

Aus der Medizinischen Klinik und Poliklinik IV

Ludwig-Maximilians-Universität München

Direktor: Prof. Dr. med. M. Reincke

Abteilung Endokrinologie

Leiter: Prof. Dr. med. R. Gärtner

**Validität der Abschätzung der Jod- und Selenzufuhr anhand eines Food-Frequency-Tables und der Versorgung mit diesen beiden Spurenelementen ermittelt durch die Jodurie und Plasmaselenwerte bei omnivoren, lacto-vegetarisch und vegan sich ernährenden Personen**

Eine epidemiologische klinische Querschnittstudie

DISSERTATION

zur Erlangung des akademischen Grades

Doctor medicinae (Dr. med.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät der LMU München

von

Thomas Hildbrand

aus

Radolfzell

2014

Mit der Genehmigung der Medizinischen Fakultät der LMU München

Berichterstatter: Prof. Dr. med. Dr. med. habil. O. Adam

Mitberichterstatter: Priv. Doz. Dr. Klaus Adelhard

Dekan: Prof. Dr. med. Dr. h.c. M. Reiser, FACR,  
FRCR

Tag der mündlichen Prüfung: 31.07.2014

Es ist nicht genug, zu wissen, man muss auch anwenden; es ist nicht genug  
zu wollen, man muss auch tun.“

*Johann Wolfgang von Goethe - Wilhelm Meisters Wanderjahre*

Meinen Eltern Ulrike und Helmut, meinem Bruder Daniel und meiner Frau  
Stephanie Maria in Liebe und Dankbarkeit gewidmet.



# Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	VII
Tabellenverzeichnis.....	IX
Abkürzungsverzeichnis .....	XI
1 Einleitung .....	1
1.1 Ernährungsepidemiologische Studien .....	1
1.2 Aktueller ernährungsepidemiologischer Fokus .....	1
1.3 Jodmangel & Selenmangel.....	2
1.4 Autoimmunthyreoiditis / Hashimoto – Thyreoiditis (AIT) .....	3
1.5 Ernährungsformen: omnivor, vegetarisch, vegan .....	5
2 Grundlagen .....	9
2.1 Grundlagen & Bedeutung des Mikronährstoffs Jod .....	9
2.1.1 Von der Entdeckung des Jods zur Speisesalzjodierung.....	9
2.1.2 Vorkommen – Umwelt, Nahrung .....	10
2.1.3 Stoffwechsel - Aufnahme, Metabolismus, Ausscheidung.....	12
2.1.4 Physiologische Funktion.....	12
2.1.5 Bedarf, Versorgungsstatus, Referenzbereich.....	13
2.1.6 Jodmangel und Risikopersonen für Mangelversorgung .....	15
2.1.7 Jodübersversorgung .....	15
2.2 Grundlagen & Bedeutung des Mikronährstoffs Selen .....	15
2.2.1 Von der Entdeckung des Selens bis zur heutigen Bedeutung.....	15
2.2.2 Vorkommen - Umwelt, Nahrung .....	16
2.2.3 Stoffwechsel - Aufnahme, Metabolismus, Ausscheidung .....	18
2.2.4 Physiologische Funktion.....	18
2.2.5 Bedarf, Versorgungsstatus, Referenzbereich.....	19
2.2.6 SePP als Marker zur Selenbestimmung.....	20
2.2.7 Selenmangel und Risikopersonen für Mangelversorgung .....	21
2.2.8 Selenübersversorgung .....	22
2.2.9 Selen und Krankheiten .....	22
3 Fragestellung & Zielsetzung.....	25
4 Material und Methoden .....	27
4.1 Studiendesign / Untersuchungskollektiv / Organisation .....	27

4.2 Methodik .....	28
4.3 Ablauf.....	28
4.4 Erhebungsinstrumente.....	29
4.4.1 Fragebogen zu Ernährungsgewohnheit und Verzehrshäufigkeit zur Erfassung der Zufuhr von Jod und Selen (FFT) .....	29
4.4.2 Laborparameter Blut/Urin .....	33
4.4.2.1 Urinjodausscheidung / Jodurie.....	33
4.4.2.2 Plasmaselen und SePP .....	34
4.5 Datenauswertung und Statistische Methoden:.....	34
5 Ergebnisse: .....	37
5.1 Probandenkollektiv.....	37
5.2 Zufuhrergebnisse aus dem FFT.....	39
5.2.1 Jod.....	39
5.2.2 Selen .....	41
5.3 Versorgungsstatus der Mikronährstoffe Jod und Selen mittels laborchemischer Analyse der Biomarker: Jodurie, Plasmaselen & SePP.....	45
5.3.1 Jodurie.....	45
5.3.1.1 Schweregrad der festgestellten Jodmangelsituation.....	47
5.3.2 Plasmaselen.....	48
5.3.2.1 Ausprägung Plasmaselenstatus .....	52
5.3.3 Selenoprotein P (SePP) .....	53
5.3.3.1 Ausprägung SePP- Status .....	56
5.4 Überprüfung auf Normalverteilung mittels QQ-Plots .....	57
5.5 Betrachtung des Zusammenhangs zwischen geschätzter Zufuhr und gemessenen Daten durch Gegenüberstellung der Daten aus dem FFT und den laborchemischen Daten .....	62
6 Diskussion/Problemstellung: .....	73
6.1 Allgemeine Daten anhand des FFT / Beeinflussung der Nährstoffzufuhr ..	73
6.2 Validierung des FFT durch Gegenüberstellung der Verzehrsdaten mit den Biomarkern.....	75
6.3 Zufuhrergebnisse der Nährstoffe Jod und Selen aus dem FFT .....	78
6.3.1 Jod.....	78
6.3.2 Selen .....	80
6.4 Validierung der Jod- und Selenzufuhr mittels laborchemischer Analyse der Biomarker: Jodurie, Plasmaselen & SePP .....	82

---

6.4.1 Jodurie & Schweregrad der festgestellten Jodmangelsituation .....	83
6.4.2 Plasmaselen und Schweregrad der festgestellten Mangelsituation .....	83
6.4.3 SePP .....	85
7 Zusammenfassung.....	89
8 Literatur .....	91
Danksagung .....	105
Selbstständigkeitserklärung.....	107
Anhang .....	109



## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Beitrag der Lebensmittel zur Jodversorgung.....	11
Abb. 2:	Beitrag zur täglichen Selenversorgung.....	18
Abb. 3:	Gegenüberstellung der Medianwerte der FFT- ermittelten Jodzufuhr. ....	39
Abb. 4:	Boxplot zum Vergleich der geschätzten Jodzufuhr mittels FFT.....	40
Abb. 5:	Histogramm zur Darstellung der Medianwerte der Selenzufuhr. ....	42
Abb. 6:	Boxplot zum Vergleich der täglichen nutritiven Selenzufuhr in µg/Tag.....	43
Abb. 7:	Histogramm zur Darstellung der Medianwerte der Jodurie zur Einschätzung des Jodversorgungsstatus. ....	45
Abb. 8:	Boxplot zum Vergleich der Jodurie.....	46
Abb. 9:	Aufteilung des Jodmangels in Schweregrade. ....	48
Abb. 10:	Histogramm zur Darstellung der Medianwerte der Plasmaselenwerte zur Einschätzung des Selenversorgungsstatus.....	49
Abb. 11:	Boxplot zum Vergleich der Plasmaselenwerte. ....	50
Abb. 12:	Beurteilung der Selenversorgungssituation anhand der Plasmaselenkonzentration. ....	52
Abb. 13:	Beurteilung der Selenversorgungssituation anhand der Plasmaselenkonzentration. ....	53
Abb. 14:	Darstellung der Medianwerte des SePP.....	54
Abb. 15:	Boxplot zum Vergleich des SelenoproteinP.....	55
Abb. 16:	Beurteilung der Selenversorgungssituation anhand des Biomarkers SePP.....	57
Abb. 17:	Darstellung der Datenverteilung der Jodurie innerhalb der omnivoren Kostgruppe .....	58
Abb. 18:	Darstellung der Datenverteilung der Jodurie innerhalb der vegetarischen Kostgruppe.....	58
Abb. 19:	Darstellung der Datenverteilung der Jodurie innerhalb der veganen Kostgruppe .....	59
Abb. 20:	Darstellung der Datenverteilung des Plasmaselenspiegels innerhalb der omnivoren Kostgruppe .....	59
Abb. 21:	Darstellung der Datenverteilung des Plasmaselenspiegels innerhalb der vegetarischen Kostgruppe.....	60
Abb. 22:	Darstellung der Datenverteilung des Plasmaselenspiegels innerhalb der veganen Kostgruppe .....	60
Abb. 23:	Darstellung der Datenverteilung des Selenoprotein P-Spiegels innerhalb der omnivorenen Kostgruppe .....	61

