

DIPLOMARBEIT

Lactucin und Intybin – Die Bitterstoffe in gebräuchlichen Salatsorten
Ernährungsphysiologische und lebensmittelqualitative Betrachtungen

Zur Erlangung des akademischen Grades

Magistra der Naturwissenschaften (Mag. rer.nat.)
an der Fakultät für Lebenswissenschaften
Department Ernährungswissenschaften der Universität Wien

Verfasserin:	Hildegard Jäger
Matrikel-Nummer:	0008805
Studienrichtung (lt. Studienblatt):	A 474 Ernährungswissenschaften
Betreuer:	Ao. Prof. Mag. Dr. Karl-Heinz Wagner

Wien, Oktober 2008

Mein Dank gilt

SPL Prof. Dr. Ibrahim Elmadfa für die Zustimmung zur Bearbeitung des Themas.

Prof. Dr. Karl-Heinz Wagner für die Übernahme des Themas und die Betreuung meiner Diplomarbeit, was er trotz Zeitmangel jederzeit mit Interesse und durch seine fachliche Unterstützung tat.

Meinem Mann für sein Verständnis, seine Geduld und das Redigieren. Ihm möchte ich diese Arbeit widmen.

Meiner restlichen Familie, den Freunden und Arbeitskollegen für ihre Nachsicht und Anerkennung.

Meinem Schwager für die Zähmung des widerspenstigen PCs.

Meinen zu Freunden gewordenen Studienkollegen für die Unterstützung und gelegentliche Ermunterung einer Spätstudierenden.

Und allen, die mir während der Studienzeit freundlich und hilfsbereit begegnet sind.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis	V
Tabellenverzeichnis	VI
Abkürzungsverzeichnis	VII
1. Einleitung	1
2. Bitterstoffe	2
2.1. Blattsalate als Bitterstoffproduzenten	2
2.1.1. Kultursorten	2
2.2 Botanik der Blattsalate	3
2.2.1. Systematik	3
2.2.2 Botanische Merkmale	4
2.2.3 Blattformen und Blattfarben	5
2.2.4 Herkunft	6
2.3 Inhaltsstoffe	7
2.3.1 Allgemeine Inhaltsstoffe	7
2.3.2. Bitterstoffe des Salats	9
3. Bildung der Bitterstoffe	10
3.1 Allgemeine Charakterisierung	10
3.2 Sekundärer Pflanzenstoffwechsel und Syntheseweg	11
3.2.1 Sekundärer Pflanzenstoffwechsel	11
3.2.2. Chemische Struktur von Lactucin, Lactucopicrin,	12
8-Deoxylactucin	12
3.2.3 Syntheseweg von Terpenoiden	12
3.2.4 Syntheseweg von Sesquiterpenlactonen	13
3.2.5. Durchschnittlicher Gehalt an Sesquiterpenlactonen	16
3.3 Analyse der Bitterstoffe	17

3.3.1. Übersicht über analytische Methoden.....	17
3.3.2. Hochdruckflüssigkeitschromatographie	18
3.3.3. Dünnschichtchromatographie	20
3.3.4. Gaschromatographie	21
3.3.5. ELISA	21
3.3.6. Organoleptische Methoden.....	22
4. Wahrnehmung der Bitterstoffe	24
4.1. Biologie des Geschmacksinnes.....	24
4.1.1. Bau der Geschmacksknospen.....	24
4.1.2. Neuronaler Weg der Geschmackswahrnehmung	25
4.2. Bitterstoffrezeptoren	27
4.2.1. Signaltransduktion	27
4.2.2. Identifikation der Liganden.....	28
4.2.3. Genetischer Polymorphismus.....	31
4.3. Schwellenwerte der Bittersubstanzen	33
5. Metabolisierung und Bioaktivität	34
5.1. Sesquiterpenlactone in der Blutbahn.....	34
5.2. Signaltransduktion im Gastrointestinaltrakt	36
5.2.1 Zelluläres und neuronales Detektorsystem.....	36
5.2.2. Gustducin im Gastrointestinaltrakt.....	37
5.2.3. Freisetzung von gastrointestinalen Peptiden	38
6. Physiologische Wirkungen der Bitterstoffe	40
6.1. Auf zellulärer Ebene	40
6.1.1. Antiphlogistische Wirkung.....	40
6.1.2. Cytotoxische Wirkung	41
6.1.3. Wirkung bei Autoimmunerkrankungen.....	43
6.1.4. Hepatoprotektive Wirkung	44
6.2. Wirkungen auf das ZNS	45
6.2.1. Analgetische und sedative Wirkung.....	45

6.3. Heilmittel und Krankheitsauslöser	46
6.3.1. Adjuvantes Heilmittel	46
6.3.2. Allergische Reaktionen	47
6.3.3. Bakterielle Resistenz und Kreuzreaktionen	47
6.4. Toxikologie	48
7. Bitter- und Süßpräferenzen.....	49
7.1. Der Lernprozess.....	49
7.2. Süßpräferenz.....	50
7.2.1. Süßpräferenz bei Erwachsenen.....	50
7.2.2. Süßpräferenz bei Kindern	51
7.3. Gemüsekonsum und Geschmack	51
7.3.1. Gemüsekonsum bei Erwachsenen	51
7.3.2. Gemüsekonsum bei Kindern.....	52
7.4. Wiederholte Exposition.....	53
7.5. Mögliche Folgen einer Süßpräferenz.....	53
8. Salat als Lebensmittel	55
8.1. Salatanbau	55
8.1.1. Klima , Bodenansprüche und Fruchtfolge	55
8.1.2. Sortenwahl.....	56
8.1.3. Pflanzung.....	57
8.1.4. Kulturarbeiten und Bewässerung.....	58
8.2. Pflanzenschutz	59
8.2.1. Pflanzenschutzmittel	59
8.2.2. Umwelteinflüsse.....	61
8.2.3. Tierische Schädlinge.....	62
8.2.4. Viren, Bakterien, Pilze.....	62
8.3. Düngung.....	66
8.3.1. Die Hauptnährstoffe	67
8.3.2. Stickstoff	67
8.4. Ernte und Lagerung.....	70

8.4.1. Optische Qualität	71
8.4.2. Mikrobielle Kontamination.....	72
8.5. Wirtschaftliche Bedeutung.....	73
8.5.1. Produktion und Anbauflächen.....	73
8.5.2. Vertriebswege und Handelsnormen.....	74
8.5.3. Verpackung und Kennzeichnung	75
8.5.4. Verfügbarkeit und Saisonalität.....	75
8.5.5. Salatverzehr	77
9. Schlussbetrachtung	79
10. Zusammenfassung	83
11. Summary	85
Literaturverzeichnis.....	87
Weitere Internetreferenzen	98

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Chemische Struktur der SLs in Lactuca Spezies [REUBEN et al. 2000].....	12
Abbildung 2: Terpenoidsynthese [UNIVERSITÄT HAMBURG, Dpt. Biologie]	13
Abbildung 3: Angenommener Syntheseweg von Sesquiterpenlactonen [de KRAKER et al. 1998]	14
Abbildung 4: Angenommener Syntheseweg von Sesquiterpenlactonen [de KRAKER et al. 2001]	15
Abbildung 5: Chemische Struktur von Helenalin [www.giftpflanzen.com] ...	36
Abbildung 6: Schema des Signalweges einer enteroendokrinen Zelle [ROZENGURT E. 2007].....	39
Abbildung 7: chem. Struktur des Sesquiterpenlactons aus dem Mutterkraut [www.giftpflanzen.com.].....	43
Abbildung 8: erstellt nach: Handel in Österreich, Basisdaten 2007 [AC Nielsen 2008].....	77

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: erstellt aus SOUCI-FACHMANN-KRAUT Nährwerttabellen.....	8
Tabelle 2: erstellt aus Phytochemical Dictionary [HARBORNE et al. 1999]..	8
Tabelle 3: Rezeptoren und ihre identifizierten Liganden [mod. nach REED et al. 2006].....	29
Tabelle 4: Resistenzen bei Gemüsearten [mod. nach PELZMANN H. 2004]	59
Tabelle 5: Pilzkrankheiten bei Salat [erstellt aus UNMANN A. 2006].....	64
Tabelle 6: Grenzwerte für Nitrat in Gemüse: IBUNDESKANZLERAMT CAA:	70
Tabelle 7: mod. nach Saisonkalender für Gemüse [BGV Österreich 2006] ..	76

Abkürzungsverzeichnis

AFLP	amplified fragment length polymorphism
APCI	Atmospheric pressure chemical ionization
BSA	Bovine serum albumin
COSY	Correlation spectroscopy
EC ₅₀	Median enhancement concentration
ED ₅₀	Median effective dose
EIMS	Electron impact mass spectrometry
ESI	Electrospray ionisation
ES-MS	Electrospray mass spectroscopy
FPP	Farnesylpyrophosphat
GC	Gas chromatography
GDP	Guanosindiphosphat
GTP	Guanosintriphosphat
HBMC	Heteronuclear multiple bond correlation
HPLC	High performance liquid chromatography
HRP	Horse radish peroxidase
HSCCC	High speed counter current chromatography
IC ₅₀	Median inhibition concentration
IP ₃	Inositoltrisphosphat
ITMS	Ion trap mass spectrometry
MEKC	Micellar electrokinetic chromatography
MPLC	Middle pressure liquid chromatography
MS	Mass spectrometry
MS-MS	Tandem mass spectrometry
NMR	Nuclear magnetic resonance
NOESY	Nuclear Overhauser effect spectroscopy
OPLC	Optimum performance laminar chromatography
PLC	Phospholipase C
PROP	6-n-Propylthiouracil

VIII

PTC	Phenylthiocarbamid
QHCL	Chininhydrochlorid
QSAR	Quantitative structure activity relationship
ROS	Reaktive Sauerstoffspezies
RP-HPLC	Reversed phase HPLC
SFC	Supercritical fluid chromatography
SLs	Sesquiterpenlactone
SOA	Sucrose acetat
TLC	Thin-layer chromatography
TSP	Thermospray

1. Einleitung

Lactucin und seine Derivative sind charakteristische Bitterkomponenten von *Lactuca* und *Cichorium* Spezies und von vielen anderen Arten der Familie der *Asteraceae*. Lactucin wurde bereits in der Mitte des 19. Jahrhunderts im Milchsaft des wilden Lattichs (*Lactuca virosa*) entdeckt und der eingedickte Milchsaft, das Lactucarium, als Heilmittel in der Kräutermédisin verwendet. Die heutigen Kultursorten des Salats sind feste Bestandteile unserer Ernährung und enthalten nur noch einen Bruchteil der Bitterstoffe ihrer wilden Vorfahren.

Der Verzehr von Gemüse und Obst hat in den letzten Jahren in Österreich nicht zuletzt durch Aufklärung der Bevölkerung seitens der Gesundheitspolitik, sondern auch durch steigendes Gesundheitsbewusstsein stetig zugenommen. Einen besonderen Stellenwert bei den Gemüseprodukten nehmen die Blattsalate ein, die im Trend zur leichten und gesunden Ernährung liegen und sich durch ihren frischen Geschmack, die geringe Energiedichte und die einfache Zubereitung auszeichnen. Die Verbrauchszahlen dokumentieren dies auf eine beeindruckende Weise: im Jahr 2007 wurde pro Kopf 10,6 kg Salat diverser Sorten konsumiert. Hauptbestandteil des essbaren Anteils der Blattsalate ist Wasser (95%); Vitamine, Mineralstoffe, flüchtige Verbindungen und andere sekundäre Pflanzenstoffe machen insgesamt weniger als 1% der Inhaltsstoffe aus. Die Wirkungen der sekundären Pflanzenstoffe sind zum Teil bereits erforscht und erwiesen. Zu ihnen zählen auch Bitterstoffe, die in den verschiedenen Salatsorten in unterschiedlicher Menge gebildet werden und auf deren ernährungsphysiologischen Nutzen oder auch deren Entbehrlichkeit in dieser Arbeit eingegangen werden soll. Außerdem wird der aktuelle Stand der Salatproduktion, Züchtungsergebnisse und die Verfügbarkeit unterschiedlicher Salatsorten für den Konsumenten untersucht. Stellvertretend für mehr als 100 Kultursorten werden die Vertreter der Gattungen *Lactuca sativa* ssp. und *Cichorium intybus* ssp. genauer betrachtet, da diese Sorten am häufigsten am heimischen Markt zu finden sind und sehr oft verzehrt werden.

2. Bitterstoffe

2.1. Blattsalate als Bitterstoffproduzenten

Salat ist seit mehr als 2500 Jahren als Kulturpflanze bekannt und nahm seine Verbreitung ausgehend von Ägypten über den gesamten Raum der griechischen und römischen Antike. Erst im Mittelalter wurde in den Gärten der unter Karl dem Großen gegründeten Klöster der Salat als Gartensalat in Europa kultiviert und als Blattgemüse verwendet. Man versteht im botanischen Sinn unter diesem Begriff überwiegend die Vertreter der Gattungen *Lactuca* und *Cichorium*. *Cichorium*-Salate weisen einen höheren Bitterstoffgehalt als *Lactuca*-Salate auf und werden vor allem in der zweiten Jahreshälfte bis zur Kopf- und Blattrosettenbildung kultiviert oder, wie im Falle des Chicoree, zur Knospung gebracht [UNMANN A. 2006].

2.1.1. Kultursorten

Folgende Salatsorten werden kultiviert:

Lactuca sativa L.

- | | | |
|-----------------------------|--|--|
| 1. Kopfsalat | <i>Lactuca sativa</i> var. <i>capitata</i> | Kopfsalat, Bataviasalat, Eissalat |
| 2. Schnitt- und Pflücksalat | <i>Lactuca sativa</i> var. <i>crispa</i> | Eichblattsalat (Krullsalat), Lollo rosso, Lollo bionda, Babyleaf |
| 3. Spargelsalat | <i>Lactuca sativa</i> var. <i>angustana</i> | |
| 4. Römischer Salat | <i>Lactuca sativa</i> var. <i>longifolia</i> | Romana (var. Romana), Bindesalat, Kochsalat |

Cichorium endivia ssp.

- | | | |
|------------------|---|-----------------------------|
| 1. Endiviensalat | <i>Cichorium endivia</i> var. <i>latifolium</i> | Escariol, breitblättrige E. |
| 2. Endiviensalat | <i>Cichorium endivia</i> var. <i>crispum</i> | Winterendivie, Frisee |

Cichorium intybus L. cv. sativum

- | | | |
|-------------------|---------------------------------|--|
| 1. Treibzichorie | Cichorium intybus var. foliosum | Chicoree, Witloof |
| 2. Salat-zichorie | Cichorium intybus var. foliosum | Radicchio.
Chioggia (Kopf rund),
Treviso (Kopf länglich) |

Diese Einteilung betrifft nur Blattsalate und nicht Sorten mit starker Wurzelbildung, die zur Bildung und gewerblichen Produktion von Inulin kultiviert werden. Sie kann nicht als vollständig angesehen werden, da es mittlerweile viele Kreuzungen zwischen den einzelnen Sorten gibt, sie soll jedoch einen Überblick über die gängigen und in der Arbeit behandelten Sorten geben [PELZMANN H. 2004].

2.2 Botanik der Blattsalate

2.2.1. Systematik

Phyletische Zugehörigkeit der Gattungen Lactuca und Cichorium:
Beide Vertreter dieser Gattungen gehören zur

Klasse	Rosopsida
Unterklasse	Asteridae
Ordnung	Asterales
Familie	Asteraceae
Unterfamilie	Cichorioideae
Stamm	Cichorieae (= Lactuceae)

bei weiterer Unterteilung unterscheiden sie sich im Gattungs- und Artnamen:

Gattung	Lactuca
Art	sativa
Gattung	Cichorium
Art	endivia
Gattung	Cichorium
Art	intybus

Taxonomie [UNIPROT Consortium]

2.2.2 Botanische Merkmale

Pflanzen der Familie Asteraceae sind die größte und geografisch am weitesten verbreitete Familie der Asterales. Am ehesten kommen sie in den Gebieten der südlichen Halbkugel vor; Asteraceae sind dagegen überall anzutreffen. Ausgangspunkt der Verbreitung der Asteraceae war vermutlich das Amazonasbecken in Südamerika.

Die Blütenstände der Asteraceae sind köpfchenförmig ausgebildet und von zahlreichen Hochblättern umgeben, der Köpfchenboden hat entweder Kegelform oder ist abgeflacht. Die homogamen Einzelblüten haben aus fünf Kronzipfeln bestehende Zungenblüten und besitzen fünf Staubblätter, die mit freien Filamenten an der Krone sitzen. Die Antheren sind zu einer Röhre verwachsen, die zur Aufnahme der Pollen dienen. Sie besitzen einen unterständigen 2-blättrigen Fruchtknoten mit einem Fach für die Samenanlage. Der Same enthält Protein und Öl.

Alle Lactuceae bilden Milchsaft, der in Milchgängen transportiert wird, die direkt an den Lamina des Sprosses und der Blattspreiten verlaufen. Der Milchsaft enthält die Bitterstoffe, die dem Vorläufer der Kulturpflanze als Repellent dienen [STRASBURGER 2002].

***Lactuca sativa* L.**

Die Frucht, die aus der gelben Blüte entsteht, wird botanisch als Nuss bezeichnet und weist eine mehr oder weniger dicht aneinander gepresste Samenanlage auf, eine längliche Achäne mit einem behaarten Schirm (Pappus), der für die Verbreitung der Samen sorgt. Der Gartensalat blüht als Langtagpflanze von Juli bis August.

Lactuca-Salate sind einjährige Pflanzen. Der Spross ist stark gestaucht, es entwickelt sich eine Blattrosette und daraus ein geschlossener Kopf (var. capitata) oder die Rosette bleibt offen und ist dicht beblättert (var. crispa). Dieser Salat wird auch als Pflücksalat bezeichnet, da die Blätter meist von unten einzeln gepflückt werden. Blüht der Salat, schiebt sich der gestauchte Spross nach oben und öffnet die Blattrosette. Dieser Vorgang ist für den

Salatproduzenten unerwünscht, er entsteht meistens durch große Wärmeeinwirkung und wird als Schossen bezeichnet. Bei der Varietät *Lactuca sativa angustana* und im Samenbau ist diese Entwicklung erwünscht und wird zugelassen.

Cichorium endivia

Die Frucht der Endivie ist eine bewimperte Achäne, die von aufrecht stehenden Schuppen umgeben ist. Die Endivien sind einjährige Pflanzen, die eine Blattrosette, oft mit einem eingerollten Herzstück, bilden. Zur Blüte treiben sie einen verzweigten, wenig beblätterten Stamm aus, der blaue Korbblüten trägt. Endivien können im Herbst ausgesät werden, da sie einige Frostgrade ertragen und als Langtagpflanzen dadurch keine Schoßprobleme kennen.

Cichorium intybus L.

Cichorium intybus bildet eine ähnliche Frucht wie die Endivie. Der Blütenstängel ist höher als der der Endivie, die Blüte ist ebenfalls eine blaue Korbblüte. Im Gegensatz zur Endivie ist die Zichorie eine zweijährige Pflanze mit einer deutlich dickeren, kegelförmigen Wurzel und einer Blattrosette, die beide im ersten Jahr gebildet werden, im zweiten Jahr gelangt sie zur Blüte [UNMANN A. 2006].

2.2.3 Blattformen und Blattfarben

Die Blattfarbe der grünen Blattsalate liefert der hohe Gehalt an Chlorophyll, das bei Lichtmangel jedoch abgebaut wird. Diesen Vorgang nützt man beim Bleichen der Endivien und des Chicoree, um besonders zarte und nur schwach bitter schmeckende Blätter zu erzielen. Durch entsprechende Zuchtmaßnahmen entwickeln grüne Salate Farben von gelbgrün bis braungrün. Der rote Farbstoff in Blattsalaten sind Anthocyane, die einerseits durch entsprechende Züchtung beabsichtigt sind und andererseits durch Stressbedingungen während des Wachstums entstehen, wie z.B. durch Wassermangel oder plötzlich auftretende Kälte [UNMANN A. 2006].

Die Blattformen variieren je nach Sorte von ganzrandig, eiförmig und wellig (Kopfsalat, Radicchio), mit gekraustem Rand (Eissalat), lang und schmal mit starken Rippen (Römischer oder Bindesalat), glatt und leicht gewellt (Chicoree), bis mäßig oder stark eingeschnittenen Blattspreiten (Endivien).

Eine Ausnahme bildet der Spargelsalat, bei dem nicht die Blätter, sondern der Blütentrieb, der sehr früh aus der Blattrosette austreibt den eigentlichen Nutzteil darstellt. Der Stängel wird von den Blättern befreit und wie Spargel zubereitet [PELZMANN H. 2004].

2.2.4 Herkunft

Lactuca Sativa L.

Eine der wichtigsten Blattsalatsorten ist die kultivierte Spezies *Lactuca sativa*. Ihre Herkunft, die Zugehörigkeit zu ihrer Wildform und die Stellung in der Taxonomie war Gegenstand unterschiedlicher Meinungen. Mit der Methode des genetischen Fingerabdrucks (AFLP) wurde die engste Verwandtschaft mit der Spezies *Lactuca serriola* sowie den außereuropäischen Arten *L. dregeana*, *L. altaica* und *L. aculeata*, (*serriola* ähnlichen Spezies), die in den Gegenden ihres Vorkommens als Wildsalate konsumiert werden, bei einer breit angelegten Untersuchung bestätigt. Die außereuropäischen Wildformen konnten mit größerer Wahrscheinlichkeit als nähere Verwandte von *Lactuca sativa* bezeichnet werden, als dies bei *Lactuca virosa* der Fall ist [KOOPMAN et al. 2001].

Mit den Untersuchungsmethoden 'Karyotyp-Analyse' und 'Fluoreszenz in situ Hybridisierung' (FISH) der Arten *L. serriola*, *L. saligna* und *L. virosa* kamen MATOBA et al. in ihrer Studie zum gleichen Ergebnis und bestätigten damit die Studie von KOOPMANN et al. Die Anzahl der Chromosomen ist bei allen Spezies gleich ($2n = 18$), *L. sativa* und *L. serriola* weisen beinahe dieselben Charakteristiken der Chromosomen (karyotype analysis) und der evolutionären Entwicklung (FISH) auf [MATOBA et al. 2007].

Cichorium intybus

Cichorium intybus stammt von der Wildsorte *Cichorium pumilum*, die in Kreta als Wildsalat konsumiert wird. Bei der vermuteten Herkunft der kultivierten Arten von *Cichorium intybus* und *Cichorium endivia* von *Cichorium pumilum* ist der Nachweis nicht eindeutig zu führen, da AFLP keine ausreichende Anzahl an übereinstimmenden Merkmalen für die untersuchten Spezies finden und zuordnen kann. Als Ursache wird vermutet, dass die Kulturspezies zu häufig untereinander gekreuzt wurden, um einen eindeutigen Nachweis für die Herkunft führen zu können.

Die Sammlung von genetischem Material der verschiedenen Wildsorten und die Untersuchungen über die Herkunft einer Spezies ist besonders für die kultivierten Arten von Bedeutung, da sie die Möglichkeit zur Einkreuzung von bestimmten Eigenschaften und Krankheitsresistenzen der Wildsorten eröffnen [KIERS et al. 2000].

2.3 Inhaltsstoffe

2.3.1 Allgemeine Inhaltsstoffe

Salat ist fast ausschließlich für den Rohgenuss vorgesehen, der ernährungsphysiologische Aspekt des Salats liegt hauptsächlich in seinem frischen und appetitanregenden Geschmack und seiner geringen Energiedichte. Die in einem geringen Ausmaß vorhandenen Vitamine, Mineralstoffe und sekundären Pflanzenstoffe – Polyphenole, Bitterstoffe und flüchtige Verbindungen – können als wertgebende Inhaltsstoffe angesehen werden. Die antioxidativen Eigenschaften werden hauptsächlich dem Gehalt an Polyphenolen und an Vitamin C zugeschrieben, die in unterschiedlicher, aber bioaktiv wirksamer Menge in den verschiedenen Salatsorten enthalten sind, wobei die rotblättrigen Sorten bei der Bewertung der antioxidativen Kapazität besser abschneiden.

Die Hauptbestandteile und der Energiegehalt der angeführten Salatsorten betragen je 100g essbarem Anteil:

Art	Wasser	Eiweiß	Fett	KH	Ballaststoffe	Mineralstoffe	Energie kJ
Kopfsalat	94,3 g	1,2 g	0,2 g	1,1 g	1,4 g	0,7 g	48
Endivie	94,2 g	1,8 g	0,2 g	1,2 g	1,2 g	0,9 g	58
Chicoree	94,1 g	1,2 g	0,2 g	2,4 g	1,3 g	0,8 g	70

Tabelle 1: erstellt aus SOUCI-FACHMANN-KRAUT Nährwerttabellen

Blattsalate enthalten die Mineralstoffe Natrium, Kalium, Magnesium, Calcium, Phosphor und Chlorid im mg-Bereich, Eisen, Kupfer, Zink, Jodid und Selen im µg Bereich, alle Vitamine außer Vitamin D und B₁₂, organische Säuren und Purine. Endivien enthalten deutlich mehr Kalium und Eisen als Kopfsalat und Chicoree.

Sortenspezifische sekundäre Pflanzenstoffe, die in pharmakologischen Mengen enthalten sind:

Inhaltsstoffe	Kopfsalat	Endivie	Chicoree
			X
Cichorinsäure	X	X	X
Cichoriin			X
Cichorine			X
8-Deoxylactucin		X	X
Lactucin	X	X	X
Lactupicrin		X	X
Coniferylalkohol	X		
Lactucaxanthin	X		

Tabelle 2: erstellt aus Phytochemical Dictionary [HARBORNE et al. 1999]

Die angeführten Inhaltsstoffe stellen eine kleine Auswahl an sekundären Inhaltsstoffen dar, von denen unzählige bereits detektiert und analysiert

wurden; dank moderner Analysemethoden werden immer noch weitere, bisher unbekannte, Substanzen gefunden.

Chichorinsäure: ist ein Derivat der Kaffeesäure - eine DicaFFEoylweinsäure - , das aus den Blättern isoliert wurde.

Cichoriin: ein 6,7-Dihydrocumarin 7-glycosid, das nur in den Blüten von *Cichorium intybus* vorkommt und gegen Fressfeinde wirkt.

Cichorine: ein Phytoalexin.

Dihydroconiferylalkohol: wirkt im Salat als Wachstumsfaktor

Lactucaxanthin: kommt als spezielles Carotinoid neben anderen Carotinoiden nur im Salat vor.

Aus *Lactuca sativa* wurde das Elektronentransferprotein der Photosynthese Plastocyanin, das ubiquitär in allen Pflanzen vorkommt (ein monomeres Protein mit einem Kupferatom pro Molekül) in seiner Sequenz vollständig analysiert und aufgeklärt [HARBORNE et al. 1999].

2.3.2. Bitterstoffe des Salats

Die meisten im Salat vorkommenden Bitterstoffe sind Sesquiterpenlactone. Sie sind die pharmakologisch wirksamen Substanzen, die den besonderen Geschmack des Salats induzieren. Es gibt in der Natur mehr als 4.000 bekannte Sesquiterpenlactone; ein großer Teil davon kommt in der Familie der Asteraceae vor und ist für sie charakteristisch.

Die Guaianolide 8-Deoxylactucin, Lactucin und Lactupicrin (= Intybin) und ihre 11 β ,13-Dihydroderivate verursachen je nach Salatvarietät einen mehr oder weniger stark ausgeprägten bitteren Geschmack, der zu einem erheblichen Teil zum Geschmackserlebnis beim Salatverzehr beiträgt [KRAKER et al. 2001].

