerlegten. In Folge dessen wurde vermutet, dass die jeweilige Anbautechnik der Grund für die unterschiedlichen β -Carotin-Gehalte war (LECLERC *ET AL.* 1991).

Ein Feldexperiment in dem Möhren (*Daucus carota* L.) und Kohl (*Brassica oleracea* L.) mit organischem und mineralischen Dünger behandelt wurden, führte (WARMAN und HAVARD 1997) in den Jahren 1990-1992 durch. Die zwei Kulturen baute man auf sandigem Lehm in Lower Onslow und Nova Scotia an. Des Weiteren wechselten die Möhren und der Kohl die Flächen (85-120 m²) jedes Jahr. Die geeigneten Flächen waren vorher Weideland gewesen und hatten in den letzten 3 Jahren vor dem Anbau weder eine Behandlung mit Pflanzenschutzmitteln noch eine Düngung erhalten. Die beschriebenen Standorte bekamen ein

Jahr vor Beginn des Möhren- und Kohlanbaus eine Kalkung, wurden gewalzt und lagen anschließend brach. Fünf Wiederholungen von beiden Düngungsvarianten (organisch und mineralische) wurden jedes Jahr auf den jeweiligen Flächen abwechselnd durchgeführt. Jedes Frühjahr nahm man Bodenproben, die vor erneuter Düngung analysiert wurden. Die Wahl des konventionellen Düngers war darauf ausgelegt die NPK-Werte im Boden, basierend auf den vorher gezogenen Bodenproben, auszugleichen. Als organischen Dünger verwendete man Rinder- oder Hühnermist (Kompost), der bereits seit 8 Monate rottete. Zusätzlich wurden die Flächen, die eine organische Düngung erhalten sollten, noch mit Phosphor versorgt (WARMAN und HAVARD 1997).

Die konventionelle Möhrenproduktion wurde mit dem Herbizid Trifluralin und dem Insektizid Carbaryl behandelt. Die ökologisch erzeugten Möhren erhielten keine synthetischen Herbizide, da die Unkrautbekämpfung von Hand erfolgte. Rotenone (Insektizid) und *Bacillus thuringiensis* wurden zur Schädlingskontrolle verwendet und um das Ausbringen von Insektiziden so gering wie möglich zu halten, wurden Insektenfallen und Pheromonköder aufgestellt (WARMAN und HAVARD 1997).

Die β -Carotin-Gehalte fielen im Jahr 1992 in den mineralisch gedüngten Möhren signifikant höher aus als die β -Carotin-Gehalte in den Möhren, die eine organische Düngung erhalten hatten (WARMAN und HAVARD 1997).

Innerhalb der ermittelten Werte dieses dreijährigen Versuchs gab es nur sehr geringe Unterschiede (einige waren nicht eindeutig signifikant) zwischen den mineralischen und organischen Düngungsvarianten. (WARMAN und HAVARD 1997) mutmaßte, dass die Wahl des Kompostes als organischer Dünger für das Entstehen dieser Werte verantwortlich war, da die Mineralisationsrate des Kompostes sich den Nährstoffen des mineralischen Düngers annäherte.

Tabelle 4 Zusammenfassende Übersicht: Auswirkung des exogenen Faktors Düngung auf den Carotinoidgehalt.

Quelle	Düngungsvarianten	Auswirkung auf {beta}-Carotin Gehalt
PFÜTZER und PFAFF 1935	mineralische Düngung (Volldünger bzw. Stickstoffdünger)	- Erhöhung der Carotingehalte in Abhängigkeit von N-Zufuhr
POLLARD 1941	verschiedene mineralische Dünger und eine organische Düngung	- N-Zufuhr beeinflusst wenig - Cl-Zufuhr beeinflusst mittel
SCHARRER und BÜRKE 1953	mineralische Düngung (verschiedene K-Dünger)	- sowohl eine Erhöhung des Carotingehaltes, als auch eine Verringerung des Carotingehaltes - Cl-Zufuhr und Art des Kalidüngers haben großen Einfluß
HABBen 1973	mineralische Düngung (Stickstoff)	Erhöhung des Carotingehaltes
SANDHU <i>ET AL.</i> 1988	mineralische Düngung (Stickstoff) in Kombination mit versch. Herbizidbehandlungen	Erhöhung des Carotingehaltes mit steigender N-Zufuhr
LECLERC <i>ET AL.</i> 1991	Organische vs. mineralische	Organisch höher
WARMAN und HAVARD 1997	Organische vs. mineralische	Mineralisch höher

Untersuchungen zu dem Einfluss verschiedener Herbizidbehandlungen

Einen zweijährigen Versuch leitete LELLEY (1972) in dem Zeitraum von 1970-1971, indem er den Einfluss der Unkrautkonkurrenz und der Herbizidspritzung mit Linuron auf den Ertrag und Carotingehalt von Möhren untersuchte. Um die Entwicklung des Carotingehaltes in den Möhren sowie die Verbindung zum Abbau der Linuronrückstände besser beobachten zu können, wurde ein Untersuchungszeitraum von 30 Tagen während der Vegetationszeit gewählt. Die Versuchsanlage legte man so an, dass die Durchführung einer vierfachen Wiederholung möglich war. Die Möhrensorten „Rotin“ und „Marktgärtner“ wurden im Rahmen des zweijährigen Anbauversuches verwendet, wobei die erst genannte Möhrensorte über einen sehr hohen Carotin-Gehalt verfügte. Die Parzellen besaßen eine Größe von 14 qm und die Versuchsfläche verfügte über folgende Eigenschaften:

- Bodenart: sandiger Lehm
- Humusgehalt: 5,5%
- Unkrautflora (in beiden Anbaujahren):
 - *Urtica urene* L.
 - *Matricaria chamomilla* L.
 - *Capsella bursa-pastorie* (L.) Med.
 - *Galineoga parviflora* Cav.

- *Poa annua* L. (LELLEY 1972)

Die Herbizidspritzung führte man bei Vorhandensein des 3-4 Blattstadiums mit Linuron (Afalon 47% AS) durch. Im Jahr 1970 existierten neben unbehandelten Versuchsflächen auch Flächen, die eine Herbizidspritzung mit Dosierungen in Höhe von 0,47; 0,56; 0,80 kg/ha Linuron erhalten hatten. Im zweiten Anbaujahr, 1971, wurden unbehandelte Flächen, mechanisch unkrautfrei gehaltene (gejätet) Flächen und Flächen mit einer Herbizidspritzung von 0,70, und 0,80 kg/ha Linuron in den Versuch mit einbezogen. Die viermalige Probenentnahme während der Vegetationszeit führte man nach 65, 75, 85 und 95 Tagen durch und insgesamt erntete man 200 Stück (50 pro Parzelle). Bis zur anschließenden chemischen Analyse wurden die Möhren entlaubt, gewaschen, abgetrocknet, gewogen und letztendlich eingefroren (LELLEY 1972).

Im Rahmen dieses Versuches, konnte ein kurzfristiger Einfluss des Herbizideinsatzes auf die Carotinbildung in den Möhren erkannt werden. Die mit Linuron behandelten Möhren beider Sorten stagnierten anfangs (65, 75 Tage nach der Saat) in Bezug auf den Carotingehalt und erst dann erfolgte ein schneller Anstieg des Carotingehaltes auf den für beide Sorten typischen Wert. Im Vergleich dazu, stieg bei den unbehandelten Möhren der Carotingehalt zu Beginn und erreichte aber letztendlich nur die Hälfte des Carotingehaltes je Gewichtseinheit der unkrautfrei aufgezogenen Möhren. Aufgrund dieser Beobachtungen, vermutete man, dass die im Zuge des Herbizideinsatzes erfolgte Unkrautvernichtung die Bildung des Carotins positiv beeinflusst hatte. Dennoch, hatte der Herbizideinsatz den Carotin-Gehalt anfangs in negativer Weise beeinflusst, denn der Carotin-Gehalt lag bei den unbehandelten Möhren „Rotin“ am 75 Tag und „Marktgärtner“ am 65 Tag nach der Saat höher vor, als bei den unkrautfreien Möhren. Der höhere Carotingehalt der Sorte „Marktgärtner“, der bereits 75 Tage nach der Einsaat geringfügig höher gewesen war, führte man auch auf die höhere Empfindlichkeit dieser Sorte in Bezug auf die Unkrautkonkurrenz zurück (LELLEY 1972).

Auch im Jahr 1971 beeinflusste die Herbizidspritzung mit Linuron die Carotinbildung der Möhren zunächst negativ. Bei den ersten Probenentnahmen wiesen beide Sorten auf den mechanisch unkrautfrei gehaltenen Flächen höhere Carotingehalte auf. Dasselbe Ergebnis nur mit geringeren Carotingehalten zeigte sich auf den unbehandelten Flächen. Im Zuge des weiteren Vegetationsverlaufes stieg die Unkrautkonkurrenz auf den zuvor genannten Flächen an und wirkte sich negativ auf die Carotinbildung aus. Somit verfügten 75 Tage nach der Saat die unbehandelten Flächen über die niedrigsten Carotingehalte je Gewichtseinheit und die gespritzten Möhren über die höchsten Gehalte. Die einzige Ausnahme waren die mit

0,56 kg ha⁻¹ Linuron behandelten Möhren der Sorte „Marktgärtner“, deren Carotingehalt unter dem der gejäteten Möhren lag. Dieses Ergebnis führte man auf die geringe Behandlungsmenge und den infolge dessen gestiegenen Unkrautdruck zurück (LELLEY 1972).

Auffallend war im Verlauf des Versuches ebenfalls, dass bei beiden Sorten der gespritzten Flächen der Carotingehalt je Gewichtseinheit nach 75-85 Tagen den Carotingehalt der gejäteten Bestände erreicht hatte. Die Carotinbildung entwickelte sich im weiteren Verlauf der Vegetation nahezu parallel. In demselben Zeitraum lagen die Linuronrückstände bei „Rotin“ um ein zweifaches höher als bei „Marktgärtner“. Deshalb wurde vermutet, dass die kritische Rückstandsmenge an Linuron, die die Carotinbildung bei Möhren beeinflusst, je nach den Eigenschaften der jeweiligen Sorte unterschiedlich ist (LELLEY 1972).

Ein Feldversuch zu dem Thema „Wirkungen ausgewählter Herbizide auf den Provitamin-A-Gehalt von Gemüse“ wurde von SWEENEY und MARSH (1971) durchgeführt. Für die Realisierung dieses Versuches wählte man carotinreiche Gemüsearten (Möhren [*cv. Danvers* und *Chantenay*], Spinat [*cv. Bounty* und 668,9] und zwei Kürbissorten [*Butternut Squash* und *Hubbard Squash*]) aus.

Die Auswahl der Herbizide sowie die Anzahl der Behandlungen wurde von der Crops Protection Branch, Agricultural Research Service, U.S. Department vorgeschlagen. Die Pflanzenschutzmittel CIPC [isopropyl N-(3-chlorophenyl)] und Linuron [3-(3,4-dichlorophenyl)-1-methoxy-1-methylurea] setzte man zur Behandlung der Möhren ein und die Mittel CDEC (2-chloroallyl diethyldithiocarbamate) und Endothal [7-oxabicycloheptane-2,3-dicarboxylic acid] verwendete man für den Spinat. Außerdem kamen noch die Mittel Amiben (3-amino-2,5-dichlorobenzoic acid) und Dinoseb (4,6-dinitro-O-sec-butylphenol) beim Kürbis zum Einsatz (SWEENEY und MARSH 1971).

Die Feldversuche wurden randomisiert angelegt und die Behandlung der verschiedenen Sorten mit den Pflanzenschutzmitteln erfolgte in viermaliger Wiederholung. Die Ausbringung der Herbizide wurde vor der Bepflanzung der jeweiligen Flächen in folgendem Verhältnis pro Feldstück vorgenommen:

- 4 lb CIPC, Amiben und CDEC
- 1,5 lb Linuron
- 6 lb Dinoseb
- 2 lb Endothal (SWEENEY und MARSH 1971)

Jede Gemüseart wurde an vier bzw. fünf verschiedenen Tagen beprobt und die Entnahme der Proben erfolgte zufällig von den jeweiligen Feldstücken. Im Anschluss wurden die verschiedenen Proben unverzüglich zur Bestimmung des Carotin-Gehaltes und der Stereoisomere vorbereitet. Die daraus gewonnenen jeweiligen Extrakte wurden in Petroleumether überführt und bei 0° F unter reduziertem Druck gelagert. Die Bestimmung des Carotin-Gehaltes und der Stereoisomere wurde an jeder Extraktionsprobe viermal wiederholt (SWEENEY und MARSH 1971).