---

Abb. 24:	Darstellung der Datenverteilung des Selenoprotein P-Spiegels innerhalb der vegetarischen Kostgruppe .....	61
Abb. 25:	Darstellung der Datenverteilung des Selenoprotein P-Spiegels innerhalb der veganen Kostgruppe .....	62
Abb. 26:	Gegenüberstellung Zufuhr/ Versorgungsstatus .....	63
Abb. 27:	Streudiagramm mit der Korrelation Jodzufuhr und Jodurie sowie Regressionsgeraden. ....	64
Abb. 28:	Gegenüberstellung Zufuhr/ Versorgungsstatus.....	65
Abb. 29:	Streudiagramm mit der Korrelation Selenzufuhr und Plasmaselen sowie Regressionsgeraden. ....	66
Abb. 30:	Gegenüberstellung Zufuhr/ Versorgungsstatus .....	67
Abb. 31:	Streudiagramm mit der Korrelation Selenzufuhr und SePP sowie Regressionsgeraden. ....	68

## Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Jodversorgung innerhalb Europa.....	14
Tab. 2:	Risikopersonen für Selenmangel .....	21
Tab. 3:	Lebensmittelgruppen/Nährstoffgehalte des Ernährungsfragebogens ...	31
Tab. 4:	Allgemeine Daten.....	37
Tab. 5:	Eingenommene Medikamente / Nahrungsergänzungsmittel.....	38
Tab. 6:	Prozentualer Anteil Raucher, Exraucher, Nichtraucher.....	38
Tab. 7:	Salzverwendung im Haushalt.....	39
Tab. 8:	Durchschnittliche Jodzufuhr( µg/Tag)* auf Basis des FFT .....	41
Tab. 9:	Durchschnittliche Selenzufuhr ( µg/Tag)* auf Basis des FFT.....	44
Tab. 10:	Durchschnittliche Jodurie (µg/L)* .....	47
Tab. 11:	Durchschnittliche Plasmaselen- Konzentration ( µg/L)* .....	51
Tab. 12:	Durchschnittliche Selenoprotein P - Konzentration (mg/L).....	56
Tab. 13:	Korrelationskoeffizienten zwischen FFT & Biomarkern sowie p-Wert: ..	69
Tab. 14:	Unterschiede der Mikronährstoffzufuhr (mittels FFT erhoben) zwischen den jeweiligen Kostgruppen.....	70
Tab. 15:	Unterschiede der Biomarker zwischen den jeweiligen Kostgruppen.....	70
Tab. 16:	Tägliche Selenzufuhr .....	81
Tab. 17:	Übersicht der Studienlage zur Selenversorgung von vegetarisch und vegan lebenden Menschen im Vergleich zur omnivoren Kostgruppe...	82
Tab. 18:	Selenspiegel im Plasma, die in der Literatur als Indikatoren für eine ausreichende Versorgung angesehen werden in (µg/L) .....	85



## Abkürzungsverzeichnis

$\alpha$	Irrtumswahrscheinlichkeit
Abb.	Abbildung
AIT	Autoimmunthyreoiditis
Ak	Antikörper
d	Tag
DGE	Deutsche Gesellschaft für Ernährung
fT3	freies Trijodthyronin
fT4	freies Tyroxin
FFT	Food-Frequency-Table
GPx	Glutathionperoxidase
KG	Körpergewicht
L	Liter
$\mu$ g	Mikrogramm
mg	Milligramm
Mk	Mischköstler (omnivore Kostform)
Mio.	Million
Mrd.	Milliarde
n	Anzahl
NE	Nahrungsergänzungsmittel
n.s.	nicht signifikant
p	p-Wert
r	Korrelationskoeffizient
rT3	reverse T3
ROS	Radikale Sauerstoff Species
SePP	Selenoprotein P
Tab.	Tabelle
T3	Trijodthyronin
T4	Tyroxin
Tg	Thyreoglobulin
TPO	Thyreoidale Peroxidase
TRAK	TSH-Rezeptor-Antikörper
TSH	thyreoideastimulierendes Hormon
Vg	Veganer

Vgt

Vegetarier

WHO

World Health Organization

# **1 Einleitung**

Bei der vorliegenden Dissertation handelt es sich um eine ernährungsepidemiologische Querschnittsstudie, die im Zeitraum von Mai 2009 bis Dezember 2009 an der LMU München durchgeführt wurde. Diese Arbeit beschäftigt sich mit den Spurenelementen Jod und Selen, der Validierung eines geeigneten, die Zufuhr schätzenden Erhebungsinstrumentes und der tatsächlichen Versorgungssituation mit diesen Spurenelementen bei omnivorer, vegetarischer und veganer Ernährungsweise.

## **1.1 Ernährungsepidemiologische Studien**

Mit ernährungsepidemiologischen Studien sollen Expositionsfaktoren wie a) die Verteilung, b) die Häufigkeit und c) die Determinanten einer Krankheit in menschlichen Bevölkerungsgruppen untersucht werden, v.a., um ihren Ursachen auf die Spur zu kommen und, um Empfehlungen zur primären Krankheitsprävention abgeben zu können (Keil 1998). Um Fragen zu Zusammenhängen zwischen Ernährungsverhalten und Erkrankungsrisiko nachgehen zu können, müssen standardisierte epidemiologische Studiendesigns zur Anwendung kommen. Ein methodisch wichtiger Schritt zur Gewinnung richtiger epidemiologischer Daten ist dabei die Validierung angewandter Erhebungsinstrumente wie dem Food-Frequency-Fragebogen/-Table (FFT). Verschiedene Forscher bezeichnen den Food-Frequency-Questionnaire als wichtigste Beurteilungsmethode in ernährungsepidemiologischen Studien, um Ernährungsgewohnheiten zu messen (Willet et Lenart 1998).

## **1.2 Aktueller ernährungsepidemiologischer Fokus**

Das Interesse der modernen Ernährungsepidemiologie gilt zwar vorrangig Volkskrankheiten wie Herz-Kreislauf-Erkrankungen und Schlaganfall, verschiedenen Krebserkrankungen, Diabetes mellitus, Adipositas, Osteoporose, Krankheiten des rheumatischen Formenkreises und anderen. Ursächlich sind neben der Ernährung, genetische, soziale und physikalisch-chemische Umweltfaktoren von Bedeutung. Auch Lebensstilveränderungen der heutigen Zeit wie mangelnde körperliche Aktivität, Stress sowie Konsum von Alkohol, Tabak und anderen berauschenden und aufputschenden Mitteln tragen erheblich dazu bei.

Besorgniserregend scheinen aber gerade auch die in den Industriestaaten noch immer gehäuft auftretenden Krankheiten, die durch Mangel an bestimmten Mikronährstoffen bedingt sind, trotz sonst adäquater Nährstoffbilanz und Lebensweise.

### 1.3 Jodmangel & Selenmangel

Im Festland der Erde befinden sich etwa 1,8-8,5 µg Jod/kg Boden im Vergleich zu etwa 50-60µg Jod/Liter Meereswasser (Manz 1990). Ebenso ist Selen in der Erdkruste meist nur noch in Spuren (50-200µg/kg Boden) nachweisbar (Holleman 1995). Somit können in den Jod- und Selenmangelländern, zu denen auch Deutschland zählt, nur geringe Konzentrationen an Jod und Selen über die natürliche heimische Nahrungskette zugeführt und der Organismus damit ausreichend versorgt werden (Adam 2003). Chronische Mangelsituationen an Mikronährstoffen gelten daher als erhebliche Risikofaktoren für die Gesundheit mit entsprechender gesellschaftlicher Relevanz v.a. bei gefährdeten Gruppen wie Schwangeren und Stillenden, Kleinkindern, langfristig unausgewogen ernährten Jugendlichen und auch chronisch Kranken.