3. Bildung der Bitterstoffe

3.1 Allgemeine Charakterisierung

Ein bitterer Geschmackseindruck kann durch verschiedene Substanzen verursacht werden, z.B. durch organische Moleküle wie Peptide, Aminosäuren, Fette, Glycoside, Flavonoide und Terpene, aber auch anorganische Ionen oder Salze. Im Falle der Terpene sind es vor allem die verschiedenen Sesquiterpenlactone, die einen intensiven Bittergeschmack auslösen. Die Ablehnung von bitter schmeckenden Stoffen in der Nahrung schützte unsere Vorfahren vor gefährlichen Stoffen, zumeist vor Alkaloiden und Cyaniden, die bitter schmecken und die vor allem bei Kindern großen Schaden an der Gesundheit anrichten konnten. Diese ablehnende Haltung ist offenbar ein Ergebnis der Evolution; andererseits jedoch wurden bittere Früchte und Wurzeln als Heilmittel bewusst konsumiert und Kranken und Schwachen verabreicht, da man um ihre Heilkraft genau Bescheid wusste. Der menschliche Säugling hat eine besondere Vorliebe für süß und lehnt bittere und saure Nahrung ab, im Laufe der menschlichen Entwicklung ändert sich diese instinktive Verhaltensweise durch Erfahrung und führt zu einer geänderten Einstellung, bei der ein moderater Bittergeschmack bei bestimmten Lebensmitteln von manchen Menschen sogar erwartet und geschätzt wird. In den meisten Lebensmitteln wird der Bittergeschmack aber als unerwünscht von den Konsumenten abgelehnt und die Lebensmittelindustrie ist bemüht, geeignete Strategien für die Maskierung oder Eliminierung dieser Geschmacksrichtung zu finden, um eine bessere Akzeptanz zu erzielen [SCOTTI et al. 2007].

Obwohl Bitterstoffe und süß schmeckende Stoffe eine große strukturelle Ähnlichkeit aufweisen und eine geringfügige Änderung in der strukturellen oder sterischen Anordnung von Hydroxygruppen zu hydrophoben Gruppen ein süß schmeckendes Molekül in ein bitter schmeckendes verwandeln kann (eines der

Stereoisomere des Süßstoffes Aspartam zum Beispiel schmeckt bitter), kann der Bittergeschmack einer strukturellen Aktivität nicht eindeutig zugeordnet werden. Es wird vermutet, dass im allgemeinen eine Anwesenheit von Lactonegruppen in einem Molekül mit einem Bittergeschmack assoziiert werden kann. Ebenso gibt es keinen Unterschied in der Art des Signals, das Bitterstoffrezeptoren aussenden, wenn sie auf verschiedene bittere Substanzen reagieren. Es wird dem Menschen damit unmöglich gemacht, gefährliche Stoffe von ungefährlichen allein durch das Geschmackserlebnis zu unterscheiden [RODGERS et al. 2005].

Die Polarität eines Moleküls genügt nicht, um die Bitterstoffwahrnehmung auszulösen, es muss angenommen werden, dass das Verhältnis Geschmacksempfindung und funktionelle Gruppen eines Moleküls sehr komplex ist und weiterer Aufklärung bedarf. Es gibt den Hinweis, dass einige Variable wichtig bei der Auslösung der Bioaktivität sind, nämlich die Anzahl von primären und sekundären Alkoholgruppen und die Anwesenheit von Fragmenten der Struktur $R-C(=O)-O$ [SCOTTI et al. 2007].

3.2 Sekundärer Pflanzenstoffwechsel und Syntheseweg

3.2.1 Sekundärer Pflanzenstoffwechsel

Autotrophe Pflanzen können nicht nur organische Verbindungen synthetisieren, die für den Energie- und Baustoffstoffwechsel der Pflanze notwendig sind, sondern auch Verbindungen, die für die Pflanze vordergründig von untergeordneter Bedeutung sind und als Sekundärverbindungen oder Naturstoffe bezeichnet werden. Die Produkte des Primärstoffwechsels sind unentbehrlich für das Wachstum und die Entwicklung der Pflanze, die des Sekundärstoffwechsels für ihre Existenz und den Fortbestand der Art in der Umwelt. Gemeinsam sichern sie den ordnungsgemäßen Ablauf im Lebenszyklus der Pflanze und ihr Überleben.

Zahllose Sekundärverbindungen mit unzähligen Strukturvariationen werden von den Pflanzen gebildet und kommen mit einer begrenzten Anzahl von Grundbausteinen oder Intermediärprodukten wie Acetyl-CoA, Shikimat oder Aminosäuren aus. Die Vielfalt ergibt sich aus verwandten Strukturen, die eine chirale oder stereochemische Spezifität aufweisen. Es können auch Kondensationsprodukte gebildet werden. Meist werden ausgehend von einer zentralen Verbindung viele verwandte Verbindungen synthetisiert, die nicht nur eine Pflanzenart, sondern auch eine Pflanzenfamilie charakterisieren, sie eignen sich dadurch gut als taxonomische Merkmale in der Systematik [LÜTTGE et al. 2005].

3.2.2. Chemische Struktur von Lactucin, Lactucopicrin, 8-Deoxylactucin

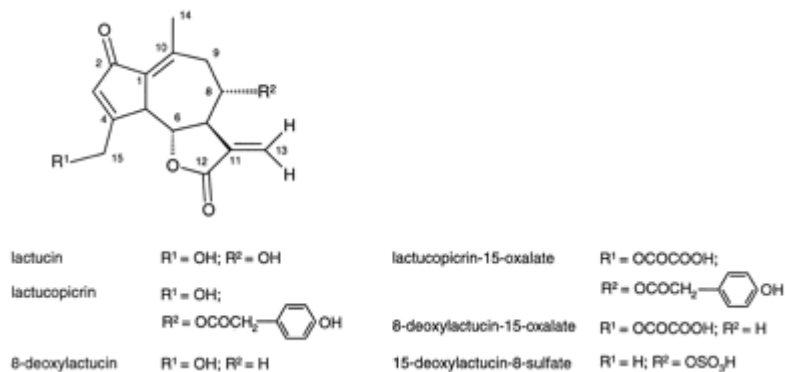


Abbildung 1: Chemische Struktur der SLs in Lactuca Spezies [REUBEN et al. 2000]

3.2.3 Syntheseweg von Terpenoiden

Die im Blattsalat gebildeten Bitterstoffe Lactucin, Lactupicrin (Intybin) und 8-Deoxylactucin sind Sesquiterpenlactone, die wegen ihrer Grundstruktur auch als Guaianolide bezeichnet werden. Sesquiterpene zählen zu den Terpenoiden und werden durch Polymerisierung von Isopreneinheiten (C_5 Einheiten) gebildet. Der Grundbaustein ist das Isopentenylpyrophosphat, das aus drei

Molekülen Acetyl-CoA, der nachfolgenden Bildung von Mevalonsäure durch Reduktion, anschließender Phosphorylierung und Abspaltung von einem Molekül CO_2 im Cytoplasma höherer Pflanzen entsteht. Isopentenylpyrophosphat ist ein Isomer des Dimethyllallylpyrophosphats und beide stehen durch eine Isomerasereaktion im Gleichgewicht. Beide Verbindungen ergeben durch Kondensation Geranylpyrophosphat (C_{10} Körper). Durch Anlagerung einer weiteren Isopreneinheit entsteht Farnesylpyrophosphat und daraus die Klasse der Sesquiterpene. Anschließend sind auch Ringschlüsse, Reduktionen und Oxidationen möglich [LÜTTGE et al. 2005].

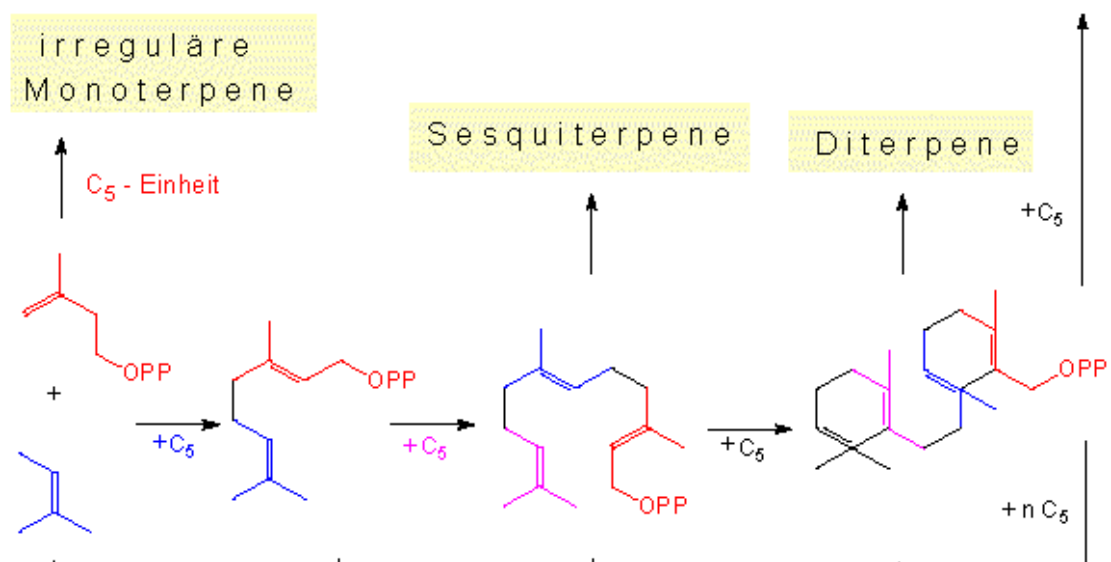


Abbildung 2: Terpenoidsynthese [UNIVERSITÄT HAMBURG, Dpt. Biologie]

3.2.4 Syntheseweg von Sesquiterpenlactonen

Sesquiterpenlactone entstehen aus dem über den Mevalonatweg gebildeten Grundbaustein FPP. Den nachfolgend abgebildeten Syntheseweg erklärte eine Studie von de KRAKER et al. 1998 durch Isolierung einer Sesquiterpen – Cyclase, die aus den Wurzeln von *Cichorium intybus* L. (Chicoree) gewonnen und deren Aktivität durch Inkubation mit [^3H]FPP nachgewiesen wurde.

Es wurde angenommen, dass Guaianolide und Eudesmanolide aus einer gemeinsamen Vorstufe entstehen, die über den bekannten Acetat-Mevalonat-

FPP-Weg von einer Germacrene-Synthase gebildet wird, die der Gruppe der Sesquiterpencyclasen angehört. Ob dieser Germacran – Vorläufer in ein Guaianolid- oder Eudesmanolidskelett transformiert wird, so wurde impliziert, würde von der jeweiligen Position der Epoxidbildung abhängen und von der Aktivität von zwei weiteren unterschiedlichen Enzymen, die in die Zyklisierung involviert wären. Das Resultat der Studie ergab die ausschließliche Bildung von (+)Germacrene A als Reaktionsprodukt und keine weiteren Zyklisierungsprodukte, wodurch die vorangegangenen Annahmen über die Zyklisierung von FPP durch eine Germacrene-Synthase bestätigt wurden, jedoch über weitere Syntheseschritte keine Aussage getroffen werden konnte [KRAKER et al. 1998].

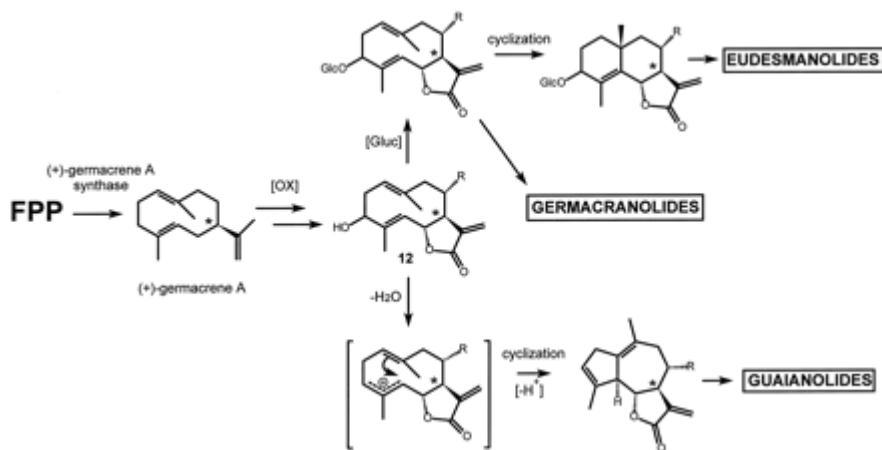


Abbildung 3: Angenommener Syntheseweg von Sesquiterpenlactonen [de KRAKER et al. 1998]

Eine weitere Studie von de Kraker untersuchte den nächsten Syntheseschritt, die Oxidation von Germacrene A an der Isopropenyl-Seitenkette und die Bildung des Laktonringes. Die Studie zeigte, dass eine Germacrene A - Hydroxylase, ein Cytochrom P450 Enzym, bei Anwesenheit von O₂ und NADPH, (+) Germacrene A zu einem Alkohol hydroxyliert, um anschließend durch Sesquiterpenoid-Reduktasen und NADP zu einer Germacratrensäure oxidiert wird, wie in Abbildung 4 dargestellt. Im Allgemeinen wird angenommen, dass alle Guaianolide, sowie auch die Gruppe der Eudesmanolide und der

Germacranolide, aus Costunoliden gebildet werden. Die Vorstufe bildet die Germacransäure [KRAKER J. et al. 2001].

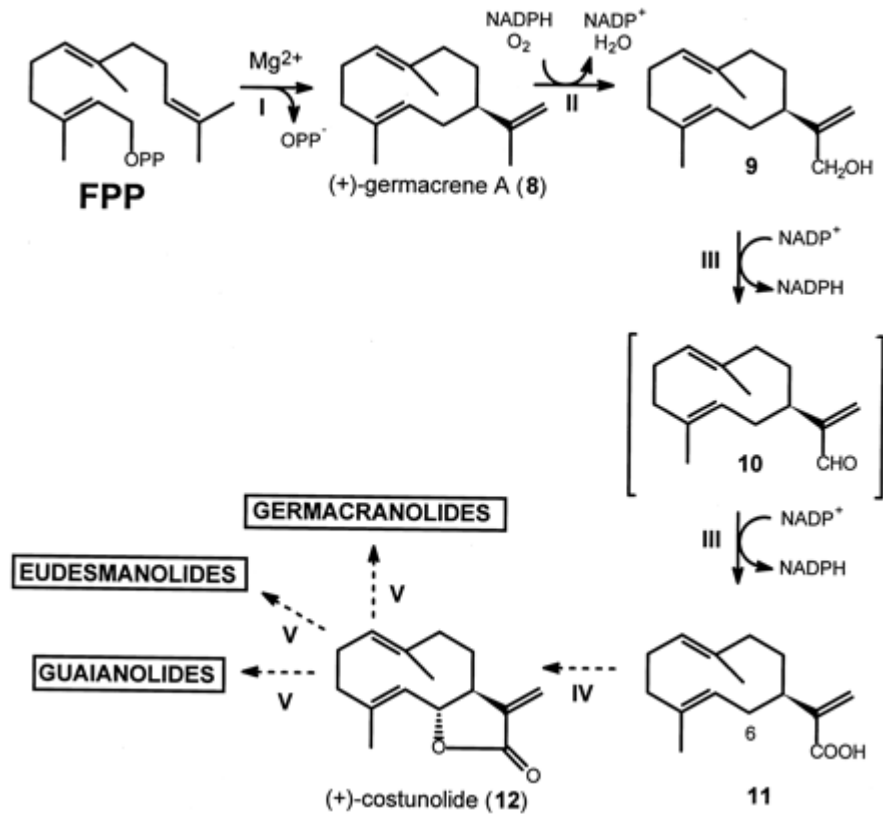


Abbildung 4: Angenommener Syntheseweg von Sesquiterpenlactonen [de KRAKER et al. 2001]

Den letzten Schritt zur Bildung des Lactonringes fanden de Kraker et al. bei einer Folgeuntersuchung dieser enzymatischen Vorgänge. Ein weiteres Cytochrom P450 Enzym, die Costunolid Synthase, katalysiert die Bildung des Lactonringes. Diese Hydroxilierung ist wie die oben beschriebenen Vorgänge ebenfalls abhängig von $NADPH$ und O_2 und kann nachweislich durch Kohlenmonoxid inhibiert werden. Costunolide stellt strukturell die einfachste Form der Germacranolide dar und gilt als Vorläufer für alle anderen Sesquiterpelactone [de KRAKER et al.2002].

Der Syntheseweg $FPP \rightarrow \text{Germacrene A} \rightarrow \text{Germacranolide} \rightarrow \text{Guaianolide}$ wurde durch eine weitere Studie bestätigt, die eine, durch die Pilzkrankheit „Salatrost“

verursachte, Akkumulation von Lettucenin A (ein Phytoalexin und SL) und dessen Syntheseweg untersuchte. Es wurden durch Klonen von Sesquiterpensynthase-Genen aus befallenen Salatsamen und Expression in *E.coli* nicht nur die Synthese von Lettucenin A, sondern auch die der konstitutiven SLs über diesen Weg erreicht [BENNET et al. 2002].

3.2.5. Durchschnittlicher Gehalt an Sesquiterpenlactonen

Wurzeln von *Cichorium intybus* enthalten große Mengen an Sesquiterpenlactonen wie die Guaianolide Lactupicrin, Lactucin und 8-Deoxylactucin und werden aus diesem Grund häufig zu Studien herangezogen. Der durchschnittliche Gehalt an Sesquiterpenlactonen beträgt 0,42 % des Trockengewichts in den Wurzeln und 0,26 % in den Blättern [POLI et al. 2002]. In den Endivien beträgt der Gesamtgehalt an Sesquiterpenoiden in den Wurzeln durchschnittlich 0,22 % [KISIEL W., MICHALSKA K. 2006].

In *Lactuca sativa* - wie auch in den anderen Salatarten - akkumulieren die Guaianolide im Latex, der in separat angelegten Milchgängen transportiert wird. Sie bilden Konjugate mit Oxalsäure und Schwefelsäure, die instabile Verbindungen darstellen, bei Verletzung der Milchgänge zerfallen und die Säuren freisetzen. Sie konnten isoliert und analysiert werden. Die Hauptfunde der Studie von SESSA et al. waren neben Lactucin und Lactupicrin Lactupicrin-Oxalat und Lactucin-Oxalat und geringe Mengen an sulfatierten SLs. Die Gesamtkonzentration an SLs betrug je nach Vegetationsstadium zwischen 61,7 und 147,1 mg ml⁻¹ Latex [SESSA et al. 2000].

Den unterschiedlichen Gehalt an Guaianoliden in den verschiedenen Wachstumsstadien zeigte eine Studie von POLI et al., bei der drei Sektionen der Radicchiosorte „Rosso di Chioggia“ im Jahresverlauf auf den Gehalt an Bitterstoffen und Zucker untersucht wurden. Die Hauptanteile der Bitterstoffe waren 8-Deoxylactucin, 11ß,13-Dihydrolactucin und Spuren von Lactucin und Lactupicrin. Es wurden divergierende Mengen in den Wurzeln, inneren und äußeren Blättern in den einzelnen Sektionen gemessen, wobei der höchste Wert vor und nach der Blühphase in den Wurzeln gemessen wurde (≈800 µg/g

Frischgewicht). Der höchste Gehalt an Bitterstoffen in den inneren Blättern fiel in die Erntezeit und nahm anschließend kontinuierlich ab ($\approx 140 \mu\text{g/g}$ Frischgewicht). Die äußeren Blätter zeigten einen über die Vegetationszeit beinahe gleichbleibenden Wert ($\approx 200 \mu\text{g/g}$ Frischgewicht). Die Unterschiede in den drei Selektionen, die kultiviert und untersucht wurden, waren innerhalb der Sektion und zwischen den einzelnen Sektionen erheblich und wurden als charakteristisch angesehen [POLI et al. 2002].

Auf den Gehalt an SLs nehmen grundsätzlich mehrere Faktoren erheblichen Einfluss:

- Genetische Faktoren – eine Sorte, die im ersten Anbaujahr höhere Bitterstoffgehalte als vergleichbare andere aufweist, zeigt auch im nächsten Anbaujahr die höheren Werte.
- Umweltfaktoren – sekundäre Pflanzenstoffe werden häufig bei Stress gebildet. Wenn Nährstoffmangel herrscht, insbesondere Phosphor Mangel, produziert die Pflanze mehr Latex und der Gehalt an Bitterstoffen steigt, möglicherweise um sie vor Pflanzenfressern zu schützen. Klimatische Bedingungen wie Temperatur und Regenmenge haben keinen Einfluss auf die SLs Synthese.
- Reifegrad und Morphologie – je älter die Pflanze ist, umso bitterer schmeckt sie. Eine stark ausgebildete Pfahlwurzel bedingt ein vermindertes Blattwachstum und bedeutet ebenfalls, dass sich die Pflanze vor Fressfeinden durch die vermehrte Bildung von Bitterstoffen schützen muss [FOSTER et al. 2006].

3.3 Analyse der Bitterstoffe

3.3.1. Übersicht über analytische Methoden

Sesquiterpenlactone sind im Gegensatz zu den Sesquiterpenen der ätherischen Öle Moleküle mit niedriger Volatilität. Die meisten dieser Substanzen sind nicht hitzebeständig. Aus diesem Grund ist die Verwendung der HPLC das bevorzugte Mittel der Wahl für die Substanzauftrennung der Inhaltsstoffe, die

generell aus rohen Pflanzenteilen extrahiert werden. Ein Nachteil dabei ist allerdings, dass bei multikomponenten Mischungen die Trennung mit nur einem Laufmittel nicht möglich ist und mehrere Schritte erforderlich sind.

Die Analyse mit HPLC erfolgt häufig unter Verwendung einer Säule mit Umkehrphase, wobei die Inhaltsstoffe in wässriger Lösung entweder isokratisch oder graduell eluiert und mit UV Licht detektiert werden. Bei manchen Sesquiterpenlactonen ist auch die Verwendung einer Säule im Normalphasenmodus mit Hexan-Acetonitril-Isopropanol angebracht.

Je nach Substanzgruppe können auch andere chromatographische Methoden zum Einsatz kommen, die sowohl qualitativ als auch quantitativ gute Ergebnisse bei der Trennung in individuelle Komponenten liefern, wie zum Beispiel SFC, GC, TLC, MPLC, OPLC oder MEKC; oder auch Kombinationen von HPLC mit anderen Techniken, wie HPLC-TSP, HPLC-APCI, HPLC-ESI. Die Detektion kann mit UV, MS, NMR, ES-MS, MS-MS oder EIMS erfolgen. Die Anwendung von 2D-Verfahren wie HBMK, COSY oder NOESY wird vor allem zur Strukturaufklärung und dem Strukturvergleich von neu entdeckten Inhaltsstoffen eingesetzt [MERFORT I. 2002].

3.3.2. Hochdruckflüssigkeitschromatographie

Die präparative Analytik der SLs mittels HPLC hat sich seit der 1985 durchgeführten umfangreichen Studie von REES und HARBORNE nur wenig verändert. Wurzeln der entsprechenden Pflanzen werden zerkleinert und in Ethanol gekocht, die Blätter werden meist luftgetrocknet, pulverisiert und die Inhaltsstoffe bei Raumtemperatur mit Ethanol gelöst. Die Vorfraktionierung geschieht mit einer offenen Silicagel- Säule, wobei als mobile Phase Hexan-Ethylacetat und anschließend für die polaren Substanzen Ethylacetat-Methanol verwendet wird. Die relevanten Fraktionen werden getrennt und mit präparativer TLC gereinigt, wobei bei der Studie von KISIEL und ZIELINSKA als Laufmittel Chloroform-Methanol Mischungen 19:1 und 9:1 verwendet wurden. Die einzelnen Fraktionen wurden gemischt und mit semipräparativer HPLC (Silicagel-Säule) unter gradueller Eluierung mit Hexan:Ethylacetat (bis 100 % EtOAc) und dann mit EtOAc – Methanol (bis 10 % Methanol) als mobile Phase

chromatographiert. Die Detektion von Lactucin, Lactupicrin und 8-Deoxylactucin erfolgte mit UV/VIS, ^1H NMR (500.13 MHz) und EIMS [KISIEL et al. 2001].

Eine Isolierung von 11 β ,13-Dihydrolactucin und 8-Deoxylactucin aus *Lactuca sibirica* spp. wurde ebenso durchgeführt, allerdings wurde H₂O-Methanol als mobile Phase bei einer Laufgeschwindigkeit von 3 ml min⁻¹ verwendet [KISIEL et al. 2008].

Diese mobile Phase zeigte auch gute Ergebnisse bei der Analyse von Lactucin und des 11 β ,13-Dihydroderivativs aus *Cichorium spinosum*, das in den Mittelmeerländern (Griechenland, Italien, Spanien) als Wildpflanze weit verbreitet ist und als Vorläufer der kultivierten *Cichorium*-Arten gilt [MICHALSKA K. und KISIEL W. 2007].

Die Kombination mehrerer Methoden für die Analyse von Bitterstoffen ist durchaus gebräuchlich; so verwendeten z.B. BUSHMAN et al. zur Identifizierung von Lactupicrin, Lactucin-15-oxalat und Lactucin-8-sulfat aus dem Milchsaft von *Lactuca sativa* cv. Salinas und *Lactuca serriola* eine RP-HPLC mit Elektrospray und Quadrupol, gekoppelt mit MS. Als Lösungsmittel diente bei dieser Studie Azeton. Die graduelle Eluierung fand mit H₂O : MeCN (99:1 bis 1:99) bei einer Fließgeschwindigkeit von 1 ml min⁻¹ statt [BUSHMAN et al. 2006].

Eine andere Möglichkeit fanden MELLIOU et al. indem sie RP-MPLC mit Dichlormethan:Methanol (97:3) als mobile Phase und als Lösungsmittel für die Inhaltsstoffe zuerst Dichlormethan und nachfolgend Methanol verwendeten. Die Detektion erfolgte mit MS, ^1H NMR und ^{13}C NMR [MELLIOU et al. 2003].

Eine andere, sonst kaum angewendete Analysemethode, wurde für die Untersuchung von Sesquiterpenlactonen von WU et al. gewählt, nämlich HSCCC (high-speed counter-current chromatography), die für Naturstoffe wie Flavonoide, Saponine und Alkaloide bereits eingesetzt wurde. Dabei wurden die gemahlenen und getrockneten Wurzeln einer *Cichorium* Spezies mit Petrolether und Ethylacetat extrahiert und anschließend in den HSCCC eingebracht. Die Analyse der Bitterstoffe erfolgte im Gegenstrom von zwei Lösungsmittelsystemen, die aus einer Mischung von Hexan-Ethylacetat-Methanol-Wasser (1,5:5:2,75:5) und Ethylacetat-Methanol-Wasser (20:1:20)

hergestellt wurde und kurz vor Verwendung in zwei Phasen getrennt wurde. Die überstehende organische Phase diente als stationäre Phase und der Rest als mobile Phase. Die obere Phase wurde zuerst in die Säule gepumpt, dann wurde der Apparat auf eine Rotationsgeschwindigkeit von 800 rpm gebracht und gleichzeitig die untere Phase mit einer Fließgeschwindigkeit von 2 ml min^{-1} eingepumpt. Nach Erreichen des hydrodynamischen Gleichgewichts wurden die Proben in die Trennsäule injiziert und bei 254 nm detektiert. Die Ergebnisse wurden mit HPLC evaluiert und die Reinheit der analysierten Stoffe dabei zu über 95 % bestätigt [WU et al. 2007].