Die Ergebnisse dieses Feldversuches bezüglich der Carotin-Gehalte fielen folgendermaßen aus:

- der Carotingehalt der Möhren stieg mit der zunehmenden Reife des Gemüses an
- die mit den zuvor genannten Mengen an Herbiziden behandelten Möhren wiesen höhere Carotingehalte auf, als die Möhren die gewöhnlichen Herbizidbehandlungen ausgesetzt waren
- auch die Mittelwerte des Carotingehaltes (von fünf Ernten) der Möhren dieses Versuches überschritten die Werte der Möhren die gewöhnlichen Herbizidbehandlungen ausgesetzt waren in folgenden Prozentwerten: Danvers, Linuron 20%; Danvers, CIPC 30%; Chantenay, Linuron 50% und Chantenay, CIPC 40%
- die verwendeten Herbizide verursachten jedoch keine signifikanten Veränderungen in Bezug auf die Anordnung der Carotin-Stereoisomere und α -Carotin wurde ausschließlich nur in den Möhren und der Kürbissorte [*Butternut Squash*] entdeckt (SWEENEY und MARSH 1971)

Im Jahr 1972 leiteten BECKMANN und PESTEMER (1975) Forschungen in einem Freilanddauer Versuch (bereits 1956 als Langparzellenversuch angelegt) mit dem Schwerpunkt „Einfluss von Herbizidbehandlungen bei unterschiedlicher Humusversorgung auf Ertrag und Inhaltsstoffe von Möhren“. Der Boden erhielt neben der Standardbehandlung bestehend aus mineralischer Nährstoffversorgung (NPK), jährlich fünf weitere Versionen aus einer Kombination von mineralischer und organischer Düngung (NPK + Grün- bzw. Stallmistdüngung) (BECKMANN und PESTEMER 1975).

Die Daten des Bodens:

- Parabraunerde
- Korngrößenzusammensetzung (6,55 Ton, 23,1% Schluff, 70,4% Sand)

- pH-Wert: 6,8 (BECKMANN UND PESTEMER 1975)

Beim Anbauversuch mit Möhren wurde die Sorte „Frühbund“ verwendet. Der Reihenabstand betrug 30 x 3 cm. Die mineralische Düngung erfolgte in Form von Kalkammonsalpeter, Bor-Superphosphat und Kalimagnesia. Die Pflanzenschutzmittelbehandlung mit Afalon (47% A.S. Linuron) erfolgte im Nachauflauf bzw. nach dem Erscheinen von 3-4 Laubblättern. Die Standardaufwandmenge betrug 1,5 kg/ha. Neben an erfolgte die Applizierung der doppelten Konzentration. Insgesamt verteilte man eine Wasseraufwandmenge von 400 l/ha. Die Versuche hatte man auf eine vierfache Wiederholung ausgerichtet. Die Unkrautbekämpfung erfolgte in den 11 m² großen Parzellen von Hand. Der größte Anteil der Möhrenernte wurde als Bundmöhre vermarktet und man zeichnete die Stückzahl sowie das Gewicht auf. Um die Linuron-Rückstandsmengen zu ermitteln, führte man eine Zwischenernte, acht Wochen nach der Applikation, durch (BECKMANN und PESTEMER 1975).

In diesem Versuch übte die Herbizidbehandlung der Möhren einen negativen Einfluss auf den Carotingehalt aus. Die Anwendung der doppelten Aufwandmenge Afalon verursachte jedoch nicht automatisch eine stärkere Depression der Carotin-Gehalte. Im Gegensatz zu den Versionen mit zusätzlicher organischer Düngung, wurde im Durchschnitt aller drei Versuche die Depression am stärksten bei der Version der reinen NPK-Düngung deutlich. Erheblichere Schwankungen zeigten sich bei der Version NPK + Roggen, sie führte zu einer leichten Förderung des Carotingehaltes bei 1,5 kg Afalon/ha und zu einer sehr starken Depression bei 3,5 kg Afalon/ha. Die gegensätzlichen Aussagen in der Literatur im Vergleich zu den Resultaten von (BECKMANN und PESTEMER 1975), ließ ihn vermuten, dass die Folgen einer Herbizidspritzung nicht nur von den Parametern Bodenart und Aufwandmenge bestimmt werden, sondern wahrscheinlich wesentlich von der Wahl der Sorte abhängen (BECKMANN und PESTEMER 1975).

Tabelle 5 Zusammenfassende Übersicht: Auswirkung der Herbizidbehandlungen auf den Carotinoidgehalt.

Quelle	Herbizidbehandlungen	Auswirkung auf {beta}-Carotin Gehalt
LELLEY 1972	Linuron	Erhöhung des Carotingehaltes
SWEENEY und MARSH 1971	Linuron, CIPC	verursachte höhere Carotingehalte
BECKMANN und PESTEMER 1975	Afalon (47% A.S. Linuron) in Verbindung mit verschiedenen Düngungsvarianten	verursachte niedrigere Carotingehalte; stärker im Zusammenhang mit Düngung
SANDHU <i>ET AL.</i> 1988	mineralische Düngung (Stickstoff) in Kombination mit versch. Herbizidbehandlungen	Erhöhung des Carotingehaltes

Auswirkungen verschiedener Produktionsweisen

Eine Untersuchung zu dem Thema „Inhaltsstoffe von Winterweizen und Möhren aus verschiedener Produktionsweise und Vermarktung,“ wurde von POMMER und LEPSCHY (1985) im Herbst 1982 durchgeführt. Die Wahl der Produkte erfolgte auf den alternativ bewirtschafteten Betrieben (AL-Betriebe) unter der Bedingung, dass sich die Erzeugung der Produkte nach einschlägigen Richtlinien ereignet hatte. Der Vermarktungsrichtung „Bioläden“ entnahm man weitere Proben, um letztendlich einen Eindruck über die dort herrschenden Verhältnisse zu bekommen. Die letzten Produktproben wurden zum Zweck einer Gegenüberstellung aus den üblichen Vermarktungseinrichtungen gewählt. Bei der Vielfalt an Produkten, entschied man sich für den Weizen als Vertreter der Getreidearten und für die Möhre als Vertreter der Gemüse. Proben im Umfang von 20 Möhrenproben (mit und ohne Kraut, mit und ohne Verpackung) bzw. 20 Weizenproben (Körner) wurden von den unterschiedlichen Herkünften im Herbst 1982 bezogen. Die Wahl der Einkaufsorte orientierte sich nach dem Standort der AL-Betriebe, bzw. der Bioläden. Die Getreideproben wurden direkt aus den Lagerhäusern der Betriebe gezogen. Die beprobten Bioläden befanden sich in Oberbayern im Bereich München, Augsburg, Herrsching und Freising. Die räumliche Verteilung der Einkaufsstellen für Möhren aus gängigen Geschäften oder Großmärkten war ähnlich gestaltet, wie die der Bioläden. Die AL-Betriebe, die bereit waren Produktproben zur Verfügung zu stellen, befanden sich in Oberbayern, Schwaben, Mittelfranken und Unterfranken. Die Betriebe unterteilten sich nach ihrer jeweiligen Produktionsrichtung, folgendermaßen:

- 60% produzierten nach biologisch-dynamischen Landbau
- 38% erzeugten nach Richtlinien des organisch-biologischen Landbaus
- 2% stellten ihre Produkte nach den Richtlinien des Verbandes für naturgemäßen Landbau her (POMMER und LEPSCHY 1985)

Die jeweiligen Proben wurden zu den üblichen Vermarktungspreisen erstanden und die Menge von 1 kg jeder Fruchtart noch am Tag des Einkaufs in die dafür vorgesehenen Labore gebracht und verarbeitet (POMMER und LEPSCHY 1985).

Die Möhren wurden auf ihre α - und β -Carotin-Gehalte untersucht, da sie ernährungsphysiologisch gesehen die bedeutendsten Bestandteile dieser Gemüseart sind. Die Ergebnisse dieser Untersuchung in Bezug auf den Carotingehalt ergaben:

Carotingehalt pro Frischmasse:

- Die Möhren aus Bioläden und alternativen Betrieben wiesen höhere Carotingehalte in der Frischmasse auf, als die Möhren aus der üblichen Erzeugung

Carotingehalt pro Trockenmasse:

- Die Carotingehalte bezogen auf die Trockenmasse ergaben ein weitgehend ausgeglichenes Ergebnis (POMMER und LEPSCHY 1985)

Die Carotingehalte innerhalb der verschiedenen Herkünfte waren durch große Schwankungen gekennzeichnet. Diese Schwankungen, vermutete man, ergaben sich aus den Parametern Sorte, Standort und Erntezeitpunkt. Die Proben der alternativen Betriebe lieferten den höchsten und niedrigsten α -Carotin Wert. Innerhalb der Proben der alternativen Betriebe zeigten die Proben aus Franken überdurchschnittliche Carotingehalte auf. Diese Resultate führte man auf das sonnenscheinreichere und regenärmere Klima in Franken zurück (POMMER und LEPSCHY 1985).

Diesem Ergebnis sollte man noch hinzufügen, dass sich die Zahl von 20 Einzelproben je Herkunft an der unteren Grenze für eine repräsentative Aussage befindet (POMMER und LEPSCHY 1985).

Versuche zu dem Einfluss der Sorte

Ein Forschungsprojekt zu dem Thema „Die Bedeutung der chemischen Zusammensetzung sowie einiger Pflanzencharakteristika bei viel versprechenden Möhrensorten in Verbindung zu ihrer jeweiligen Qualitätsausbildung“ leitete (BAJAJ *ET AL.* 1980) im Jahr 1978. Es wurden Proben im Umfang von 23 Möhrensorten, 15 beheimatete und acht exoriginäre Sorten, untersucht. Die Möhren wurden auf ihre verschiedenen chemischen Bestandteile (Trockensubstanz, völlig lösliche Feststoffe, β -Carotin, totale und reduzierte Zucker, Phenole, Phosphor, Zink, Mangan, Kupfer, Eisen, Natrium, Kalium und Asche) hin untersucht. Zusätzlich zog man noch folgende Parameter in die Untersuchung mit ein:

- Tage bis zur Reife der jeweiligen Sorte
- Wurzelgewicht/Wurzellänge
- Fruchtfleischdicke
- Innendurchmesser
- Anzahl der gespaltenen und gerissenen Wurzeln (BAJAJ *ET AL.* 1980)

Die Untersuchung führte zu folgenden Ergebnissen:

- die gelben Möhren verfügten über die längsten Wurzeln, die meisten wasserlöslichen Kohlenhydrate und die geringsten β -Carotin-Gehalte
- die beheimateten Möhren besaßen höhere β -Carotin-, Phenol- und Phosphor-Gehalte als die exoriginären Möhrensorten
- eine signifikant positive Korrelation bestand zwischen dem β -Carotin-Gehalt, dem Ascheanteil und dem „Tag der Reife“ (BAJAJ *ET AL.* 1980)

Im Zuge eines Laborversuches untersuchten SIMON und WOLFF (1987) Carotinoide in typisch gefärbten und dunkel-roten Möhren. Eine Auswahl von sechs Möhrensorten (F524, B2566, B3080, B6274, B6439, B9692) lieferte eine abwechslungsreiche Skala des genetischen Materials von frischen Marktmöhren. Hinzu kam noch die Wahl einer dunkel-orangen Möhrensorte (HCM), die man aus dem „*USDA carrot improvement program*“ in EL Centro, CA, Zellwood, FL, und Palmira, WI bezogen hatte. Die Möhren wurden gewaschen und bis zur Beprobung bei 4°C eingelagert (SIMON und WOLFF 1987).

Der Einfluss der Parameter Genetik und Umwelt auf den Carotin-Gehalt der Möhren wurde folgendermaßen charakterisiert:

Die dunkel-orange Sorte (HCM) enthielt grundsätzlich mindestens doppelt so viele Carotinoide als die anderen getesteten Sorten. Die Sorten B6274 bzw. B2566 wiesen die geringsten Carotin-Gehalte von allen getesteten Sorten auf und die Sorten F524 und B3080 unterschieden sich außerordentlich von den restlichen Sorten beim Parameter Standort/Jahr. Trotz allem ließ sich kein Hinweis finden, aus dem man hätte schließen können, dass der niedrige Carotin-Gehalt der beiden Sorten aus einem direkten Zusammenhang mit dem Standort in Florida 1986 resultierte. Man vermutete, dass die kalte Witterung zu diesem Zeitpunkt kleinere und physiologisch unreifere Möhren hervorgebracht hatte (SIMON und WOLFF 1987).