Jodmangel gilt als eine der weltweit am häufigsten vorkommenden Nährstoffdefizite - etwa 1Mrd. Menschen sind davon betroffen. In Europa leiden ca. 50-100 Mio. Menschen unter einem Mangel, mit der Folge einer Struma - der häufigsten Manifestationsform des Jodmangels. In Deutschland werden derzeit immer noch bei etwa 25% der Männer, 35-45% der Frauen und mehr als 50% der Jugendlichen (Thamm et al 2007) vergrößerte Schilddrüsen bzw. Knoten in der Schilddrüse nachgewiesen (Gärtner 2010). Das Spektrum der Jodmangelerkrankungen reicht noch weiter: von Infertilität über Entwicklungsverzögerung des Fetus bis hin zur Knotenstruma mit und ohne Funktionsstörung der Schilddrüse. Noch heute verursachen die v.a. durch Jodmangel entwickelten Erkrankungen der Schilddrüse Folgekosten von mehr als 1 Mrd. € / Jahr (Adam 2003). Somit gehört Jod zu den wenigen Spurenelementen, deren Supplementierung in unserer Überflussgesellschaft angeraten wird (Scriba et Gärtner 2000; WHO 1996).

Das Spurenelement Selen hat die letzten Jahre zunehmend große Aufmerksamkeit erhalten. So werden einige ernsthafte Erkrankungen gehäuft mit einer Mangelversorgung mit diesem essentiellen Mikronährstoff in Verbindung gebracht, was ein derzeitiges großes gesundheitspolitisches Interesse weltweit daran erklärt.

Epidemiologische Studien lassen einen Zusammenhang zwischen chronisch unzureichender Selenzufuhr und erhöhtem Risiko für kardiovaskuläre Erkrankungen wie der Kardiomyopathie, der Krebsentstehung, Störungen der Immunreaktion, dem Auftreten von Infektionskrankheiten sowie Autoimmunerkrankungen wie Rheuma oder Autoimmunthyreoditis vermuten (RKI 2006). Selen wird über die Nahrung aufgenommen in Form von Selenocystein (tierische Nahrung) und Selenomethionin (pflanzliche Nahrung) und kommt als anorganisches Salz in der Nahrung nicht vor. Die Zufuhr von Selen über die Nahrung ist also abhängig vom Selengehalt des Bodens. In Europa liegt generell ein niedriger Selengehalt des Bodens mit deutlichem Nord-Südgefälle vor, v.a. in Gebieten mit niedrigerem Boden-pH. Verstärkt wird dies durch die intensive Landwirtschaft, mit dem Resultat der Umwandlung von Selensalzen zu unlöslichen reduzierten Selenverbindungen (Kemira 2004). Finnland ist das einzige europäische Land, das die Bauern verpflichtet die Böden mit Selenkalk zu düngen, um die Selenversorgung der Bevölkerung zu verbessern. Für Deutschland, wie für die meisten europäischen Länder, liegen keine neueren epidemiologischen Daten zur Selenversorgung vor. Die typischen Selenmangelkrankungen treten aufgrund einer wohl marginal ausreichenden Zufuhr bei uns nicht auf. Klinisch auffällige Unterversorgungen sind bisher nur im Zusammenhang mit der Keshan-Krankheit und Kashin-Beck-Krankheit in Selenmangelgebieten in China, Korea, Tibet und Sibirien beobachtet worden. Neuere Untersuchungen weisen darauf hin, dass für die Symptomatik bei diesen Erkrankungen der Selenmangel nicht allein verursachend ist (RKI 2006).

#### **1.4 Autoimmunthyreoditis / Hashimoto – Thyreoiditis (AIT)**

Die AIT ist die häufigste organspezifische Autoimmunerkrankung mit Bildung von spezifischen Antikörpern (TPO-Ak und Tg-Ak) (Mazakopakis et al 2007). Dabei kann es zu einer Zerstörung der Schilddrüsenzellen mit weitgehendem Verlust der Schilddrüsenfunktion und damit zu einer Hypothyreose kommen. Allerdings ist dies ein sehr langsam fortschreitender Prozess, etwa nur 30% der Frauen und 15% der Männer entwickeln nach ca. 11 Jahren eine manifeste Hypothyreose (Åsvold et al 2012). Die Inzidenz steigt mit zunehmendem Lebensalter. Bei über 8 Millionen Menschen (jeder Zehnte) in Deutschland werden TPO-Ak nachgewiesen, wobei Frauen an der AIT 10-mal häufiger erkranken als Männer (Gärtner 2009). Dabei sind bei etwa 8% der Frauen vor und bei 16% der Frauen nach der

Menopause sowie bei 2% der Männer erhöhte TPO-AK und/oder Tg-AK nachweisbar. Altersabhängig zeigen bis zu 7,5% eine subklinische Hypothyreose mit erhöhten TSH Werten bei jedoch noch normalen Schilddrüsenhormonwerten (Gärtner 2010). Neben genetischen Faktoren scheinen Umweltfaktoren wie Rauchen, Sexualhormone, erhöhte Jodexposition durch Kontrastmittel und Selenmangel (u.a. bei erhöhtem oxidativem Stress und Gewebeerstörung vorliegend) eine wichtige Rolle zu spielen (Prummel et al. 2004; Gärtner 2009).

Derzeit findet eine breite Debatte über die Ursache der erhöhten Prävalenz dieser Erkrankung statt. Der sprunghafte Anstieg innerhalb der letzten Jahre wird von Kritikern mit der Jodierung von Speisesalz in Verbindung gebracht. So hatten frühere Studien gezeigt, dass eine vermehrte Jodbelastung ( $>250\mu\text{g}/\text{Tag}$ ) zur normalen täglichen Jodaufnahme bei Vorliegen entsprechender Faktoren/subklinischer Autoimmunthyreoiditis eine Verschlechterung der Situation herbeiführt, d.h. eine manifeste Hypothyreose früher auslöst (Saller et al 1998; Bravermann 1998). In Regionen mit erhöhter Prävalenz der AIT wurden in einigen Studien fast vier- bis siebenmal höhere Urinjodkonzentrationen gefunden, als in Gebieten mit geringer AIT-Prävalenz, was einen Zusammenhang zwischen hoher Jodzufuhr und der Entstehung einer AIT vermuten lässt. In endemischen Jodmangelgebieten treten dementsprechend seltener Autoimmunthyreoiditiden auf (Laurberg et al 1998/2001; Teng et al 2006). Ebenso wurde ein vermehrtes Auftreten von Schilddrüsenantikörpern im Zusammenhang mit Jodierung von Speisesalz und Öl beobachtet (Lind et al 2002; Zois et al 2003).

Das gehäufte Auftreten der AIT wird von Experten jedoch auf die häufiger angewandte und verbesserte Diagnostik und empfindlichere Nachweismethoden der AIT zurückgeführt (Gärtner 2004). Grundvoraussetzung zur Entwicklung einer AIT ist eine genetische Disposition mit bestimmten Mutationen im HLA-DR-Gen, im Promoter des CLTA4-Gens und anderen T-Lymphozyten regulierenden Genen. Auslöser der Erkrankung sind entweder endogene Faktoren wie Stress, weibliches Geschlecht, Zyklusstörungen oder exogene Faktoren wie Selenmangel, Jodexzess, Infektionen u.a. Bei ungenügender Selenversorgung ist die GPx-Aktivität in der Schilddrüse reduziert, was zu einer oxidativen Schädigung der Thyreozyten führen kann, und bei entsprechend genetisch disponierten Menschen dann eine Autoimmunreaktion auslösen kann (Burikhanov et al 2000; Vitale et al 2000). Nach

bisheriger Studienlage kann man von der Hypothese ausgehen, dass eine erhöhte Inzidenz von Autoimmunthyreoiditiden (AIT) nach höherer Jodsubstitution bei ausreichender Selenversorgung nicht auftritt. Selenmangel begünstigt hingegen das Auftreten der AIT (Gärtner et al 2002; Duntas et al 2003; Hotz et al 1997). Empfohlene Joddosen von 100-200 µg/Tag, wie sie zur Prophylaxe und Therapie der Jodmangelstruma verwendet werden, können eine Immunthyreoiditis sehr wahrscheinlich nicht auslösen (Gärtner 2000, Nohr et al 2000, Delange 2000). In Regionen mit verstärktem Selenmangel wurde eine höhere Prävalenz von AIT beobachtet. Ausgeprägter Jod- und Selenmangel führt zum myxödematösen Kretinismus charakterisiert durch eine Zerstörung und Atrophie der Schilddrüse. Außerdem hat Selen einen modulierenden Effekt auf das Immunsystem. Daher wurden mehrere prospektiv randomisierte Interventionsstudien durchgeführt, in denen der Effekt einer Selensubstitution (200µg) auf die TPO-Ak-Konzentrationen untersucht wurde, teilweise auch auf die Lebensqualität, und worin der Verlauf der Echogenität der Schilddrüse im Ultraschall der Schilddrüse überprüft wurde (Gärtner et al 2002, Duntas et al 2003). Gemäß Heufelder (2006) trägt eine ausreichende Selenversorgung erheblich zur Prävention und Therapie von Autoimmunthyreopathien bei. Allerdings scheinen nicht alle Personen in gleichem Umfang zu profitieren (Karanikas et al 2008).