3.3.3. Dünnschichtchromatographie

Dünnschichtchromatographie ist eine der ältesten chromatographischen Methoden und wurde anfangs bevorzugt für die Analyse von SLs verwendet. Es gibt zahlreiche Reagenzien, die die Visualisierung ermöglichen. Es hängt vom Guaianolid-Skelett ab, welches Reagenz verwendet werden kann. Salatbitterstoffe weisen grundsätzlich eine exozyklische α -Methylengruppe und eine Doppelbindungsstruktur auf, die sich zur Visualisierung eignet. Die Betrachtung mit UV-Licht bei 258 nm ist daher eine weitere Möglichkeit. In der Bitterstoffanalytik wird die Methode der Dünnschichtchromatographie zur Aufreinigung und Kontrolle der ordnungsgemäßen Isolierung nach einer Säulenchromatographie mit offener Säule (CC) oder nach einer MPLC verwendet. TLC hat sich in der Anwendung als vorteilhaft erwiesen, da sie eine schnelle, leichte und billige Methode darstellt, die ohne teure und aufwändige instrumentelle Ausstattung auskommt. Als alleinige Methode liefert sie allerdings wenig Information und die Interpretation der verschiedenen Arten von SLs kann sich schwierig gestalten [MERFORT I. 2002].

Ein Laufmittel für die Eluierung von Lactucin und der Derivate kann Hexan:EtOAc (1:1) oder Chloroform:Methanol (9:1) sein [KISIEL W.2006].

3.3.4. Gaschromatographie

GC ist eine leistungsstarke und wirkungsvolle Technik bei der Trennung von flüchtigen Verbindungen. Aus diesem Grund wird sie auch kaum bei der Analyse von Bitterstoffen angewendet, die thermolabil, zum Teil nicht flüchtig und polar sind. Derivatisierung der Komponenten wäre eine Möglichkeit das Problem der thermischen Degradation zu lösen, sie wird jedoch nur bei pharmazeutischen Wirkstoffen eingesetzt, die in extrem geringen Mengen in einer Pflanze vorkommen [MERFORT I. 2002].

3.3.5. ELISA

Die Verwendung von ELISA zum Nachweis von Lactucin und Lactupicrin in Chicoree erforschten und entwickelten PETERS und van AMERONGEN 1996. Als Coating Antigen wurde BSA konjugiertes Lactucin und Lactupicrin verwendet. 50 µl einer seriellen Verdünnung von Chicoree-Extrakten und einer ebensolchen Verdünnung von Antikörper-Lösungen wurden zugefügt. Für die Detektion von Lactucin wurden ein polyklonales Antiserum, für die Detektion von Lactupicrin monoklonale Antikörper zugefügt, am Detektionsantikörper war IgG-alkalische Phosphatase gebunden. Für die quantitative Analyse wurde die Absorption bei 405 nm mit UV gemessen und als Standard gereinigtes Lactucin und Lactupicrin verwendet. Die Evaluierung mittels sensorischer Analyse ergab eine Korrelation von 0,8 der enthaltenen SLs zu den ermittelten Bitterwerten [PETERS A., van AMERONGEN A. 1996].

Die gleiche Technik zum Nachweis von 11β,13-Dihydrolactucin wandte eine Studie von HANCE et al. an, da ihrer Meinung nach die Bitterintensität der Chicoree primär von diesem Inhaltsstoff ausgeht. Detektionsantikörper war bei dieser Studie IgG – HRP. Auch hier gab eine sensorische Analyse eine Korrelation von 0,9. Die kompetitive Analyse ergab eine hohe Spezifität, da eine Kreuzreaktivität mit Lactucin nur zu 6 % nachgewiesen wurde und eine hohe Sensitivität (12 mal höher als das Immunoassay der Lactucin ähnlichen SLs von PETERS et al.), da die Methylgruppe von 11β,13-Dihydrolactucin offenbar ein

signifikantes Epitop für polyklonale Antikörper darstellte und eine Konzentration unter 0,2 ng/ml als IC₅₀ nachgewiesen wurde [HANCE et al. 2007].

ELISA ist als wissenschaftlicher Nachweis für die zahlreichen Variationen der verschiedenen Sesquiterpenlactone nur bedingt geeignet, aber sie stellt zur Quantifizierung der Hauptbitterstoffkomponenten eine billige, schnelle und reproduzierbare Alternative für Züchter und Produzenten dar, um den Erntezeitpunkt der Salate für die unterschiedlichen Bitterstoffgehalte besser einschätzen zu können.

3.3.6. Organoleptische Methoden

Sensorische Analysen werden meist begleitend zu den oben angeführten Analysetechniken angewendet, um Korrelationen zwischen der Menge des Inhaltsstoffes und dem Bittergeschmack festzustellen. Damit wird der günstigste Erntezeitpunkt ermittelt, um eine möglichst hohe Kundenakzeptanz für den Absatz des Produktes zu erreichen. Zur Durchführung wird ein eigenes, durch Training geschultes, Untersuchungspanel benötigt. Als Vergleichssubstanz zur Bestimmung des Bitterwertes dient Chininhydrochlorid, das einen Bitterwert von 2000 aufweist. Nach dem Deutschen Arzneibuch (DAB10) ist der Bitterwert der reziproke Wert derjenigen Konzentration einer Substanz in wässriger Lösung, die gerade noch bitter schmeckt. Die Wahrnehmungsgrenze des bitteren Alkaloids Chinin liegt bei 25 µmol/L, die von pflanzlichen Substanzen bei mindestens 10 mmol/L. Der Bittergeschmack wird auch nach wiederholter Exposition noch wahrgenommen.

Zur Evaluierung der Studie von HANCE et. al über den Gehalt an 11β,13-Dihydrolactucin wurden Wurzeln von *Cichorium intybus* zerkleinert und für 20 Minuten in kochendes Mineralwasser gegeben, um einen Auszug herzustellen. Der Extrakt wurde gefiltert, 5- und 10-fach verdünnt und in Plastikbechern zur Verkostung in zwei Durchgängen freigegeben. An einer Skala von 1 – 4 (von „am wenigsten bitter“ bis zu „am stärksten bitter“) wurde der Bittergeschmack konstatiert. Der MW-Vergleich mit Friedman's Test und der Paarvergleich ergab

eine Korrelation der Substanzkonzentration mit dem Bittergeschmack bei einer Signifikanz von 5 % [HANCE et al. 2007].

In einer anderen Studie erbrachte die sensorische Analyse einer Bitterstofflösung einer Radicchiosorte einen mittleren Bitterwert von 895, das sind 45 % des Bitterwertes von Chinin. Hier wurde eine Skala von 0 bis 10 mit Abstufungen zwischen „nicht besonders bitter“, „bitter“ und „sehr bitter“ und insgesamt 20 Proben mit definierten Guaianolide-Konzentrationen verwendet. Die Korrelation lag bei 0,97. Der Bitterwert wurde aus der Konzentration des Chinins in einer vorgegebenen Lösung und der jeweiligen Konzentration der Substanzlösung rechnerisch ermittelt [POLI et al. 2002].

4. Wahrnehmung der Bitterstoffe

4.1. Biologie des Geschmacksinnes

Es wurde bereits ausgeführt, wie wichtig der Geschmacksinn für den Menschen ist, insbesondere die Wahrnehmung einer bitter schmeckenden Substanz, damit gewährleistet ist, dass keine toxischen Substanzen in der von ihm konsumierten Nahrung vorhanden sind.

Es gibt bei dieser Sinneswahrnehmung enorme individuelle Unterschiede und es gibt keine medizinische Möglichkeit, einen fehlenden Geschmacksinn zu korrigieren. Bitterstoffe werden im Gegensatz zu süß schmeckenden Stoffen selbst in geringen Mengen als unangenehm empfunden. In der Praxis kommt es jedoch häufig vor, dass der Bittergeschmack akzeptiert wird, weil man sich von einem bestimmten Lebensmittel einen besonderen Genuss – wie z.B. bei Kaffee - oder eine heilende Wirkung erwartet. Es ist auch möglich, dass man absichtlich bittere Nahrungsmittel zu sich nimmt, ohne dass man sich eine besondere Wirkung verspricht, wie das bei der Bittergurke der Fall ist, die in Asien als Gemüsepflanze angebaut wird [REED et al. 2006].

4.1.1. Bau der Geschmacksknospen

Die Geschmackswahrnehmung beginnt hauptsächlich auf dem Zungenrücken, in dessen Schleimhaut die Zungenpapillen – papillae fungiformes, papillae foliatae, papillae circumvallatae und papillae filiformes - liegen. Zirka 50 bis 100 sekundäre Sinneszellen, die keine eigenen Axone haben, formen eine zwiebelähnliche Struktur, eben die Papille. Eine Papille kann für mehrere, oft für alle fünf Geschmacksrichtungen (süß, sauer, salzig, bitter und umami - wobei jedoch eine Geschmacksrichtung besonders deutlich hervortritt) – oder auch nur eine einzelne Geschmacksqualität empfindlich sein. Geschmacksknospen sind auch am weichen Gaumen, in der hinteren Rachenwand und an der Wange lokalisiert.

Substanzen, die eine Geschmacksempfindung auslösen, müssen wasserlöslich sein, um in den Geschmacksporus der Papillae eindringen zu können. Grundvoraussetzung dafür ist die Speichelsekretion. Die Konzentration der Geschmackstoffe, die Temperatur und die Einwirkdauer bestimmen die Intensität der Geschmacksempfindung. Eine weitere Einflussgröße ist die Anzahl der Geschmacksknospen, die häufig mit der Bitter – Sensitivität korreliert [REED et al. 2006].

4.1.2. Neuronaler Weg der Geschmackswahrnehmung

Geschmacksstoffe diffundieren durch den Porus der Geschmacksknospe und gelangen an die Membran der Sensoren, wo es zu einer Wechselwirkung zwischen Geschmackstoff und spezifischen Rezeptorproteinen in der Zellmembran kommt. Die Wechselwirkung eines Bittermoleküls mit dem Rezeptor stimuliert über ein G-Protein die Phospholipase C, wodurch IP_3 vermittelt Ca^{2+} -Ionen aus intrazellulären Speichern freigesetzt werden. Der Anstieg der zytostolischen Ca^{2+} Konzentration führt zur Freisetzung eines Neurotransmitters, der die Erregung des afferenten Neurons auslöst.

Von den Geschmacksknospen führen drei Nervenstränge zum Gehirn: die Chorda tympani des Nervus facialis (Hirnnerv VII), der die vorderen zwei Drittel der Zunge, der Nervus glossopharyngeus (IX), der das hintere Drittel der Zunge und der Nervus vagus (X), der den Rachen innerviert und zum Kehldeckel führt. Die Axone dieser Nerven leiten nicht nur Geschmacksempfindungen weiter, sondern beeinflussen auch Ernährungs- und Stoffwechselfunktionen. Erregungen der Geschmackszellen, die zu einer bewussten Wahrnehmung führen, werden vom Nucleus tractus solitarii in der Medulla oblongata direkt zum Nucleus parabrachiales und nach einer weiteren Umschaltung zum ventralen Thalamus geleitet. Ebenso wie visuelle und auditive Signale werden auch gustatorische Signale im Thalamus „vorverarbeitet“. Nach Umschalten auf ein weiteres Neuron endet die Geschmacksbahn in den kortikalen Geschmacksfeldern des Gyrus postcentralis, wo auch andere Afferenzen aus der Gesichts- und Mundregion repräsentiert sind.

Gustatorische Signale sind also nicht in bestimmten Feldern, sondern in Hirngebieten lokalisiert, die auch mit anderen Funktionen befasst sind. Darin spiegelt sich die Komplexität des Geschmackseindrucks wider, der nicht nur die Sinneswahrnehmung des reinen Geschmacks, sondern auch andere Komponenten, wie z.B. taktile und olfaktorische Eindrücke, umfasst, die gleichzeitig wahrgenommen und zum Gesamtbild zusammengefügt werden [REED et al. 2006].

Es gibt zwei Hypothesen wie diese Informationen codiert, im Gehirn abgelesen und die entsprechende Reaktion ausgelöst wird. Die „labeled line“ Hypothese vertritt die Ansicht, dass Sinneszellen binär funktionieren; wenn sie stimuliert werden, geben sie einen einzelnen Geschmackseindruck ohne weitere Modifikation entlang von Neuronen des ZNS weiter, welche nur für diesen spezifischen Geschmack definiert sind (z.B. Rezeptorstimulus „Süß“ wird am Ende als Süßgeschmack im ZNS definiert). Die zweite Möglichkeit ist, dass sie nicht stimuliert werden, da keine (Süß-)Rezeptoren angesprochen wurden, und sie damit abgeschaltet sind.

Die zweite Theorie besagt, dass eine einzelne Geschmacksqualität auf mehrere Neuronen verteilt wird und als bestimmtes Muster ins ZNS gelangt, wo dieses Muster als eindeutig definierter Geschmack empfunden wird. Tatsache ist jedoch, dass abgesehen von jedweder Strategie des Nervensystems, die Stimulation eines Bitterrezeptors immer in einer Bitterstoffwahrnehmung resultiert. Untersuchungen an bestimmten Insekten, die auf ein breites Spektrum an verschiedenen Bitterstoffen reagieren, haben gezeigt, dass der Faktor Zeit offenbar ebenfalls eine Rolle bei der Erkennung eines Geschmacks spielt, da diese Insekten auf unterschiedliche Bitterstoffe mit verlangsamten oder beschleunigten Stakkatos in ihren „Sinneszellen“ reagierten [LEMON C., KATZ D. 2007].

4.2. Bitterstoffrezeptoren

Jedes gustatorische Neuron besitzt mehrere dendritische Fortsätze, die in den Porus hineinragen und auf diese Weise mit der Umgebung in Verbindung stehen. Auf diesen Microvilli sind G-Protein gekoppelte Rezeptorproteine lokalisiert, die den Signalweg für die Geschmackswahrnehmung initiieren. Aus genetischen Studien an Mäusen und Menschen geht hervor, dass jede Spezies ungefähr 25 verschiedene Bitterrezeptor-Gene besitzt, die als TAS2Rs bezeichnet werden und am Chromosom 5, 7 und 12 lokalisiert sind. Bis heute wurden die Agonisten von 10 Genen im menschlichen Genom identifiziert. Die Rezeptoren sind an der Membran der gustatorischen Zelle lokalisiert. Sie besitzen sieben Transdomänen, mit denen sie in der Zellmembran verankert sind. Der N-Terminus ragt über die Zelle hinaus, der C-Terminus befindet sich intrazellulär [SAINZ et al. 2007].

4.2.1. Signaltransduktion

An der Innenseite der Membran sind die heterodimeren G-Proteine lokalisiert, die aus einer α -Untereinheit, an die GDP gebunden ist, und einem $\beta\gamma$ -Dimer besteht. Nach Interaktion mit einem aktivierten Rezeptor und seiner Konformationsänderung erfolgt ein Austausch von GDP gegen GTP. Das G-Protein ist dadurch aktiviert und zerfällt in die α -Untereinheit mit GTP und die $\beta\gamma$ -Einheit, die unabhängig voneinander verschiedene Signalwege initiieren können. Es existieren verschiedene G_α , G_β und G_γ Einheiten und je nachdem welches G-Protein angesprochen wird, gibt es Aufschluss über den weiteren Signalweg.

Gustducin ist eine zellspezifische $G\text{-Protein}_\alpha$ - Untereinheit, die an TAS2Rs koppelt und die Reizauslösung und die Weiterleitung von Bitterstoffsignalen bewirkt. In vitro wurde von SAINZ et al. nachgewiesen, dass auch die Untereinheit $G_{\beta1\gamma13}$ auf die Signalweiterleitung durch Modulation der Konzentration von PLC und IP_3 Einfluss nimmt. Erwiesen ist, dass die TAS2-Rezeptoren verschiedene Affinitäten und Selektivitäten gegenüber den G-

Proteinen zeigen, wodurch die Möglichkeit gegeben scheint, dass auch von den diversen Rezeptoren verschiedene Signalwege eingeschlagen werden können. Außerdem scheint es so zu sein, dass zumindest zwei Arten von Rezeptoren existieren: die einen, die auf bestimmte Liganden oder auf einige wenige strukturell ähnliche Komponenten reagieren und solche, die eine breite Palette an Substanzen erkennen können. Diese dichotome Ausrichtung könnte den Vorteil haben, dass es Rezeptoren mit einer spezifischen Erkennungsrelevanz für potentiell giftige Substanzen gibt und solche, die ein weites Spektrum an Substanzen erkennen können, wobei auch weniger giftige identifiziert werden, und es dadurch dem menschlichen Organismus möglich ist, mit einer relativ geringen Anzahl an Rezeptoren Tausende von verschiedenen Naturstoffen identifizieren zu können [SAINZ et al. 2007].

Für einige Bitterstoffe, die gleichermaßen lipophil und hydrophil sind und die durch diese Eigenschaft Zellwände durchdringen können, gibt es noch eine weitere Möglichkeit der Signaltransduktion. Solche Bitterkomponenten binden in der Zelle direkt an das Rezeptorsystem und sind die Ursache des bitteren Nachgeschmacks mancher Substanzen, wie es z.B. bei Saccharin der Fall ist [REED et al.2006].

4.2.2. Identifikation der Liganden

Eine große Herausforderung für die Forschung stellt die Zuordnung der Liganden zu den entsprechenden Rezeptoren dar.

Zwei Methoden werden bei der Identifikation angewendet: die Messung des intrazellulären Kalziumanstiegs in transfizierten Zelllinien und die Messung der GTPase nach der Bindung des Liganden an seinen Rezeptor. Die Spezifität der Rezeptoren wird durch eine Vielzahl von Bittersubstanzen getestet, bis das Paar Rezeptor-Ligand eindeutig bestimmt ist. Es werden zum Beispiel an jedem Rezeptor Cycloheximide, Atropin, Brucin, Denatonium, Epicatechin, PTC, PROP, Saccharin, Strychnin und Sucroseacetat (SOA) getestet.

Besonderes Augenmerk wird bei diesen Studien auf den Umstand gelegt, dass die an Zellen getesteten Mengen denjenigen Konzentrationen entsprechen, die Menschen üblicherweise wahrnehmen.

Die bereits identifizierten Liganden sind in der folgenden Tabelle aufgelistet. Wenn eine große Anzahl von Agonisten getestet wurde, ist nur ein Vertreter einer chemischen Familie angegeben, die Bezeichnung „breite Streuung“ bedeutet inhomogene Substanzerkennung [REED D. et al. 2006].

Spezies	T2R	Ligand	System
Maus	mTAS2R5	Cyclohexamide	Ca ² Anstieg GTP _γ S Bindung
	mTAS2R8	Denatonium, PROP	Ca ² Anstieg
Ratte	rTAS2R9	Cyclohexamide	Ca ² Anstieg
Mensch	hTAS2R4	Denatonium, PROP	Ca ² Anstieg
	hTAS2R7 hTAS2R10	Strychnin	Ca ² Anstieg
	hTAS2R14	breite Streuung	Ca ² Anstieg
	hTAS2R16	Salicin, β-Glucopyranoside	Ca ² Anstieg
	hTAS2R44	6-Nitro-Saccharin, Acesulfam K, Denatonium	GTP _γ S Bindung
	hTAS2R61	6-Nitro-Saccharin	
	hTAS2R38	PTC, PROP	Ca ² Anstieg
	hTAS2R43	Saccharin, Acesulfam K	Ca ² Anstieg
	hTAS2R46	breite Streuung	Ca ² Anstieg
	hTAS2R47	Denatonium, Stychnin	Ca ² Anstieg

Tabelle 3: Rezeptoren und ihre identifizierten Liganden [mod. nach REED et al. 2006]

Wenn Bitterrezeptoren eine breite Streuung in der Erkennung der verschiedenen Substanzen aufweisen (z.B. TAS2R14), zeigten sich keine wie immer gearteten strukturellen Besonderheiten oder ein einheitliches

Molekulargewicht dieser Substanzen, nur der Schwellenwert bei der Wahrnehmung zeigte Unterschiede, bei toxischen Komponenten erkannte der Rezeptor bereits eine Konzentration von 3 μM . Nicht alle bitter schmeckenden Substanzen sind toxisch, manche weisen auch eine Heilwirkung auf und beeinflussen das Verhalten und werden, wie Tierversuche belegen, auch mit Absicht aufgenommen. Dazu ist die Identifikation der Substanz und die Geschmackswahrnehmung eine unbedingte Voraussetzung [BEHRENS et al. 2004].

Der Beweis für die Identifikation der TAS2R als Bitterstoffrezeptoren stützt sich nach Meinung von MEYERHOF et al. auf vier Hypothesen:

1. es gibt einen „funktionellen Beweis“ – alle getesteten Substanzen, die einen TAS2R Rezeptor aktivierten, entsprachen der sensorischen Qualität „bitter“ und es wurde auch ein Kalziumanstieg der transfizierten Zellen beobachtet. Außerdem war der EC_{50} Wert und der Schwellenwert des in vitro Versuchs fast gleich hoch wie der Wert, der in Humanstudien veröffentlicht wurde.
2. ergab der Versuch der in vitro Aktivierung des TAS2R16 Rezeptors nach mehrfachen Wiederholungen eine verminderte Bitterwahrnehmung gegenüber Salicin und Helicin, ein Umstand der ebenfalls Humanstudien entsprach.
3. es gibt einen „genetischen Beweis“. Beim TAS2R38 gibt es 5 verschiedene Ausprägungen, die PTC verschieden stark wahrnehmen und auch einen unterschiedlichen Ca^{2+} Anstieg in der Zelle verursachen.
4. ein „anatomischer Beweis“. In situ Hybridisierung zeigte die Editierung von mRNA für hTAS2R16, hTAS2R38 und hTAS2R14 in Sinneszellen der menschlichen Circumvallate-Papillen [MEYERHOF W. et al. 2005].

Der Frage, ob in jeder Bittergeschmackszelle alle funktionellen TAS2 Rezeptoren exprimiert werden oder ob die einzelnen Sinneszellen heterogene Populationen aufweisen, sind BEHRENS et al. in einer Studie nachgegangen, wobei sich herausstellte, dass jede Zelle durchschnittlich mindestens 4 und

höchstens 11 verschiedene Rezeptoren ausgebildet. Das erklärte, warum die meisten Geschmackszellen nur auf eine oder zwei von fünf getesteten Stimuli reagierten. Eine weitere Schlussfolgerung daraufhin war, dass die Kombinationsmöglichkeit von TAS2 Rezeptoren auf einer einzelnen Zelle die Größenordnung von $4,5 \times 10^6$ umfasst, was bedeutet, dass keine zwei Geschmacksknospen identisch bezüglich ihres Rezeptorenrepertoires und in ihrem Bau sind. Was diese Annahme bedeuten könnte, kann nur in weiteren Experimenten, die psychologische, physiologische und verhaltensbezogene Reaktionen umfasst, geklärt werden [BEHRENS et al. 2007].

Die Bestimmung des Agonistenprofils des Rezeptors hTAS2R46, der als bis dato letzter von BROCKHOFF et al. „de-orphanized“ werden konnte, ergab, dass er von einer Reihe von SLs aktiviert werden konnte, darunter auch von Cynaropicrin und Grosheimin, die eine strukturelle Ähnlichkeit mit Lactupicrin und Lactucin aufweisen. Außerdem konnten Clerodane und Labdane Diterpenoide, Strychnin, Denatonium, Chloramphenicol und SOA als Agonisten dieses Rezeptors identifiziert werden [BROCKHOFF et al. 2007].

4.2.3. Genetischer Polymorphismus

Die Fähigkeit Bitterstoffe zu erkennen, ist angeboren. Über die genetischen Aspekte der Bitterstoffwahrnehmung ist bis heute nur wenig bekannt, eine Ausnahme bildet die Erkennung der Bittersubstanzen PTC und PROP, die bereits 1932 von Blakesley und Fox mit „Tasters“ und „Non-Tasters“ klassifiziert wurde. Sie sind leicht zu messen, da die Unterschiede in den einzelnen Individuen sehr groß sind und der Polymorphismus eines einzelnen Gens, des TAS2R38, dafür verantwortlich ist. Der Rezeptor identifiziert die Verbindung N-C=S in einem Molekül als bittere Komponente, beispielsweise in Gemüsen, in denen Isothiocyanate vorkommen, wie Brokkoli, Karfiol oder Kohlsprossen. Eine Person, die PROP-sensitiv ist, kann auch andere Bitterstoffe, die nicht zur erwähnten Substanzklasse gehören, besser wahrnehmen.

Die drei häufigsten Polymorphismen kommen bei der Aminosäureposition 49 vor, wo entweder Prolin oder Alanin codiert wird und bei der Position 262, wo entweder Alanin oder Valin codiert wird. Daraus entstehen die beiden häufigsten Haplotypen, jene die PTC (oder PROP) sensitiv sind und jene die nicht sensitiv sind [BUFE et al. 2005].

Eine nachträgliche Aufbereitung der Daten einer groß angelegte Studie (Avon Longitudinal Study of Parents and Children, ALSPAC) wurde von TIMPSON et al. im Hinblick auf die Verbindung zwischen Haplotyp und der Fähigkeit, einen Geschmack zu erkennen, durchgeführt. Das Ergebnis zeigte, dass es außer den homogenen „Taster“ Gruppen (homozygote PA Personen) und den „Non-Taster“ Gruppen (homozygote AV Personen) auch heterozygote Ausprägungen gibt, bei denen zumindest ein PA Allel vorhanden ist. Sie gehören zu den „Tastern“. Beim Diplotyp AV/AA kommt es zu einem geringfügigen Geschmackserlebnis, während der Diplotyp AV/AV PROP überhaupt nicht wahrnimmt [TIMPSON et al. 2007].

Es mag daher der Schluss zulässig sein, dass solche genetischen Variationen nicht nur auf den PROP-sensitiven Rezeptor beschränkt sind, sondern es vielmehr wahrscheinlich ist, dass auch andere Rezeptoren diesem Modus unterliegen und damit die zelluläre Reaktion und das Verhalten der Individuen auf Bitterstoffe entsprechend beeinflussen. Erforscht ist diese Möglichkeit bis jetzt noch nicht, was nicht zuletzt daran scheitert, dass manche der Rezeptoren viele, auch strukturell verschiedene, Substanzen erkennen können und daher keine eindeutige Substanzzuordnung möglich ist. Eine Interaktion zwischen Genen und Umwelt stellt einen weiteren Parameter dar, der berücksichtigt werden muss. Als Beispiel für die Forschung in dieser Richtung sei angeführt, dass z.B. Variationen in TAS2R16 Rezeptor-Genen (erkennt β -Glycopyranoside wie Salicin oder Helicin), bei denen keine Bitterstoffwahrnehmung besteht, in Zusammenhang mit Alkoholabhängigkeit gebracht werden konnten [HINRICHS et al. 2006].

4.3. Schwellenwerte der Bittersubstanzen

Erkennungsgrenzen sind, wie oben bereits angeführt, individuell verschieden. Bei der Gabe von verschiedenen Bitterstoffen (PROP, QHCL und Coffein) in einer von KEAST et al. durchgeführten Studie korrelierte die ordinale Klassifizierung der Bitterintensität mit der Konzentration des Bitterstoffes. Es wurden zwölf Verdünnungsschritte für die Erkennung von PROP ([mM] 0,01-0,33), QHCL ([mM] 0,00064-0,04) und Coffein ([mM] 0,28-2,65) für die Anfertigung einer speziellen, auf die Probanden zugeschnittenen, 'psychophysischen' Kurve angewendet. Ab einer bestimmten Obergrenze wurde eine weitere Konzentrationssteigerung nur bei PROP erkannt. Als Hypothese wurde angeführt, dass einerseits Coffein durch Zellmembranen diffundieren und mit second messenger Systemen selbständig interagieren kann, und es andererseits auch möglich sein kann, dass bedingt durch die unterschiedlichen Affinitäten der TAS2R Rezeptoren bei einer Konzentrationssteigerung eines Bitterstoffmoleküls weitere Rezeptoren mit niedrigen Affinität aktiviert und in den Erkennungsprozess involviert werden [KEAST R., ROPER J. 2007].