Von allen quantifizierten Carotinoiden kam das β -Carotin in allen getesteten Sorten mit 44-79% am häufigsten vor. Die Sorte HCM, die insgesamt die größte Anzahl an Carotinoiden aufwies, verfügte über den niedrigsten β -Carotin-Gehalt. Bei allen anderen getesteten Sorten konnte man keinen Zusammenhang zwischen totalem Carotin-Gehalt und relativem β -Carotin Anteil erkennen. Das ζ -Carotin besaß einen Anteil von 2-4% bei den getesteten Sorten, außer bei der Sorte HCM, hier betrug der Anteil 4-10%. Die Möhren, die man 1985 in Wisconsin angebaut hatte, verfügten über höhere α -Carotin-Gehalte. Einen Anteil von 94-97% nahmen die β -, α -, und ζ - Carotine insgesamt in allen getesteten Sorten ein. Die verbleibenden 3-6%

teilten sich β -Zeacarotin, γ -Carotin und Lycopin in einem Verhältnis von 1-3%:1-2%:1% (SIMON und WOLFF 1987).

Im Jahr 1988 leitete (HEINONEN 1990) einen Versuch mit dem Schwerpunkt „Carotinoid- und Provitamin-A-Aktivitäten in Möhrensorten“. Die Proben zur Realisierung dieses Versuches stammten von 18 verschiedenen orangen Möhrensorten aus unterschiedlichen Anbaugebieten im Süden Finnlands. Nur eine der Proben wurde im Westen Finnlands in Säkylä angebaut. Die Probenentnahme führte man im Oktober 1988 nach einer Vegetationsperiode von vier Monaten durch. Ungefähr zehn Möhren von jeder Möhrensorte wurden zufällig ausgewählt und anschließend bei + 4 °C in einem dunklen Raum eingelagert. Diese Einlagerung erfolgte für einen Zeitraum von weniger als 3 Tagen und im Anschluss fand die Bestimmung der Carotinoide statt (HEINONEN 1990).

Die Sorten Nantes Duke Notabene 370 und Nantes Fancy Notabene 406 verfügten in diesem Versuch aufgrund einer längeren Wachstumsperiode über höhere α - und β -Carotin-Gehalte als die F₁ Sorten. In Folge des außergewöhnlich warmen Sommers im Jahr 1988 wiesen in diesem Versuch grundsätzlich alle beprobten Möhrensorten einen hohen Carotin-Gehalt auf. Des Weiteren fand man in der Futtermöhrensorte Berlicum R hohe Carotin-Gehalte sowie in den F₁ Sorten Narbonne, Nelson und Nantucket. In den untersuchten Möhren lag das β -Carotin in einer Höhe von 4600 bis 10300 mg/100 g Frischmasse vor und die Skala des α -Carotins reichte von 2200 bis 4900 mg/100 g Frischmasse. Auch über γ -Carotin-Gehalte verfügte jede beprobte Sorte und die Menge bewegte sich von 630-2700 μ g/100 g Frischmasse. Die Lutein-Gehalte lagen in einem Bereich von 110-560 μ g/100 g Frischmasse vor (HEINONEN 1990).

Zusätzlich wurde in diesem Versuch beobachtet, dass die β -Carotin-Gehalte in den beprobten Möhren im Sommer (Juni-August) sehr niedrig waren. Im Herbst sowie in den ersten drei Monaten der Lagerung (Oktober-März) hingegen verfügten die Möhren über hohe β -Carotin-Gehalte (HEINONEN 1990).

Bedeutung der exogenen und endogenen Faktoren für die Bildung des Carotinoidgehaltes in Möhren (dargestellt in abnehmender Reihenfolge)

Sorte (genetisch carotinarm / genetisch carotinreich) > Klima (Niederschläge, Temperatur) > Standort (in wärmeren / kühleren Regionen) > Anbau (Boden, Düngung, Schädlingsbefall, Herbizidbehandlungen, Produktionsweise)

7.7.2 Polyphenole

Die Beeinflussung des Gehaltes an phenolischen Substanzen in Möhren in Abhängigkeit von exogenen und endogenen Faktoren ist bisher nur unzureichend erforscht. Es konnten nur die folgenden zwei Untersuchungen gefunden werden, die sich mit dem Polyphenolgehalt in Möhrenwurzeln in Abhängigkeit zu den Faktoren beschäftigen.

Eine Untersuchung über den Phenol-, Flavonoid-, Proanthocyanidin- und Vitamin C-Gehalt sowie deren antioxidative Fähigkeiten in mauritanischem Gemüse leitete BAHORUN *ET AL.* (2004). Die Kopfsalat- (*Lactuca sativa* L.), Beifuss- (*Artemisia vulgaris* Cantley) und Chinakohlproben (*Brassica chinensis* L.) stammten aus den regionalen Gärten von Vacoas (Region auf Mauritius), während die Zwiebelproben über einen Großhändler der Agricultural Marketing Board (AMB) von Mauritius vermittelt wurden. Die anderen Gemüsekulturen (Brokkoli, Blumenkohl, Weißkohl [*Brassica oleracea* L.], Möhren [*Daucus carota* L.], Tomaten [*Lycopersicon esculentum* Mill.] und Chilipfeffer [*Capsicum annum* L.]) kaufte man von Farmen des Ministry of Agriculture, Food Technology and Natural Resources. Vor der Extraktion entfernte man die äußere, trockene Schale der Zwiebeln (*Allium cepa* L.), während dessen wurden die Tomaten und anderen Gemüsekultuen gründlich gewaschen. Die Originalproben hingegen wurden im Biological Sciences, Faculty of Science, University of Mauritius eingelagert (BAHORUN *ET AL.* 2004).

Die Werte der antioxidativen Kapazität wurden mit Hilfe der TEAC- und FRAP-Methode ermittelt. Die Gemüsekulturen, die die höchsten antioxidativen Kapazitäten aufwiesen waren der Chinakohl, die Zwiebeln, der Beifuss, der Brokkoli, der Chilipfeffer und der Blumenkohl. Der Kopfsalat, die Tomaten, der Weißkohl und die Möhren wiesen geringere TEAC-Werte auf. Die FRAP- und TEAC-Werte der Gemüseextrakte ähnelten sich weitgehend und in Bezug auf das antioxidative Profil konnte man folgende Reihenfolge aufstellen: Zwiebel > Chinakohl > Zwiebeln > Brokkoli > Beifuss > Blumenkohl > Weißkohl. Die FRAP-Werte des Chinakohls, der Zwiebeln, des Brokkolis und der Möhren waren höher als die entsprechenden TEAC-Werte. Die Tomaten-, Kopfsalat- und Möhrenextrakte waren ärmer an Antioxidantien bei beiden Methoden (BAHORUN *ET AL.* 2004).

Den Phenol-Gehalt betreffend, konnte man 3 Gruppen aufstellen:

(1) Hohe Werte: $< 800 \mu\text{g g}^{-1}$ Frischgewicht betraf den Chinakohl, die Zwiebeln, den Beifuss und den Brokkoli

(2) Mittlere Werte: $275 \mu\text{g g}^{-1}$ Frischgewicht, betraf den Chilipfeffer, die Tomaten und den Blumenkohl

(3) Niedrige Werte: $275 \mu\text{g g}^{-1}$ Frischgewicht, betraf den Weißkohl, den Kopfsalat und die Möhren (BAHORUN *ET AL.* 2004)

Die Flavonoide waren die dominierenden Phenolgruppen in den Gemüsekulturen dieser Studie und ihre Werte, bis auf die der Tomate, entsprachen denen der Phenol-Gehalte. Dementsprechend ließ sich folgende Reihenfolge aufstellen: Chinakohl > Zwiebeln > Beifuss > Chilipfeffer > Brokkoli > Blumenkohl > Weißkohl. Der Kopfsalat, die Tomaten und die Möhren waren relativ arm an Flavonoiden. Proanthocyanidine wurden hauptsächlich in den Zwiebeln nachgewiesen (BAHORUN *ET AL.* 2004).

Eine Studie zu dem Thema „Die antioxidativen Eigenschaften von phenolischen Verbindungen in verschiedenen Geweben der Möhre“ führten ZHANG und HAMAUZU (2004) durch. Die im Rahmen dieser Studie verwendeten Möhren stammten aus einem Großmarkt und man untersuchte die zwei Möhrensorten (*Chibagosun* und *Hitomigosun*). Die Schale sowie das Phloem- und Xylemgewebe der Möhren wurde mit Hilfe eines Messers getrennt und anschließend gewogen um das jeweilige Größenverhältnis zu kalkulieren. Eine Menge von 10 g der Schale sowie des Phloem- und Xylemgewebes wurde in kleine Stücke geschnitten und in 15 ml Aceton homogenisiert und für 60 min insgesamt extrahiert. Das Homogenisat zentrifugierte man für 20 min bei $7000 \times g$. Der Überstand wurde gesammelt und mit 20 ml 60% Acetons zweifach reextrahiert. Die gesammelten Überstände wurden kombiniert und der verbleibende Rückstand wurde verworfen. Das Aceton wurde im Vakuum bei $35 \text{ }^\circ\text{C}$ evaporiert und die vorhandenen Fettsäuren und Pigmente beseitigte man über eine stufenweise Extraktion mit Petroleumether (2:1, v:v). Die wässrige Phase hatte letztendlich die Form eines unverarbeiteten Auszuges (ZHANG und HAMAUZU 2004).

Die einzelnen, phenolischen Verbindungen wurden mit Hilfe der HPLC-Methode analysiert. Die Möhren enthielten hauptsächlich Hydroxyzimtsäuren und deren Derivate, wie Chlorogensäure, Kaffeesäure, *3'-caffcoylquinic acid*, *4'-p-coumaroylquinic acid*, *3',4'-dicaffeoylquinic acid*, *3',5'-dicaffeoylquinic acid* und einige nicht-identifizierbare Derivate der Hydroxyzimtsäure. Die Ergebnisse dieser Studie zeigten, dass die phenolischen Verbindungen in den verschiedenen Geweben der Möhre ähnlich vorlagen, die Gehalte der einzelnen Verbindungen sich jedoch unterschieden (ZHANG und HAMAUZU 2004).

Die Hydroxyzimtsäure und ihre Derivate waren die am häufigsten vorkommenden phenolischen Verbindungen in den Möhren. In der Schale der Sorte *Chibagosun* nahmen sie einen Anteil von 99,7% ein und die Schale der Sorte *Hitomigosun* wies einen Prozentsatz von 98,7% auf. Des Weiteren besaß das Phloem der Sorte *Chibagosun* 96,5% und das Phloem der

Sorte *Hitomigosun* 91,0% der Hydroxyzimtsäure und ihrer Derivate. Das Xylem der erst genannten Sorte verfügte über einen Anteil von 75,6% und das Xylem der zweiten genannten Sorte zeigte einen Wert von 73,7% auf. Unter den Abkömmlingen der Hydroxyzimtsäure war die Chlorogensäure am stärksten vertreten. Der Phenol-Gehalt in den verschiedenen Geweben der Möhre stieg von der Schale in Richtung Phloem und Xylem an, während sich die antioxidantischen und *radical scavening*⁶ Aktivitäten auf gleiche Weise, wie der Phenol-Gehalt erhöhten und wiederum mit dem totalen Phenol-Gehalt korrelierten. Die phenolischen Extrakte verfügten über stärkere *radical scavening* Fähigkeiten, als die reine Chlorogensäure, das Vitamin C und das β -Carotin (ZHANG und HAMAUZU 2004).

Deshalb vermuteten ZHANG und HAMAUZU (2004), dass Phenole wichtige antioxidative Fähigkeiten in Möhren besitzen und die Derivate der Hydroxyzimtsäure, wie z.B. die *dicaffeoylquinic acids* der Extrakte zusammen mit Chlorogensäure stark die antioxidative Kapazität der Möhren beeinflussen. Der höchste Gehalt an Phenolen und somit an antioxidativen Fähigkeiten befindet sich in der Schale der Möhre. Diese nimmt jedoch in der Lebensmittelproduktion die Stellung eines Abfallproduktes ein obwohl sie aufgrund ihrer Eigenschaften einen wertvollen Beitrag zur menschlichen Ernährung liefern könnte (ZHANG und HAMAUZU 2004).

⁶ Die Fähigkeit freie Radikale unschädlich zu machen

8 Fokusprodukt 2: Weizen (*Triticum aestivum* L.)

Der Weizen (*Triticum aestivum* L.) wird auch Gemeiner oder Saatweizen bzw. Weicher Weizen genannt. Das gravierende Merkmal des Saatweizens ist seine enorme Vielfalt und aufgrund seiner weiten Verbreitung stellt er zusätzlich die polymorphste Weizenart dar. Für die ständige Weiterentwicklung dieser Weizenart macht man die Völkerwanderungen in früherer Zeit und die Züchtungsarbeit in den neueren Zeiten verantwortlich. Des Weiteren ist der Weizen (*Triticum aestivum* L.) nur in kultivierter Form bekannt (BROUWER 1972).