### **1.5 Ernährungsformen: omnivor, vegetarisch, vegan**

Der Begriff omnivor leitet sich laut Duden vom lateinischen „omnis vorare“ ab und wird mit „alles fressen/verschlingen“ übersetzt (siehe auch Wikiwörterbuch – wiktory.de.wiktory.org/wiki/omnivor). Der Mensch hat sich im Laufe der Evolution an die wechselnden Umweltbedingungen und der damit verbundenen unterschiedlichen Zufuhr pflanzlicher und tierischer Nahrung angepasst. So vermag der Mensch je nach regionaler Abstammung, angebotener Nahrung und genetischem Setting, unterschiedlich gut mit bestimmter Nahrung umzugehen. Eine über die Jahrtausende erfolgte Anpassung des Verdauungssystems an regionale und saisonale Kost, machen diese - sofern auch entsprechend zubereitet – besonders gut verträglich. So ist eine ausgeglichene Mischkost, ohne dabei dem heutigen Überfluss an dargebotener Nahrung v.a. tierischer Provenienz zu verfallen, mit Sicherheit in unseren Breitengraden als gesundheitsförderlich und -erhaltend zu werten.

Der Begriff Vegetarismus leitet sich vom englischen vegetation bzw. vegetable – „Vegetation(Belebung/Pflanzenwuchs an der Oberfläche) bzw. pflanzlich/Gemüse“ ab und wohl eher nicht, wie von Vegetarierorganisationen häufig behauptet wird, vom lateinischen vegetabilis/vegetus – was mit belebend/lebendig, frisch, kraftvoll übersetzt wird (wikipedia – Vegetarismus). 1847 wurde die Vegetarian Society of the United Kingdom gegründet und wegen des überwiegenden Verzehrs pflanzlicher Kost schließlich der Begriff des Vegetarismus allgemein gebräuchlich.

Der Begriff Veganismus bedeutet laut Duden 2007 „eine Einstellung und Lebensweise, die eine Nutzung von Tieren und Tierprodukten ablehnt“.

1944 gründete der sehr strenge Vegetarier Watson in England die Vegan Society, da seinem Verständnis nach der Konsum von jedweden tierischen Produkten (z.B. bei Ovo-Lacto-Vegetariern) dem eigentlichen Vegetarismus widersprach und nannte die Ernährungsweise, welche komplett auf tierische Erzeugnisse verzichtet, fortan vegan (wikipedia - Veganismus).

Weltweit ernähren sich zunehmend mehr Menschen vegetarisch. Die Gründe hierfür sind gesundheitlicher, religiös-kultureller, ethischer, politischer und ökologischer Motivation. Laut Vegetarierbund Deutschlands ernähren sich 15-20% der Bevölkerung Indiens vegetarisch (v.a. religiös veranlasst) und in Nordamerika etwa 2,5-4% der Bevölkerung (VeBu 2009). Hierzulande entscheiden sich geschätzte 3,5% der Bevölkerung (etwa 3 Millionen) mit zunehmender Tendenz für eine fleisch- und fischlose Ernährung, wobei sich jeder 12. Vegetarier angeblich vegan ernährt (etwa 0,3%) (Leitzmann 2001). Die genaue Datenlage der Vertreter der vegetabilen Kost in Deutschland ist allerdings schwer zu benennen, da teilweise stark divergierende Daten vorliegen. So wurden 2007 im Rahmen der Nationalen Verzehrsstudie des Bundesministeriums für Ernährung knapp 20 000 Teilnehmer aus der deutschen Gesamtbevölkerung im Alter von 14-80 bezüglich Ihres Essverhaltens befragt (MRI 2008). 1,6% der erwachsenen Bevölkerung (1% der Männer, 2,2% der Frauen) ernährten sich demnach fleischlos. 0,1% der Studienteilnehmer bezeichneten sich als vegan. Andere Autoren gehen von höher angesetzten 7-9% Vegetariern in der Gesamtbevölkerung aus (PETA 2009; Europäische Vegetarierunion 2009; VeBu 2009).

Selbst nach der geringsten Schätzung kann man von mindestens 1,5 Millionen Menschen in Deutschland sprechen, die sich vollkommen ohne Fleisch und Fisch ernähren - in der Stadtbevölkerung prozentual stärker angehäuft. In Anbetracht dieser Personenzahl ist es von großer Bedeutung, sich mit den gesundheitlichen Bedürfnissen dieser Kostgruppen weiter auseinander zu setzen. Dabei muss v.a. auf die Gesundheitsrisiken eines kosttypisch drohenden Mikronährstoffdefizits hingewiesen werden, die im Vergleich zur omnivoren Ernährungsweise häufiger zu erwarten sind. Denn aufgrund der andersartigen Nahrungszusammensetzung und der unterschiedlichen Bioverfügbarkeit ist mit deutlichen Unterschieden im Mikronährstoffstatus (gerade von Jod, Selen und auch Eisen) bei unterschiedlicher Ernährungsweise zu rechnen. Nach aktuellem Stand der Wissenschaft (Daten aus Nordamerika) bietet eine vegetarische oder vegane Ernährung angeblich keinen (erheblichen) gesundheitlichen Nachteil und fördert nachweislich für jede Lebensphase sogar die Minimierung der Risikofaktoren von Übergewicht, Bluthochdruck und erhöhten Cholesterinwerten (Key et al 2006; American Dietetic Association 2003). Dennoch warnen viele Studien vor Mangelversorgung mit einzelnen Vitaminen, Mineralstoffen und Spurenelementen bei strenger vegetarischer Kostform. So sieht auch die DGE in Zeiten der Entwicklung innerhalb der ersten Lebensjahre eine ernste Gesundheitsgefährdung durch vegane Kost. Da eine adäquate Energie- und Nährstoffversorgung durch rein auf pflanzlicher Kost beruhende Nahrung nicht erreicht werden könne, stuft sie für jede Lebensphase, gerade jedoch während Schwangerschaft, Stillens, Kindheit und Pubertät, die vegane Kost als ungeeignet ein. Die Beachtung vegetarischer Ernährung mit möglicher Auswirkung auf die Mikronährstoffversorgung v.a. von Jod und Selen findet in Studien selten Beachtung, so auch nicht in der EPIC Studie -Oxford Kohorte-, als eine der größten epidemiologischen Ernährungsstudien weltweit.