5. Metabolisierung und Bioaktivität

Die Aufnahme von Sesquiterpenlactonen bewegt sich bei vegetarischer Kost im Milligramm Bereich pro Portion, sofern diese Kost auch Pflanzen enthält, bei der diese Inhaltsstoffe konsumiert werden können, da sie nicht ubiquitär in allen Pflanzenfamilien vorkommen. Nach Resorption im Gastrointestinaltrakt übersteigt die Konzentration im Plasma selten die Markenkonzentration von $1\mu\text{M}$. Daher ist es nicht verwunderlich, dass über Bitterstoffe aus Nahrungspflanzen bis jetzt keine Studien über die Bioaktivität in Angriff genommen wurden und deswegen auch keine Ergebnisse bekannt sind.

Sesquiterpenoide sind im menschlichen Organismus meist nicht stabil und gehen sehr rasch andere Verbindungen ein. Früher fehlten spezifische und sensitive Analysemethoden, die Naturstoffe in biologischen Matrices qualitativ und quantitativ untersuchen konnten. Nach Einführung der Elektrospray-Ionisation wird heute zumeist Flüssigkeitschromatographie gekoppelt mit Massenspektroskopie bei der Bioanalyse von Naturstoffen angewendet. Da diese Methode hinreichende Spezifität, Sensitivität und Geschwindigkeit auszeichnet, ist es möglich, Naturstoffe auch in Hinblick auf ihren Metabolismus und ihre pharmacokinetischen Eigenschaften zu analysieren. Das geschieht gegenwärtig hauptsächlich mit Naturstoffen, die im medizinischen Bereich verwendet werden. Entwicklungsfortschritte in der Technologie, wie z.B. die Entwicklung von micro- oder nano-LC gekoppelt mit Tandem-MS oder die Anwendung von Ultrapformance-Flüssigkeitschromatographie eröffnen auf diesem Sektor weitere Möglichkeiten zur Aufklärung von Substanzen und ihrer Metaboliten auch bei sehr geringen Konzentrationen und in extrem kurzer Analysezeit [XING et al. 2007].

5.1. Sesquiterpenlactone in der Blutbahn

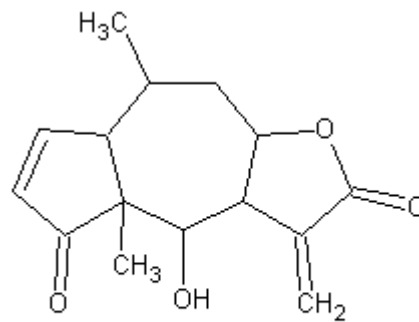
Um einen Überblick über das Verhalten von SLs in biologischen Flüssigkeiten geben zu können, wurde eine Studie über Helenalin, einem Wirkstoff in Arnica

montana (Fam. Asteraceae), ausgewählt, das eine strukturelle Ähnlichkeit mit Lactucin und das Derivat Helenalin Isobutytrat eine Ähnlichkeit mit Lactucopicrin aufweist.

Die biologischen und pharmakologischen Aktivitäten werden den Strukturen α -Methylen- γ -Lacton und den α,β ungesättigten Carbonylgruppen zugeschrieben, wie sie als funktionelle Gruppen auch in den Salatbitterstoffen vorkommen. Diese strukturellen Besonderheiten reagieren mit Nucleophilen, insbesondere mit Cystein-Thiolgruppen, in einer Michael-Addition. Helenalin und Helenalintinktur wurde in vitro an menschlichem Blut, Plasma und humanem Serumalbumin (HSA) getestet. HSA ist das am häufigsten vorkommende Serumprotein und besitzt eine einzelne Sulfhydrylgruppe (Cys-34) an der Oberfläche, mit dem die SLs durch nukleophile Addition reagieren können. Im Plasma ist ca. 30 % des Cys-34 von Glutathion oder Cystein oxidiert. Die SLs reagierten quantitativ binnen Minuten mit den restlichen 70 % Cys-34 des zirkulierenden Albumins. Im Plasma wurde Helenalin im 2,3 fachen Ausmaß gebunden, obwohl Globuline keine freie SH-Gruppen aufweisen. Als Erklärung dafür wurde angenommen, dass es mit freien Aminosäuren reagiert, wie zum Beispiel mit Lysin, oder nicht-kovalente Bindungen eingeht. Ein weiterer Anstieg an gebundenen SLs wurde bei der Verwendung von Blut als Matrix beobachtet. Rote Blutzellen weisen eine hohe Konzentration an Glutathion (GSH) auf, welches mit den Sesquiterpenoiden Addukte bilden kann [WAGNER et al. 2004].

Grundsätzlich wurde die Bindung der SLs an Serumplasma als Depot für diese Wirkstoffe betrachtet, aus dem sie jederzeit gelöst werden könnten, um ihre Wirkung an gewünschter Stelle zu entfalten, ohne dass sie je eine toxische Konzentration für den Menschen erreichen. Es wurde außerdem festgestellt, dass die Helenalin-Tinktur ein weit größeres Potential zur Bindung der SLs an Plasmaproteine als die isolierten Wirkstoffe aufweist, da möglicherweise andere Komponenten, die in der Tinktur vorhanden sind, GSH vor der Bindung an die Laktone schützen kann [WAGNER et al. 2004].

Die Bildung von GSH-Helenalin Addukten wurde 1999 von SCHMIDT et al. unter physiologischen Bedingungen untersucht, wobei festgestellt wurde, dass sich die Cyclopentenon Struktur 10mal reaktiver als die α -Methylen- γ -Lakton Struktur (auch bei niedriger GSH-Konzentration) erweist. Die Reversibilität dieser GSH Addition wurde durch die Inhibition von NF- κ B bewiesen, der wichtige Entzündungsmediatoren wie IL-1,2,6 und 8 aktiviert und dessen Unterdrückung durch Helenalintinktur bewirkt werden soll. Es wurde eindeutig bewiesen, dass SLs durch die Instabilität der Thioether Gruppen bei physiologischem pH Wert ihre biologische Aktivität trotz der Anwesenheit von Glutathion behalten [SCHMIDT et al. 1999].



Helenalin

Abbildung 5: Chemische Struktur von Helenalin [www.giftpflanzen.com]

5.2. Signaltransduktion im Gastrointestinaltrakt

5.2.1 Zelluläres und neuronales Detektorsystem

Die Mukosa im Gastrointestinaltrakt fungiert als sensorisches Organ bei der Bewertung und Identifizierung der Nahrungsbestandteile. Über das Nervensystem werden entsprechende Reaktionen auf die Verdauung und Absorption der Nährstoffe oder die Ausscheidung von Toxinen oder Mikroorganismen ausgelöst. Da Nervenenden nicht die Außenzellen der Mukosa erreichen können, haben enteroendokrine Zellen als unmittelbare

Informationsträger die Funktion, Signalmoleküle zu produzieren. Diese Signalmoleküle können entweder über den Blutkreislauf periphere Zielbereiche ansprechen, indem sie wie klassische Hormone agieren oder afferente Nervenzellen aktivieren (hauptsächlich N. vagus), die diese Signale an das ZNS weiterleiten. Sie können auch Nervenzellen des enterischen Systems aktivieren, die intrinsische Reaktionen auslösen [STERNINI C. 2007].

Die zellulären und neuronalen Wege dieser Aktivierung sind noch nicht zur Gänze aufgeklärt, aber im Hinblick auf Bitterstoffe konnten Transkripte der gleichen Rezeptoren und G-Proteine, die in der oralen Mukosa anzutreffen sind, auch im Gastrointestinaltrakt von Mäusen und Ratten, nämlich in Magen-, Dünndarm- und Pankreaszellen, aber auch in Colonzellen des Menschen, detektiert werden. Gustducin konnte in allen Zellen nachgewiesen werden, es befindet sich in den Bürstenzellen des Gastrointestinaltraktes [ROZENGURT E., STERNINI C. 2007].

5.2.2. Gustducin im Gastrointestinaltrakt

Die Aktivierung der Bitterstoffrezeptoren wurde in enteroendokrinen Zellen durch Studien an STC-1 Zellen in vitro genauestens untersucht. Sie verursacht einen raschen Anstieg von second messenger Molekülen in diesen Zellen (STC-1), bedingt durch das G-Protein Gustducin. Es wird ein doppelgleisiger Weg eingeschlagen: einerseits wird die Synthese von Inositol 1,4,5-trisphosphat mittels PLC β 2 von der $\beta\gamma$ -Untereinheit des heterodimeren G-Proteins stimuliert, was zu einem Ca²⁺ Anstieg aus intrazellulären Quellen führt, andererseits bewirkt die α -Untereinheit den Abbau von cAMP durch die Aktivierung von Phosphodiesterasen. Der Ca²⁺ Anstieg induziert eine Sezernierung von gastrointestinalen Peptiden an der basolateralen Seite der Zelle. Durch den Abfall des cAMP in der Zelle werden Proteinkinasen deaktiviert und dadurch die bisherige Enzymaktivierung unterbunden [ROZENGURT E. 2006].

5.2.3. Freisetzung von gastrointestinalen Peptiden

Der intrazelluläre Anstieg von Kalzium aktiviert einen weiteren second messenger, ein Peptid aus der „transient receptor potential“ Familie - TRPM5, der durch Depolarisation von Ionensensitiven Kanälen des L-Typs (VSCCs) einen extrazellulären Ca^{2+} Einstrom auslöst. Das bewirkt die Freisetzung von CCK, GLP-1, PYY und GIP aus I- und L-Zellen des Bürstensaums. CCK vermindert die Nahrungsaufnahme durch Unterdrückung des Hungersignals (bei Mäusen bereits nachgewiesen) und bewirkt die Kontraktion der Gallenblase. Bitterstoffe erhöhen den Kalziumeinstrom, der nicht nur die Exkretion des Hormons CCK veranlasst, sondern es auch aus den Speichern der STC-1 Zellen freigibt. Die vermehrte Bildung von CCK hat nicht nur eine Auswirkung auf die zentrale Appetitsteuerung, sondern erhöht die Freisetzung von Enzymen des Pankreas, die die Regulierung der Verdauung übernehmen. Von den parakrinen Hormonen GLP-1 und PYY wird angenommen, dass sie zu den fundamentalen Regulatoren der Nahrungsaufnahme zählen, wobei neurale Reflexe die Aktivität sowohl benachbarter als auch entfernterer Zellen verändern könnten [CHEN et al. 2006].

Da Süßstoffe den gleichen Signalweg über Gustducin beanspruchen und ebenfalls diese Enzyme sezerniert werden, ist bis jetzt noch nicht erforscht, wie weit Bitterstoffe als Appetithemmer im menschlichen Organismus wirken. Süßschmeckende Substanzen haben auf jeden Fall einen raschen Anstieg an GLP-1 im Plasma zur Folge. Die Überproduktion von GLP-1 und PYY werden als Ursache für die Pathogenese der metabolischen Funktionsstörungen Diabetes und Adipositas angesehen.

Es steht bisher fest, dass bittere Stimulanzien in enteroendokrinen Zellen wie den STC-1 Zellen den beschriebenen Signalweg einschlagen, genaueres über die Kaskade der Signaltransduktion ist noch nicht bekannt [ROZENGURT E., STERNINI C. 2007].

Eine Übersicht über die Signaltransduktion gibt die Abbildung 6:

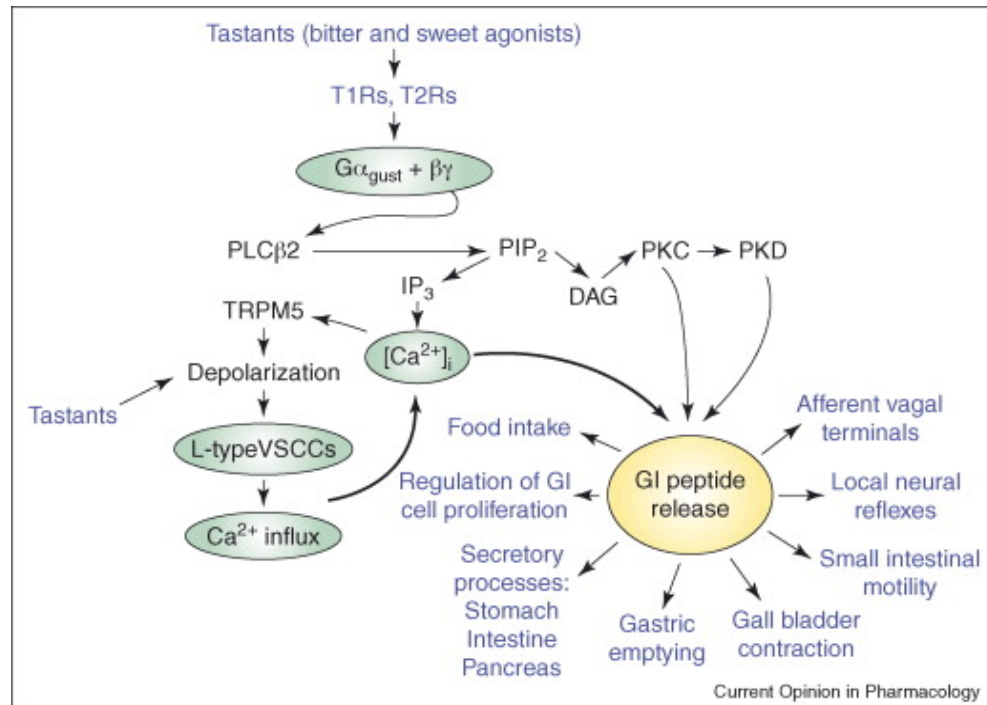


Abbildung 6: Schema des Signalweges einer enteroendokrinen Zelle
[ROZENGURT E. 2007]

6. Physiologische Wirkungen der Bitterstoffe

6.1. Auf zellulärer Ebene

6.1.1. Antiphlogistische Wirkung

Entzündungen sind üblicherweise die Reaktion auf Gewebeverletzungen. Sie sind die Folge einer lokalen Immunreaktion. Durch die Produktion von IL-8 werden Leukozyten zum geschädigten Gewebe dirigiert, wo diese Sauerstoffradikale freisetzen und damit eingedrungene Krankheitserreger unschädlich machen. IL-8 wird von Endothelzellen, Monozyten, Epithelzellen und Fibroblasten produziert. Zytokine, wie der Tumornekrosefaktor $\text{TNF-}\alpha$, stimulieren die Produktion von Prostaglandinen E_2 , die in der Folge die typischen Zeichen einer Entzündung bewirken, wie Schwellung, gesteigerte Durchblutung, Schmerz und Fieber. Oxidantien, zellulärer Stress, bakterielle Abbauprodukte und Viren sind weitere Stimulatoren, die bestimmte Transkriptionsfaktoren aktivieren und dadurch die Expression von Interleukinen induzieren. Der IL-8 Promotor enthält Bindungsstellen für NF- κ B, ein Protein, das intrazellulär an den Entzündungsvorgängen beteiligt ist. Es liegt im Zytosol von Lymphozyten (und auch in anderen Zellen) an sein Inhibitorprotein gebunden vor. Durch Aktivierung infolge eines von außen kommenden Zytokins wird NF- κ B frei, bindet im Zellkern an die DNA und regt die Produktion weiterer proinflammatorischer Proteine an [LINDENMEYER et al. 2006].

Bei einer Zellstudie über die antiphlogistische Wirkung von Sesquiterpenlaktonen in Arnica var. - einem Heilmittel in der traditionellen Medizin - wurde bewiesen, dass die α -Methylen- γ -Lakton Gruppe, wie sie auch in den Salatbitterstoffen vorhanden ist, die Bindung von NF- κ B an die DNA verhinderte. Bei einer Dosis von $10\mu\text{M}$ Helenalin konnte eine starke Down-Regulation von NF- κ B kontrollierten Genen in Jurkat-T Zellen beobachtet werden [GERTSCH et al. 2003].

Darüber hinaus konnte bei einer QSAR (quantitative structure-activity relationship) Studie die antiinflammatorische Wirkung und die Reaktivität dieser funktionellen Gruppe auf TNF- α stimulierten HeLa Zellen bewiesen werden. Eine deutliche Unterdrückung der Produktion von IL-8 wurde ebenfalls nachgewiesen [LINDENMEYER et al. 2006].

Das Guaianolid 8-Deoxylactucin, ein Hauptbestandteil des Extraktes aus Zichorienwurzeln, verursachte eine deutliche Inhibierung der Cyclooxygenase COX-2 in menschlichen Darmkrebszellen und dadurch die Bildung von Prostaglandinen aus Arachidonsäure. Bereits bei einer Dosis von 50 μ g/ml des Extraktes einer besonderen Varietät von *Cichorium intybus* (forage feast) wurde eine Unterdrückung von 85 % der PGE₂ Produktion beobachtet. Die komplette Inhibierung des Enzyms erfolgte bei einer Dosis von 200 μ g/ml. Beide Ereignisse traten bereits 30 Minuten nach Zugabe des Extraktes ein.

Diese Daten wurden dahingehend interpretiert, dass die Komponenten aus dem Zichorienextrakt in der Lage wären, nicht nur der Bildung von Entzündungen vorzubeugen, sondern bei bereits bestehenden chronischen Entzündungsreaktionen positiv einzugreifen [CAVIN et al. 2005].

6.1.2. Cytotoxische Wirkung

Es wird meistens versucht, die cytotoxische Wirkung von SLs mit Hilfe von QSRs-Studien (quantitative strukturelle Beziehung) aufzuklären. Die α -Methylen Struktur und der α,β ungesättigte Cyclopentenonring stellen eine potentielle Alkylierungsstruktur für biologische Nukleophile dar, wobei zahlreiche Zellfunktionen inhibiert werden können, die die Apoptose der Zelle zur Folge haben. So ist es erwiesen, dass Sesquiterpenlactone mit einer Vielzahl von Enzymsystemen und Transkriptionsfaktoren interagieren, sodass die Cytotoxizität eine logische Folge dieser Interferenz ist. Durch den hohen Grad an strukturellen Ähnlichkeiten in der Gruppe der Sesquiterpenoide ist es nahezu unmöglich, weitere Faktoren, die Einfluss nehmen, zu entdecken. In einer Studie an humanen Cervixkarzinomzellen wurde versucht, weitere Indikatorvariablen einzuschließen, indem verschiedene Substitutionsmuster und

Grundskelett – Typen auf ihre Wirkung untersucht wurden. Dieser Versuch ist fehlgeschlagen [SCHMIDT T., HEILMANN J. 2002].

Eine andere QSR Studie an Nasopharynxkarzinomzellen stellte fest, dass Substanzen mit Guaianolide-Struktur die höchste Aktivität bei der Entwicklung einer Cytotoxizität aufwiesen und auch die Laktonisierung an der Position 6,12 erheblich dazu beitrug. Die für die Cytotoxizität ebenso wichtigen Doppelbindungen befanden sich an der Position 10 des Heptanringes. Aus dieser Studie lässt sich nur der Schluss auf Cytotoxizität von SLs ziehen, eine antitumorale Wirkung könnte nur mit weiteren Untersuchungen an spezifischen Wirkstoffen, wenn ein bestimmter Aktionsmechanismus eindeutig festgestellt wird, bewiesen werden [SCOTTI et al. 2007].

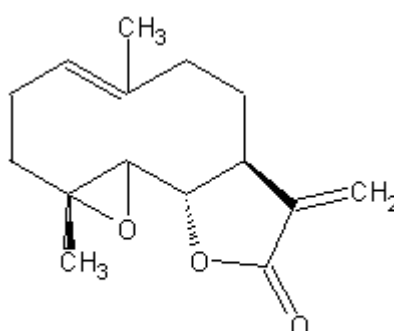
Eine Studie über die cytotoxische Wirkung von Cynaropicrin (Bitterstoff der Artischocke) an Jurkat T-Zellen und weiteren Tumorzelllinien ergab einen Beweis für den Rückgang der Zellproliferation und die Induktion der Apoptose, eine Unterdrückung der TNF- α und NO-Produktion und einen Anstieg der Laktatdehydrogenase, die einen starken Indikator für den Zelltod darstellt. Die Antikrebswirkung bei Lymphomen oder Leukämie und die immunsuppressive Wirkung lässt sich nach Meinung der Forschungsgruppe daraus hypothetisch ableiten. [CHO et al. 2004].

Für die Erstellung einer topologischen Übersicht (Kohonen map) zur Klassifizierung und Prognostizierbarkeit der cytotoxischen Eigenschaften von Sesquiterpenlactonen auf Grund molekularer Gegebenheiten fassten FERNANDES et al. die molekularen Eigenschaften von 55 Sesquiterpenlactonen, die auch Lactucin und Deoxylactucin einschloss, zusammen. Das Ergebnis des Vergleichs bestätigte, dass die cytotoxischen Fähigkeiten einer Substanz sich auf die strukturellen Besonderheiten (γ -Lacton Ring und α -Methylen Gruppe) zurückführen lässt. Lactucin verursacht demnach keine Apoptose (ED_{50} 260.00). Deoxylactucin hingegen befindet sich im aktiven Bereich (ED_{50} 3,10 μ M/L) und zwar im Wirkungsbereich von Liatrin, einem therapeutischem Wirkstoff gegen Leukämie. Auch aus dieser Studie geht hervor, dass die molekularen Strukturen, die die höchste cytotoxischen Aktivität

entfalten, sich unter den Guaianoliden und Pseudoguaianoliden befinden [FERNANDES et al. 2008].

6.1.3. Wirkung bei Autoimmunerkrankungen

Parthenolide, ein Pseudoguaianolid aus dem Mutterkraut, erwies sich als Inhibitor der IL-12 Produktion in Makrophagen von Mauszellen. IL-12 gilt als Auslöser für chronischen Erkrankungen, die über Th1 (T-Helferzellen) modifiziert werden, wie z.B. Diabetes I, multiple Sklerose, rheumatoide Arthritis oder chronische Dünndarmentzündung. Es wurde unter anderem auch festgestellt, dass diese Inhibierung nicht allein von einem cytotoxischen Effekt abzuleiten war, sondern die Lebensfähigkeit der Makrophagen während der ganzen Inkubationsperiode vorhielt. Die chemische Struktur von Parthenolid enthält ebenso eine γ -Lacton und eine exogene α -Methylengruppe, wie Lactucin, bei der Studie wurde jedoch keine strukturelle Bindung, sondern ausschließlich die Kapazität zur Bindung an NF- κ B getestet, ohne auf die molekularen Besonderheiten einzugehen. Auszuschließen ist es nicht, dass auch Lactucinderivaten diese Eigenschaften zugeschrieben werden könnten und der länger andauernde Verzehr von Salat eine schützende Wirkung aufweist [KANG et al 2001].



Parthenolid

Abbildung 7: chem. Struktur des Sesquiterpenlactons aus dem Mutterkraut [www.giftpflanzen.com.]

6.1.4. Hepatoprotektive Wirkung

Im Tierversuch wurden Albinoratten an zwei von insgesamt fünf Tagen mit einer Tetrachlorkohlenstofflösung von 2ml/kg gefüttert; eine Gruppe erhielt zusätzlich Extrakte aus ganzen Zichorienwurzeln und Callusextrakte (50, 100, 150 mg/kg), eine zweite Gruppe bekam keine Extrakte. Durch die Verabreichung von Tetrachlorkohlenstoff entwickelten die Ratten eine signifikante Schädigung der Leberzellen, die sich in erhöhtem Serumlevel von AST und ALT und erhöhten Bilirubinwerten niederschlug. Serumalbumin und der Proteinlevel waren deutlich herabgesetzt. Die Toxizität von Tetrachlorkohlenstoff wird durch die Abspaltung eines Chloratoms verursacht, es entsteht in der Folge ein Trichlormethyl-Radikal, das sofort mit Sauerstoff zu einem Trichlormethylperoxy-Radikal reagiert und die Nekrose der Leberzellen herbeiführt. Das Testergebnis zeigte eine Verbesserung des Bilirubingehalts und einen deutlichen Rückgang der Signalenzyme bei jenen Ratten, die mit 150 mg/kg Wurzelextrakt gefüttert worden waren und eine signifikante Schutzwirkung bei mit Callusextrakten gefütterten Tieren. Die Grundbestandteile, auf deren Aktivität dieser Zellschutz zurückzuführen wäre, wurden bei diesem Experiment nicht isoliert und identifiziert [ZAFAR R., MUJAHID A. 1998].

Ein anderer Versuch, bei dem eine gleiche Rattenspezies mit ethanolischen Extrakten von Zichoriensamen und mit Tetrachlorkohlenstoff gefüttert wurde, zeigte einen ebenso überzeugenden antihepatotoxischen Effekt. Bei dem aus den Samen gewonnenen Wirkstoff handelte es sich um einen phenolischen Bestandteil, der nur durch eine Voruntersuchung identifiziert wurde und dessen genaue Struktur erst genauer bestimmt werden muss [AHMED et al 2003].

Auch wenn Bitterstoffe, besonders 8-Deoxylactucin, einen Hauptbestandteil der Cichoriumwurzel ausmachen und in den Extrakten sicher vorhanden war, ist ein endgültiger Beweis für ihre Schutzwirkung bei Schädigung der Leberzellen noch ausständig.

6.2. Wirkungen auf das ZNS

6.2.1. Analgetische und sedative Wirkung

In der Kräuterméizin wurde Lactucarium (Salatopium), wie bereits eingangs erwähnt, in Europa über Jahrhunderte hinweg wegen seiner analgetischen, Husten lindernden und sedativen Wirkung als Heilmittel verwendet, ohne seine Wirkstoffe Lactucin, Lactucopicrin und 11 β ,13 Dihydrolactucin im einzelnen genau zu kennen und bestimmen zu können. In einer Studie von WESOŁOWSKA et al. wurde die analgetische und sedative Wirkung dieser Stoffe im Verhältnis zu Ibuprofen, einem kommerziell erhältlichen Analgetikum, an Mäusen erprobt. Die Untersuchung der drei Inhaltsstoffe ergab eine deutlich verzögerte Reaktion bei der Anwendung von zwei gängigen Methoden zur Messung des Schmerzempfindens, nämlich dem Test, bei dem Mäuse auf eine 56°C heiße Platte postiert werden, bis sie ihre Hinterpfoten ablecken oder hinunterspringen, und dem Test mit einem gebündelten Lichtstrahl, der auf die Schwanzspitze gerichtet ist. Bei einer Dosis von 30 mg/kg von Lactucin und 11 β ,13 Dihydrolactucin zeigte sich eine signifikante Erhöhung der Latenzzeit, bei Lactucopicrin genügte bereits eine Dosis von 15 mg/kg. Die Anwendung einer Dosis von 30 mg/kg bei allen drei Substanzen erhöhte die Latenzzeit bereits so weit, dass eine gesundheitsschädliche Wirkung zu befürchten war. Ibuprofen erschien jedoch im Zeitvergleich wirksamer zu sein als die getesteten Stoffe. In Bezug auf die spontanen, motorischen Aktivitäten der Testmäuse ergab der Vergleich mit Ibuprofen ein Ergebnis, das mit der Wirkung des Medikamentes gleichzusetzen war [WESOŁOWSKA et al. 2006].