8.1 Die Herkunft und Anbauggebiete

8.1.1 Herkunft

Es wird vermutet, dass man die Entstehung des Saatweizens auf eine Kreuzung zwischen *T. dicocum* und *Aegilops squarrosa* zurückführen kann. Als genetisches Zentrum nennt man in Verbindung mit dieser Weizenart das vordere und mittlere Asien. Es existieren unbegrannte und begrannte sowie dicht- und kurzährige Formen. Die dicht- und kurzährigen Formen wurden in Europa bereits in der jüngeren Steinzeit verwendet und erst später wurden die lockerährigen Formen bekannt (BROUWER 1972).

8.1.2 Anbauggebiete

Die Anbauggebiete des Weizen (*Triticum aestivum* L.) befinden sich bis 60 ° und stellenweise bis 68 ° nördlicher Breite in Europa, vorderes und mittleres Asien, südliches Sibirien, Vorderindien, China, Japan, mittleres Nordamerika, Argentinien, Chile, Nordafrika, Südafrika, Südwest- und Südostaustralien sowie Neuseeland (BROUWER 1972).

8.2 Morphologie und Botanik

Die Weizenpflanze absolviert von der Keimung bis zur Reifung verschiedene Stadien, die sich grob in die Abschnitte Auflaufen, Bestockung, Schossen und Ährenschieben gliedern lassen. Die einzelnen Stadien sind durch eine zweistellige Zahlenreihe (EC-Skala) gekennzeichnet. Des Weiteren kann sie durch ihren dezimalen Aufbau für die Datenverarbeitung verwendet werden und im Zuge dessen wird sie zusätzlich international einheitlich definiert (REINER 1992).

Tabelle 6 Die verschiedenen Wachstumsstadien für Getreide (sog EC-Skala; Quelle: REINER 1992).

EC-Stadien	Wachstumsstadien
00 05 07	Keimung Trockenes Saatkorn Austritt der Keimwurzel aus dem Saatkorn Austritt der Keimscheide (Koleoptile) mit Sproß
10 11 12 13	Keimtriebentwicklung Auflaufen: Keimscheide (Koleoptile) durchstößt Erdoberfläche, 1. Blatt noch eingerollt. 1-Blatt-Stadium: Oberer Teil des 1. Blattes ist entfaltet, Spitze des 2. Blattes wird sichtbar. 2-Blatt-Stadium: 2. Blatt vollständig entfaltet, neigt sich zur Seite. 3-Blatt-Stadium: 3. Blatt (in der Mitte der Pflanze) ist zur Hälfte entwickelt.
21 25 29	Bestockung Bestockungsbeginn: Nebentriebe erscheinen in den Blattachseln oder neben dem Haupttrieb. Bildung von Doppelringen (Ährchenring + Blattring). Bildung von Sekundärwurzeln. 25 Hauptbestockung: Pflanze breitet sich aus ("kriechend") oder neigt sich auf die Seite. Blätter spiralig. Nebentriebe entwickeln sich weiter. 29 Bestockungsende: Rasche Entwicklung der Nebentriebe, die sich aufzurichten beginnen.
30 31 32 37 39 49	Schossen Schoßbeginn: Haupt- und Nebentriebe stark aufgerichtet. 31 1-Knoten-Stadium: 1. Knoten dicht über der Erdoberfläche wahrnehmbar, letztes Ährchen ist angelegt. 32 2-Knoten-Stadium: 2. Knoten wahrnehmbar. Ein Stengel hat sich gebildet. 37 Erscheinen des letzten Blattes: Letztes Blatt noch eingerollt. Ähre ist im Halm aufwärts geschoben. Blattscheide ist geschwollen. 39 Blatthütchen-Stadium: Blatthütchen (Ligula) des letzten Blattes ist vollständig entwickelt. Blattscheide ist stark geschwollen. 49 Öffnen der Blattscheide bzw. Grannenspitzen: Letzte Blattscheide platzt gerade auf bzw. Grannen werden über der Ligula des letzten Blattes gerade sichtbar.
51 55 59	Ährenschieben Beginn des Ährenschiebens: Die Spitze der Ähre tritt heraus bzw. die Ähre drängt seitlich aus der Blattscheide. 55 Mitte des Ährenschiebens: Ährenbasis noch in der Blattscheide. 59 Ende des Ährenschiebens: Ähre vollständig sichtbar.
61 65 69	Blüte Blühbeginn: Die ersten Staubbeutel erscheinen in der Ährenmitte bzw. am Rispenumfang. 65 Voll-Blüte: Die meisten Ährchen haben reife Staubbeutel. 69 Blüh-Ende: Sämtliche Ährchen haben geblüht. An der Ähre hängen noch einige ausgetrocknete Staubbeutel.
71 75 85 87 91 92	Reife Kornbildung: Erste Körner haben die Hälfte ihrer endgültigen Größe erreicht. Inhalt wäßrig. 75 Milchreife: Alle Körner haben ihre endgültige Größe erreicht, Korninhalt milchig. Alle Körner noch grün. 85 Teigreife: Korninhalt noch weich, aber trocken, zwischen den Fingern zerreibbar. Korn und Spelzen gelbgrün. 87 Gelbreife: Korninhalt plastisch bis fest. Korn kann noch über den Daumennagel gebrochen werden. 91 Vollreife: Korn ist sehr hart, kann nur schwer über den Daumennagel gebrochen werden. Pflanze vollständig abgestorben. 92 Totreife: Korn vollständig hart, kann nicht mehr gebrochen werden.

8.3 Die Verwendungsmöglichkeiten der Kulturpflanze Weizen

Unter den verschiedenen Getreidearten nimmt der Weizen in der menschlichen Ernährung den höchsten Stellenwert ein (OEHMICHEN 1986). Der „Weiche Weizen“ wird ausschließlich zur Erzeugung von Mehl für die spätere Brotherstellung angebaut (BROUWER 1972), während der Durum- bzw. Hartweizen hauptsächlich für die Teigwarenherstellung erzeugt wird (OEHMICHEN 1986). Des Weiteren kommt er in der Alkoholgewinnung und als Weizenmalz zum Einsatz und dient zusätzlich als Rohstoff bei der Herstellung von Stärke und

Isoglucose. In der Tierernährung wird er aufgrund seines beträchtlichen Stärke- und geringen Rohfasergehaltes als hochwertiges Futtermittel verwendet (OEHMICHEN 1986).

8.4 Die Bedürfnisse des Weizens an den Boden

Die Entwicklung der Weizenpflanze bevorzugt bindige, gut gepufferte, humose, kalkhaltige, nährstoffreiche Böden. Infolgedessen findet man den stärksten Weizenanbau auf lehmigen, tonigen und lößartigen Böden vom Typ der basengesättigten Braunerden, der Rendzinen, der Schwarzerden und der Auenböden. Auf Standorten mit schweren, vernässenden Tonböden gelingt der Weizenanbau erst nach der Entwässerung und Belebung des Bodens durch Kalk- und Humuszufuhr. Auch Standorte, die leicht ausdörren bzw. alle armen, sauren Böden (z.B. podsolierte Sandböden) sind zum Anbau von Weizen ungünstig. Bei Moorböden ist die Überwinterung der Weizenpflanze gefährdet und auch flachgründige Böden sind aufgrund ihrer nicht konstanten Wasser- und Nährstoffversorgung ungeeignet (KLAPP 1958).

8.5 Die Ansprüche an das Klima

Die Weizenpflanze besitzt im Gegenteil zur Roggenpflanze eine geringere Frosthärte, eine längere Vegetationsdauer und höhere Wasseransprüche bei gleichzeitig höherem Wärmebedarf. Das Wachstum der Pflanze tritt erst bei Werten von 5-7° C ein. Durch die Art seiner Bestockung und durch seine geringere Vorwinterentwicklung weist der Weizen eine bessere Verträglichkeit gegenüber vorübergehender Nässe und langandauernder Schneebedeckung auf. Im Gegensatz dazu, wird er durch das Verdorren von aufgefrorenen Pflanzen durch Wechselfröste im Frühjahr stark beeinträchtigt. Grundsätzlich bevorzugt der Weizen eher das wintermilde, sommerwarme Klima ohne starke, abkühlende Sommerniederschläge. Die klimatische Obergrenze des Weizenanbaus könnte man in den hohen Mittelgebirgen erreichen, jedoch wird diese Obergrenze maßgeblich vom Faktor Boden (Versauerung, Nährstoffarmut) beeinflusst. Bei Vorhandensein von basenreichen Böden ist der Anbau von Weizen in einer Höhe von über 800 m möglich. Den Anbau von Dinkel kann man noch in Höhenlagen von bis zu 1000 m auf der Südwestalb vorfinden. Er ist unter den verschiedenen Weizenformen die unempfindlichste gegen Frost, Regen, Schneedecke und Ernteschäden (KLAPP 1958).

8.6 Weizenanbau

8.6.1 Ertragspotential und ertragssichernde Maßnahmen im konventionellen und ökologischen Weizenanbau

In der konventionellen Landwirtschaft wird der Ertrag von den Faktoren „Bestandesdichte“, „Zahl an Körnern/Ähre“ und „TKG“ (Tausendkorngewicht) zu fast gleichen Teilen

beeinflusst. Im ökologischen Landbau hingegen besitzt der Faktor „Zahl der Körner/Ähre“ einen höheren Stellenwert in Bezug auf die Ertragsstruktur und den späteren Korntrag. In Folge dessen sollten der Weizenpflanze optimale Bedingungen in der Phase des Wachstums sowie in der Phase der Bildung und Reduktion der Kornanlagen zur Verfügung stehen. Dies erreicht man, durch eine der Weizenpflanze angepasste Fruchtfolgegestaltung und Bodenbearbeitung. Des Weiteren sollte die Konkurrenz durch Wildpflanzen soweit reduziert werden, dass die Pflanze in ihrer Entwicklung nicht gestört wird. Die Auswirkungen der Faktoren „Bestandesdichte“ und „TKG“ im ökologischen Landbau ähneln der in der konventionellen Landwirtschaft. Ein weiterer Unterschied zwischen den zwei Anbausystemen besteht im Bereich der Ertragsstrukturmerkmale und dem jeweiligen Einfluss, den sie auf den späteren Ertrag ausüben. Eine hohe Bestandesdichte im ökologischen Landbau hat nicht ausschließlich negative Folgen, sondern wirkt sich in erheblichem Maße auf das Tausendkorngewicht (TKG) aus. Das TKG wiederum beeinflusst in positiver Weise den Faktor Zahl an Körnern/Ähre. Dieser Zusammenhang resultiert wahrscheinlich daraus, dass günstige Voraussetzungen bei der Kornanlage auch später bei der Kornfüllung noch vorhanden sind. In der konventionellen Landwirtschaft hingegen ist das Potential der Bestandesdichte häufig zu diesem Zeitpunkt schon soweit erschöpft, dass es zu Kompensationsreaktionen kommt (STÖPPLER 1989). Das Ertragspotential in der konventionellen Landwirtschaft kann bei Weizen erträgen im Durchschnitt 77,9-84,1 dt/ha betragen, je nach zuvor angebaute Vorfrucht (REINER 1992). Im ökologischen Landbau hingegen ist die Spannweite der Weizen erträge mit im Durchschnitt 22-71 dt/ha sehr groß. Diese enormen Schwankungen resultieren meistens aus der jeweiligen Güte des Standortes, denn dieser Parameter beeinflusst die Erträge im ökologischen Landbau wesentlich stärker als im konventionellen Landbau (STÖPPLER 1989).

8.6.2 Einbindung in die Fruchtfolge

8.6.2.1 Im konventionellen Anbau

Der Weizen setzt hohe Ansprüche an den jeweiligen Standort voraus und verhält sich empfindlich gegenüber der vorhandenen Bodenart, dem anwesenden Fruchtbarkeitszustand sowie bei Gegenwart einer ungünstigen Vorfrucht. Hinzu kommt, dass der Weizen sehr anfällig gegenüber Fußkrankheiten ist und eine geringe Selbstverträglichkeit aufweist. Mit späten Saatterminen hat er hingegen keine Probleme, so dass die Einsaat in milden Gebieten bis in den Dezember durchgeführt werden kann. Auch die zu tiefe Saatablage in Folge eines zu lockeren Saatbettes bereitet ihm im Vergleich zu anderen Getreidearten geringe Schwierigkeiten. Um Ertragsdepressionen zu vermeiden, sollte der Weizen in einer

Getreidefruchtfolge nicht nach Weizen und Gerste angebaut werden, sondern besser nach Hafer bzw. Roggen. Die beste Vorfruchteignung im Anbau mit Weizen besitzen die Kulturen Feldfutter, Raps, Körnerleguminosen, Rüben und Mais (REINER 1992).