## **2 Grundlagen**

### **2.1 Grundlagen & Bedeutung des Mikronährstoffs Jod**

#### **2.1.1 Von der Entdeckung des Jods zur Speisesalzjodierung**

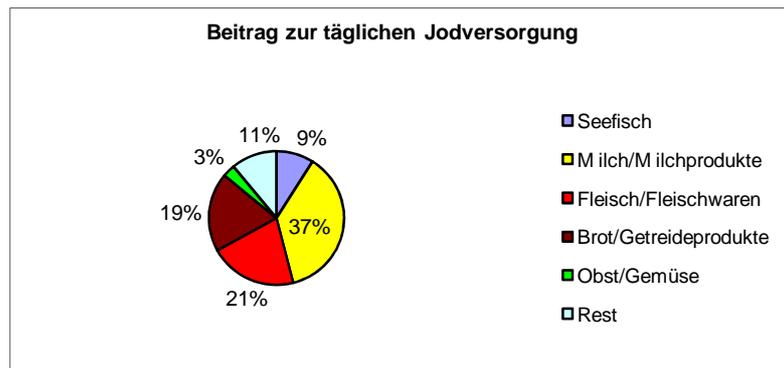
Schon in den frühen Hochkulturen gab es Hinweise auf Jodmangelerscheinungen wie dem Kropfleiden, wenngleich Jodmangel als Ursache noch nicht bekannt war. So wurden im alten Griechenland verbrannte Schwämme aus dem Meer zur Kropftherapie eingesetzt, und im alten China empfahl man zudem den Verzehr von Meeresalgen. Diese empirischen Behandlungsmethoden waren Basis der ersten Jodsalz-Therapien in Mitteleuropa Anfang des 19. Jahrhunderts, nachdem das Element im Jahre 1811 von Bernard Courtois bei der Schießpulverherstellung aus Kelp entdeckt wurde. Davy und Gay Lussac benannten es einige Jahre später nach dem griechischen Wort *ioeides* = violett, weil beim Versetzen mit Schwefelsäure violette Dämpfe aufstiegen. Deutsche Wissenschaftler um Eugen Baumann entdeckten schließlich 1895, dass die Schilddrüse Jod enthält und die Struma Folge des Jodmangels bei Mensch und Tier ist. Die gewonnenen Erkenntnisse daraus führten zu den Überlegungen einer Jodprophylaxe, die erstmals in Tasmanien und später in der Schweiz und den USA durch Jodierung des Speisesalzes umgesetzt und gesetzlich verankert wurden. Speisesalz als Träger wurde daher verwendet, da dies am konstantesten täglich zugeführt werden muss und so eine Über- bzw. Unterversorgung nicht möglich ist. Die Länder mit einer universellen Salzjodierung sind seither fast frei von jodmangelbedingten Strumen (Supersaxo et al 1991). Obwohl die hohe Prävalenz von Strumen in Deutschland schon lange bekannt war, wurde erst Mitte der 1970er Jahre erstmals eine deutschlandweite Erhebung der Jodausscheidung im Urin durchgeführt und das Ausmaß der mangelnden Jodversorgung belegt (Hötzel et al 1976; Habermann et al 1975). Aber erst 1981 wurde der Jodgehalt im freiwillig zu erwerbenden Jodsalz von 4 auf 20 mg/kg erhöht und der Warnhinweis auf den Packungen „nur bei ärztlich festgestelltem Jodmangel“ entfiel. Erst 1989 wurde Jodsalz auch in Restaurants und Gemeinschaftsverpflegung zugelassen und 1991 auch in der Lebensmittelindustrie (Adam 2006). So wurde Jodsalz vom diätetischen Lebensmittel zum erwünschten Salz bei der Gemeinschaftsverpflegung, in Restaurants und in der Lebensmittelverarbeitung allerdings auf Basis der Freiwilligkeit. In der ehemaligen DDR wurden auch erst ab 1985 staatlich festgelegte Maßnahmen zur gezielten Jodmangelprophylaxe mittels

ausschließlicher Verwendung von Jodsalz und Jodierung von Tierfutter betrieben (Bauch et al 1991; Willgerodt et al 1997). 1990 erließ die WHO eine Resolution, mit dem Ziel, 2000 in allen Ländern die Jodmangelkrankheiten beseitigt zu haben, was aber insbesondere in Europa nicht umgesetzt wurde. Durch Verwendung von jodiertem Speisesalz im Haushalt und in Großgebinden wie Bäckereien und Metzgereien, Gemeinschaftsküchen und Lebensmittelindustrie wurde zwar die Jodaufnahme von 1975 im Mittel von 30-70µg/Tag auf 111-126µg/Tag im Jahr 1996 erhöht (Adam 2003), was aber nach WHO-Definition nicht ausreichend ist. Aktuell scheint der Trend, Jodsalz in der Lebensmittelindustrie zu verwenden, wieder etwas rückläufig zu sein. So verwenden Großgebäude 29% Jodsalz, während es 2004 noch 35% waren (Gärtner 2004).

### **2.1.2 Vorkommen – Umwelt, Nahrung**

In der Natur kommt Jod entweder in mineralischer Form als Jodid bzw. Jodat oder organisch gebunden vor. Die Hauptaufnahme geschieht über die Zufuhr von Lebensmitteln, wobei regional starke Variationen wegen unterschiedlicher geochemischer Bedingungen und Verwendung von jodiertem Speisesalz bestehen.

Eine jodreiche oder jodarme Ernährung hängt v.a. davon ab, welche Lebensmittel ausgewählt werden und welche Essgewohnheiten vorliegen. Die einzigen natürlichen Jodlieferanten von Bedeutung in Deutschland sind Milch, Seefisch und Meeresfrüchte. Von Natur aus haben Fische je nach Fischart und Fanggebiet einen hohen Jodgehalt (im Mittel 120-250µg/100g). Insgesamt werden in Deutschland eher geringe Mengen verzehrt, was nur etwa 7% - 9% zur täglichen Jodversorgung beiträgt (Jahreis et al 2001; Pfaff et Georg 1995). Anzumerken ist hierbei, dass je nach Zubereitung (Kochen oder Braten; mit oder ohne Haut) der Jodgehalt des verzehrten Fisches erheblich differieren kann (Karl et al 2001). Als Hauptlieferanten von Jod (siehe auch folgende Abb.) gelten hierzulande Lebensmittel wie Milch und Milchprodukte mit 37 % vor Fleisch und Fleischwaren mit 21 % sowie Getreideprodukten mit 19 % (Großklaus 2007). Pflanzliche Lebensmittel wie Obst und Gemüse enthalten nur wenig Jod (etwa bis zu 5µg/100g) (Anke et al 1994, Karl et al 1999) und tragen anteilig nur mit etwa 3% zur Jodversorgung bei.



**Abb. 1: Beitrag der Lebensmittel zur Jodversorgung**  
(Großklaus 2007)

Bei Zufütterung mit jodhaltigen Mineralstoffmischungen (durchschnittlich werden etwa 2 mg/kg zur Gesunderhaltung der Nutztiere zugefüttert) lassen sich bei einer durchschnittlich gemittelten Verzehrmenge von tierischen Lebensmitteln etwa 60 µg Jod pro Tag zusätzlich zuführen (Großklaus 2007). Von der European Food Safety Authority wurde wegen der möglichen Gefahr der zu hohen Anreicherung im tierischen Organismus die Obergrenze des Jodzusatzes in der Mineralmischung für Tierfutter von 10 auf 5 mg/kg reduziert. Kommerzielle Milch enthält etwa 90-100 µg an Jod (Jahreis et al 2007), wobei im Winter durch vermehrte Mineralstofffütterung höhere Konzentrationen beobachtet wurden (Als et al 2003). Selbst in skandinavischen Ländern wie z. B. Norwegen mit traditionell höherem Fischkonsum wird fast die Hälfte der täglichen Gesamtzufuhr an Jod über die Milch aufgenommen (Dahl et al 2003). Die natürliche Jodarmut von in Deutschland erzeugten Nahrungsmitteln machen eine exogene Zufuhr von Jod erforderlich, um eine ausreichende Versorgung mit Jod garantieren zu können. Dabei beruhen alle Maßnahmen zur Verbesserung der Jodversorgung, sei es durch jodiertes Speisesalz im Haushalt, in Großküchen, in der Nahrungsmittelindustrie oder bei der Nutztierfütterung mit jodierten Mineralstoffmischungen in Deutschland auf dem Prinzip der Freiwilligkeit (Hampel et al 1996). Die WHO, das BgVV, die DGE und der Arbeitskreis Jodmangel empfehlen zur Erhöhung der Jodzufuhr die ausschließliche Verwendung von Jodsalz im Haushalt, in Großküchen und für industriell vorgefertigte Nahrungsmittel. Bei einer durchschnittlichen Zufuhr von 5-6 g Salz pro Tag und einem Jodgehalt von 20 µg Jod/g Salz könnten im Idealfall in der Gesamtnahrung 100-120 µg zusätzlich aufgenommen werden, wenn alles Salz als Jodsalz aufgenommen würde. Im Mittel entfallen aber etwa nur 20 µg Jod auf die Verwendung von Jodsalz im Haushalt und nur knapp 40 µg täglich auf die Verwendung in Großgebinden (Gärtner et al 1996; Manz et al 1998; Meng und Scriba 2000).

### 2.1.3 Stoffwechsel - Aufnahme, Metabolismus, Ausscheidung

Anorganisches und organisches Jod (organische Jodverbindungen sind dabei schlechter bioverfügbar als anorganische) wird rasch im Dünndarm resorbiert (Verger et al 2001; Bürgi et al 2001; Saller et al 1998). Die Aufnahme in die Thyreozyten erfolgt bedarfsgesteuert über den Natrium-Jod-Symporter in die Thyreozyten, zum geringen Teil auch in andere Gewebe wie Speicheldrüse und Brustdrüse (Schumm- Draeger 2001). Jodid wird aktiv entgegen einem Konzentrationsgradienten an die apikale Zellmembran der Schilddrüse transportiert, oxidiert (mittels Oxydasen) und an Tyrosinreste des Thyreoglobulin gebunden (Jodination). Die entstandenen Moleküle werden gekoppelt, so dass T<sub>4</sub>(Thyroxin) und T<sub>3</sub>(Trijodthyronin) entstehen. Ein autoregulativer Mechanismus sorgt dafür, dass bei ausreichendem Jodgehalt der Schilddrüse die weitere Jodidaufnahme und die Hormonsynthese und -sekretion unterdrückt wird, wohingegen bei Mangel vermehrt Jodid aufgenommen wird (Suzuki et al 1999). Bei Bedarf werden die Schilddrüsenhormone vom Thyreoglobulin abgespalten und im Verhältnis T<sub>4</sub>:T<sub>3</sub>=90/10 abgespalten und in den Blutkreislauf sezerniert. Selenhaltige Dejodasen katalysieren die Umwandlung des T<sub>4</sub> zum stoffwechselaktiven T<sub>3</sub> sowie weiter dessen Abbau (Arthur et al 1999) in den einzelnen Organen. Der Hauptteil des freigesetzten Jodes wird über den Urin ausgeschieden (Heseker 1999; Jahrreis et al 2001; WHO 1996).