6.3. Heilmittel und Krankheitsauslöser

6.3.1. Adjuvantes Heilmittel

Malaria

Bereits vor dem Afghanistan-Krieg wurde bekannt, dass ein lichtempfindlicher Auszug aus den Wurzeln von *Cichorium intybus* in der afghanischen Volksmedizin als Heilmittel für Malaria verwendet wurde. Dem Wahrheitsgehalt dieser Nachricht sind BISCHOFF et al. nachgegangen. Es wurde ein Auszug aus den in Cambridge, Massachusetts, kultivierten Wurzeln von Zichorienpflanzen hergestellt, der unter völliger Abschottung von einfallendem Sonnenlicht mit 95%igem Ethanol angefertigt wurde, damit die Struktur des Lactons und die Doppelbindung erhalten blieb. Die Wirkung von Lactucin und Lactucopicrin wurde an der Honduras-1 Linie von *Plasmodium falciparum* in vitro getestet. 10 µg/ml des Stoffes Lactucin und 50 µg/ml Lactucopicrin verhinderten zur Gänze das Wachstum des Malariaerregers. Mit dieser Studie wurden zumindest zwei der Wirkstoffe von *Cichorium intybus* gegen einen Malariastamm verifiziert. Bei den *Plasmodium* Arten W-2 (Indochina Klon) ergab sich eine moderate Wirkung und bei den D-6 Arten (Afrikanischer Klon) eine schwache Wirkung [BISCHOFF et al. 2004].

Plasmodium falciparum kann durch Anwendung von Oxidationsmitteln bekämpft werden. Die Erreger der Malaria lösen das Eisenatom aus dem Hämoglobin heraus und benötigen für ihren Aufenthalt in dem stark oxidativen Milieu Antioxidantien, um überleben zu können. Sie verwenden dafür GSH, das in den roten Blutzellen reichlich vorhanden ist. Mittlerweile hat sich Artemisin (Sesquiterpenlacton aus dem Beifuß) bei der Bekämpfung der Malaria als weit wirksamer und kommerziell nutzbar herausgestellt. Dadurch wurden weitere Forschungen in Richtung Zichorienbitterstoffe gegenstandslos, obwohl Lactucin und Lactucopicrin durchaus in Gegenden, wo *Cichorium intybus* in der Natur vorkommt, als billige, jederzeit greifbare Zusatztherapie in Betracht gezogen werden kann.

Diabetes

Sesquiterpenlactone besitzen offenbar die Fähigkeit zu Triterpenoiden zu dimerisieren. HOU et al. entdeckten bei Überprüfung der Bioaktivität von Extrakten von *Lactuca indica*, einer in Asien beheimateten und in der Volksmedizin verwendeten Wildpflanze, drei unbekannte Sesquiterpenlactone, Lactuain A,B und C. Alle drei Substanzen entwickelten in vitro einen antihyperglykämischen Effekt, der aber bis jetzt durch keine weitere Studie bestätigt wurde [HOU et al. 2003].

6.3.2. Allergische Reaktionen

Bitterstoffe im Salat können keine Allergien auslösen. Trotzdem kommt es vor allem in Südeuropa häufig zu so genannten Salatallergien, die sich in Form von Kontaktdermatitis, die vor allem Ernte- und Lagerarbeiter betrifft, Gesicht- und Lippenschwellung und auch anaphylaktischen Reaktionen nach Salatverzehr zeigen können. Das Hauptallergen der Salatallergie ist ein Lipid-Transferprotein, Lac s 1, wie kürzlich in einem klinischen Test festgestellt wurde. Das 9 kDa kleine Protein wurde aus verschiedenen Salatvarietäten, wie Chicoree, Butterkopfsalat, Eisberg, Romano und Frisee Salat isoliert und es zeigten sich keine sortenspezifischen Unterschiede in der allergischen Wirkung [HARTZ et al. 2007].

6.3.3. Bakterielle Resistenz und Kreuzreaktionen

Salat ist eine Gemüseart, die weltweit am häufigsten konsumiert wird. Er wird fast immer roh verzehrt. Eine weitere Bedrohung für den Konsumenten könnte die Aufnahme von Pflanzenschutzmittel resistenten Bakterien aus verunreinigtem Salat und die Besiedlung und Vermehrung im menschlichen Darmtrakt sein. Auf die richtige Verwendung von Pflanzenschutzmitteln wird im Kapitel 7.2. näher eingegangen [RODRIGUEZ et al. 2006].

6.4. Toxikologie

Zichorienwurzelextrakt wurde von SCHMIDT et al. hinsichtlich Mutagenität und Toxizität untersucht, um seine Anwendung als Therapeutikum bei entzündlichen Erkrankungen für den Anwender mit der notwendigen Sicherheit garantieren zu können. Zichorienwurzelextrakt wurde in der Vergangenheit in der alternativen Medizin häufig als Zusatzmaßnahme bei Verdauungsproblemen und als Diuretikum angewendet. Seine laxative und sedative Wirkung war ebenfalls bekannt und eine toxische Wirkung konnte bei der angewandten Dosierung nicht festgestellt werden. In neueren Studien wurde die entzündungshemmende Wirkung des Extraktes bereits untersucht und seine Eignung auf diesem Gebiet konnte bestätigt werden. Die cytotoxische Wirkung der ethanolischen Lösung von Wurzelextrakten wurde ebenfalls in Studien festgestellt, wobei die Fähigkeit der Sesquiterpenlactone, bei höherer Dosis auch einen toxischen Effekt zu produzieren, unbestritten war.

In der Studie zur Testung auf Mutagenität und Toxizität enthielt der Extrakt ungefähr 60 % Sesquiterpenlactone. Es wurden unter anderem Dihydrolactucin, Lactucin, 8-Deoxylactucin und Dihydrolactupicrin isoliert. Der Ames Test an *E. coli* und *Salmonella typhimurium* ergab bei Anwendung mittlerer und kleiner Dosen keinen Hinweis auf Mutagenität, nur bei hohen Dosen konnte eine Cytotoxizität bei Stämmen von *Salmonella typhimurium* beobachtet werden, ein Umstand, der auf die antimikrobiellen Eigenschaften der SLs zurückgeführt wurde. Der 28- tägige Fütterungsversuch an männlichen und weiblichen Ratten ergab weder im klinischen noch im physiologischen Bereich negative Ergebnisse. Die Histologie der inneren Organe zeigte bei einer kleinen Gruppe geringfügige Gewebsläsionen, die auch bei unbehandelten Ratten unter Umständen vorkommen können und als nicht relevant betrachtet wurden. Als Ergebnis wurde ein NOAEL von 1000mg/kg/KG/d für die Fütterungszeit von 28 Tagen festgelegt. Ein Test auf chronische Toxizität ist noch ausständig [SCHMIDT et al. 2007].

7. Bitter- und Süßpräferenzen

Die Zusammenhänge im Geschmacksempfinden sind nicht leicht zu erforschen, da sie breit gestreuten und multimodalen Einflüssen unterliegen. Diese Einflüsse können biologischer Natur sein, sie können verhaltensbedingt oder von Erwartungen abhängig sein. Das neuronale Netzwerk für die Geschmacksempfindung ist weit verzweigt, sehr variabel und zeitlich strukturiert. Es existieren eine große Anzahl von Signalwegen, die miteinander vernetzt sind und sich teilweise auch wechselseitig beeinflussen.

7.1. Der Lernprozess

Es gibt bei Neugeborenen eine angeborene Aversion gegen bittere und saure Geschmacksrichtungen und eine Neigung zu süß schmeckenden Nahrungsmitteln. Salzige Speisen werden häufig toleriert und es existiert eine Tendenz, unbekannten Geschmack abzulehnen. Es gibt auch bereits Beweise dafür, dass der Lernprozess für die Entwicklung einer Vorliebe für bestimmte Geschmacksstoffe bereits im Mutterleib einsetzt. Durch die wiederholte Verabreichung von immer neuen Geschmackskomponenten wird ein positiver Lernprozess in Gang gesetzt, der die Neophobie reduziert und Vorlieben heranbildet. Nachhaltig negativ beeinflusst kann dieses Erleben nur werden, wenn bestimmte Lebensmittel eine gastrointestinale Krankheit verursachen oder im Überfluss konsumiert werden. Ein körperliches Wohlbefinden, das durch den Genuss von bestimmten Nahrungsmitteln entsteht, erzeugt eine Vorliebe für diese Speisen. Dieser verstärkende Effekt beeinflusst Zusammenstellung der Mahlzeiten und die Nahrungsmittelauswahl. So zum Beispiel erzeugen Zucker und Fett beruhigende und schmerzstillende Wirkung bei Neugeborenen. Die Säuglinge werden in der Folge durch die Muttermilch mit verschiedenen Geschmacksrichtungen konfrontiert. Wann der Mechanismus des Lernprozesses für differenzierte Geschmackserlebnisse zeitlich genau einsetzt, ob er in dieser Phase bereits beginnt, oder erst dann,

wenn das Kind mit Beikost gefüttert wird, lässt sich nicht genau bestimmen. Fest steht allerdings, dass in dieser Zeit das Essverhaltensmuster, das über einen längeren Zeitraum anhält, bereits festgelegt wird [MYERS et SCALFANI 2006].

7.2. Süßpräferenz

7.2.1. Süßpräferenz bei Erwachsenen

Der genetische Einfluss auf die Süßwahrnehmung ist durch eine mehr oder weniger starke Bitterwahrnehmung feststellbar. Die Wahrscheinlichkeit, dass PROP-Supertaster die Süße einer gesättigten Saccharoselösung als sehr stark empfinden, ist groß. Sie gehören zu den Menschen, die starken Zuckergeschmack ablehnen. Diejenigen, die PROP weniger gut oder überhaupt nicht schmecken, zeigen diese Abneigung nicht. Das Empfinden ist unabhängig vom Geschlecht. Es ist jedoch durchaus möglich, dass Polymorphismen anderer geschmacksrelevanter Gene, die mit den TAS2R38 Rezeptoren interagieren, einen Einfluss auf den Süßgeschmack haben. Als alleiniger Erklärungsfaktor für die Süßpräferenz mancher Menschen kann die Empfindlichkeit für PROP daher nicht herangezogen werden [YEOMANS et al. 2006].

DREWNOWSKI et al. haben dagegen gefunden, dass die PROP Wahrnehmung keinerlei Einfluss auf die Mahlzeitenauswahl, die Präferenz für bestimmte Nährstoffe oder Speisen, den Body Mass Index oder das Fettsäuremuster im Plasma bei den untersuchten Personen nahmen. Das Gegenargument stützt sich auf die Tatsache, dass die PROP Bitterwahrnehmung sich nicht auf alle Arten des Bittergeschmacks ausdehnen lässt. Insbesondere wurde bis jetzt kein eindeutiger Beweis für die Theorie gefunden, die bestätigt, dass auch pflanzliche Bitterstoffe von PROP sensitiven Personen stärker wahrgenommen werden. Der einzige Zusammenhang wurde zur Energieaufnahme gefunden. PROP-sensitive Personen nahmen weniger

Energie auf als jene mit einer geringeren Sensitivität. Ihrer Meinung nach bildet sich eine Präferenz hauptsächlich durch Gewohnheit, Verwendung innerhalb der Familie, Bildung, zeitliche oder monetäre Verfügbarkeit von einzelnen Nahrungsmitteln, durch Medien und Werbung und andere sozioökonomische Faktoren aus. Falsche Essensgewohnheiten könnten jederzeit durch gesundheitsbezogene Ernährung ersetzt werden und wären nicht nur genetisch bedingt [DREWNOWSKI et al. 2007].

7.2.2. Süßpräferenz bei Kindern

Kinder entwickeln eine Präferenz für ein bestimmtes Nahrungsmittel ausschließlich über seinen Geschmack. Sie unterscheiden sich vom Erwachsenen dadurch, dass sich ihr Wahrnehmungsvermögen für die verschiedenen Geschmacksrichtungen erst entwickelt. Bedeutsam ist, dass alle Kinder Süßgeschmack bevorzugen, auch jene, die PROP-sensitiv sind. Sie unterscheiden sich nur insofern, dass PROP-Taster eine weniger konzentrierte Saccharoselösung lieber trinken. Kinder, die PROP weniger gut oder überhaupt nicht schmecken, greifen zu höher konzentrierten Zuckerlösungen. Kinder tolerieren generell auch eine höhere Zuckermenge als Erwachsene. Außerdem gibt es deutliche Rassenunterschiede, Menschen afrikanischer Abstammung bevorzugen höhere Zuckermengen als die Nachfahren der Europäer [MENNELLA et al. 2005].

7.3. Gemüsekonsum und Geschmack

7.3.1. Gemüsekonsum bei Erwachsenen

Grundsätzlich beeinflusst der Bittergeschmack den Konsum von bitteren Gemüsesorten bei allen Menschen negativ. Den Gemüseverzehr von genetisch unterschiedlich mit Bitterwahrnehmung ausgestatteten Personen untersuchten DINEHART et al. PROP-Taster konsumierten erwartungsgemäß weniger von

den bitteren Gemüsesorten, sie empfanden die Süße von den süßen Gemüseproben auch eher und hatten ein stärkeres Geschmackserlebnis. Die stärkste Reaktion konnte bei den Personen festgestellt werden, die eine größere Anzahl von Geschmacksknospen aufwiesen. Hingegen wurde bei denen, die PROP als weniger bitter beurteilten, alkoholische Bittergetränke als süß empfunden, da der Süßgeschmack den Bitterreiz überdeckte. Im Gemüse scheint der Bittergeschmack den Süßgeschmack in der Wahrnehmung zu überlagern. Das bedeutet, wenn Personen in einer Gemüseart auch die Süße wahrnehmen können, werden sie eher zu diesem Gemüse greifen. Diese Art von Auswahlverfahren ist stärker als zum Beispiel der Einfluss, den das Alter auf diesen Vorgang nimmt. Bei der Verwendung von Chinin als Referenz stellte sich heraus, dass Personen, die weniger stark darauf ansprachen, weniger Bittergeschmack und auch weniger Süße im Gemüse verspürten. Der Chininrezeptor scheint für beide Geschmacksrichtungen ausgelegt zu sein [DINEHART et al. 2006].

7.3.2. Gemüsekonsum bei Kindern

Kinder im Vorschulalter reagieren in ihrem Verhalten auf Bittergeschmack bei Gemüse bereits wie Erwachsene. Bei ihnen spielt die genetische Ausstattung schon die gleiche Rolle. Kinder der Non-Taster Gruppe konsumierten bei einer von BELL et TEPPER durchgeführten Studie nicht nur mehr Gemüse, sondern auch mehr von den bitter schmeckenden Sorten. Die Kinder konnten aus einem Angebot von 5 verschiedenen Gemüsesorten ihre freie Wahl treffen. Es wurde aus dieser Tatsache geschlossen, dass Kinder, die den Bittergeschmack nicht so stark spüren, leichter dazu zu bewegen sind, schon als Kleinkinder Gemüse zu essen und das auch später gerne und freiwillig tun. Generalisiert können die Ergebnisse dieser Untersuchung allerdings nicht werden, da die Studiengruppe klein und demographisch zu wenig unterschiedlich war [BELL und TEPPER 2006].

7.4. Wiederholte Exposition

Durch Erfahrung und wiederholte Exposition kann die ursprünglich vorhandene und genetisch bedingte Aversion gegen Bittergeschmack durchaus modifiziert werden. Experimentelle Versuche mit Kindern zeigten, dass die ursprünglich vorhandene Abneigung durch das Hinzufügen von Zucker zu bitter schmeckenden Lebensmitteln abnahm. Diese neugewonnene Akzeptanz blieb auch nach Weglassen des Zuckers für das Lebensmittel bestehen. Wenn der Bittergeschmack in einem Lebensmittel allerdings von vornherein bereits akzeptiert wurde, änderte der Zuckerzusatz den mengenmäßigen Konsum dieses Lebensmittels nicht. Bei Erwachsenen zeigte sich dieser Effekt noch deutlicher. Es genügten bereits drei Wiederholungen, bei denen Lebensmittel vorerst gezuckert wurden, um das Wohlfühlempfinden und die Akzeptanz zu steigern, auch wenn sie danach nicht mehr gezuckert wurden. Da die Testzeit für diese Experimente kurz waren, ist eine Persistenz dieses Zustandes und eine nachhaltige Konditionierung, die dabei erreicht wurde, nicht ausreichend bewiesen [CAPALDI 2008].

7.5. Mögliche Folgen einer Süßpräferenz

Die Entwicklung einer Süßpräferenz ist ebenso konditionierbar, wie zum Beispiel die Modifikation einer Bitterstoffakzeptanz. Wird Süßgeschmack mit Belohnung oder mit Verminderung von Stress assoziiert, wird dieser Effekt bei Wiederholung stärker und strategisch wirksam. Besonders gefährdet sind dabei Menschen mit geringem Selbstbewusstsein und solche, die unter chronischem Stress stehen. Menschen, die auf diese Art eine Süßpräferenz entwickelt haben, stillen ihren Hunger nach Süßem meistens mit Kuchen, Schokolade oder cremigen Süßspeisen. Bei diesen Lebensmitteln wird der Fettgeschmack durch die Süße maskiert, daher schmecken sie eher süß als fett und erfüllen auf diese Art für den Liebhaber von Süßgeschmack ihre Funktion. Daher erhöht das Vorliegen einer Süßpräferenz eher die Wahrscheinlichkeit, an Gewicht zuzunehmen und in der Folge auch adipös zu werden. Steht man unter Stress,

steigt die Ausschüttung an Glucocorticoiden an. Diese verursachen zusätzlich eine Mobilisierung der Energiereserven aus der Peripherie zugunsten abdominaler Fettreserven.

Erkenntnisse aus prospektiven Studien würden möglicherweise helfen, die habituellen und persönlichkeitsrelevanten Zusammenhänge zwischen Bittergeschmackakzeptanz und Süßpräferenz aufzuklären, insbesondere ob die positive Einstellung zu Bittergeschmack die Entwicklung einer ausgeprägten Süßpräferenz hintanhaltend könnte. Die Klärung dieser Fragen könnte einen kleinen Beitrag zur Adipositasprävention leisten [ELFHAG und ERLANSON-ALBERTSSON 2006].

8. Salat als Lebensmittel

Salate gehören zu der Gruppe von Gemüsepflanzen, die das ganze Jahr über konsumiert werden und keine Nachfragespitzen kennen. Die Möglichkeit zum Anbau der verschiedenen Kultursorten entweder im Freiland, unter Folien oder im Glashaus, machen die Verfügbarkeit ganzjährig möglich.

8.1. Salatanbau

8.1.1. Klima , Bodenansprüche und Fruchtfolge

Kopfsalat ist für den Anbau in gemäßigten Klimazonen geeignet, wo die Durchschnittstemperaturen langfristig nicht über 20° C und nicht unter 10° C liegen. Eingewurzelte Jungpflanzen vertragen auch leichte Fröste, sie können im zeitigen Frühjahr als erste ausgepflanzt werden. Endivie ist durch ihre Verträglichkeit für tiefere Temperaturen eine ideale Nachbesetzung für abgeräumte Kulturflächen, verträgt aber keinen Frost. Radicchio wird ähnlich wie die Endivie im Hauptanbau Ende des Sommers angebaut. Er ist nicht winterhart und im Frühjahrsanbau schossgefährdet. Er ist in Österreich ein Nischenprodukt und wird hauptsächlich aus Italien eingeführt. Chicoree wird in zwei Schritten kultiviert: zuerst die Wurzelproduktion im Sommer im Freiland, dann das Treiben der Wurzeln bis zur Sprossung in den Wintermonaten in geeigneten, verdunkelten Räumen. Der Anbau wird von Spezialbetrieben durchgeführt – im Feldbau werden die Rüben produziert, Treibereien führen die Weiterkultivierung durch.

Blattsalate sind keine anspruchsvollen Pflanzen, sie kommen mit fast allen Böden zurecht. Der für Salat ideale Boden hat einen hohen Humusgehalt und eine gute Wasserdurchlässigkeit. Im Frühjahr sollte er sich möglichst schnell erwärmen. Gartensalatpflanzen bilden keine Pfahlwurzeln, sondern wurzeln flach, brauchen daher in den oberen Bodenschichten Nährstoffe und Wasser, während die Cichorium Arten tiefe Pfahlwurzeln bilden und nicht unbedingt

bewässert werden müssen. Böden mit hohem Salzgehalt sind für den Salatanbau ungeeignet, da Wurzelspitzen der Pflanzen geschädigt werden können. Salzgehalte ab 0,4 g/l gelten bereits als unverträglich für die Pflanze.

Salate sind grundsätzlich gut mit sich selbst verträglich. Häufiger Nachbau von gleichen Salatsorten kann allerdings bodenbürtige Krankheiten, wie Pilzbefall, vermehren, deshalb soll Salat nach den österreichischen Richtlinien für integrierte Produktion im mindestens zweijährigen Abstand stehen. Die Nachbarschaft von Gurkenfeldern ist nicht ratsam, da Blattläuse leicht Viruserkrankungen übertragen können. Auf starkzehrende Vorkulturen reagiert Blattsalat positiv, da sie wenig Stickstoff im Boden hinterlassen. Salat selbst ist eine gute Vorkultur und eignet sich für die Einordnung in die Fruchtfolge [UNMANN A. 2006].

8.1.2. Sortenwahl

Salat hat, wie in der Folge ausgeführt wird, eine große wirtschaftliche Bedeutung. Die mittleren Erträge müssen bei > 70 % des Bruttoaufkommens liegen, da sonst die Wirtschaftlichkeit des Salatanbaues nicht gewährleistet ist. Die Sortenwahl ist daher ein wichtiges Kriterium für den Kulturerfolg in Bezug auf Ertragsleistung, Widerstandsfähigkeit gegen Krankheiten und Witterung, Lager- und Transportfähigkeit, Geschmack und Kundenakzeptanz. Resistenzen gegen Schossen, Blattbrand, Falschen Mehltau und Toleranz gegen Salatmosaikvirus sind neben schneller Entwicklung, Kopfgröße und Festigkeit, gut geschlossene Unterseite, Farbe, sowie Eignung für den Standort und die vorgesehene Anbauzeit weitere Gesichtspunkte für die Sortenwahl. Dem Salatproduzenten wird auf mehreren Gebieten für die geeignete Sortenwahl Hilfestellung geleistet. Saatgutproduzenten geben in ihren Samenkatalogen genaue Sortenbeschreibungen an und beschreiben die wesentlichen Sortenmerkmale. Die Sortensichtung von Versuchsanstalten bietet einen Überblick über neue Sorten und die Überprüfung von Eigenschaften, die in den Katalogen angeführt sind. Versuchsanstalten für den Garten- und Gemüsebau

geben regionale Unterstützung nicht nur mit Sortensichtungen und Anbauversuchen neuer Sorten, sondern auch durch die Abhaltung von Seminaren und Beratungen vor Ort. Forschungs- und Versuchszentren für den Salatanbau sind z.B. das Lehr- und Forschungszentrum Gartenbau-Schönbrunn in Wien, die Landwirtschaftliche Fachschule Eisenstadt und die Versuchsstation für Spezialkulturen in Wies (Stmk.). Diese hat 2007 die Sichtung von 19 Batavia Sorten, 7 grünen und 13 roten Eichblattsalatsorten, 13 Eissalat Sorten, 12 Endivien- und 12 Kopfsalatsorten durchgeführt. Es wurden außerdem 4 Sorten Lollo bionda und 11 Sorten Lollo rossa getestet. Bei den für die Bitterstoffgehalte interessanten Radicchiosorten wurden 6 Sorten der Firmen Austroaat, Clause /SB Linz, Hild und Bejo auf Farbe, Kopfbildung, Kopffestigkeit, Stückgewicht und Geschlossenheit der Unterseite untersucht. Die für den Frühjahrsanbau geeignete Sorte Indigo ist eine sichere, schossfeste Sorte, die eine gute Kopfbildung und eine lockere Festigkeit bei einer hellen Färbung zeigte. Die Sorte Caspio von Austroaat zeigte die schönste Farbe, aber ein geringes Gewicht. Die Sorten Leonardo und Tauro zeigten durch die Geschlossenheit der Unterseite eine gute Lagerfähigkeit [VERSUCHSSTATION für Spezialkulturen Wies, Versuche und Ergebnisse 2007].

Radicchio ist vernalisationsempfindlich und neigt zum Schossen, daher ist auf eine warme Anzucht zu achten. Bereits der Keimling kann den Schossreiz durch Kälteeinwirkung aufnehmen. Das Saatgut bei Radicchio ist genetisch nicht so einheitlich wie bei anderen Salatsorten, es mangelt bei manchen Pflanzen in der Entwicklung die entsprechende Kopfbildung, dadurch ist der Anbau von Radicchio für den österreichischen Salatproduzenten ein Risiko, das er nicht eingehen möchte [UNMANN A. 2006].

8.1.3. Pflanzung

Salat wird, bis auf einige Ausnahmen, direkt aufs Feld gepflanzt. In Norditalien wird Radicchio und Treviso sehr oft aus eigenen Saatgutbeständen direkt in den Boden gesät.

Die Salatpflanzen werden an den Produzenten in Erdpresstöpfen geliefert und in kleineren Betrieben mit der Hand in den gelockerten und von Unkraut

befreiten Boden gesetzt, in größeren Betrieben mit Pflanzmaschinen in unterschiedlichen Automatisierungsgraden. Der erforderliche Dünger wird bei der Bodenvorbereitung mit eingearbeitet. Die Produktion der Jungpflanzen erfolgt meist in spezialisierten Betrieben. Die Anzuchtdauer beträgt einige Wochen. Die für die Auspflanzung geeigneten Pflanzen weisen 4 – 8 echte Blätter auf, wiegen 2 – 3 g und haben unbeschädigte Wurzeln. Bevor sie ins Feld gepflanzt werden, werden sie in Gewächshäusern mit ähnlichen klimatischen Bedingungen wie im Freiland ausgestellt. Dadurch werden die Pflanzen robuster.

Der geschützte Anbau in Gewächshäusern erfolgt bevorzugt in den Wintermonaten, in denen Freilandanbau nicht möglich oder erschwert ist. Zur Verlängerung der Anbausaison und zur Ernteverfrühung werden häufig Vlies oder Folien zum Abdecken benutzt. Der Vorteil dieser Abdeckmaterialien ist, dass die Pflanzen vor Wind, Hagel und auch teilweise vor Schädlingen geschützt sind, die Temperatur darunter höher ist und die Entwicklung dadurch verbessert wird. Der Nachteil besteht im leichteren Entstehen von Innenblattrandbrand (bei Radicchio) und die Gefahr von Fäulnis durch die höhere Luftfeuchtigkeit [UNMANN A. 2006].

8.1.4. Kulturarbeiten und Bewässerung

Die Unkrautbekämpfung erfolgt mechanisch. Der Reihenabstand der Pflanzen wird so gewählt, dass er der Spurbreite des Traktors entspricht. Das Verlegen einer Mulchfolie mit gestanzten Pflanzlöchern ist eine gute Unkrautunterdrückung, die gleichzeitig für die nötige Bodenfeuchtigkeit und eine bessere Bodenerwärmung sorgt, aber für den Produzenten hohe Anschaffungskosten für die Folie, einen höheren Arbeitsaufwand bei der Pflanzung, und die Gefahr der Verbrennung bei Sonneneinstrahlung bedeutet. Salatpflanzen haben eine große Blattoberfläche und verdunsten daher viel Wasser. Gleichmäßige Wassergaben sind für die Kontinuität des Wachstums und die Kopfbildung unbedingt notwendig. Der Zeitpunkt der Zusatzberegnung soll so gewählt werden, dass die Pflanzen bis zum Abend wieder trocken

werden können. Salat braucht pro m² zwischen 140 und 160 l Wasser bis zur Erntereife. Der Nitratgehalt des Beregnungswassers ist bei der Düngung zu berücksichtigen [UNMANN A. 2006].