8.6.2.2 Im ökologischen Anbau

Im ökologischen Landbau besitzt die Gestaltung der Fruchtfolge einen höheren Stellenwert als in der konventionellen Landwirtschaft. Das heißt, der überwiegende Teil des Stickstoffs sollte über den Anbau von Leguminosen in den Boden eingebracht werden. Hinzu kommen noch der Eintrag über Niederschläge, die asymbiotische N-Fixierung in Folge frei lebender Mikroorganismen sowie ein möglichst gering zu haltender Zukauf von organischen Handelsdüngern. Des Weiteren versucht man im ökologischen Ackerbau die Pflanzenkrankheiten, Schädlinge sowie Beikräutern durch angepasste Kulturmaßnahmen und optimale Fruchtfolgegestaltung möglichst gering zu halten. Aufgrund seines hohen Nährstoffbedarfs und mit dem Ziel einen möglichst hohen Deckungsbeitrag zu erzielen, sollte der Anbau von Weizen direkt anschließend oder im zweiten Jahr nach Leguminosen erfolgen. Steht dem Weizen keine Leguminose als Vorfrucht zur Verfügung, sollte der jeweiligen Vorfrucht hinreichend Wirtschaftsdünger zugeführt werden. In Bezug auf die Leguminosen wurde beobachtet, dass Futterleguminosen eine bessere Wirkung auf den Kornertrag von Winterweizen ausüben als Körnerleguminosen (STÖPPLER 1989).

Tabelle 7 Tabellarischer Überblick über die wichtigsten Unterschiede im konventionellen und ökologischen Weizenanbau.

	konventioneller Weizenanbau	ökologischer Weizenanbau
Ertragspotential	77,9-84,1 dt/ha (im Durchschnitt) je nach Vorfrucht (REINER 1992)	22-71 dt/ha (im Durchschnitt) (STÖPPLER 1989)
Stellenwert der ertragsbeeinflussenden Parameter	Bestandesdichte, Zahl an Körnern/Ähre und TKG beeinflussen den Ertrag zu gleichen Teilen (STÖPPLER 1989)	der Parameter Zahl an Körnern/Ähre besitzt hier den höchsten Stellenwert (STÖPPLER 1989)
Fruchtfolge	Weizenanbau in Getreidefruchtfolgen nach Roggen oder Hafer (weniger Leguminosen-anteil in der Fruchtfolge) (REINER 1992)	Weizenanbau erfolgt häufig nach Leguminosen (STÖPPLER 1989)

8.7 Zur Züchtung und Sortenwahl

Die Züchtung der Weizenpflanze wird durch drei Faktoren aus dem generellen Umfeld beeinflusst. Der erste Faktor ist die Agrarpolitik, denn Überschüsse und rückläufige Preise rufen nicht vorhersehbare wirtschaftliche und agrarpolitische Reaktionen hervor. Dem Züchter fällt somit die Aufgabe zu, die Sorte für den „Markt von morgen“ aufzuzeigen. Die

Biotechnologie stellt den zweiten Faktor dar, da in diesem Bereich eine explosionsartige Entwicklung stattfindet. Von dem jeweiligen Züchter wird somit erwartet, dass er bei kalkulierbarem Investitionsrisiko biotechnologische Verfahren in die konventionelle Züchtung mit einbezieht. Den dritten und letzten Faktor beanspruchen die Zuchtbetriebe für sich, da durch ihren Einstieg in das Saatgutgeschäft die Konkurrenzverhältnisse beträchtlich verschärft wurden (REINER 1992).

8.7.1 Die Zuchtziele

Die Weizenzucht beinhaltet folgende Ziele:

- Zunahme des genetischen Ertragspotenzials
- Ertragsstabilität
- Ertragsfortschritt
- Stickstoffaneignungsvermögen
- Steigerung der agronomischen Merkmale (z.B. Winterfestigkeit, Auswuchsresistenz)
- weitere Verbesserung der Resistenzzüchtung
- Qualitätszüchtung (REINER 1992)

Das Zuchtziel „sekundäre Pflanzenstoffe“ hat in der Weizenzüchtung keine Relevanz. Dies lässt sich vermutlich darauf zurückführen, dass für die Mühlen, die Brauindustrie als auch für die Futtermittelproduktion der Proteingehalt des jeweiligen Weizens von größter Bedeutung für die spätere Verarbeitung und Verwendung ist. Hinzu kommt, dass der Gehalt an sekundären Pflanzenstoffen in verschiedenen Getreidearten um ein Erhebliches niedriger ist als in verschiedenen Gemüse- oder Fruchtarten.

8.7.2 Die Sortenwahl

Der Einfluss der Sorte auf die Höhe und Gleichmäßigkeit der Erträge nimmt zu, je höher die Verengung des Korn:Strohverhältnisses ist und je beständiger sich rassenunspezifische Resistenzen gegen Blatt- und Ährenkrankheiten verhalten (OEHMICHEN 1986). Des Weiteren wird die Sortenwahl durch folgende Kriterien beeinflusst:

1. Zeit der Reife und Abreife
2. Winterfestigkeit
3. Auswuchsfestigkeit
4. Länge des Halms und Standfestigkeit

5. Saatzeitverträglichkeit

6. Resistenzen gegen

- Fußkrankheiten, speziell Halmbruch
- Blattkrankheiten, speziell Mehltau, Gelbrost, Braunrost
- Ährenkrankheiten, speziell Spelzenbräune, Ährenmehltau und partielle Ährensterilität
- tierische Schädlinge, speziell Nematoden und Läuse (OEHMICHEN 1986)

Ein weiteres Kriterium bei der Sortenwahl ist der spätere Verwendungszweck (Backweizen, Futterweizen, Keks- Biskuitweizen, Brauweizen) des angebauten Weizens.

8.7.3 Zur Erzeugung von Weizensaatgut

Beim selbstbefruchtenden Weizen verwendet man heute das Prinzip der Kombinationszüchtung. Diese Methode wird auch als „Pedigree-Züchtung“ bezeichnet und wird in unterschiedlichen Versionen und Intensitätsstufen von den jeweiligen Zuchtunternehmen durchgeführt. Die Kombinationszüchtung lässt sich in folgende Abschnitte einteilen:

- Erzeugung einer breiten Variabilität durch Kreuzung ausgesuchter Eltern,
- Auswahl innerhalb der erzeugten Variabilität nach Typen, die dem Zuchtziel entgegenkommen, unter Bedingungen, die das Erkennen eines Merkmals oder einer Merkmalskombination zulassen,
- Prüfung der erhofften Genotypen auf breiter Basis,
- parallele Stabilisierung der erhofften Genotypen im Rahmen der Erhaltungszüchtung.

Neben der konventionellen Selbstbefruchterzüchtung wurden auch Versuche im Rahmen der Hybridzüchtung durchgeführt um höhere Erträge im Weizenanbau zu erzielen. Diese Versuche wurden jedoch inzwischen aufgegeben bzw. stark verringert (REINER 1992).

8.8 Die Inhaltsstoffe und die Qualitätsbildung

Die Industrie- und Handelsmühlen favorisieren Weizenpartien, die bei Vorhandensein eines hohen Ausmahlungsgrades ein qualitativ hochwertiges und aschearmes Mehl ergeben. Damit der Weizen eine gute Mahlfähigkeit sowie eine hohe Mehlausbeute liefert, muss er über nachfolgende äußere und innere Kornqualitäten verfügen (OEHMICHEN 1986).

Äußere Kornqualitäten:

1. Kornform: Bevorzugt wird eine rund bis ovale Form, die Schale des Korns sollte über eine glatte Oberfläche verfügen und eine geschlossene, flache Bauchfurche vorweisen, die beiden Kornbacken sollten möglichst völlig ausgefüllt sein
2. Korngröße: Der Vollweizenanteil sollte über 2,5 mm betragen, da kleinere Körner einen überproportional großen, aschereichen Schalenanteil besitzen
3. Kornstruktur: Sie unterliegt hauptsächlich dem Einfluss durch die Sorte. Der potentielle Ertrag ascheärmer Mehltypen wird von dem Grießbildungsvermögen und dem Kondensationsgrad bzw. der Größe der Stärkekörner beeinflusst.
4. Kornaschegehalt: Die Backfähigkeit von Weizenmehlen gleicher Zusammensetzung verringert sich bei zunehmendem Aschegehalt
5. Kornbesatz, Schwarzbesatz: Die Mehlfarbe und Mehlausbeute wird durch das Vorhandensein von Fremdgetreide- und Schmachtkornanteil sowie geschädigten Körnern und Schwarzbesatz negativ beeinflusst
6. Auswuchs: Weizen, der unter Auswuchs gelitten hat, verfügt über schlechtere Backfähigkeiten (OEHMICHEN 1986)

Die innere Qualität des Weizenkorns wird anhand der Parameter Rohproteingehalt, Sedimentationswert und Fallzahl bewertet (OEHMICHEN 1986):

1. Rohproteingehalt: Bei konstanter Klebermenge entscheidet ausschließlich die sorten- (geno)- typische Kleberqualität über das spätere Gebäckvolumen/Einheit Mehl. Die Ermittlung der Klebermenge und Kleberqualität kann somit eine sehr genaue Aussage über die spätere Backfähigkeit des jeweiligen Weizens treffen. Diese Ermittlung erfolgt über die analytische Bestimmung des Rohproteingehaltes.
2. Sedimentationswert: Die Kleberqualität bzw. die sortenbedingte Quellfähigkeit der Kleberproteine lässt sich anhand des Sedimentationswertes erfassen. Über den Proteingehalt und den Sedimentationswert kann man das zu erwartende Gebäckvolumen ermitteln.
3. Fallzahl: Die Fallzahlmethode dient zur Bestimmung der Stärkeverflüssigung bzw. Viskositätsabnahme bei auswuchsgeschädigtem Weizen (OEHMICHEN 1986).

Des Weiteren wird der Weizen in die Backqualitätsgruppen A, B und C eingeteilt.

1. C-Weizen (C1 und C2) verfügen über sehr niedrige Volumenausbeuten und werden somit als Biskuitweizen oder Futterweizen verwendet
2. B-Weizen (B3-B5) haben eine niedrige bis mittlere Volumenausbeute. Die B3- und B4-Weizen benötigen deshalb eine Aufmischung durch Mehle mit überdurchschnittlichen Eigenbackfähigkeiten. Die einzige Ausnahme ist hier der B5-Weizen.
3. A-Weizen (A6-A9) besitzen überdurchschnittliche bis sehr hohe Volumenausbeuten. Dieser Weizen wird überwiegend dazu verwendet, die Qualität der mittleren Mehle durch Aufmischung zu verbessern (OEHMICHEN 1986).

8.9 Der Gehalt an sekundären Pflanzenstoffen als Komponente der Weizenqualität: Untersuchungen zu Carotinoiden und Phenolen in Weizensorten

Wie aus den Anmerkungen zu den Inhaltsstoffen und der Qualitätsbildung hervorgeht, spielen sekundäre Pflanzenstoffe als Qualitätskriterium für Weizen ungeachtet möglicher positiver gesundheitlicher Wirkungen (DITTRICH und LEITZMANN 1996) keine Rolle. Dies äußert sich darin, dass es hierzu nur wenige Untersuchungen zur Beeinflussung des Gehaltes dieser Inhaltsstoffe in Anhängigkeit von verschiedenen Faktoren gibt.

Im Rahmen einer Untersuchung prüfte ADOM *ET AL.* (2003) die phytochemischen Eigenschaften sowie die antioxidative Kapazität von Weizen. Neben Phenolen, Flavonoiden, Ferulasäuren einschließlich löslicher und unlöslicher Varianten wurden die antioxidative Kapazität sowie der Carotingehalt (Lutein, Zeaxanthin und β -Cryptoxanthin) von 11 Weizensorten sowie einigen Versuchssorten (W7985, Jennah Khetifa, Stoa, Cham 1, Clark's Cream, NY6432-18, Opata, Caledonia, Sinton, Superior, Roane) evaluiert (ADOM *ET AL.* 2003).

Alle Proben wurden fein vermahlen. Im Anschluss daran wurden die jeweiligen Proben gemischt und letztendlich mit Hilfe eines Probenteilers aliquotiert. Von jeder der Proben erstellte man zwei Portionen, die dann bei Temperaturen von - 20°C bzw. -80°C eingelagert wurden. Die bei - 20°C eingelagerten Proben wurden bei der Routineanalyse verwendet (ADOM *ET AL.* 2003).

Der höchste Anteil der im Rahmen dieser Untersuchung gefundenen phenolischen Komponenten, war an Substanzen der Zellwände gebunden. Der Anteil des *free phenol content*⁷ an den Gesamtphenolen reichte von den 16 % der Sorte Cham 1 bis zu den 28% der

⁷ nicht an Zellkompartimente gebundene phenolische Substanzen

Sorte Jennah Khetifa. Der prozentuale Gehalt der gebundenen Phenole hingegen zeigte Werte auf von 72% (Sorte: Jennah Khetifa) bis zu 84% (Sorten: Cham 1 und Caledonia). Die Ergebnisse der Flavonoidanalyse ergaben, dass in ein und derselben Weizensorte die an Zellbestandteile gebundenen Flavonoide im Durchschnitt um den Faktor 7-17 höher lagen als die nicht gebundenen Flavonoide. Der Anteil der gebundenen Flavonoide am Gesamt-Phenol-Gehalt reichte von den 87% der Sorte W7985 bis zu den 93% der Sorte Caledonia. In Bezug auf die Ferulasäure konnte gezeigt werden, dass diese hauptsächlich in gebundener Form (>97%) vorlag.