### 2.1.4 Physiologische Funktion

Jod ist ein essentielles Spurenelement und v.a. für die Bildung der Schilddrüsenhormone T<sub>4</sub> und T<sub>3</sub> unabdingbar. Die Jodaufnahme in die Schilddrüse wird durch Thiozyanate (Kohlgemüse, Rauchen) gehemmt. So kann bei gleichzeitig begrenzter Jodzufuhr die Jodreserve abnehmen, sich der Jodbedarf erhöhen und eine Schilddrüsenfunktionsstörung resultieren (Arthur et al 1999; Raymann 2000; Zimmermann et Köhrle 2002). Optimal versorgte Erwachsene haben etwa 10-20mg Jodbestand, davon etwa 70-80% in der Schilddrüse. Durch Jodmangel kann der Gehalt bis auf weniger als 1mg reduziert sein (Heseker 1999).

Interaktion mit Selen: Selenocystein ist Bestandteil der Dejodasen, die die Dejodierung des T<sub>4</sub> zum aktiven T<sub>3</sub> und den weiteren Abbau katalysieren. Bei geringer Selenversorgung ist das Verhältnis T<sub>4</sub> zu T<sub>3</sub> erhöht und kann als funktioneller Marker für den Selenstatus genutzt werden (Brown et al 2001). Selenocystein

ist ebenso Bestandteil der Gluthationperoxidasen. Wird eine längerdauernde Unterversorgung mit Jod korrigiert (dies fördert die vermehrte Bildung der Schilddrüsenhormone) und liegt durch einen Selenmangel eine verringerte Aktivität der Peroxidasen vor, so können weniger Sauerstoffradikale (ROS), die bei der Schilddrüsenhormonbildung entstehen, oxidiert und damit unschädlich gemacht werden. Eine Entzündungsreaktion des umliegenden Gewebes durch Bildung proinflammatorischer Mediatoren ist die Folge. Die Regulation des Gewebe T3-Spiegels und der Schutz der Schilddrüse vor ROS gehört somit zu den wichtigsten Interaktionen (Arthur et al 1999; Lewin et al 2002).

Interaktion mit Eisen: TPO enthält eine Häm-Gruppe. Beim Eisenmangel kann deshalb weniger Schilddrüsenhormon gebildet werden (Zimmermann et al 2002; Hess et al 2002).

Interaktion Rauchen: Durch beim Rauchen entstehende Noxen, wie dem strumigen wirkenden Thiocyanid, wird die Jodidaufnahme gehemmt und somit die Hormonsynthese in der Schilddrüse beeinträchtigt (Gärtner 2007).

### **2.1.5 Bedarf, Versorgungsstatus, Referenzbereich**

Der Mindestbedarf beträgt bei Jugendlichen (ab 13/14LJ) und Erwachsenen  $1\mu\text{g}/\text{kg KG}$  pro Tag (entspricht etwa  $50\text{-}80\mu\text{g}/\text{d}$ ), abhängig von physiologischen, individuellen Schwankungen und der Aufnahme strumigen wirkender Substanzen (wie (Iso-) Thiocyanaten, (Iso-) Flavonoiden, Nitrat, Huminsäuren, Halogenverbindungen z.B. durch hohen Konsum von Kohl, Bohnen, Maniok ect., Medikamenten und Umweltgiften). Weiterhin beziffert die WHO, die optimale Zufuhrmenge mit  $2\mu\text{g}/\text{kg KG}$  pro Tag (entspricht etwa  $100\text{-}160\mu\text{g}/\text{d}$ ) (JEFCA 2005). Im Vergleich dazu wird der Bereich der optimalen Jodzufuhr der deutschen und österreichischen Fachgesellschaften, also innerhalb geophysischer Jodmangelländer, mit  $180\text{-}200\mu\text{g}/\text{d}$  ( $150\mu\text{g}/\text{d}$  in der Schweiz) für Jugendliche und Erwachsene höher festgelegt (DGE, ÖGE, SGE, SVE 2000). Während Schwangerschaft (plus 5) und Stillens (plus15) benötigen Frauen eine erhöhte Zufuhr, um einer subklinischen Hypothyreose der Mutter und des Fetus/Neugeborenen vorzubeugen (Liesenkötter et al 1996). Neuere Daten sprechen von mind.  $30 - 60 \mu\text{g}/\text{d}$  benötigter höherer Zufuhr von Schwangeren und Stillenden (DGE 2008). Kleinkinder und Schulkinder benötigen  $100\mu\text{gJod}/\text{d}$  respektive  $180 \mu\text{gJod}/\text{d}$ . Aussagen zum Versorgungsstatus können anhand des klinischen Bildes (Mangel- und Überversorgungssymptome),

mittels laborchemischer Untersuchung und auch mittels Ernährungsanamnese getroffen werden. Da die Ermittlung der Jodzufuhr über die Nahrung aufgrund der großen Schwankungsbreite des Jodgehaltes von Lebensmitteln und möglichen Zubereitungsverlusten weniger genau ist, empfiehlt die WHO als indirekte Methode zur Charakterisierung des Jodversorgungsstatus der Bevölkerung die Jodausscheidung im Urin (WHO/ICCIDD 1996).

Die Jodurinexkretion gilt als zuverlässigster, schnellster und kostengünstigster Indikator, um die aktuelle Jodversorgung einer Bevölkerungsgruppe in ernährungsepidemiologischen Studien wieder zu geben (De Benoist et al 2004; Zimmermann 2004; Ovesen et Boeing 2002). Der von der WHO vorgegebene Referenzbereich für eine optimale und damit ausreichende Jodversorgung liegt bei 100-200µg/L Jodid im Urin. Der Versorgungsstatus mit dem essentiellen Spurenelement Jod in Deutschland wurde beim Jodmonitoring 1996 mit einer Jodurie von 83µg/L (im Median) ermittelt (Manz et al 1998). Dabei liegt mit einem Anteil von 62% unter 100 µg/L ein milder Mangel vor. Weitere Daten zur Jodversorgungssituation in einigen europäischen Ländern werden in folgender Tabelle gezeigt (ICCIDD 2003).

**Tab. 1: Jodversorgung innerhalb Europa**

Land	Jodurie µg/L	Zufuhr µg/d	Versorgungssituation
Belgien	80	unzureichend	milder Mangel
Dänemark	38 – 110	unzureichend	milder/moderater Jodmangel
Deutschland	83 - 99	unzureichend	milder Jodmangel
Frankreich	83	unzureichend	milder Jodmangel
Griechenland	84 – 160	teilw. unzureichend	milder Mangel bis optimal
Niederlande	155	ausreichend	optimal
Österreich	98 – 120	ausreichend	kein Jodmangel
Polen	>100	ausreichend außer bei Schwangeren	evtl. kein Jodmangel
Spanien	50 – 100	unzureichend	milder Jodmangel
Schweden	>100	ausreichend	fehlendes Monitoring
Schweiz	115	ausreichend	optimal
Ungarn	<100	unzureichend	milder Jodmangel
Vereinigtes Königreich	141	ausreichend	optimal

### **2.1.6 Jodmangel und Risikopersonen für Mangelversorgung**

Eine Minderversorgung mit Jod führt erst bei intrathyreoidalem Jodmangel zu Freisetzung von Wachstumsfaktoren (IGF-1 und EGF) mit folgender Hyperplasie bei noch ausreichender Hormonproduktion (Durgrillon et Gärtner 1995). Länger anhaltender Mangel (Jodurie < 25 µg/L) resultiert in einer sichtbaren Struma, die Atem- und Schluckbeschwerden verursachen kann, evtl. in Entwicklung von kalten funktionell inaktiven Knoten oder heißen Knoten, die der Regulation durch die Hypophyse nicht mehr unterliegen und autonom Jod anreichern (Studer et al 1989). Besonders Raucher (strumigene Eigenschaft des Thiocyanats), Schwangere und Stillende (erhöhter Bedarf), Säuglinge, Kleinkinder und Fast Food ernährte Jugendliche weisen eine erhöhte Gefährdung für einen Jodmangel auf (Gärtner et al 2001). Auch bei vegetarischer und besonders bei veganer Ernährungsweise, wenn kein Jodsalz oder andere jodhaltige Produkte tierischen Ursprungs verzehrt werden, erhöht sich das Risiko (Davidson 1999; Lightowler et Davies 1998; Remer et al 1999).