8.2. Pflanzenschutz

8.2.1. Pflanzenschutzmittel

Integrierter Pflanzenschutz (IP) ist die Voraussetzung für das AMA-Gütesiegel und die Produktion gemäß den ÖPUL Richtlinien für eine umweltgerechte Landwirtschaft. Er bedeutet den Verzicht auf chemische Methoden zur Bekämpfung von Schädlingen, wenn mechanische, biologische und biotechnische Maßnahmen ausreichen und wirtschaftlich vertretbar sind. Er ist durch die Auswahl von entsprechenden Pflanzenzüchtungen zu unterstützen. Wichtige Resistenzen sind bei der Auswahl von Salatsorten von Züchtern gekennzeichnet.

Beispiele dazu sind:

<i>Resistenz</i>	<i>Resistenzkürzel</i>
Falscher Mehltau	Bl
Grüne Salatblattlaus	Nr
Salatmosaikvirus	LMV
Salatwurzellaus	Pb

Tabelle 4: Resistenzen bei Gemüsearten [mod. nach PELZMANN H. 2004]

Neben dieser Bewirtschaftungsform gibt es auch die herkömmliche Produktion nach guter landwirtschaftlicher Praxis unter Einhaltung von Mindeststandards, und den biologisch/ökologischen Landbau [PELZMANN H. 2004].

Gemüsebauern, die direkt an die Händler oder Handelsketten liefern, müssen ihre Produktion den Richtlinien von IP und EUREP-GAP unterwerfen um das AMA-Gütesiegel zu erhalten. Ab 2006 verlangen alle in Österreich ansässigen

Handelsketten mit Ausnahme des Diskonters Lidl die Produktion nach den Erfordernissen des AMA-Gütesiegels [LANDWIRTSCHAFTSKAMMER, Tätigkeitsbericht 2006].

Die Liste der erlaubten Pflanzenschutzmittel für die Integrierte Produktion wird laufend aktualisiert. Die Höchstgrenze für Pestizidrückstände (MRLs) in Lebensmitteln liegt laut Regulierung No. 396/2005 der Europäischen Kommission bei 0,01 – 0,05 mg/kg (je nach Pflanzenschutzmittel). Die Anwendung der Mittel und die Überschreitung von Höchstgrenzen werden in regelmäßigen Abständen von den Sicherheitsbehörden der Mitgliedsstaaten kontrolliert. 2006 wurden in Österreich bei 52,9 % der Kopfsalat-Proben eine Höchstwertüberschreitung festgestellt [AGES, Lebensmittelmonitoring 2006].

Blattsalat ist ein gutes Speichermedium für alle Arten von Pestiziden. Grundsätzlich ist daher darauf zu achten, dass Pflanzenschutzmittel in zeitlichen Abständen aufgebracht werden. Die Analyse der Pestizidrückstände gestaltet sich schwierig. Die große Anzahl der verwendeten Wirkstoffe, ihre unterschiedliche Polarität, das unterschiedliche Lösungsverhalten, die verschiedenen pK_s Werte, die enthaltenen Konzentrationen und die unterschiedliche Lebensmittelmatrix sind bei der Methodenwahl zu beachten. GONZALEZ-RODRIGUEZ et al. haben vor kurzem 23 Pestizidrückstände bei Kopfsalat, Mangold und Spinat untersucht. Die Pestizide umfassten acht chemisch verschiedene Gruppen, wie sie hauptsächlich in Spanien zum Einsatz kommen: Phyretrum, Carbamate, Anilin-Pyrimidine, Organophosphate, Phenylpyrrole, Dicarboximide, Phenylamide und Triazole. Die Extraktion der Pestizide erfolgte mit Acetonitril : Toluol (3:1). Weitere Aufreinigungsschritte mit Anionen-Austauschern im Normalphasen Modus folgten, bei denen Aminopropyl und Graphitkohle verwendet wurden. Die Bestimmung der Analyten erfolgte mit GC und ITMS. Vor Interaktion der Pestizide mit der Säulenmatrix der GC wurden die Standards und die Analyte mit einer Mischung aus 3-Ethoxy-1,2-Propandiol, D-Sorbitol und L-Gulonsäure- γ -Lacton geschützt. Die Anwendung dieser Methode wurde als geeignet befunden, da dadurch eine Linearität und eine höhere Präzision des Ergebnisses erreicht wurde. Das

Detektionslimit lag unter 0,01mg/kg. Bei 84 % der untersuchten Proben wurden Pestizidrückstände gefunden, bei 19 % waren sie über der erlaubten Höchstgrenze [GONZALEZ-RODRIGUEZ et al. 2008].

8.2.2. Umwelteinflüsse

Nährstoffmangel, Frost oder starke Sonneneinstrahlung, Wind, Schäden, die durch die Bodenbearbeitung verursacht werden und Bewässerungsfehler sind einige der Einflüsse, die sich ungünstig auf die Entwicklung der Salatpflanzen auswirken oder Absterbeerscheinungen wie Innenbrand, Trockenränder oder Rippenbräune verursachen können. Schlechte Bodenstruktur, der Bodensalzgehalt oder ein zu großes Kopfgewicht sind weitere Einflussfaktoren [UNMANN A. 2006].

Freilandsalat ist Umwelteinflüssen, wie zum Beispiel der Ablagerung von Schadstoffen aus der Luft, ausgesetzt. In urbanen Siedlungsgebieten und Industriegebieten entstehen häufig durch unvollständige Verbrennung polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe. Die Akkumulation von Anthrazen und seine Phytotoxizität wurde von WIECZOREK et al. untersucht. Anthrazen gilt laut US-EPA als nicht akut toxisch für den Menschen, aber es beeinflusst das Pflanzenwachstum negativ. Im Pflanzenstoffwechsel wird Anthrazen oxidiert oder reduziert; durch diese aktivierte Form können Konjugate mit Aminosäuren, Peptiden und Zuckern entstehen. Es können Quinone gebildet werden, die Singulett-Sauerstoff und andere reaktive Sauerstoffspezies generieren und für die Pflanze oxidativen Stress bedeuten. Bei der genannten Studie reduzierte die Aufbringung von Anthrazen auf die Blätter und die Einbringung in das Sandsubstrat die Photosyntheserate in den Blättern um ungefähr 22%. Dieser Luftschadstoff inhibiert die Elektronentransportkette zwischen Photosystem II und I in den Chloroplasten, was einen weiteren Anstieg von Sauerstoffradikalen bedeutet und eine Schädigung der Thylakoidmembran verursacht. Beweis dafür wäre der Anstieg der Superoxiddismutase, diese Untersuchung wurde jedoch nicht durchgeführt.

Bei Anwendung von 280 µg Anthrazen wurde eine verminderte Transpiration der Pflanze durch die Schließung von Stomata beobachtet, wodurch der Wasserhaushalt der Pflanze gestört wurde. Die Anthrazenkonzentrationen in der Pflanze - gemessen an der verabreichten Dosis - bewegten sich zwischen 0,22 % und 0,16 % in den Wurzeln, und zwischen 0,26 % und 0,21 % in den Blättern. Das Blatt- und Wurzelwachstum der Pflanzen erschien deutlich vermindert, was eine Sensibilität dieser Pflanzen gegenüber Schadstoffen aus der Umwelt deutlich macht [WIECZOREK et WIECZOREK 2007].

8.2.3. Tierische Schädlinge

Blattläuse stellen ein großes Problem beim Salatanbau dar. Sie schädigen die Pflanze durch Saftentzug und führen zum Verkrüppeln und Welken der Blätter. Es gibt bereits viele blattlausresistente Sorten, bei denen Eigenschaften von Wildsorten in die kommerziellen Sorten eingekreuzt werden konnten. Weitere Schädlinge sind die Salatwurzellaus, Erdraupen, Nematoden, Drahtwürmer, Engerlinge, Thripse, Blattwanzen, Schnecken und Vögel, die gelegentlich größere Schäden an Kopf- und Pflücksalaten anrichten und zu Ernteeinbußen führen. Endiviensalate werden von den gleichen Schädlingen befallen, nur Zichoriensalate sind durch ihren bitteren Geschmack meist geschützt, ihre Pfahlwurzel wird allerdings von Wühlmäusen als Nahrung angesehen, daher ist deren Bekämpfung notwendig [UNMANN A. 2006].

8.2.4. Viren, Bakterien, Pilze

Viren werden hauptsächlich durch Blattläuse übertragen, die von benachbarten, befallenen Pflanzen einwandern. Dazu gehören das Salatmosaikvirus, das Gurkenmosaikvirus und das westliche Rübenvergilbungsvirus. Das Schadbild der kranken Salatpflanzen zeigt kümmerwuchs und Blattschäden. Die am häufigsten vorkommende Virose, die Adernchlorose, auch Big Vein genannt, wird durch einen im Boden überdauernden Pilz (Ospidium) übertragen und kann

immer wieder auftreten. Die Salatpflanzen zeigen verzögertes Wachstum, blasige Blätter und helle Blattadern. Diese Erscheinungen treten meist bei kühlen Temperaturen auf, daher sollte man bei befallenen Flächen auf den Frühjahrs- und Herbstanbau von Salat verzichten.

Bakterien befallen hauptsächlich Pflanzen, die bereits entweder durch Witterungseinflüsse, Verletzungen oder durch Krankheiten geschädigt sind. Im Salatanbau kommen drei Bakterienarten vor: Pseudomonas, Xanthomonas und Erwinia. Die Wirkung von Pseudomonas Bakterien wurde 1995 von BESTWICK et al. untersucht. Demnach verursacht dieses Bacterium die Ablagerung von hydroxyprolinreichen Glycoproteinen, Phenolen und Callose in der Zellwand. Begleitet ist diese Erscheinung von einer Proliferation des Endoplasmatischen Reticulums. Die Dysfunktion der Plasmamembran führt zu der verstärkten Bildung von Vakuolen. Es kam zu einer Störung der Organellen und zum cytoplasmatischen Kollaps. Der Verlust von Elektrolyten und die gehäufte Bildung von Lettucenin A wurde ebenfalls beobachtet [BESTWICK et al. 1995].

Makroskopisch bemerkt man am Salatblatt zuerst ölige Flecken und dann wird das Absterben der Zellen und die Zerstörung des Gewebes sichtbar. Xanthomonas verursacht ähnliche Symptome. Erwinia bewirkt eine Weichfäule des Strunks bei längerer Lagerung [UNMANN A. 2006].

Pilzkrankheiten entstehen durch Pilze, die im Boden überleben, oder durch Übertragung von bereits infizierten Pflanzen. Besonders gefährdet sind geschwächte Pflanzen und alle Bestände, wenn entsprechende Wetterbedingungen herrschen, nämlich wechselhaftes, kühles Wetter.

Eine Übersicht über die häufigsten Pilzkrankheiten bietet Tabelle 5:

Bezeichnung	Krankheit	Symptome
Botrytis	Grauschimmel	Brauner Strunk, Welke
Sclerotinia	Salatfäule	Weißes Myzel, Sklerotien
Bremia lactucae	Falscher Mehltau	Gelbe Flecken, Sporenrasen
Erysiphe cichor.	Echter Mehltau	Mehlig weißer Belag
Puccinia opizii	Salatrost	Orange Flecken

Tabelle 5: Pilzkrankheiten bei Salat [erstellt aus UNMANN A. 2006].

Die von Salatproduzenten am meisten gefürchtete Pilzkrankheit ist der Falsche Mehltau, der von *Bremia lactucae* verursacht wird und innerhalb kürzester Zeit zu einem Totalausfall der gesamten Produktionsmenge führen kann. Die Wechselwirkung zwischen *Bremia lactucae* und seinem Wirt, die Ausbildung von Resistenzen und die Krankheitssymptome sind Gegenstand vieler Forschungsarbeiten. Bis 2006 wurden bereits 20 verschiedene Resistenzfaktoren in das genetische Material von kultivierten Salatpflanzen eingeschleust und über 40 mögliche Faktoren sind bereits bekannt. Die Widerstandsfähigkeit von wilden Salatsorten gegen *Bremia lactucae* und deren Genpool bietet den Züchtern immer neue Möglichkeiten, Kultivare mit verbesserten Resistenzeigenschaften hervorzubringen. Derzeit gibt es 25 resistente Sorten; *Bremia lactucae* hat allerdings ein sehr großes Potential immer neue Rassen hervorzubringen. Seine vegetative Vermehrung dauert nur zirka eine Woche. Diese kurze Zeitspanne befähigt ihn, neue aggressive Rassen zu selektieren. Die schnelle Verbreitung der Sporen von befallenen Kultur- und auch Wildsorten durch den Wind und die Konservierung von Mutationen und Rekombinationen durch die sexuelle Vermehrung sind weitere Strategien, die diesen Krankheitserreger gefährlich machen. Er besitzt ein multinukleares Mycel, das den Vorgang der Mutation auf mehreren Ebenen möglich macht und dadurch die genetische Vielfalt deutlich ansteigen lässt. Die Krankheitszeichen des Befalls sind sowohl makroskopisch als auch mikroskopisch feststellbar. Mit freiem Auge kann man bei Befall gelbe, viereckige Flecken auf der Blattoberseite erkennen. Sie gehen in nekrotische Stellen über. Neben dieser Überempfindlichkeitsreaktion der Pflanze tritt eine

irreversible Schädigung der Membrane und eine Akkumulation von phenolischen Substanzen auf. Der Gehalt an Sesquiterpenlactonen bietet gegen diesen Krankheitserreger keinen Schutz. Sporenbildung, Ausbildung von interzellulären Hyphaen, primären und sekundären Vesikeln und Haustorien, mit denen der Pilz in das Pflanzengewebe eindringt und Wasser und Nährstoffe aufnimmt, sind die erfolgreichen operativen Infektionsstrategien von *Bremia lactucae* [LEBEDA et al. 2006].

Die Bildung von reaktiven Sauerstoffspezies ist die Vorstufe der durch den pathogenen Erreger ausgelösten Überempfindlichkeitsreaktion der Pflanze. Singulett-Sauerstoff, Superoxid, Hydroperoxid und Hydroxylradikale sind Teil des Abwehrmechanismus, der in den frühen Phasen der Infektion stattfindet. Die ROS sollen die befallenen Zellen der Blattepidermis in die Apoptose führen und dem Krankheitserreger damit die Lebensgrundlage entziehen. Zuerst durchdringt der Krankheitserreger mit Hilfe von chemischen und mechanischen Mitteln die Zellwände der Wirtspflanze, die durch die Wachsschicht in der Anfangsphase zunächst geschützt ist. Erst wenn Hyphen und Haustorien gebildet sind, beginnt die für den Parasiten wirksame Phase des Befalls. Die reaktiven Sauerstoffspezies entfalten dann ihren eigentlichen antimikrobiellen Effekt. Durch Ca^{2+} -Mobilisation und Phosphorylierungskaskaden werden die entsprechenden, pathogenwirksamen Proteine, Phenole und Phytoalexine, sowie die zellwandverstärkenden Lignine gebildet. Scavenger-Enzyme werden ebenfalls vermehrt exprimiert und nicht enzymatische antioxidative Strategien eingeleitet. Resistente *Lactuca* Spezies bilden deutlich weniger ROS, der Krankheitserreger entwickelt weniger primäre und sekundäre Vesikel, und die Überempfindlichkeitsreaktion der Pflanze ist auf die infizierten Epidermiszellen beschränkt. *Lactuca saligna*, das 39 Abwehrgene gegen *Bremia lactucae* besitzt, unterbindet die Bildung von primären Vesikeln bereits in der Anfangsphase ohne das Auftreten einer Überempfindlichkeitsreaktion [SEDLAROVA et al. 2007].

Die Bekämpfung von Pilzkrankheiten im allgemeinen erfolgt vorbeugend durch die Anwendung von Fungiziden, die sowohl durch Blattkontakt als auch systemisch wirksam werden können. Am häufigsten werden die nach IP

Standards erlaubten (gültig ab 3.5.2008) Präparate Mancozeb, Metalaxyl, Propamacarb, Fosethyl, Tolyfluanid, Azoxystrobin und Kombinationen aus diesen Wirkstoffen angewendet. Eine entsprechende Sortenwahl, eine geringe Pflanzendichte beim Anbau und eine adäquate Bewässerung tragen erheblich zur Pflanzengesundheit bei. Bei bereits befallenen Salaten sind Fungizide unwirksam.

Die Wartefrist für die letzte Applikation aller Pflanzenschutzmittel vor der Ernte ist bei den Anwendungsbestimmungen der Mittel vorgegeben und wird im Zulassungsverfahren festgesetzt. Sie kann bis zu 21 Tage betragen [UNMANN A. 2006].

Nicht berücksichtigt werden bei diesen Bestimmungen die Auswirkung von Hilfsstoffen, die den Spritzmitteln beigegeben werden, um eine bessere Haftfähigkeit und Verteilung auf den Blättern zu erzielen. Die Rückstandsmengen der Pestizide könnten dabei über die zugelassenen Höchstwerte ansteigen. Die Pflanze wird zwar durch diese Beimengung von Hilfsmitteln in der Startphase besser geschützt, der Konsument ist jedoch mit einem höheren Pestizidrückstand konfrontiert. Die Studie von RYCKAERT et al. fand höhere Rückstände bei mit Tolyfluanid und 8 EU-konformen Zusätzen behandelten Salatpflanzen. Die Konzentration dieser Rückstände nach der Degradationsfrist überstieg nie die zugelassene Höchstgrenze. Sie war aber bei Verwendung eines Hilfsstoffs bis zu doppelt so hoch wie in den untersuchten Kontrollpflanzen. Die Abbaueigenschaften des Fungizids wurden durch die Hilfsstoffe wenig beeinflusst. Für die Behebung des Negativeffekts wurde als Alternative die Verwendung einer niedrigeren Dosis des Pflanzenschutzmittels vorgeschlagen [RYCKAERT et al. 2007].

8.3. Düngung

Die Salatpflanzen gehören zu den schwach zehrenden Pflanzenarten, bei Überdüngung werden sie krankheitsanfällig, es kommt zu Wuchsstörungen und zum Vergilben der Blätter. Aus anbautechnischen Gründen erfolgt die Düngung am Anfang der Vegetationsperiode nach dem Einwurzeln der Jungpflanzen.

8.3.1. Die Hauptnährstoffe

Die Nährstoffe Stickstoff, Phosphor, Kalium, Magnesium und Calcium sind den Pflanzen in einem ausgewogenen Verhältnis zu verabreichen. Da sie nur Nährstoffe aufnehmen können, die in wasserlöslicher Form im Boden zur Verfügung stehen, wird in der Freilandkultur häufig mit mineralischen Düngemitteln gedüngt, die sich in der Bodenfeuchte schnell auflösen und die Nährstoffe sofort frei geben. Im biologischen Anbau wird auch Stallmist oder Kompost verwendet. Salat wird allerdings dann erst in der Fruchtfolge in der nächsten Anbauperiode gepflanzt. Das Ergebnis einer solchen organischen Düngung ist eine verbesserte Bodenbeschaffenheit und eine höhere Wasserbindungskapazität des Bodens.

Phosphor benötigt der Salat zur Bildung von ATP, zur Eiweißbildung, zur Frucht- und Samenreife und für das Wurzelwachstum. Phosphormangel begünstigt die Bildung von Bitterstoffen, wie bereits in Kap. 3.2.5 ausgeführt.

Kalium ist notwendig für den Transport und die Bildung von Zucker, Vitamin C und die Synthese von Stärke und Zellulose. Es erhöht den Wassergehalt der Pflanze.

Magnesium ist für die Bildung von Chlorophyll unerlässlich.

Ein sehr wichtiges Element ist Calcium. Es dient der Pflanze für die Stabilität der Zellwände und macht sie widerstandsfähig gegen Krankheiten. Da es osmotisch transportiert wird, wird es zuerst in Pflanzenteile eingebaut, wo eine starke Verdunstung stattfindet und kann oft andere Pflanzenteile nicht mehr erreichen. Daher ist eine laufende Calciumgabe notwendig [PELZMANN H. 2004].

8.3.2. Stickstoff

Stickstoff ist für das Pflanzenwachstum ein unbedingtes Erfordernis. Er beeinflusst den Produktionserfolg maßgeblich. Zu hohe Stickstoffgaben können allerdings bei niedrigen Temperaturen und zu wenig Licht zur Nitratakkumulation im Salat führen. Außerdem entsteht durch eine

Überdüngung eine Versalzung des Bodens und es kommt zur Ausschwemmung von Nitrat ins Grundwasser.

Nitrat ist für den Menschen, besonders für Kleinkinder und Säuglinge, möglicherweise chronisch toxisch. Der Gesundheitsgefährdung durch Nitrat, das hauptsächlich in Gemüsepflanzen gespeichert und mit diesen aufgenommen wird, ist die Europäische Union durch das Projekt NiCoLet (Nitrate Control in Lettuce) und der Regulierung von Nitratobergrenzen (No. 563/2002) entgegengetreten. Das Projekt sollte durch die Erstellung von Kultivierungsmethoden die Kontrolle des Nitratgehaltes ermöglichen und diesen so gering wie möglich halten, ohne eine wirtschaftliche Gefährdung der Produzenten zu riskieren [LINKER et JOHNSON-RUTZKE 2005].

Das Kontrollmodell des NiCoLet Projektes basiert auf dem Wissen, dass die Speicherung von Nitrat in den Vakuolen eine Möglichkeit für die Pflanze darstellt, den Turgor aufrecht zu erhalten. Wenn nicht-strukturelle Kohlenwasserstoffe fehlen, was bei niedriger Photosyntheserate und mangelnder Mobilisation der Fall ist, wird Nitrat als alternatives Osmoticum herangezogen. Unter Bedingungen, die für das Wachstum günstig sind, wird Nitrat von der Pflanze aus dem Boden aufgenommen und in mehreren Schritten zu Ammonium-Ionen reduziert, wobei der Stickstoff sofort zur Synthese von Aminosäuren dient und die Pflanze zum Wachsen bringt. Fehlt Stickstoff aus dem Boden, ergibt sich der unerwünschte Effekt, dass die Pflanze in ihr Wurzelwachstum investiert, um an mögliche Stickstoffquellen heran zu kommen.

Den stärksten Einfluss auf einen hohen Nitratgehalt haben aus diesem Grund:

Mangelnde Lichtverhältnisse	⇒ niedrige Photosyntheserate
Niedrige Temperaturen	⇒ niedrige Photosyntheserate
Düngermenge	⇒ hoch oder mittel
Düngerart	⇒ mineralischer Dünger
Pflanzensorte	⇒ Butterkopfsalat speichert am besten

Auf das Pflanzenwachstum haben vice versa ausreichende Lichtverhältnisse und gleichbleibende Temperaturen, die Düngerart (mineralischer Dünger ist besser als organischer Dünger) und die Düngermenge Einfluss. Die beiden letztgenannten Faktoren erhöhen den Nitratgehalt in den Pflanzen und können reguliert werden, um den Standards gerecht zu werden. Wenn entsprechende Sonneneinstrahlung oder sonnenlichtähnliche Bedingungen vorhanden sind, spielt der Anbauzeitpunkt eine geringe Rolle bei der Nitratakkumulation im Salat [PAVLOU et al. 2007].

Die genetische Ausstattung der Salatpflanze ist für die Nitratakkumulation von wesentlicher Bedeutung. Grundsätzlich wird von den Pflanzen während des Wachstums die gesamte aufgenommene Stickstoffmenge verarbeitet. Die geringste Speichermenge ist dann vorhanden, wenn der Anteil des nicht Photosynthese betreibenden Pflanzenmaterials (enthält wenig N) schneller ansteigt, als der der chlorophyllhaltigen Blätter. In der späten Wachstumsphase erfolgt die Nitratspeicherung. Bei Butterkopfsalat (*Lactuca sativa* var. *capitata* L.), der Nitrat am effektivsten speichert, konnte dieser Umstand nachgewiesen werden. Im Glashaushausbau wurde erhoben, dass bei Butterkopfsalat eine Stagnation der Nitratakkumulation nachweisbar war, sobald die Pflanzen ihre erntefähige Größe erreicht hatten und auch kein Stickstoffdünger mehr gegeben wurde. Der beste Effekt für die Erreichung der Nitratgrenzwerte ergäbe sich demzufolge aus dem Entzug von Stickstoffdünger ein paar Tage vor der Ernte [BROADLEY et al. 2003].

Auch Chicoree benötigt Stickstoff, und zwar vorerst für die Wurzelbildung, wo er auch gespeichert wird. Beim Treibvorgang muss zusätzlich zu diesem Vorrat Stickstoff in Form einer Nährlösung zugeführt werden. Sie enthält im allgemeinen Nitrat und Ammoniak. Da Chicoree im Dunkeln gezogen wird und keine Photosynthese stattfindet, verwendet die Pflanze die ebenfalls in der Wurzel gespeicherten Fructane, die 85 % des Trockengewichts der Wurzeln ausmachen, für ihr Wachstum. CASSAN et al. haben in einer Studie festgestellt, dass Kultivare, die große Mengen an Stickstoff brauchen, auch am meisten davon in Form von Nitrat speichern (die Mobilisationsrate für N betrug 32 %). Die Qualität dieser Sorten wird deutlich besser, wenn weniger

Stickstoffdünger verwendet wird. Sorten, die Stickstoff sensibel sind, speicherten weniger und ihre Mobilisationsrate lag bei 63 %. Stickstoff tolerante Sorten lagen bei Mobilisationsrate und Speicherung im Mittel zwischen den beiden Spezies. Auf diese Weise könnte die Stickstoffzufuhr und die Einhaltung von Grenzwerten durch die Wahl der richtigen Sorte und die Düngermenge kontrolliert und beeinflusst werden [CASSAN et al. 2008].

In Österreich gelten folgende Grenzwerte für Nitrat:

Salatsorte	Erntezeitpunkt	Grenzwert mg/kg Frischgewicht
Kopfsalat, Eissalat,Batavia	1.4. – 30.9.	2500
	1.10. – 31.10.	3000
	1.11. – 30.4.	3500
Endivie	1.6. – 31.10.	2500
	1.11. – 30. 4.	3500
Chicoree	ganzjährig	1500

Tabelle 6: Grenzwerte für Nitrat in Gemüse: IBUNDESKANZLERAMT CAA:

8.4. Ernte und Lagerung

Salat wird nicht maschinell, sondern von Hand geerntet. Der Einsatz von Maschinen wäre zu kostenaufwändig und eine visuelle Selektierung unmöglich. Nur in größeren Salatanbaubetrieben wird ein Fließband bei der Ernte eingesetzt. Die einzelnen Köpfe werden mit dem Messer geschnitten, oberflächlich gereinigt und sofort in Kisten verpackt. Der Salat wird anschließend am Hof gewaschen. Dabei wird der in Kisten verpackte Salat mit einer Spritzvorrichtung von oben und unten besprüht oder durch ein Tauchbad gezogen. Da Salat bei der Ernte noch mitten in seiner vegetativen Entwicklung steht und der Wassergehalt hoch ist, ist er leicht verderblich. Salat ist kein Lagergemüse, daher ist eine Kühlung unbedingt notwendig, um den

Reifungsprozess und auch die mikrobielle Kontamination zu unterbinden. Zur Kühlung tragen die entsprechenden Erntebedingungen bei, indem man die Salatköpfe mit kaltem Wasser wäscht und nicht der Sonne aussetzt. Im Kühlraum sollte die Kerntemperatur des Salates auf 5° C gesenkt werden. Die Lagerzeit für Salat beträgt bei optimalen Bedingungen 14 Tage, Radicchio und Treviso sind auch länger haltbar. Für eine hohe Luftfeuchtigkeit (97 %) muss ebenfalls gesorgt werden, da Salatblätter viel Wasser verdunsten.