Die meisten der analysierten Weizenproben wiesen >82% antioxidative Kapazität in Form von gebundenen phytochemischen Stoffen auf. Eine Ausnahme bildete die Sorte Jennah Khetifa mit einem Wert von 65%. Die nicht gebundenen phytochemischen Stoffe besaßen im Rahmen dieser Untersuchung einen Anteil von 12-35%. Die analysierten Carotin-Gehalte (Lutein, Zeaxanthin und β -Cryptoxanthin) lagen in signifikanten Unterschieden zwischen den jeweiligen Weizensorten vor. In fast jeder Sorte lag das Lutein in der höchsten Konzentration vor und danach folgten dann das Zeaxanthin und das β -Cryptoxanthin. Die Sorte Stoa allerdings wies höhere β -Cryptoxanthin-Gehalte auf (ADOM *ET AL.* 2003).

In einem Versuch untersuchte ZHOU *ET AL.* (2004) die phytochemischen Stoffe und die antioxidativen Eigenschaften von Weizenkleie. Die Bestimmung der Tocopherole, der Carotinoide und der Phenolsäuren wurde an sieben verschiedenen Weizensorten aus vier unterschiedlichen Ländern vorgenommen. Die Weizenkleieproben, der Sorten *Swiss Red*, *Canadian hard white*, *Canadian durum*, *Illinois soft red* und dem *Australian wheat*, wurden von der Bühler AG (Uzwil, Switzerland) zur Verfügung gestellt. Hinzu kamen noch Weizenkleieproben der Sorten *Akron* und *Avalanche* (*hard winter red* und *white wheat*) (ZHOU *ET AL.* 2004).

Die chemische Analyse zeigte, dass alle sieben untersuchten Weizenkleieproben Ferula-, p-OH Benzoe-, Vanillin- und Cumarsäure sowie *syringic acid* enthielten. Die Ferulasäure war von den vorhandenen Phenolsäuren mit einem Wert von 46,1-67,2% am stärksten vertreten. Die Kleieprobe der Sorte Akron besaß den höchsten Gehalt an Phenolsäuren (359 $\mu\text{g/g}$) und an Ferulasäuren (230,5 $\mu\text{g/g}$), aber auch die Proben des Swiss Red und des U.S. soft red wheat wiesen Phenolsäuren mit Werten über 300 $\mu\text{g/g}$ und Ferulasäurewerte von über 200 $\mu\text{g/g}$ auf. Der Ferulasäuregehalt korrelierte allerdings nicht mit anderen nachgewiesenen Phenolsäuren oder antioxidativen Bestandteilen. An Tocopherolen konnte man α -, δ -, und γ -

Tocopherole in allen getesteten Weizenkleieproben nachweisen. Der Gesamt-Tocopherol-Gehalt zeigte Werte von 9,92-6,90 μmol pro 100 g Kleie an (ZHOU *ET AL.* 2004).

Insgesamt wiesen die Weizenkleieproben dieses Versuches große Unterschiede in Bezug auf ihren Gehalt an Tocopherolen auf. Die Proben der Sorten *Canadian durum*, *Canadian white* und *U.S. Akron* verfügten hauptsächlich über α -Tocopherole. Im Gegenteil dazu, besaßen der *U.S. soft red* und der *Australian wheat* vorwiegend δ -Tocopherole. Die Sorten *Swiss red* und *U.S. Avalanche wheat* hingegen wiesen primär γ -Tocopherole auf (ZHOU *ET AL.* 2004).

Carotinoide in Form von β -Carotin, Zeaxanthin, Lutein und Cryptoxanthin wurden in allen Weizenkleieproben nachgewiesen. Über das Lutein und das Cryptoxanthin verfügten alle sieben Proben, das Carotinoid Zeaxanthin enthielten hingegen nur sechs Proben und das β -Carotin war nur in vier Proben vertreten. Ähnlich wie bei den Tocopherolen lagen auch die Arten der Carotinoide in den einzelnen Proben unterschiedlich vor. Die höchsten Carotinoid-Gehalte wiesen die Sorten *Canadian durum* und der *Australian wheat* mit Werten von 0,68 $\mu\text{mol}/100\text{g}$ Kleie auf. Die Sorte *Avalanche wheat* verfügte über den geringsten Gehalt an Carotinoiden von allen getesteten Proben (ZHOU *ET AL.* 2004).

In einer Studie von MOORE *ET AL.* (2005) wurden acht verschiedene Weichweizensorten (*Choptank*, *MV%-46*, *Mc Cormick*, *Sisson*, *VA97W-024*, *SS560*, *Vigoro Tribute*, *Roane*) aus dem Anbaugebiet Maryland auf ihre Gehalte an Carotinoiden, Tocopherolen und Phenolsäuren sowie ihre antioxidativen Eigenschaften untersucht. Die Ertragsversuchsflächen befanden sich in der Nähe von Clarksville (MD) und wiesen eine Bestandesdichte von ungefähr 350 000 Pflanzen ha^{-1} auf. Die Flächen hatte man im Oktober 2003 nach der Ernte einer Getreidekultur bestellt. Die Bodenart war ein *Chester silt loam* mit einem pH-Wert von 6,7. Die Flächen erhielten im Herbst eine Düngung bestehend aus 16 kg ha^{-1} Stickstoff, 40 kg ha^{-1} Phosphor und 80 kg ha^{-1} Kalium. Zusätzlich wurde im März 2004 eine Stickstoffgabe von 56 kg ha^{-1} ausgebracht. Die Ernte erfolgte mechanisch und erst nachdem man das Getreide von Fremdkörpern befreit hatte, gelangte es in das Labor zur weiteren chemischen Untersuchung (MOORE *ET AL.* 2005).

Die Körnerproben der verschiedenen Weizensorten wiesen unterschiedliche Phenol-Gehalte auf. Den höchsten Wert (0,8 mg of GE/g) besaß die Sorte *VA97W-024* und über den niedrigsten Gehalt (0,4 mg of GE/g) verfügte die Sorte *MV5-46*. Der gesamte Phenol-Gehalt korrelierte nicht mit der antioxidativen Kapazität oder anderen phytochemischen Stoffen. Alle acht analysierten Weizensorten verfügten über Vanillin-, Cumar- und Ferulasäuren, und *syringic acids*. Keine der Sorten enthielt *p-hydroxybenzoe-acid*. Die Weizenproben

unterschieden sich auch in den Phenolsäurearten. Die Ferulasäure wurde in allen Weizensorten am häufigsten gefunden. Sie lag meistens in gebundener unlöslicher Form vor und erreichte Werte von 406,7-587,8 µg/g Korn. Auch die *gesamten* Phenolsäure-Gehalte korrelierten nicht mit der antioxidativen Kapazität (MOORE *ET AL.* 2005). Die Carotinoide β -Carotin, Zeaxanthin und Lutein wurden in jeder der acht Weizenproben nachgewiesen, wobei das Lutein am häufigsten vorkam. Den höchsten Gehalt an Carotinoiden (0,30 µmol/100 g) besaß die Sorte VA97W-024. Die Weizensorten wiesen signifikante Unterschiede in ihrer Carotinoidzusammensetzung auf und auch diese korrelierten nicht mit der antioxidativen Kapazität oder anderen phytochemischen Stoffen. Des Weiteren wurden die Weizensorten auf ihr Vorkommen an Tocopherolen untersucht, aber ausschließlich α -Tocopherole konnte man in den Sorten Sisson und Roane ermitteln. Die Werte reichten von 3,4 µg/g bis 10,1 µg/g und auch der α -Tocopherol-Gehalt korrelierte nicht mit der antioxidativen Kapazität oder anderen phytochemischen Stoffen (MOORE *ET AL.* 2005).

Im Rahmen eines Versuches ermittelte ZHOU *ET AL.* (2005) den Gehalt an Phenolsäuren, Tocopherolen und Carotinoiden sowie die antioxidativen Eigenschaften von *Hard Red* Winterweizenkleie. Es wurden Weizenkleieproben der Sorten Alliance und Wichita (beides *hard red winter wheat varieties*) untersucht. Die Körnerproben beider Weizensorten stammten aus Zuchtversuchen ohne Bewässerung aus den Regionen Walsh und Brighton im Osten Colorados. Der Anbau beider Weizensorten war auf die typische Art und Weise erfolgt, wie sie im Osten Colorados praktiziert wurde (ZHOU *ET AL.* 2005).

In jeder getesteten Weizenkleieprobe konnten Ferula-, p-Cumar-, *p-hydroxybenzoe*-, Vanillinsäure und *syringic acid* nachgewiesen werden. Im Vergleich zu anderen Weizensorten und handelsüblichen Weizenkleieproben lag in diesen Proben hauptsächlich die Ferulasäure mit Werten von ~53,47 – 66,68% vor. Die Sorte Wichita, die in Walsh angebaut wurden war, verfügte mit einem Wert von 244,14 µg/g über die höchsten Phenolsäure-Gehalte. Die Weizenkleieproben der Sorte Alliance aus den Anbaugebieten Walsh oder Burlington zeigten signifikant höhere Ferulasäure-Gehalte auf, als die Proben der Sorte Wichita aus denselben Anbaugebieten (ZHOU *ET AL.* 2005).

Carotinoide in Form von β -Carotin, Zeaxanthin, Lutein und β -Cryptoxanthin wurden in den Proben beider Sorten sowie aus beiden Anbaugebieten nachgewiesen. Der gesamte Carotinoid-Gehalt erreichte Werte von 0,20-0,33 µmol/g. Über das β -Cryptoxanthin verfügten drei Proben der insgesamt fünf untersuchten Proben, allerdings enthielten die Proben der

Sorte Alliance aus Walsh kein β -Cryptoxanthin. In allen fünf Proben fand man hauptsächlich das Carotinoid Lutein (ZHOU *ET AL.* 2005).

In Bezug auf die Tocopherole, konnten in jeder Probe und aus allen Anbaugebieten α -, δ -, und γ -Tocopherole nachgewiesen werden. Der gesamte Tocopherol-Gehalt erreichte Werte von 1,87 – 2,95 $\mu\text{mol}/100\text{g}$ Weizenkleie. Über den höchsten α -Tocopherol-Gehalt (6,51 $\mu\text{g}/\text{g}$) verfügte die Sorte Alliance aus dem Anbaugebiet Walsh und darauf folgten in abnehmender Reihenfolge die Sorten Alliance und Wichita aus Burlington und letztendlich die Sorte Wichita aus Walsh. Die Kleieprobe der Sorte Alliance aus dem Anbaugebiet Walsh zeigte auch die größten Gehalte an γ -Tocopherole mit einem Wert von 5,59 $\mu\text{g}/\text{g}$ Weizenkleie auf. Im Gegenteil dazu enthielt die Sorte Wichita aus dem Anbaugebiet Walsh die niedrigsten γ -Tocopherol-Gehalte. Die unterschiedlichen Anteile und Arten an Tocopherolen in den analysierten Weizenkleieproben führte man auf die jeweilige verwendete Sorte sowie auf die Wachstumsbedingungen der verschiedenen Anbaugebiete zurück (ZHOU *ET AL.* 2005).

Die angeführten Untersuchungen zeigen, dass der Gehalt an sekundären Pflanzenstoffen (Phenole, Tocopherole, Carotinoide) stark durch die Sorte beeinflusst wird. Der Einfluss exogener Faktoren (z.B. Anbausystem) ist aufgrund der vorliegenden Untersuchungen nicht klar abzugrenzen. Dass der Gehalt durch äußere Faktoren beeinflusst wird kann jedoch aus der Untersuchung von ZHOU *ET AL.* (2005) abgeleitet werden. Des Weiteren zeigten die zuvor dargestellten Sortenversuche, dass Hartweizen in der Regel höhere Phenol- und Carotinoidgehalte aufweist, als Weichweizen.

9 Zusammenfassende Diskussion

Im Rahmen dieser Literaturarbeit wurde der Einfluss der endogenen und exogenen Faktoren auf den Gehalt an sekundären Pflanzenstoffen (Carotinoide und Polyphenole) in Möhren (*Daucus carota* L. ssp. *sativus*) und Weizen (*Triticum aestivum* L.) näher betrachtet. Anhand der Anzahl der Literaturfundstellen, erkennt man, dass sich die Forschung bisher hauptsächlich mit den Untersuchungen zu dem Schwerpunkt „Carotinoidgehalt in Möhren“ auseinandergesetzt hat.