### **2.1.7 Jodübersversorgung**

Kurzzeitig zugeführte hohe Jodmengen stellen für die gesunde Schilddrüse keine Gefahr dar, da intrinsische Regulationsmechanismen die Jodkonzentration mittels des so genannten Wolff-Chaikoff-Effekts aufrechterhalten (Wolf et Chaikoff 1948).

Jedoch können sehr hohe Jodmengen von >1000 µg/ Tag auch zu Strumen führen wie z.B. in Hokaoido in Japan. Bei einer Jodaufnahme von >500 µg/Tag, was einer Jodausscheidung von >300 µg/L entspricht, ist mit einem gesundheitlichen Risiko für Personen mit funktioneller Autonomie oder autoimmuner Erkrankung zu rechnen. Der Tolerable Upper Intake Level in Deutschland liegt bei 500 µg/Tag (SCF 2000).

## **2.2 Grundlagen & Bedeutung des Mikronährstoffs Selen**

### **2.2.1 Von der Entdeckung des Selen bis zur heutigen Bedeutung**

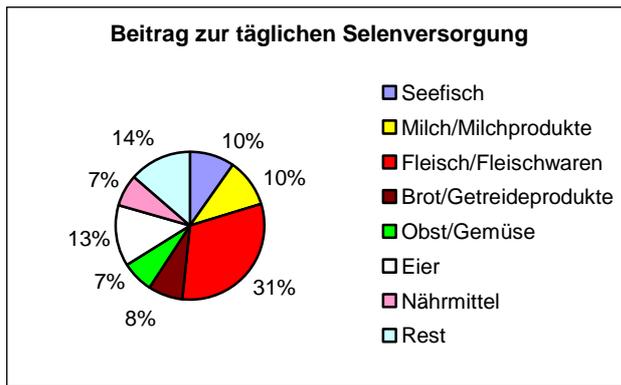
Bereits im 13. Jahrhundert beschrieb Marco Polo eine bei Lasttieren auftretende Krankheit. Damals als Huffäulnis bezeichnet, handelte es sich sehr wahrscheinlich um eine chronische Selenintoxikation mit Haar- und Klauenverlust, taumelndem Gang und Tod bei Weidetieren, welche durch Verzehr von stark selenspeichernden Pflanzen hervorgerufen wird (Dickerson et Smith 1994). Ähnliche Beobach-

tungen wurden auch zu Beginn des letzten Jahrhunderts in den Great Plains und den Rocky Mountains der USA gemacht. Zudem wies Japha 1842 die Giftigkeit von Selen nach, indem er bei mit stark selenhaltigem Getreide gefütterten Ratten, pathologische Leberveränderungen feststellte (Japha 1842). So fand über die letzten zwei Jahrhunderte hinweg das Spurenelement, nachdem es der schwedische Chemiker Jöns Jakob Berzelius 1817 zuvor entdeckt und aufgrund seiner chemischen Verwandtschaft mit dem gruppenhomologen Element Tellur (lat. Tellus = Erde) nach der griechischen Göttin des Mondes Selene benannt hatte, nur hinsichtlich seiner Toxizität besondere Beachtung. Erst Mitte der 1950er Jahre erkannten Schwarz und Folz in einem Tierversuch, dass nicht nur überhöhte, sondern auch gerade unzureichende Selenzufuhr klinisch relevante Symptome auslösen konnte. Sie wiesen nach, dass selenfrei ernährte Ratten Lebernekrosen entwickelten, deren Auftreten durch Selen als Futterzugabe verhindert werden konnte (Schwarz et Folz 1957). Diese Erkenntnis einer lebensnotwendigen Wirkung des Selen führte zu einem tief greifenden Wandel in der Selenforschung. Bei dem ehemals nur als toxisch bekannten Element stand von nun an die Frage seiner essentiellen Funktion im Organismus im Vordergrund. Studien wie die von Thomson und Scott 1970 zeigten die Essentialität von Selen im tierischen Organismus. Daran anschließend konnten weitere Forschungsgruppen nachweisen, dass Selen in Form des Selenocysteins ein essentieller Bestandteil der antioxidativen Glutathionperoxidase (GPx) im Tierorganismus bildet (Rotruck et al. 1973; Flohé et al. 1973). 1975 bewiesen Awasthi und Mitarbeiter Selenocystein als den zentralen Bestandteil in der humanen GPx. In den letzten Jahren hat sich gezeigt, dass Selen das einzig bekannte Spurenelement ist das proteogenomisch in Selenoenzyme eingebaut wird. Seither gilt Selenocystein als die 21. Aminosäure. Die Schilddrüse ist das Organ mit dem höchsten Gehalt an Selenoenzymen (Köhrle & Gärtner 2009).

### **2.2.2 Vorkommen - Umwelt, Nahrung**

Selen kommt in anorganischer und organischer Form ubiquitär vor, jedoch ungleichmäßig verteilt (Holleman 1995). In der Erdkruste ist es nur in Spuren (50-200µg/kg) enthalten, in einigen Mineralien jedoch sehr stark angereichert und meist mit Schwefel vergesellschaftet. Das Spurenelement wird nur über die Nahrung aufgenommen. In der Nahrung findet man Selen meist in organischer Form als selenhaltige Aminosäure - in Pflanzen und Hefen als Selenmethionin und in

Tieren als Selenocystein-, während Selen in Arzneien und Nahrungssupplementen auch in anorganischer Form als Selenit oder Selenat eingesetzt wird (Ekmekcioglu 2000). Der Selengehalt in Nahrungsmitteln hängt stark vom Selengehalt des Bodens ab. Deutschland hat mit Dänemark, Finnland, Schottland und einigen Balkanländern die selenärmsten Böden Europas. Dem landwirtschaftlich genutzten Boden in Finnland wird aus diesem Grund selenhaltiges Düngemittel zugesetzt. In Deutschland wird dieser Ansatz bisher nur sehr begrenzt regional versucht, da die Selenaufnahmemengen noch nicht genau kalkulierbar erscheinen und bis 2001 ein Verbot der Düngemittelzusatzung bestand. Dafür wird hierzulande seit rund 40 Jahren dem Mischfutter von Schlachttieren Selenit oder Selenat zur Gesundheitserhaltung und besseren Reproduktion zugesetzt. Die erlaubte Menge von min. 0,5mg bis max. 5 mg Se/kg Futtermittel (wegen Kosten meist nur max. 3mg Se/kg Futtermittel verwendet) reicht dabei jedoch nicht wirklich zur besseren Versorgung der Bevölkerung. Wie eine veterinärmedizinische Studie zeigt, ist eine Selenanreicherung in der Milch mittels Zusatz von organischem Selen im Futtermittel wirkungsvoller als mittels anorganischem Selen (Hartfiel et al 2010). Die Selenmenge von Nahrungsmitteln wird somit sowohl vom natürlichen Selengehalt des Bodens als auch von Düngemittelzusätzen und Futtermittelanreicherung bestimmt. Damit ist auch nur eine ungefähre Einschätzung und Vergleichbarkeit der Selengehalte von Nahrungsmitteln möglich, v.a. wenn sie aus verschiedenen Ländern kommen. Etwa  $\frac{2}{3}$  bis fast  $\frac{3}{4}$  der täglich aufgenommenen Selenmenge stammen aufgrund der Verzehrsgewohnheiten der deutschen Bevölkerung aus tierischen Lebensmitteln (v.a. Fleisch und Wurstwaren, Eier/Eierspeisen und Fisch) wie in folgender Abb.2 gezeigt (erstellt nach Verzehrdaten Biesalski et al 1997 und Anke 2002). Dies hat entsprechende Auswirkungen bei unterschiedlicher Kostform. So führen omnivore Personen durch ihre Nahrung mehr Selen zu als sich vegetarisch oder vegan ernährende Personen (Oster et al 1995). Selen in pflanzlicher Nahrung hat zwar eine bessere Bioverfügbarkeit (85-100%) im Vergleich zu Fleisch oder Fisch (nur 20-50%) (Combs 2001), trägt jedoch aufgrund der geringen Konzentration wenig zur täglichen Selenversorgung bei.