8.4.1. Optische Qualität

Auch optimale Lagerbedingungen können nicht verhindern, dass sich der Salat an den Schnittstellen und an den durch die verschiedenen Arbeitsschritte verletzten Stellen braun färbt. Aus marketingtechnischer Sicht ist der Verkaufserfolg damit nur eingeschränkt gegeben. Der Grund für die Farbveränderung sind enzymatische Vorgänge der physiologisch noch aktiven Pflanze. In einem ersten Schritt wird durch die Phenylalanin-Ammoniak-Lyase (PAL) die Aminosäure Phenylalanin in Trans-Zimtsäure und Ammoniak abgebaut. Polyphenoloxidasen bilden als nächsten Schritt durch Oxidation instabile ortho-Chinone, die zu braunen Pigmenten polymerisieren können. Phenole werden auch Angriffspunkte für Oxidationen durch Peroxidasen. Peroxidasen verwenden Wasserstoffperoxid als Substrat, das durch die Respiration des Salates entsteht. Das Phenol fungiert bei der Oxidation durch Wasserstoffperoxid als Elektronendonator. Ascorbinsäure kann durch die Reduktion der Chinone zu phenolischen Substanzen die Bildung von Polymerisierungsprodukten verhindern, kann aber aus thermodynamischen Gründen nicht mehr regeneriert werden und nimmt bei längerer Lagerung deutlich ab. Ascorbinsäure senkt auch den pH- Wert des Zytosols, wodurch die Aktivität der Enzyme eingeschränkt wird. DEGL'INNOCENTI et al. haben diese Vorgänge bei Schnittsalat, der für enzymatische Bräunung besonders anfällig ist, untersucht. Zur Untersuchung wurden die Sorten Kopfsalat (*Lactuca sativa*), Escarol (*Cichorium endivia*) und Rukola (*Eruca sativa*) herangezogen. Rukola enthält im Vergleich zu den anderen Salatarten den größten Anteil an Vitamin C

und zeigte auch nach längerer Lagerung keine enzymatische Bräunung. Es wurde der Schluss gezogen, dass der Vitamin C Gehalt einen erheblichen Teil des Schutzes vor Bräunung darstellt, da phenolische Komponenten bei allen Salatarten vorhanden und auch durch enzymatische Vorgänge annähernd gleich stark abgebaut wurden. Weitere Untersuchungen für den endgültigen Beweis dieser Schlussfolgerung wurden in Aussicht gestellt [DEGL'INNOCENTI et al. 2007].

8.4.2. Mikrobielle Kontamination

Salat ist wegen seines hohen Wassergehaltes und der geringen Widerstandskraft seiner Blätter ein gutes Medium für bakterielles Wachstum während der Lagerung. Besonders geschnittener Salat, der vom Verbraucher ohne Vorbereitung konsumiert werden kann, bietet eine große Angriffsfläche für eintretende Bakterien. Verschiedene Methoden werden angewandt, um das Bakterienwachstum zu stoppen. Nach Verpackung in Klarsichtpackungen und modifizierter Atmosphäre wird mit Ozon oder Chlor behandeltes Wasser verwendet, oder organische Säuren, wie Milchsäure oder Zitronensäure, werden dem Wasser zugesetzt, und die Packungen eingetaucht. Das Verhältnis in der Gaszusammensetzung der Packung, die Farbe, der Feuchtigkeitsgehalt, der β -Carotin und der Vitamin C Gehalt des Salats werden dadurch keineswegs verändert. Ozoniertes Wasser ist die effizienteste, aber auch die kostspieligste Methode, um das Bakterienwachstum zu verhindern [AKBAS und ÖLMEZ 2007].

HASSENBERG et al. haben außerdem festgestellt, dass im Gegensatz zu Salat, der nur mit Wasser gewaschen wird, durch die Behandlung mit ozoniertem Wasser das Wachstum von mesophilen Bakterien um ca. 1 log/Anzahl reduziert werden konnte. Als Nebeneffekt wurde auch der bei herkömmlichen Methoden auftretende Verlust an Zuckern und Vitamin C weitgehend vermieden [HASSENBERG et al. 2007].

8.5. Wirtschaftliche Bedeutung

Durch die zeitlich eingeschränkte Lagerfähigkeit des Agrarproduktes Salat ist die Marktnähe zum Konsumenten ein unbedingtes Kriterium für den Anbau und die Vermarktung. Daher wird nur in den Wintermonaten, in denen die heimische Produktion nur eingeschränkt möglich ist, Salat importiert. Der Selbstversorgungsgrad bei Kopfsalat und Eissalat beträgt in Österreich nahezu 80 %, bei den übrigen Salatsorten nur 18 %. Die größten Salatanbaugebiete befinden sich in Wien, in Oberösterreich – im Raum von Eferding –, im Tiroler Inntal und in der südlichen Steiermark.

8.5.1. Produktion und Anbauflächen

Die Anbaufläche für alle Salatsorten stieg in Österreich 2007 um 76 ha auf 1635 ha. Insgesamt stieg daher auch die Gesamternte gegenüber dem Jahr 2006 um 5,8 % auf 62.487 t. Kopfsalat hat in der Produktion gegenüber den anderen Salatsorten deutlich abgenommen. Besonders Eisbergsalat hat in der Beliebtheit des Konsumenten stark zugenommen, da er während des ganzen Jahres in gleichbleibender Qualität angeboten wird und auch eine gute Haltbarkeit aufweist. Die Ausweitung der Anbaufläche hatte trotz der Trockenperiode des Sommers 2007 und der dadurch zurückgegangenen Erträge eine Steigerung des Produktionsvolumens zur Folge. Die Produktionsmenge von Salat steht im Ranking der Gemüsearten an dritter Stelle [STATISTIK AUSTRIA 2008].

Sonstige Salate werden, gemessen am Gesamtverbrauch im Inland, zu 80 % importiert (hauptsächlich die bitteren Salatsorten, wie Endivie oder Radicchio). Die Ausfuhr von heimischem Salat beträgt nur ca. 6 % der Einfuhrmenge. Die agrarische Außenhandelsbilanz für Gemüse ist in Österreich insgesamt stark Import lastig, aber nicht Salat, sondern Tomaten machen den wertmäßig größten Importanteil aus [LEBENS MINISTERIUM 2007].

8.5.2. Vertriebswege und Handelsnormen

An Vertriebswegen stehen dem Produzenten mehrere Möglichkeiten zur Verfügung. Er kann seinen Salat direkt vermarkten und ab Hof oder am Markt selbst verkaufen, wo eher weiche, helle Salatsorten einen Abnehmer finden werden und die Frische garantiert ist. Er kann den Großmarkt beliefern oder einen Liefervertrag mit dem Gemüsegroßhandel oder einer Gemüseverwertungsgenossenschaft abschließen, wobei eine bestimmte Abnahmegarantie gewährleistet ist, jedoch auch eine gleichbleibende Qualität gefordert wird. Die direkte Belieferung von Handelsketten erfordert einen bestimmten Aufwand an Transport und Verpackung, der die Produktionskosten ansteigen lässt. Discounter bieten trotz geringerem Preis auch qualitativ gute Ware an und verlangen oft ein bestimmtes Mindestgewicht als Qualitätskriterium [UNMANN A. 2006].

Die äußere Qualität von Salat, der in Verkehr gebracht wird, wird in der EU-Verordnung 1543/2001 geregelt und betrifft alle Salate der Arten *Lactuca sativa* L. var. *capitata*, var. *longifolia*, var. *crispa* und deren Kreuzungen, sowie die Arten *Cichorium endivia* L. var. *crispum* und *latifolium* und deren Anbausorten.

Die Verordnung regelt die Güteeigenschaften, wie die Mindesteigenschaften, die Salat aufweisen muss, bzw. Mängel, die er nicht aufweisen darf (er muss ganz sein, keine Mängel aufweisen, die ihn zum Verzehr ungeeignet machen, sauber und keine Schädlinge oder Fraßspuren zeigen, er darf nicht geschossen sein und muss prall aussehen, frei von Fremdgeruch oder Fremdgeschmack und von überflüssiger Feuchtigkeit sein).

Es gibt bei Salat nur zwei Güteklassen, die geringfügig in der Normierung voneinander abweichen; bei Klasse II dürfen auch leichte Farbfehler und geringe Fraßspuren von Schädlingen auftreten.

Die Mindestgröße der Klassen I und II wird nach dem Gewicht pro Stück und Salatsorte bestimmt. Die Anbaumethode (Freiland oder geschützter Anbau) ist ein weiteres Kriterium für die Bestimmung des Mindestgewichtes. Nur 10 % der Stücke, wenn sie in einer gemeinsamen Verpackung geliefert werden, dürfen in Größe und Qualität geringfügig abweichen [LEBENSMINISTERIUM 2005].

8.5.3. Verpackung und Kennzeichnung

Salat wird nach der Ernte sofort in Kisten oder Kartons verpackt, um ihn zu schützen. Nach der obigen EU-Norm dürfen keine Fremdstoffe in der Verpackung sein, es dürfen nur gleiche Handelsklassen und Sorten zusammen verpackt werden. Mischungen sind nur dann erlaubt, wenn sie klar unterschieden werden können und Qualität und Größe der Stücke identisch sind. Als Trennmaterial innerhalb der Verpackung darf nur für den Konsumenten ungefährliches Material verwendet werden.

Die Packstücke müssen auf einer Seite lesbar, unverwischbar und äußerlich sichtbar folgende Angaben aufweisen:

Namen und Anschrift des Produzenten oder des Verpackers

Salatspezies

Sortenname (freiwillig)

Ursprungsland (evtl. regionales Anbaugebiet)

Handelsmerkmale wie Klasse und Größe (Mindestgewicht oder Stückzahl)

[LEBENSMINISTERIUM 2005].

Ab 1.1.2005 wurde auch die Rückverfolgbarkeit des Produktes vom Erzeuger bis zum Verkäufer geregelt, die einen Teil der Qualitätssicherung darstellt. Mit dem Vorweisen von Lieferscheinen und Rechnungen ist im Bedarfsfall die Herkunft und der Verkauf durch den Produzenten nachzuweisen [UNMANN A. 2006].

8.5.4. Verfügbarkeit und Saisonalität

Die Versorgung mit den meisten Salatsorten ist während des ganzen Jahres gut und ausreichend. Die heimische Erzeugung deckt vor allem die Nachfrage in den Monaten März bis Dezember mit den beliebtesten und gängigsten Sorten. Eine Ausweitung des Angebots an bisher unbekannten Sorten ist durch die Gastronomie eingetreten. Die bunten Salate dienen offenbar zur optischen Belebung des Salattellers und liefern mehr Bitterstoffe als ihre grünen Artgenossen. Fast food Ketten und Imbissstuben sind Abnehmer für

Schnittsalate, denen auch gerne rote Salatsorten beigemischt werden. Der Konsument greift jetzt ebenso vermehrt zu diesen bunten Sorten, was ein stichprobenartiger Überblick des Angebots in den heimischen Supermärkten zeigte. Es findet sich in den Supermarktregalen nicht nur Kopfsalat und Eisbergsalat, der wegen seiner Lagerfähigkeit und der ganzjährigen Verfügbarkeit zu den beliebtesten Salatsorten gehört, auch grüner und roter Eichblattsalat, Lollo rossa und Lollo bionda aus heimischer Produktion. Nicht nur die Marktführer des Lebensmitteleinzelhandels, sondern auch der österreichische Diskonter Hofer bietet diese Sorten an [eigene Erhebung v. 12. – 20.6.2008].

In den Sommermonaten werden vor allem Salate aus der heimischen Produktion angeboten. Die Importware mit den bitteren Arten findet sich vorerst nur vereinzelt, sie werden erst ab Oktober die Angebotspalette bereichern.

Saisonalität der Salate

Heimische Produktion

Importware

Sorte	Jän	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sept	Okt	Nov	Dez
Kopfsalat												
Eissalat												
Batavia												
Krullsalat												
Lollo r/b												
Eichblatt												
Romana												
Frisee												
Endivie												
Radicchio												
Treviso												
Chicoree												

Tabelle 7: mod. nach Saisonkalender für Gemüse [BGV Österreich 2006]

Die Verteilung der Produkte vom Salaterzeuger bis zum Endverbraucher geschieht zum überwiegenden Teil über anerkannte Erzeugerorganisationen an den Lebensmitteleinzelhandel. Der Marktanteil der wichtigsten Unternehmen des Lebensmitteleinzelhandels verteilt sich nach der Aufstockung des Anteils der REWE Gruppe an ADEG von 24,9 % auf 75 % wie folgt:

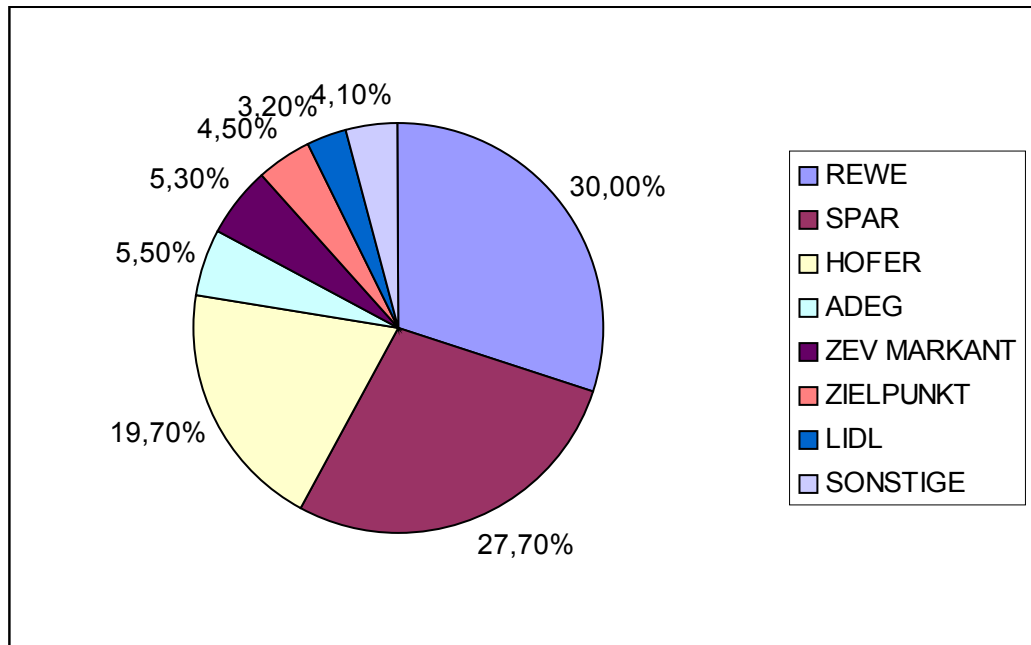


Abbildung 8: erstellt nach: Handel in Österreich, Basisdaten 2007 [AC Nielsen 2008]

Der mengenmäßige und wertmäßige Anteil an der Frischgemüseversorgung entspricht in etwa den Marktanteilen am Gesamtmarkt. Eine detaillierte Angabe über die Salatversorgung ist nicht eruierbar, sie geht in den statistischen Daten über die Gemüseversorgung auf.

8.5.5. Salatverzehr

Der pro-Kopf Verzehr der gesamten Salatsorten betrug im Jahr 2007 10,6 kg und erfuhr eine neuerliche Steigerung gegenüber dem Vorjahr. Der wachsende Salatverzehr resultiert aus dem erhöhten Verzehr in den Wintermonaten, der teilweise durch Importe gedeckt wird, aber auch aus einer erhöhten heimischen

Produktion in den Sommermonaten, die, wie schon erwähnt, auch eine größere Vielfalt an Erzeugnissen bietet. Der Verbrauch von Kopfsalat ging zugunsten anderer Salatsorten zurück [STATISTIK AUSTRIA 2008].

Die Aufnahme der Marktorganisation für Obst und Gemüse in die gemeinsame EU-Marktordnung für Agrarprodukte (Verordnung 1182/2007 v. 26.9.2007) soll die Wettbewerbsfähigkeit der Erzeuger stärken, sie zum Zusammenschluss in Erzeugerorganisationen animieren, damit den Wettbewerb forcieren und die wachsende Konzentration des Vertriebs ausbalancieren, um eine Preisstabilität zu erreichen. Im Rahmen dieser Verordnung werden Absatzmaßnahmen gefördert, wie z.B. das Angebot von Frischobst und Frischgemüse in Schulen. Als Resultat erwartet man sich, dass Kinder und Jugendliche zum Verzehr von gesunden Produkten angeregt werden und dadurch der Absatz von Obst und Gemüse eine weitere Steigerung erfährt [LEBENSMINISTERIUM 2006].

9. Schlussbetrachtung

Blattsalate liefern in der Regel geringe Nährstoffmengen, sind aber auch Lieferanten für sehr wenig Energie. Eine Portion Blattsalat versorgt uns mit fast allen wichtigen Nährstoffen, vor allem mit Vitamin K, das in 50 g Kopfsalat fast in der empfohlenen, täglichen Zufuhrmenge enthalten ist. Im Salat liegen die Gehalte an essentiellen Mikronährstoffen über dem Energiebeitrag, woraus seine hohe Nährstoffdichte resultiert. Die Menge an den übrigen Vitaminen, Mineralstoffen und anderen Inhaltsstoffen liegt jedoch weit unter der Menge des täglichen Bedarfs, bei den Ballaststoffen wird nur 5 % der empfohlenen Tagesmenge gedeckt. Salat hat aber nie den Anspruch erhoben, ein Hauptnahrungsmittel zu sein, er wird seit jeher als Beilage oder Vorspeise angesehen; als Hauptmahlzeit wird er mit anderen Gemüsesorten und pflanzlichen oder tierischen Protein- und Fettlieferanten kombiniert und damit seine Wertigkeit erhöht.

Bitterstoffe im Salat sind physiologisch wirksame Substanzen, deren genauer Stellenwert in der Ernährung sicher noch nicht vollständig und ausreichend erforscht ist. Bei allen Hinweisen auf die bioaktiven Wirkungen, deren Untersuchung auf die funktionellen Gruppen „Exomethylen- γ Lacton“ und „ α,β ungesättigte Cyclopentenone“ eingehen, bleiben Fragen offen, deren Beantwortung mit der Durchführung von umfassenden QSAR Studien nachgegangen werden kann. Allerdings sind Lebensmittel keine Heilmittel und enthalten Wirkstoffe nicht in konzentrierter oder konzentrierbarer Form. Sie werden meist nach der Gesamtheit ihrer Inhaltsstoffe beurteilt und nicht nach isolierten Substanzen, daher ist diese Art der Aufklärung sicher kein primäres Anliegen der Forschung. Insbesondere bei Blattsalat würde sich seine Bitterstoffwirkung erst nach täglichem und über Jahre andauernden Verzehr zeigen und prospektive Studien erfordern. Der Nachweis physiologischer und gesundheitsbezogener Wirkungen konnte bis jetzt nur in vitro, im Tierfütterungsversuch und in retrospektiven Humanstudien geführt werden, deren Beweiskraft für eine endgültige Schlussfolgerung nicht ausreicht.

Ein eher vielversprechendes Untersuchungsfeld stellt die Metabolisierung und die Wege der Signaltransduktion von Bitterstoffen dar. Rezeptoren, die im Mund- und Rachenraum zu finden sind, befinden sich auch in den enteroendokrinen Zellen des Darmtraktes. Die nervale Weiterleitung der Bittersubstanzwahrnehmung und ihre Folgen, die Hormonfreisetzung und die dadurch ausgelöste Wirkung auf das Hunger- und Sättigungsgefühl beinhalten weiteres Untersuchungspotential.

Der Umstand, dass mehrere Bitterstoffrezeptoren oft die gleiche Substanz erkennen können und diese Rezeptoren über die gesamte Zunge verteilt zu finden sind, zeigt eine gewisse funktionelle Redundanz. Diese Eigenschaft hat sich bei der Emigration der Menschen in unbekannte Gebiete mit unbekannten Pflanzen und damit unbekannten Toxinen (ohne dabei die bereits bekannten zu vergessen) als selektiver Vorteil herausgestellt. Diese variantenreiche genetische Ausstattung befähigt uns dazu, eine Vorliebe für eine abwechslungsreiche Kost zu entwickeln und dadurch eine Versorgung mit möglichst vielen unterschiedlichen Nährstoffen zu garantieren.

Das Ausmaß des Anteils, den die Genetik und das Auftreten von Polymorphismen an der Ausbildung einer Geschmackspräferenz hat, kann bis heute noch nicht mit Sicherheit bestimmt werden. Vor allem bei der Etablierung einer Süßpräferenz ist dieser Umstand mit einer höheren Wahrscheinlichkeit verbunden, sein Gewicht längerfristig nicht kontrollieren zu können. Man ist gegenwärtig der Meinung, dass der Anteil, den die Umwelt zu dieser Prägung beiträgt, wesentlich größer und vor allem modifizierbar ist. Der „*Mere Exposure Effect*“ ist bei Kindern besonders groß. (Er beschreibt die Verfestigung einer Geschmacksvorliebe für ein bestimmtes Nahrungsmittel durch ständige und wiederholte Aufnahme) und soll durch die „*spezifisch sensorische Sättigung*“, die uns bei der Mahlzeite Auswahl immer zu geschmacklich andersartigen Lebensmitteln greifen lässt, im Laufe des Lebens ersetzt werden. Die Erforschung der Hintergründe über das Ausbilden von Präferenzen für bestimmte Geschmacksrichtungen und die Möglichkeit, dies zu beeinflussen,

könnten möglicherweise einen kleinen Beitrag zur Bekämpfung von Adipositas und deren Folgeerkrankungen leisten.

Obwohl es wissenschaftliche Hinweise gibt, dass Bitterstoffe eine positive Wirkung auf die Gesundheit besitzen, ist dieser spezifische Geschmack oft die Ursache, den Konsum von bitter schmeckenden Gemüsesorten zu vermeiden. Man sollte Bittergeschmack aber nicht ausschließlich mit der Erkennung von gesundheitsgefährdenden Substanzen verbinden. Kindern ist ein solche Überlegung nicht möglich, sie besitzen eine ausgeprägte Neophobie. Sie können dennoch mit der Zeit an viele verschiedene Geschmacksrichtungen gewöhnt werden und werden diese Gewohnheit auch später beibehalten.

Die Salatproduktion und der Vertrieb ist ein wesentlicher wirtschaftlicher Faktor der Lebensmittelindustrie und des Handels. Die Zunahme des Salatverzehr hat der heimischen Wirtschaft einen wesentlichen Impuls gegeben. Eine weitere Zunahme an wirtschaftlicher Bedeutung wird die mit 1.1.2008 in Kraft getretene Angleichung der Marktordnung an die Gemeinsame Agrarpolitik der EU bringen. Die Organisation der Einzelproduzenten in Erzeugerorganisationen wird die Marktnähe, die Preisstabilität und die Wettbewerbsfähigkeit stärken. Damit werden diese Organisationen für die in Österreich vorherrschende Konzentration im Lebensmitteleinzelhandel, der den wertmäßig größten Anteil am Verkauf der Frischgemüsearten innehat, ein Gegengewicht bilden.

Die Anwendung von Pestiziden und mineralischen Düngemitteln haben die Produktivität in der Landwirtschaft deutlich verbessert und ist inzwischen unverzichtbar geworden. Blattsalat gehört jedoch neben Mangold und Spinat zu den Kulturpflanzen, die am ehesten Pflanzenschutzmittel und - bei Überdüngung oder Klimaeinwirkung - Nitrat in den Blättern speichern, und damit eine Gefahr für den Konsumenten darstellen. Auf Mangel an Nährstoffen und zu wenig Wassergaben reagiert er ebenfalls empfindlich. Für den Produzenten erfordert die Aufrechterhaltung des Gleichgewichts zwischen Nährstoffgaben und der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln einerseits und

der Wirtschaftlichkeit und dem Schutz des Konsumenten andererseits eine ständige Aufmerksamkeit. Um dieser Aufgabe gerecht zu werden, stehen den Salatproduzenten bundesweit und regional Organisationen zur Verfügung, um Züchtungen für die ökologisch am besten geeigneten Sorten auszuwählen. Durch entsprechende Sortensichtungen und Kulturvorschriften wird die Produktionspalette ständig erweitert und den örtlichen Gegebenheiten angepasst. Erzeugerorganisationen beraten die Produzenten auch über Vermarktungsstrategien und finden für sie Absatzmärkte, die erfolgversprechend sind. Der Verbrauchszuwachs am Salatsektor zeigt das Vertrauen der Konsumenten in die Qualität und die Effektivität der Maßnahmenkontrolle bei der Salatproduktion und honoriert damit die Bemühungen der Beteiligten.

Salat verliert bei unsachgemäßer Reinigung und Lagerung einen großen Teil seiner gesunden Inhaltsstoffe, ebenso sind lange Transportwege und fehlende Kühlung zu vermeiden. Auch diesem Umstand wird bei der Produktion und Vermarktung Rechnung getragen. Das Wissen über die richtige Behandlung und Zubereitung von Blattsalat sollte auch für den Konsumenten eine Selbstverständlichkeit sein.

Den ernährungsphysiologischen Wert von Blattsalat nur auf seine geringe Energiedichte zu reduzieren und ihn nicht als Bereicherung des Speiseplanes anzusehen, ist nicht angebracht. Er kommt nicht ohne Marinade aus und kann mit wertvollen Ölen, durch Zugabe von Nüssen, Wildkräutern und/oder nährstoffreicheren Gemüsearten beliebig kombiniert werden, ohne seinen typischen und beim Konsumenten beliebten Geschmack zu verlieren. Sein Sortenreichtum bildet einen weiteren Anreiz, immer neue geschmackliche und optische Variationen zu entdecken.

10. Zusammenfassung

Es existiert ein breites Spektrum an pflanzlichen Nahrungsmitteln, die Bitterstoffe enthalten, wie z.B. Blattsalat, Kohlgemüsearten, Zitrusfrüchte, Hirsearten oder Sojaprodukte. Bittersubstanzen entfalten durch den Einfluss auf das vegetative Nervensystem ihre Bioaktivität und können tonisierende und auch beruhigende Wirkungen auslösen. Infolge Rezeptor vermittelter Signalwirkung regulieren sie das Hunger- und Sättigungsgefühl durch die Ausschüttung von gastrointestinalen Peptiden. Sie regen die Magen- und Darmmotilität an, indem sie weitere neuronale und hormonelle Signalwege aktivieren. Cytotoxische, entzündungshemmende und immunprotektive Wirkungen können nicht nur bei der Anwendung von bitteren Heilmitteln auftreten, sondern werden auch bei Nahrungspflanzen vermutet, verursacht durch die chemisch ähnliche Struktur ihrer Wirkstoffe.

Die Bitterintensität bei Gemüse und Obst bewirkt außerdem eine Begrenzung der Esslust im Gegensatz zu süßen oder bitterfreien Gerichten. Wiederholter und exzessiver Konsum von Süßspeisen kann zur Etablierung einer Süßpräferenz führen, die häufig zu einem gestörten Essverhalten führt. Die positive Einstellung zu Bitterstoffen wird auch in Zusammenhang mit dem bevorzugten Konsum einer abwechslungsreichen Kost gebracht. Biodiversität kann eine erhebliche Rolle bei der Bioaktivität von Metaboliten des sekundären Pflanzenstoffwechsels in einer Kost mit hohem Gemüseanteil spielen. Besonders bei diesen Inhaltsstoffen umfasst der gesundheitsfördernde Aspekt eine Reihe von Komponenten, die aufeinander einwirken und sich gegenseitig positiv beeinflussen.