Die **Carotinoide** dienen der Pflanze in Form von Pigmenten, Antioxidantien, Hormonen und sie gehören darüber hinaus zu den wichtigsten Bestandteilen des Photosyntheseapparates. Man findet sie in nahezu allen Plastiden der Pflanze sowie in unterschiedlichen Pflanzenorganen und Geweben (HOWITT und POGSON 2006). In den nicht-grünen Pflanzenteilen, z.B. Blütenblättern und reifenden Früchten, fungieren die Carotinoide als Signalstoffe, um Tiere anzulocken, die Samen und Pollen verbreiten (SCHOPFER und BRENNICKE 2006). Des Weiteren wirken die Carotinoide, Lutein und Violaxanthin, bei der Entstehung der Chromoplasten aus den Etioplasten (PARK ET AL. 2002) und in den Samen, von z.B. Weizen, sind die Carotinoid-Gehalte von wesentlicher Bedeutung für die ABA-Produktion, die Samenruhe und das antioxidative System (PARK ET AL. 2002).

Der Grundaufbau der Carotinoide, der aus 40 C-Atomen besteht, ergibt sich durch das Aneinanderfügen von C₅-Einheiten im Zuge des Terpenoidstammbaumes. Die Terpene werden wiederum aus modularen Verknüpfungen von Isoprenbausteinen (C₅H₈) gebildet (SCHOPFER und BRENNICKE 2006). In Bezug auf den menschlichen Organismus wirken einige Carotinoide zum Beispiel in Form von Provitamin-A sowie in den Endverästelungen der Blutgefäße bei niedrigem Sauerstoffpartialdruck, als Antioxidantien und in vitro als Fänger von energiereichem Singulett-Sauerstoff (WATZL und LEITZMANN 1999). Der Grund für die zahlreichen Forschungen auf diesem Gebiet liegt somit in den vielfältigen Funktionen der Carotinoide in den Pflanzen sowie im menschlichen Organismus. Der Zusammenhang zum Fokusprodukt Möhre (*Daucus carota* L. ssp. *sativus*) besteht darin, dass diese Kultur im Allgemeinen, bereits genetisch bedingt, einen hohen Anteil an Carotinoiden besitzt. Das Fokusprodukt Weizen (*Triticum aestivum* L.) hingegen enthält eher geringe Anteile an Carotinoiden und für die weitere Verwendung und Verarbeitung dieser Kultur steht hauptsächlich der Parameter „Proteingehalt“ im Vordergrund. Die Versuche, die bisher in der Beziehung Weizen und Carotinoidgehalt durchgeführt wurden, beschränkten sich ausschließlich auf reine Sortenversuche.

Die Stoffgruppe der **Phenole**, erkennt man daran, dass eine oder mehrere Hydroxy-Gruppen oder daraus entstandene Derivate an eine aromatische Ringstruktur gebunden sind. Die Phenole sind meistens in gebundener Form in den Glykosiden der Pflanzen lokalisiert, und insbesondere dann, wenn sie in der Zellvakuole gelöst wurden. Für die Bildung der Phenole stehen dem Organismus der Shikimat-Weg, der Acetat-Malonat-Weg und der Acetat-Mevalonat-Weg zur Verfügung (RICHTER 1988).

Unter der Bezeichnung Polyphenole fasst man Substanzen zusammen, die aus der Struktur des Phenols hervorgehen (WATZL und LEITZMANN 1999). Somit werden die Phenolsäuren, die Hydroxyzimtsäuren und die Flavonoide zu den Polyphenolen gezählt. Die Polyphenole kommen in allen Pflanzen vor und hauptsächlich in Form von Flavonoiden und Hydroxyzimtsäuren (DITTRICH und LEITZMANN 1996). Der größte Anteil der Flavonoide, welcher für die Färbung von verschiedenen Gemüsearten verantwortlich ist, liegt in der Natur nicht frei vor, sondern ist meistens an Zucker gebunden (WATZL und LEITZMANN 1999). In den Randschichten von Obst, Gemüse, Getreide und anderen Samen befinden sich die Polyphenole und gehen von dort aus der Aufgabe nach, die darunter liegenden Gewebe vor oxidativem Verderb zu schützen (DITTRICH und LEITZMANN 1996). Im menschlichen Organismus hingegen sollen sie gerinnungshemmende Eigenschaften besitzen, die menschliche Zellen vor Oxidation schützen sowie Fähigkeiten aufweisen die gegen Krebs vorbeugen, die Mikroorganismen unterdrücken, die Immunabwehr unterstützen sowie den Blutdruck und Blutzuckerspiegel regulieren (DITTRICH und LEITZMANN 1996). Die Stoffgruppe der Phenole ist sehr komplex und insgesamt noch wenig erforscht. In Bezug auf die Fokusprodukte Möhren und Weizen wurden im Hinblick auf den Gehalt an Phenolen bisher ausschließlich Versuche zum Sortenwesen durchgeführt.

Die Grundlage des landwirtschaftlichen Pflanzenbaus bildet die Kulturpflanze, die aufgrund ihrer genetischen Eigenschaften die Fähigkeit besitzt bestimmte Ertragsleistungen zu erzielen. Die Höhe dieser Ertragsleistung steht in Abhängigkeit zu den jeweiligen Umweltfaktoren und dem Einfluss den diese auf die vorhandenen Merkmale in der Pflanze ausüben (GEISLER 1980). Die Sorte als **endogener Faktor** beeinflusst aufgrund ihrer genetischen Konstitution (z.B. carotinarm /carotinreich) z.B. den späteren endgültigen Carotinoidgehalt in den Möhren. Diese Beobachtung kann man auch anhand des Versuches von (BAJAJ *ET AL.* 1980) machen, der 15 beheimatete Möhrensorten mit 8 exoginären Möhrensorten in Bezug auf ihre chemische Zusammensetzung verglich. Die beheimateten Möhrensorten enthielten im Rahmen dieses Versuches die höheren β -Carotingehalte und die gelb gefärbten Möhren

zeigten die geringsten β -Carotingehalte auf. Auch (SIMON und WOLFF 1987) prüfte 6 verschiedene Möhrensorten (typisch gefärbte und dunkel-rote) sowie eine dunkel-orange Möhrensorte. Die dunkel-orange Möhrensorte wies doppelt so hohe Carotinoidgehalte auf als alle anderen Sorten, verfügte aber gleichzeitig über die geringsten β -Carotingehalte (SIMON und WOLFF 1987). Einen weiteren Versuch führte (HEINONEN 1990) mit 18 verschiedenen orangen Möhrensorten durch. Diese Sorten wiesen allerdings in Bezug auf ihre Carotinoidgehalte große Schwankungen auf, welche man auf den Parameter Klima zurückführte (HEINONEN 1990).

In dem Versuch von BAJAJ *ET AL.* (1980) sowie in dem von SIMON und WOLFF (1987) vermutete man, dass die Reife der Möhren einen wesentlichen Einfluss auf den Carotinoidgehalt ausübt. BAJAJ *ET AL.* (1980) bemerkte eine signifikant positive Korrelation zwischen dem β -Carotingehalt, dem Ascheanteil und dem Tag der Reife und SIMON und WOLFF (1987) vermutete, dass die geringen Carotingehalte im Zusammenhang mit der kalten Witterung zusammenhängen, da diese, die Reife der Möhren verzögert haben könnte. Auch HEINONEN (1990) führt, die in seinem Versuch hohen Carotingehalte auf eine außergewöhnliche warme Witterung zurück. JANES (1946) führte einen Versuch durch, indem er den Einfluss des Standortes sowie verschiedener Düngermengen auf das Trockengewicht, den Ascorbinsäuregehalt und den Carotingehalt in Kohl, Brokkoli und Möhren untersuchte. Die Ergebnisse dieses Versuches zeigten, dass der Carotingehalt in den Möhren der unterschiedlichen Standorte verschiedene Gehalte aufwies und auch die unterschiedliche Wachstumsdauer der Möhren hatte den Carotingehalt wesentlich beeinflusst. Zusätzlich wurde vermutet, dass die erhöhte Dosierung des Düngers das Wachstum der Möhren verzögert hatte (JANES 1946). Anhand dieser Versuche, lässt sich gut nachvollziehen, dass die Reife der Möhre, die u.a. das Ergebnis des Einwirkens **exogener Faktoren**, wie z.B. Standort, Klima, Düngung, Herbizidbehandlungen ist, den späteren Gehalt an Carotinoiden maßgeblich beeinflusst.

Der Phenolgehalt in Möhren wurde bisher ausschließlich auf Sortenebene untersucht (BAHORUN *et al.* 2004; ZHANG und HAMAUZU 2004), die Studie von ZHANG und HAMAUZU (2004) ergab, dass der Phenol-Gehalt in den verschiedenen Geweben der Möhre von der Schale in Richtung Phloem und Xylem anstieg, während sich die antioxidantischen und *radical scavening*⁸ Aktivitäten auf gleiche Weise, wie der Phenol-Gehalt erhöhten und

⁸ Die Fähigkeit freie Radikale unschädlich zu machen

wiederum mit dem totalen Phenol-Gehalt korrelierten. Die phenolischen Extrakte verfügten über stärkere *radical scavening* Fähigkeiten, als die zum Vergleich herangezogenen Reinsubstanzen Chlorogensäure, Vitamin C und β -Carotin. Somit vermutete man im Rahmen dieser Studie, dass Phenole wichtige antioxidative Fähigkeiten in Möhren besitzen und die Derivate der Hydroxyzimtsäure, wie z.B. die *dicaffeoylquinic acids* der Extrakte zusammen mit Chlorogensäure stark die antioxidative Kapazität der Möhren beeinflusst hatten. Der höchste Gehalt an Phenolen und somit an antioxidativen Fähigkeiten insgesamt fand man in der Schale der Möhre vor.

Die wenigen vorhandenen Studien in Bezug auf den Gehalt an Carotinoiden und Phenolen in Weizen lassen sich darauf zurückführen, dass der Parameter „Proteingehalt“ im Gegensatz zu den sekundären Pflanzenstoffen für die weitere Verarbeitung und Verwertung des Weizens von wesentlicher Bedeutung ist. Die vorhandenen Studien beschäftigten sich bisher hauptsächlich mit Sortenversuchen (ADOM *et al.* 2003, ZHOU *et al.* 2004; MOORE *et al.* 2005; ZHOU *et al.* 2005), die zeigten, dass der Gehalt an sekundären Pflanzenstoffen (Phenole, Tocopherole, Carotinoide) stark durch die Sorte beeinflusst wird. Der Einfluss exogener Faktoren (z.B. Anbausystem) war aufgrund der vorliegenden Untersuchungen nicht klar ersichtlich. Dass der Gehalt an sekundären Pflanzenstoffen durch äußere Faktoren beeinflusst wird kann jedoch aus der Untersuchung von ZHOU *ET AL.* (2005) abgeleitet werden.

Unter den in dieser Literaturliteratur aufgeführten Versuchen befanden sich Feldversuche (z.B. JANES 1946, SANDHU *ET AL.* 1988, WARMAN und HAVARD 1997) sowie Gefäßversuch (z.B. HABBEN 1972, SCHARRER und BÜRKE 1953). Die Gefäßversuche hatten den Vorteil, dass man den Einfluss eines bestimmten Faktors z.B. Düngung auf den Carotinoidgehalt in Möhren klar abgrenzen konnte, den Einfluss den wiederum weitere Parameter ausübten, konnte man jedoch nur erschwert oder gar nicht nachvollziehen. Die Feldversuche hingegen boten die Möglichkeit, den Einfluss mehrerer Faktoren (z.B. Düngung, Standort, Klima) zu untersuchen und auch der Parameter Bestandesdichte konnte im Rahmen dieser Versuche berücksichtigt werden. Die Feldversuche spiegelten somit die späteren Anbaubedingungen am besten wieder.

Die Fragen, inwieweit sich ökologisch erzeugte Pflanzenprodukte hinsichtlich ihres Gehaltes an sekundären Pflanzenstoffen von Produkten, die auf konventionellem Weg erzeugt wurden unterscheiden bzw. ob die pflanzlichen Produkte hinsichtlich ihres gesundheitlichen Wertes

nach dem Anbausystem aus dem sie stammen, Unterschiede aufweisen, konnten im Zuge dieser Literaturarbeit nicht eindeutig geklärt werden.