Deutlicher Bittergeschmack bei Obst- oder Gemüseprodukten ruft bei Erwachsenen und besonders bei Kindern große Ablehnung hervor. Der häufige Konsum von Obst und Gemüse wird jedoch gegenwärtig mit einem geringeren Risiko assoziiert, Krebs, kardiovaskuläre Erkrankungen oder Übergewicht zu entwickeln und soll daher gefördert werden. Im Salat sind die Hauptbitterstoffe Lactucin und Lactupicrin nur in den Cichorium-Arten in einer Menge, die deutlich wahrnehmbar ist, vorhanden. Diese Mengen sind zu gering um eine

Ablehnung hervorzurufen. Daher kann uns Salat nicht nur mit essentiellen Nährstoffen versorgen, sondern versetzt uns auch in die Lage, von den Bioaktivitäten der Bitterstoffe zu profitieren. Darüber hinaus lassen ihn seine antioxidative Kapazität, die er dem Gehalt an Vitamin C und Polyphenolen verdankt, sein Gehalt an wasserlöslichen Ballaststoffen und seine niedrige Energiedichte als ein wirksames Mittel zur Bewahrung der Gesundheit erscheinen. Seine einfache und rasche Zubereitung macht ihn zu einer Art von „fast food“ im positiven Wortsinn und passt in die Anforderung der modernen Zeit. Salatvariationen sind eine perfekte Möglichkeit, die Empfehlung „5 Portionen Obst und Gemüse am Tag“ zu erfüllen und tragen einen erheblichen Teil dazu bei, unseren Geschmackssinn zu schulen, alle Bitterintensitäten wahrzunehmen und vielleicht auch zu mögen.

11. Summary

A wide spectrum of foodstuffs of plant origin contain bitter tasting substances, such as e.g. leaf salad, cruciferous vegetables, bitter citrus fruit, sorghum or soy products. Substances with bitter taste unveil their activity by affecting the autonomic nervous system and include both stimulating and sedative effects. Bitter receptor induced signal-transduction regulates appetite and satiety as triggering the release of gastrointestinal peptides. Bitter stimuli alter the motility of stomach and intestine via neural and hormonal pathways. Not only bitter remedies reveal cytotoxic, anti-inflammatory and immunoprotective effects, but also edible bitter-tasting plants are putative to possess similar properties due to the certain chemical structure of their ingredients.

The intensity of bitter-tasting in fruit and vegetables induces dietary restraint whereas enhanced sweet intensity creates a perceptual attitude. Extensive and repeated ingestion of sweet-tasting foods are supposed to establish a sweet preference and lead to eating disorder. Hedonic response to bitter agonists is furthermore implicated to generate affection to dietary botanical diversity and different taste qualities. Botanical diversity may determine the bioactivity of a high vegetable intake, because in the case of secondary metabolites of plants the healthy aspect consists of a number of elements, which contribute to the beneficial effect and interact in their different potentials.

Bitterness is a fundamental sensory deterrent for vegetable preference for adults and especially for children. Though diets rich in fruit and vegetables are presently associated with protection against development of cancer, cardiovascular diseases and obesity and are highly promoted therefore. Only *Cichorium* species comprise remarkable quantities of the main bitter components lactucin and lactupicrin. In other lettuce varieties the concentration is far below eliciting food rejection. Therefore lettuce is predestined not only to provide one with substances of nutritional significance but also to benefit from the variety of biological and pharmacological activities of its bitter constituents. The antioxidant capacity, due to vitamin C and polyphenols, the water soluble fibre content and the low energy supply makes it a powerful strategic mean to

protect health and last but not least the rapid preparing for consumption and the easy handling makes lettuce as convenient as “fast food”, meeting the requirement of a modern life-style. To follow the recommendation to consume “5 a day” servings of fruit and vegetables, lettuce with all its varieties and ingredients is the appropriate instrument and furthermore contributes to maintain our capability to train our sense of taste, perceiving and possibly liking the differences.

Literaturverzeichnis

AGES Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GmbH. Lebensmittelmonitoring 2006. Höchstwertüberschreitungen bei Kopfsalat

Internet:http://www.bmgfj.gv.at/cms/attachments/5/7/7/lebensmittelmonitoring_2006_national.pdf acc.12.6.2008

AHMED B, AL-HOWIRINY TA, SIDDIQUI AB. Antihepatotoxic activity of seeds of *Cichorium intybus*. J Ethnopharmacol 2003; 87: 237-240

AKBAS MY, ÖLMEZ H. Effectiveness of organic acid, ozonated water and chlorine dippings on microbial reduction and storage quality of fresh-cut iceberg lettuce. J Sci Food Agric 2007; 87:2609-16

BEHRENS M, BROCKHOFF A, KUHN C, BUFE B, WINNIG M, MEYERHOF W. The human taste receptor hTAS2R14 responds to a variety of different bitter compounds. Biochem Biophys Res Commun 2004; 319: 479-485

BEHRENS M, FOERSTER S, STAEHLER F, RAGUSE JD, MEYERHOF W. Gustatory expression pattern of the human TAS2R bitter receptor gene family reveals a heterogenous population of bitter responsive taste receptor cells. J. of Neuroscience 2007; 27 (46): 12630-640

BELL KI, TEPPER BJ. Short-term vegetable intake by young children classified by 6-n-propylthiouracil bitter-taste phenotype. Am J Clin Nutr 2006; 84:245-51

BENNET MH, MANSFIELD JW, LEWIS MJ, BEALE MH. Cloning and expression of sesquiterpene synthase genes from lettuce (*Lactuca sativa* L.). Phytochemistry 2002; 60 (3): 255-61

BESTWICK CS, BENNETT MH, MANSFIELD JW. Hrp mutant of *Pseudomonas syringae* pv *phaseolicola* induces cell wall alterations but not membrane damage leading to the hypersensitive reaction in lettuce. *Plant Physiol.* 1995; 108:503-516

BGV Bundesgemüsebauverband Österreich 2006 Internet: http://www.bgvoe.at/fileadmin/Media/Produktion/Vielfalt_der_Produkte/Saisonkalendar.pdf acc. 4.7.2008

BISCHOFF TA, KELLEY CJ, KARCHESY Y, LAURANTOS M, NGUYEN-DINH P, AREFI A. Antimalarial activity of lactucin and lactucopicrin: sesquiterpene lactones isolated from *Cichorium intybus* L. *J Ethnopharmacol* 2004; 95 (2-3): 455-457

BROADLEY MR, SEGNER I, BURNS A, ESCOBAR-GUTIERREZ AJ, BURNS IG, WHITE PJ. The nitrogen and nitrate economy of butterhead lettuce (*Lactuca sativa* var. *capitata* L.) *J Exp Bot* 2003; 54:2081-90

BROCKHOFF A, BEHRENS M, MASSAROTTI A, APPENDINO G, MEYERHOF W. Broad tuning of the human bitter taste receptor hTAS2R46 to various sesquiterpene lactones, clerodane and labdane diterpenoids, strychnine, and denatonium; *J. Agric. Food Chem.* 2007; 55(15): 6236-643

BUFE B, BRESLIN PA, KUHN C et al. The molecular basis of individual differences in phenylthiocarbamide and propylthiouracil bitterness perception. *Curr. Biol.* 2005; 15(4): 322-327

BUNDESKANZLERAMT Codex Alimentarius Austriacus 2000. Grenz-, Richt- und Höchstwerte; Blatt 1, Zl. 72.110/9-VII/1b/89 und GZ. 32.110/1-III/B/1b/92 Anlage: Grenzwerte für Nitrat in Gemüse

BUSHMAN BS, SCHOLT AA, CORNISH K et al. Identification and comparison of natural rubber from two *Lactuca* species. *Phytochemistry* 2006; 67(23): 2590-2596

CAPALDI ED et PRIVITERA GJ. Decreasing dislike for sour and bitter in children and adults. *Appetite* 2008; 50:139-145

CASSAN L, CORBINEAU F, LIMAMI AM. Genetic variability of nitrogen accumulation during vegetative development and remobilization during the forcing process in witloof chicory tuberized root (*Cichorium intybus* L.) *J Plant Physiol* 2008; doi: 10.1016/j.jplph.2007.11.014 article in press

CAVIN C, DELANNOY M, MALNOE A, DEBEFVE E, TOUCHÉ A, COURTOIS D, SCHILTER B. Inhibition of the expression and activity of cyclooxygenase-2 by chicory extract. *Biochem Biophys Res Commun* 2005; 327:742-749

CHEN MC, WU SV, REEVE JR, ROZENGURT E. Bitter stimuli induce Ca^{2+} signaling and CCK release in enteroendocrine STC-1 cells: role of L-type voltage-sensitive Ca^{2+} channels. *Am J Physiol Cell Physiol* 2006; 291:C726-739

CHO JY, KIM AR, JUNG JH, CHUN T, RHEE MH, YOO ES. Cytotoxic and pro-apoptotic activities of cynaropicrin, a sesquiterpene lactone, on the viability of leukocyte cancer cell lines. *Eur J Med Chem* 2004; 49:85-94

DEGL'INNOCENTI E, PARDOSSI A, TOGNONI F, GUIDI L. Physiological basis of sensitivity to enzymatic browning in 'lettuce', 'escarole' and 'rocket salad' when stored as fresh-cut products. *Food Chem* 2007; 104:209-215

DINEHART ME, HAYES JE, BARTOSHUK LM, LANIER SL, DUFFY VB. Bitter taste markers explain variability in vegetable sweetness, bitterness, and intake. *Physiol Behav* 2006; 304-313

DREWNOWSKI A, HENDERSON SA, COCKROFT JE. Genetic sensitivity to 6-n-Propylthiouracil has no influence on dietary patterns, body mass indexes, or plasma lipid profiles of women. *J Am Diet Assoc* 2007; 1340-1348

ELFHAG K, ERLANSON-ALBERTSSON C. Sweet and fat taste preference in obesity have different associations with personality and eating behavior. *Physiol Behav* 2006; 61-66

FERNANDES MB, SCOTTI MT, FERREIRA MJP, EMERENCIANO VP. Use of self-organizing maps and molecular descriptors to predict the cytotoxic activity of sesquiterpene lactones. *Eur J Med Chem* 2008 article in press. Internet: <http://www.sciencedirect.com> doi:10.1016/j.ejmech.2008.01.003

FOSTER JG, CLAPHAM WM, BELESKY DP, LABREVEUX M, HALL MH, SANDERSON MA. Influence of cultivation site on Sesquiterpene Lactone composition of forage chicory (*Cichorium intybus* L.) *J Agric Food Chem* 2006; 54:1772-78

GERTSCH J, STICHER O, SCHMIDT T, HEILMANN J. Influence of helenanolide-type sesquiterpene lactones on gene transcription profiles in Jurkat T cells and human peripheral blood cells: anti-inflammatory and cytotoxic effects. *Biochem Pharmacol* 2003; 66: 2141-253

GONZALEZ-RODRIGUEZ RM, RIAL-OTERO R, CANCHO-GRANDE B, SIMAL-GANDARA J. Determination of 23 pesticide residues in leafy vegetables using gas chromatography-ion trap mass spectrometry and analyte protectants. *J Chromatogr A* 2008; doi: 10.1016/j.chroma.2008.02.087 article in press

HANCE P, MARTIN Y, VASSEUR J, HILBERT J, TROTIN F. Quantification of chicory root bitterness by an ELISA for 11 β ,13-dihydrolactucin. *Food Chem* 2007; 105: 742-748

HARBORNE JB, BAXTER H, MOSS GP. In: *Phytochemical Dictionary*; London: Taylor and Francis Ltd., 1999: 135, 350, 395, 522, 526, 668, 681, 818

HARTZ C, SAN MIGUEL-MONICIN MM, CISTERO-BAHIMA A et al. Molecular characterisation of Lac s 1, the major allergen from lettuce (*Lactuca sativa*). *Mol Immunol* 2007; 44(11):2820-30

HASSENBERG K, IDLER C, MOLLOY E, GEYER M, PLÖCHL M, BARNES J. Use of ozone in a lettuce-washing process: an industrial trial. *J Sci Food Agric* 2007; 87:914-919

HINRICHS AL, WANG JC, BUFE B et al. Functional variant in a bitter-taste receptor (hTAS2R16) influences risk of alcohol dependence. *Am.J.Hum.Genet.* 2006; 78: 103-111

KANG BY, CHUNG SW, KIM TS. Inhibition of interleukin-12 production in lipopolysaccharide-activated mouse macrophages by parthenolide, a predominant sesquiterpene lactone in *Tanacetum parthenium*: involvement of nuclear factor- κ B. *Immunol Lett* 2001; 77:159-163

HOU CC, LIN SJ, CHENG JT, HSU FL. Antidiabetic dimeric guaianolides and a lignan glycoside from *Lactuca indica*. *J Nat Prod* 2003; 66(5):625-629

KEAST RSJ, ROPER J. A complex relationship among chemical concentration, detection threshold, and suprathreshold intensity of bitter compounds. *Chem Senses* 2007; 32: 245-253

KIERS AM, MES THM, van der MEJDEN R, BACHMANN K. A search for diagnostic AFLP markers in *Cichorium* species with emphasis on endive and chicory cultivar groups; *Genome* 2000; 43 (3): 470 – 476

KISIEL W, MICHALSKA K. Sesquiterpenoids and phenolics from roots of *Cichorium endivia* var. *crispum*. *Filoterapia* 2006; 77 (5): 354-357

KISIEL W, ZIELINSKA K. Guaianolides from *Cichorium intybus* and structure revision of *Cichorium* sesquiterpene lactones. *Phytochemistry* 2001; 57(4): 523-527

KISIEL W, ZIELINSKA K. Lignans and sesquiterpenoids from *Lactuca sibirica*.
Filoterapia, 2008 article in press

KOOPMAN WJ, ZEVENBERGEN MJ, van den BERG RG. Species relationships in *Lactuca* S.L. (Lactuceae, Asteraceae) inferred from AFLP fingerprints. *Am J Bot* 2001; 88(10): 1881-1887

KRAKER JW, FRANSSEN MCR, DALM MCF, de GROOT A, BOUW-MEESTER HJ. Biosynthesis of Germacrene A carboxylic acid in chicory roots. *Plant Physiol* 2001; 125:1930-1940

KRAKER JW, FRANSSEN MCR, de GROOT A, KÖNIG WA, BOUWMEESTER HJ. (+)- Germacrene A Biosynthesis. *Plant Physiol* 1998; 117: 1381-1392

KRAKER JW, FRANSSEN MCR, JOERINK M, de GROOT A, BOUWMEESTER HJ. Biosynthesis of Costunolide, Dihydrocostunolide, and Leucodin. Demonstration of Cytochrome P450-catalyzed formation of the lactone ring present in sesquiterpene lactones of chicory. *Plant Physiol* 2002; 129: 257-268

LANDWIRTSCHAFTSKAMMER. Tätigkeitsbericht der Burgenländischen Landwirtschaftskammer 2006. Internet: http://www.landwirtschaftskammer.at/netautor/napro4/appl/na_professional/parse.php?id=2500%2C1271475%2C%2C%2C acc. 12.6.2008

LEBEDA A, SEDLAROVA M, LYNN J, PINK DA. Phenotypic and histological expression of different genetic backgrounds in interactions between lettuce, wild *Lactuca ssp.*, *L. sativa* x *L. serriola* hybrids and *Bremia lactucae*. *Eur J Plant Pathol* 2006;115:431 – 441

LEBENSMINISTERIUM, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft. Außenhandel mit agrarischen Produkten und Lebensmitteln 2006. Internet: <http://www.land.lebensministerium.at/article/articleview/60088/1/20560> acc. 2.7.2008

Vermarkungsnorm für Salate, krause Endivie und Eskariol 2005. Internet: <http://aktuell.lebensministerium.at/article/articleview/18691/1/5178> acc. 2.7.2008

Lebensmittelbericht 2006, Kap. 2.3.Gemüse.

Internet :

<http://lebensmittel.lebensministerium.at/article/articleview/63881/24306>

acc.12.6.2008

LEMON CH, KATZ DB. The neural processing of taste. *BMC Neurosci* 2007;8 (3):S5. Internet: <http://www.biomedcentral.com/1471-2202/8/S3/S5> acc.14.5.2008

LINDENMEYER MT, HRENN A, KERN C et al. Sesquiterpene lactones as inhibitors of IL-8 expression in HeLa cells. *Bioorg Med Chem* 2006; 14:2487-2497

LINKER R, JOHNSON-RUTZKE C. Modeling the effect of abrupt changes in nitrogen availability on lettuce growth, root-shoot partitioning and nitrate concentration. *Agric Syst* 2005; 86:166-189

LÜTTGE U.; KLUGE M.; BAUER G. Die Naturstoffe: Pflanzen als vielseitige Synthetiker in: *Botanik*. Weinheim: Wiley-VCH Verlag, 2005: 195-197

MATOBA H, MIZUTANI T, NAGANO K, HOSHI Y, UCHIYAMA H. Chromosomal study of lettuce and its allied species (*Lactuca* ssp., Asteraceae) by means of karyotype analysis and in situ hybridisation. *Hereditas* 2007;144 (6): 235–243

MENNELLA JA, PEPINO MY, REED DR. Genetic and environmental determinants of bitter perception and sweet preferences. *Pediatrics* 2005; 115(2):e216-222

MELLIU E, MAGIATIS P, SKALTSOUNIS AL. Alkylresorcinol Derivatives and Sesquiterpene Lactones from *Cichorium spinosum*. *J Agric Chem* 2003; 51: 1289-1292

MERFORT I. Review of the analytical techniques for sesquiterpenes and sesquiterpene lactones. *J Chromatogr A* 2002; 967:115-130

MEYERHOF W, BEHRENS M, BROCKHOFF A, BUFE B, KUHN C. Human bitter taste perception. *Chem Senses* 2005; 30 (1):i14-i15

MICHALSKA K, KISIEL W. Further sesquiterpene lactones from *Cichorium spinosum*. *Biochem Syst Ecol* 2007; 35: 714-716

MYERS KP, SCALFANI A. Development of learned flavor preferences. Wiley InterScience 2006. Internet: www.interscience.wiley.com. Doi 10.1002/dev.20147 ; 380-388. acc. 14.7.2008

PAVLOU GC, EHALIOTIS CD, KAVVADIAS VA. Effect of organic and inorganic fertilizers applied during successive crop seasons on growth and nitrate accumulation in lettuce. *Sci Hort* 2007; 111:319-325

PELZMANN H. Gemüsebaupraxis. Leopoldsdorf: Agrarverlag, 2004

PETERS AM, van AMERONGEN A. Sesquiterpene lactones in chicory (*Cichorium intybus* L.). *Food Res Intern* 1996; 29 (5-6): 439-444

POLI F, SACCHETTI G, TOSI B et al. Variation in the content of the main guaianolides and sugars in *Cichorium intybus* var. "Rosso di Chioggia" selections during cultivation. *Food Chem* 2002; 76: 139-147

REED DR, TANAKA T, McDANIEL AH. Diverse tastes: Genetics of sweet and bitter perception. *Physiol Behav* 2006; 88:215-226

RYCKAERT B, SPANOGHE P, HAESAERT G, HEREMANS B, ISEBAERT S, STEURBAUT W. Quantitative determination of the influence of adjuvants on foliar fungicide residues. *Crop Prot* 2007; 26:1589-94

RODGERS S, BUSCH J, PETERS H, CHRIST-HAZELHOF E. Building a tree of knowledge: analysis of bitter molecules. *Chem Senses* 2005; 30 (7): 547-557

RODRIGUEZ C, LANG L, WANG A, ALTENDORF K, GARCIA F, LIPSKI A. Lettuce for human consumption collected in Costa Rica contains complex communities of culturable oxytetracycline- and gentamicin-resistant bacteria. *Appl Environ Microbiol* 2006 ; 72(9):5870-76

ROZENGURT E. Taste receptors in the gastrointestinal tract. I. Bitter taste receptors and α -gustducin in the mammalian gut. *Am J Physiol Gastrointest Liver Physiol* 2006; 291:171-177

ROZENGURT E, STERNINI C. Taste receptor signaling in the mammalian gut. *Curr Opin Pharmacol* 2007; 7: 557-562

SAINZ E, CAVENAGH MM, GUTIERREZ J, BATTEY JF, NORTHUP JK. Functional characterization of human bitter taste receptors. *Biochem J* 2007; 403: 537-543

SCHMIDT BM, ILIC N, POULEV A, RASKIN I. Toxicological evaluation of a chicory root extract. *Food Chem Toxicol* 2007; 45:1131-1139

SCHMIDT T, HEILMANN J. Quantitative structure-cytotoxicity relationships of sesquiterpene lactones derived from partial charge (Q)-based fractional Accessible Surface Area Descriptors (Q_frASAs); *Qant. Struct.-Act.Relat.* 21: 276-287. Weinheim: Wiley-VCH 2002

SCHMIDT TJ, LYß G, PAHL HL, MERFORT I. Helenanolide type sesquiterpene lactones. Part 5: The role of glutathione addition under physiological conditions; *Bioorg Med Chem* 1999; 7: 2849-2855

SCOTTI L, SCOTTI MT, ISHIKI HM, FERREIRA MJP EMERENCIANO VP, MENEZES CM, FERREIRA EI. Quantitative elucidation of the structure-bitterness relationship of cynaropicrin and grosheimin derivatives. *Food Chem* 2007; 105:77-83

SCOTTI MT, FERNANDES MB, FERREIRA MJP, EMERENCIANO VP. Quantitative structure-activity relationship of sesquiterpene lactones with cytotoxic activity. *Bioorg Med Chem* 2007; 15: 2927-934

SEDLAROVA M, LUHOVA L, PETRIVALSKY M, LEBEDA A. Localisation and metabolism of reactive oxygen species during *Bremia lactucae* pathogenesis in *Lactuca sativa* and wild *Lactuca* spp. *Plant Physiol Biochem* 2007; 45:607-616

SESSA RA, BENNET MH, LEWIS MJ, MANSFIELD JW, BEALE MH. Metabolite Profiling of Sesquiterpene Lactones from *Lactuca* Species. *J Biol Chem* 2000; 275 (35):26877-84

SOUCI S, FACHMANN W, KRAUT H. Gemüse/ Blatt-, Stängel- und Blütengemüse in: *Die Zusammensetzung der Lebensmittel – Nährwerttabellen*. Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft 2008; 819-20, 823-24, 837 –39

STATISTIK AUSTRIA Versorgungsbilanzen für Gemüse, erstellt am 30.4.2008.
Internet:

http://www.statistik.at/web_de/static/versorgungsbilanz_fuer_gemuese_200102_-200607_022323.pdf acc. 2.7.2008

STATISTIK AUSTRIA Gemüseernte 2007. Internet: http://www.statistik.at/web_de/static/Gemueseernte_2007_endgueltige_ergebnisse_028411.pdf acc. 2.7.2008

STERNINI C. Taste receptors in the gastrointestinal tract. IV. Functional implications of bitter taste receptors in gastrointestinal chemosensing.; *Am J Physiol Gastrointest Liver Physiol* 2007; 292 (2): G457-461

STRASBURGER E. Bakterien, Pilze und Pflanzen in: *Lehrbuch der Botanik*. Heidelberg : Spektrum Verlag, 2002:858-860

TIMPSON NJ, HERON J, DAY I et al. Refining associations between TAS2R38 diplotypes and the 6-n-propylthiouracil (PROP) taste test: findings from the Avon Longitudinal Study of Parents and Children. *BMC Genet* 2007 8:51.
Internet: <http://www.biomedcentral.com/1471-2156/8/51> acc. 14.5.2008

UNIPROT CONSORTIUM. Species *Lactuca sativa* in :Taxonomy. Internet: <http://beta.uniprot.org/taxonomy> acc. 17.3.2008

UNIVERSITÄT HAMBURG, Department Biologie. Isoprenoide/Terpene in: *Botanik-online*. Internet:<http://www.biologie.uni-hamburg.de/b-online/d20/20b.htm> acc. 16.4.2008

UNMANN A. Salate. Professioneller Salatanbau im Freiland. Wien: Österreichischer Agrarverlag, 2006.

VERSUCHSSTATION für Spezialkulturen Wies. Versuche und Ergebnisse 2007. Internet: <http://www.spezialkulturen.at>. acc. 4.6.2008

WAGNER S, KRATZ F, MERFORT I. In vitro behaviour of sesquiterpene lactones and sesquiterpene lactone-containing plant preparations in human blood, plasma and human serum albumin solutions. *Planta Med* 2004; 70:227-233

WESOLOWSKA A, NIKIFORUK A, MICHALSKA K, KISIEL W, CHOJNACKA-WOJCIK E. Analgesic and sedative activities of lactucin and some lactucin-like guaianolides in mice. *J Ethnopharmacol* 2006; 107(2): 254-258

WIECZOREK JK, WIECZOREK ZJ. Phytotoxicity and accumulation of anthracene applied to the foliage and sandy substrate in lettuce and radish plants. *Ecotoxicol Environ Saf* 2007; 66:369-377

WU H, SU Z, YANG Y, BA H, ALSA HA. Isolation of three sesquiterpene lactones from the roots of *Cichorium glandulosum* Boiss. et Huet. by high-speed counter-current chromatography. *J Chromatogr A* 2007; 1176(1-2): 217-222

XING J, XIE C, LOU H. Recent applications of liquid chromatography-mass spectrometry in natural products bioanalysis. *J Pharm Biomed Anal* 2007; 44: 368-378

YEOMANS MR, TEPPER BJ, RIETZSCHEL J, PRESSCOTT J. Human hedonic response to sweetness: Role of taste genetics and anatomy. *Physiol Behav* 2007; 91:264-273

ZAFAR R, MUJAHID AS. Anti-hepatotoxic effects of root and root callus extracts of *Cichorium intybus* L. *J Ethnopharmacol* 1998; 63 (3): 227-231

Weitere Internetreferenzen

<http://www.giftpflanzen.com> (acc.2.6.2008)

Lebenslauf

Name: Hildegard Jäger
Geburtsdatum: 21.4.1945 in Seekirchen, Sbg.

Ausbildung

1951 – 1955 Volksschule in Bad Sauerbrunn, Bgld.
1955 – 1959 Bundesrealgymnasium Wr. Neustadt
1959 – 1963 HAK Wr. Neustadt, Abschluss mit Matura
2001 Studium der Ernährungswissenschaften, Universität Wien

Berufliche Tätigkeiten

1966 – 1972 Stadtgemeinde Berndorf, Vertragsbedienstete
1972 – 1973 NCR GmbH, Wien, Assistenz der Verkaufsleitung
1973 – 2000 Sparkasse Baden, Kundenberater Auslands- und Wertpapiergeschäft
2000 Pensionierung
2000 – lfd. freiwillige Mitarbeiterin Rotes Kreuz Wien, Gesundheits- und Soziale Dienste

Berufliche Weiterbildung

1963 Certificate in English, Cambridge Exam, London
1983 – 1984 Spanischkurs Lateinamerika Institut, Wien
1986 Business English, WIFI, Wien

Praktika während des Studiums

2007 AKE Arbeitskreis f. klinische Ernährung, Wien
2007 Institut für Ernährungswissenschaften, Wien
2008 Landespflegeheim Helenenheim, Baden

Wien, Oktober 2008

Hildegard Jäger