LECLERC *ET AL.* (1991) führte einen Versuch zum Einfluss mineralischer und organischer Düngung auf den Gehalt an Mineralstoffen und Vitaminen in Möhren und Knollensellerie durch. Die Ergebnisse dieses Versuches zeigten, dass die Möhren, die eine organische Düngung erhalten hatten, höhere β -Carotingehalte enthielten, als die mineralisch gedüngten Möhren. Diese Ergebnisse waren jedoch umstritten, da verschiedenen Publikationen diese bestätigt, aber auch widerlegt hatten. Letztendlich wurden die erhaltenen Ergebnisse auf die jeweilige Anbautechnik zurückgeführt LECLERC *ET AL.* (1991). Auch WARMAN und HAVARD (1997) untersuchten den Einfluss, den mineralische und organische Düngung auf die Kulturen Möhre und Kohl ausübt. Die mineralisch gedüngten Möhren wiesen im Rahmen dieses Versuches signifikant höhere β -Carotingehalte auf, als die Möhren die eine organische Düngung erhalten hatten. Insgesamt zeigten die Ergebnisse jedoch nur geringe Unterschiede zwischen den mineralisch und organisch gedüngten Möhren auf. Im Zuge dieses Versuches machte man den Kompost, als verwendete organische Düngungsvariante, für die geringen Unterschiede zwischen den zwei verschiedenen Düngungsvarianten verantwortlich. Da die Mineralisationsrate des Kompostes sich den Nährstoffen des mineralischen Düngers annäherte WARMAN und HAVARD 1997). POMMER und LEPSCHY (1985) hingegen führte 1982 eine Untersuchung durch, in der er die Inhaltsstoffe von Winterweizen und Möhren aus verschiedenen Produktions- und Vermarktungsweisen verglich. Die Ergebnisse zeigten, dass die Möhren aus Bioläden und alternativen Betrieben höhere β -Carotingehalte enthielten, als die Möhren aus der üblichen Erzeugung. Die Ergebnisse, die hingegen auf die Trockenmasse bezogen wurden, waren weitgehend ausgeglichen. Insgesamt wiesen die ermittelten Carotingehalte dieses Versuches große Schwankungen auf, welche man auf die Faktoren Standort, Sorte und Erntezeitpunkt zurückführte. Die im Rahmen dieses Versuches untersuchten 20 Einzelproben liegen jedoch an der Grenze einer repräsentativen Aussage (POMMER und LEPSCHY 1985). Anhand dieser Literaturfundstellen erkennt man, wie schwierig eine Grenze zwischen den pflanzlichen Produkten der konventionellen Landwirtschaft und denen des ökologischen Landbaus gezogen werden kann.

Für die weitere Forschung auf dem Gebiet der sekundären Pflanzenstoffe im Allgemeinen und speziell bei den Fokusprodukten Möhre und Weizen wäre es empfehlenswert, neben den Sortenversuchen auch Anbauuntersuchungen in Bezug auf den Phenolgehalt in Möhren sowie den Gehalt an Carotinoiden und Phenolen in Weizen durchzuführen, da man anhand der Literaturfundstellen zum Carotinoidgehalt in Möhren erkennen konnte, wie wichtig der

Einfluss exogener Faktoren für die Bildung des Gehaltes an sekundären Pflanzenstoffen (z.B. beim Carotinoidgehalt) ist.

10 Literaturverzeichnis

- Adom K. K., Sorrells M., Liu R. H. (2003): *Phytochemical Profiles and Antioxidant Activity of Wheat Varieties*. J. Agric. Food Chem. **51**, 7825-7834.
- Ahlheim, K.-H. (1970): *Duden / Wie gebraucht man Fremdwörter richtig?* Mannheim/Leipzig/Wien/Zürich: Dudenverlag.
- Amberger, A. (1996): *Pflanzenernährung*. Stuttgart: Eugen Ulmer.
- Arncken C. (2006): *Samenfeste Möhren im Vergleichsanbau mit Hybridsorten, Abschlussbericht der Versuchsjahre 2002 und 2003*. URL: <http://orgprints.org/8564/>.
- Bahorun T., Luximon-Ramma A., Crozier A., O. A. I. (2004): *Total phenol, flavonoid, proanthocyanidin and vitamin C levels and antioxidant activities of Mauritanian vegetables*. J. Sci. Food Agric. **84**, 1553-1561.
- Bajaj K. L., Kaur G., Sukhija B. S. (1980): *Chemical composition and some plant characteristics in relation to quality of some promising cultivars of carrot*. Qual Plant.-Pl. Fds. Hum. Nutr. **30**, 97-107.
- Banga O., de Bruyn J. W. (1955): *Selection of carrots for carotene content. II. Subnormal content at low temperature*. Euphytica **4**, 183-189.
- Banga O., de Bruyn J. W. (1964): *Carotenogenesis in carrot roots*. Netherl. J. agric. Sci. **12**, 204-220.
- Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) I. f. E. u. M. (2005): *Die Karotte*.
- Beckmann E. O., Pestemer W. (1975): *Einfluss von Herbizidbehandlung bei unterschiedlicher Humusversorgung auf Ertrag und Inhaltsstoffe von Möhren*. Landwirtschaftliche Forschung **28**.
- Booth V. H., Dark S. O. S. (1949): *The influence of environment and maturity of total carotenoids in carrots*. Journal of Science of Food and Agriculture **39**, 226-236.
- Brandt K., Molgaard J. P. (2001): *Featured Article: Organic agriculture: does it enhance or reduce the nutritional value of plant foods?* Journal of the Science of Food and Agriculture **81**, 924-931.
- Brouwer, W. (1972): *Handbuch des speziellen Pflanzenbaus*. Berlin, Hamburg: Parey.
- Dittrich, K., Leitzmann, C. (1996): *Bioaktive Substanzen*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
- Drangmeister H. (2003): *Ökologischer Feldgemüseanbau Kopfkohl- und Möhrenanbau*. URL: http://www.oekolandbau.de/lehrmittel/flwmd02_41.pdf.
- Fritz, D., Stolz, W. (1989): *Gemüsebau*. Stuttgart: Eugen Ulmer GmbH & Co.
- Geisler, G. (1980): *Pflanzenbau*. Berlin, Hamburg: Verlag Paul Parey.
- George, E., Eghbal, R. (2003): *Ökologischer Gemüsebau*. Mainz: Bioland Verlags GmbH.

- Habben J. (1972): *Einfluss einiger Standortfaktoren auf Ertrag und Qualität der Möhre*. Gartenbauwissenschaft **37**, 345-359.
- Habben J. (1973): *Einfluss der Stickstoff- und Kaliumdüngung auf Ertrag und Qualität der Möhre*. Landwirtschaftliche Forschung.
- Heinonen M. I. (1990): *Carotenoids and Provitamin A Activity of Carrots (*Daucus carota* L.) Cultivars*. J. Agric. Food Chem. **38**, 612-615.
- Howitt C. A., Pogson B. J. (2006): *Carotenoid accumulation and function in seeds and non-green tissues*. Plant, Cell & Environment **Volume 29**, 435.
- Janes B. (1946): *Variations in the dry weight, ascorbic acid and carotene content of collards, broccoli and carrots as influenced by geographical location and fertilizer level*. Proceedings of the American Society for Horticultural Science **48**, 407-412.
- Keller, E. R., Hanus, H. und Heyland, K.-U. (1999): *Handbuch des Pflanzenbaus*. Stuttgart: Eugen Ulmer GmbH & Co.
- Klapp, E. (1958): *Lehrbuch des Acker- und Pflanzenbaues*. Berlin, Hamburg: Verlag Paul Parey.
- Leclerc J., Miller M., Joliet E., Roquelin G. (1991): *Vitamin and Mineral Contents of Carrot and Celeriac Grown under Mineral or Organic Fertilization*. Biological Agriculture and Horticulture **7**, 339-348.
- Lelley J. (1972): *Der Einfluss der Unkrautkonkurrenz und des Herbizideinsatzes auf den Ertrag und Karotengehalt von Möhren*. Z. Pflanzenkrankheiten (Pflanzenpath.) Pflanzenschutz Sonderh. **VI**, 89-94.
- Mehwald J. (1965): *Möhrenanbau und Karotinwerte*. Rheinische Monatsschrift für Gemüse, Obst, Zierpflanzen **53**, 112-113.
- Moch K. (2004): *Das überholte Paradigma der Gentechnik*. URL: <http://www.oeko.de/oekodoc/235/2004-024-de.pdf>.
- Mohr, H., Schopfer, P. (1992): *Pflanzenphysiologie*. Berlin / Heidelberg / New York: Springer-Verlag.
- Moore J., Hao Z., Zhou K., Luther M., Costa J., Yu L. (2005): *Carotenoid, Tocopherol, Phenolic Acid, and Antioxidant Properties of Maryland-Grown Soft Wheat*. J. Agric. Food Chem. **53**, 6649-6657.
- Nilsson T. (1979): *Yield, storage ability, quality and chemical composition of carrot root, cabbage and leek at conventional and organic fertilizing*. Acta Horticulturae **93**, 209-223.
- Oehmichen, J. (1986): *Pflanzenproduktion*. Berlin, Hamburg: Verlag Paul Parey.
- Park H., Kreunen S. S., Cuttriss A. J., DellaPenna J., Pogson B. J. (2002): *Identification of the carotenoid isomerase provides insight into carotenoid biosynthesis, prolamellar body formation, and photomorphogenesis*. Plant Cell **14**, 321-332.

- Pfützer G., Pfaff C. (1935): *Untersuchungen auf Gehalte an Carotin und Vitamin C bei Gemüsen und Futterstoffen*. Angewandte Chemie **48**, 581-592.
- Pollard A. (1941): *Note on the Effect of Manurial Treatments on the Carotene Content of Carrot Roots*. Annual Report of the Agricultural and Horticultural Research Station, Long Ashton, Bristol 32.
- Pommer G., Lepschy J. (1985): *Untersuchung über Inhaltsstoffe von Winterweizen und Karotten aus verschiedener Produktionsweise und Vermarktung*.
- Reiner, L. (1992): *Weizen aktuell*. Frankfurt am Main: DLG-Verlag.
- Richter, G. (1988): *Stoffwechselfysiologie der Pflanzen, Physiologie und Biochemie des Primär- und Sekundärstoffwechsels*. Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag.
- Roux A. (1965): *Carotinreiche Möhrensorten*. Gemüse **7**, 125-128.
- Rubatzki, V. E., Quiros, C. F. und Simon, P. W. (1999): *Carrots and related vegetable Umbelliferae*. Oxon: CABI Publishing.
- Sandhu K., Joshi A., Bajaj K. L. (1988): *Effects of nitrogen fertilizer and weed control on nutritive quality of carrots (Daucus carota L.)*. Plant Foods for Human Nutrition **38**, 67-73.
- Scharrer K., Bürke R. (1953): *Der Einfluss der Ernährung auf die Provitamin-A (Carotin)-Bildung in landwirtschaftlichen Nutzpflanzen*. Z. Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkde. **62**, 244-262.
- Schopfer, P., Brennicke, A. (2006): *Pflanzenphysiologie*. München: Elsevier GmbH, Spektrum Akademischer Verlag.
- Simon P. W., Wolff X. (1987): *Carotenes in Typical and Dark Orange Carrots*. J. Agric. Food Chem. **35**, 1017-1022.
- Stöppler, H. (1989): *Weizen im ökologischen Landbau*. Darmstadt: KTBL.
- Sweeney J. P., Marsh A. C. (1971): *Effects of Selected Herbicides on Provitamin A Content of Vegetables*. J. Agr. Food. Chem. **19**.
- The ATBC Study Group (2003): *Incidence of Cancer and Mortality Following alpha-Tocopherol and beta-Carotene Supplementation: A Postintervention Follow-up*. JAMA: The Journal of the American Medical Association **290**, 476-485.
- Warman P. R., Havard K. A. (1997): *Yield, vitamin and mineral contents of organically and conventionally grown carrots and cabbage*. Agriculture, Ecosystems and Environment **61**, 155-162.
- Watzl, B., Leitzmann, C. (1999): *Bioaktive Substanzen in Lebensmitteln*. Stuttgart: Hippokrates Verlag GmbH.
- Zhang D., Hamauzu Y. (2004): *Phenolic compounds and their antioxidant properties in different tissues of carrot (Daucus carota L.)*. Food, Agriculture & Environment **2**, 95-100.

Zhou K., Su L., Yu L. (2004): *Phytochemicals and Antioxidant Properties in Wheat Bran*. J. Agric. Food. Chem. **52**, 6108-6114.

Zhou K., Yin J. J., Yu L. (2005): *Phenolic Acid, Tocopherol and Carotenoid Compositions, and Antioxidant Functions of Hard Red Winter Wheat Bran*. J. Agric. Food Chem. **53**, 3916-392

Eidesstattliche Versicherung

Ich erkläre hiermit, dass ich diese Arbeit selbständig,
ohne fremde Hilfe und unter Benutzung der angegebenen
Literatur angefertigt habe.

Wolfsburg, den 07.01.2007

Kirsten Körner