**Abb. 2: Beitrag zur täglichen Selenversorgung**  
(geändert nach Biesalski 1997 und Anke 2002)

### 2.2.3 Stoffwechsel - Aufnahme, Metabolismus, Ausscheidung

Lösliche anorganische und organische Selenverbindungen werden rasch und zu mehr als 50% im Gastrointestinaltrakt resorbiert. Selenmethionin wird als Methionin zunächst unspezifisch in Proteine eingebaut, v.a. in Skelettmuskulatur, Erythrozyten, Leber, Bauchspeicheldrüse, Nieren und Magen und erst nach Abbau und Freisetzung von Selen in Selenocystein eingebaut (Brigelius-Flohé et al 2001). Aus der Nahrung stammendes Selenocystein wird in den Erythrocyten und der Leber durch die Selen-Lyase abgebaut und das Selenid dann weiter für die Selenoproteinsynthese verwendet. Bei höherer Selenzufuhr wird das Abbauprodukt nach Methylierung über den Urin und die Lunge (erst bei größeren Mengen) ausgeschieden. Ein Teil des Selens unterliegt auch einem enterohepatischen Kreislauf und wird biliär ausgeschieden (Schrauzer 2000).

### 2.2.4 Physiologische Funktion

Selen als organisches Salz kann Schwermetalle, insbesondere Quecksilber binden und damit unlöslich machen so dass es nicht mehr toxisch wirken kann.

Selenocystein hat als Bestandteil essentieller spezifischer Selenoproteine zahlreiche Funktionen, eine der wichtigsten ist die Aufrechterhaltung des Redoxsystemes in allen Zellen und auch im Plasma. Die zellulären Gluthationperoxidasen (GPx) katalysieren die Reduktion von Peroxiden, wie Wasserstoffperoxide und Lipidhydroperoxide, und übernehmen die Schlüsselrolle beim Schutz der Zellen vor oxidativer Schädigung. Die drei Dejodasen sind ebenfalls Selenoenzyme und katalysieren die Umwandlung des Prohormons T<sub>4</sub>(Thyroxin) zum aktiven T<sub>3</sub>(Trijodthyronin) und dessen weiteren Abbau. Ausreichend Selen ist

somit auch bedeutsam für den Schilddrüsenhormon-Metabolismus (Anke et al 2000; Eder et al 1995). Selenoprotein P (SePP) wird vor allem in der in der Leber synthetisiert und dient als Transportprotein für Selen (Dreher et al 1997; Schomburg et al 2003). SePP macht anteilig etwa 65% des Gesamtseleengehaltes im Plasma aus (Behne et al 1997; Burk et al 2003). SePP wird auch an aktivierte Endothelzellen gebunden und wirkt dabei antioxidativ (Burk et al 1997). Bei marginaler Selenversorgung werden nur einige bevorzugte Selenoproteine gebildet, die erst bei chronischem Mangel einen späten Aktivitätsverlust zeigen, während für den Stoffwechsel weniger dringliche Proteine schneller an Aktivität verlieren. Daraus kann man folgern, dass einige Organe weniger empfindlich gegenüber einer Selenunterversorgung sind als andere (Hesketh et Vilette 2002). So versucht der Körper v.a. im Gehirn, den reproduzierenden Organen und den endokrinen Geweben (v.a. Schilddrüse) die Funktion der Selenoproteine sicherzustellen, vor den Organen wie Leber, Skelettmuskulatur (mit 40-50% größter Speicher) oder Herzmuskel (Arthur 2000; Biesalski et al 2002).

### **2.2.5 Bedarf, Versorgungsstatus, Referenzbereich**

Der genaue Bedarf an Selen ist bislang noch nicht geklärt. Typische mit Selenmangel assoziierte Erkrankungen sind die Keshan- und Kashin Beck-Erkrankung die bei einer Selenaufnahme von  $< 20 \mu\text{g}$  vor allen in China endemisch vorkommen (Beck et al 2003). Eine Zufuhr von  $1 \mu\text{g}/\text{kg}$  Körpergewicht scheint für die Bedarfsdeckung auszureichen (Biesalski et al 1997). Richtwerte für eine empfohlene Tagesdosis beziehen sich auf die Selenmenge, die für eine maximale Expression/Funktion von Selenoenzymen ausreichend erscheint. Einige Autoren halten deshalb die Sättigung der GPx – Aktivität für einen geeigneten Marker, um eine ausreichende Selenzufuhr ermitteln zu können ( $40 \mu\text{g}/\text{d} \Rightarrow$  Yang et al 1994;  $60\text{-}80 \mu\text{g}/\text{d} \Rightarrow$  Thomson et al 1993;  $80\text{-}90 \mu\text{g}/\text{d} \Rightarrow$  Thomson 2004;  $>90\mu\text{g}/\text{d} \Rightarrow$  Rayman 2000). Die WHO und der SCF halten 30 bzw.  $40 \mu\text{g Se}/\text{Tag}$  (Frauen bzw. Männer) für empfehlenswert mit Zielsetzung einer 2/3 maximierten Aktivität der Plasma-GPx (SCF 2000). Die Empfehlung der DGE für eine angemessene Zufuhr mit  $30\text{-}70\mu\text{g}/\text{d}$  orientiert sich hingegen nicht an einer maximalen GPx -Aktivität (DGE 2008), sondern ist bestimmt durch Ausbleiben von bisher bekannten Mangelerscheinungen. Nordamerikanische Experten empfehlen eine tägliche Aufnahmemenge von  $55 \mu\text{g}$  (IOM 2000). Für Schwangere wird eine Mehraufnahme von  $5 \mu\text{g}/\text{Tag}$  empfohlen und für Stillende eine Mehraufnahme von  $15 \mu\text{g}/\text{Tag}$  (Gaßmann

2000; Monsen 2000). Der weitaus größte Teil der westlichen Bevölkerung nimmt Selen in einer Menge von 30-200 µg täglich zu sich (Combs 2001), weswegen akute Mangelercheinungen oder Intoxikationen durch Selen höchst selten auftreten. Mit Hilfe ernährungsepidemiologischer Studien werden alle paar Jahre aktuelle Daten zum Verzehr und zum tatsächlichen Versorgungsstatus mit Mikronährstoffen erhoben. In Deutschland gibt es kein typisches klinisches Bild als Hinweiszeichen für einen Selenmangel, allenfalls einen Verdacht. Hierbei kann eine Ernährungsanamnese anhand eines standardisierten Food-Frequency-Fragebogens (FFT) zur Abschätzung des Versorgungsstatus behilflich sein. Auch mittels laborchemischer Bestimmung stehen adäquate Bestimmungsmethoden zum Selenstatus zur Verfügung. Bei ungenügender Selenversorgung ist im Verhältnis zu T3 vermehrt T4 im Blut vorhanden, so dass der T4/T3 - Quotient als Marker für den Selenstatus genutzt werden kann (Brown et Arthur 2001), jedoch wenig spezifisch ist. In den meisten Studien erfolgte die Selenstatusermittlung bisher über die Bestimmung der maximalen GPx-Aktivität. Dabei scheinen die maximalen Enzymaktivitäten individuell unterschiedlich zu sein, da Krankheiten und unterschiedliche Genotypen eine geringere Selenmetabolisierung und Biosynthese von Selenoenzymen bewirken. Eine weitere gängige Methode ist die Bestimmung des Gesamt-Plasmaselenspiegels. Experten des Umweltbundesamtes definieren einen Mangelzustand bei Plasmakonzentrationen unter 25µgSe/L und empfehlen diesbezüglich eine Selensubstitution. Als suboptimal gelten Spiegel von 25 bis 50µgSe/L. Ausreichende und damit optimale Werte sind bei 50 bis 120µgSe/L erreicht (Umweltbundesamt 2002). Einige Autoren sehen den unteren wie auch den oberen Richtwert des Referenzbereiches (je nach Festlegung – siehe Diskussteil) deutlich höher liegend.

### **2.2.6 SePP als Marker zur Selenbestimmung**

Die Gesamtselenbestimmung im Plasma, die bisher immer die Methode der Wahl zur Selenstatuserhebung darstellte, kann die vorhandene bioaktive Selenversorgung nur begrenzt wiedergeben. Die differenziertere und aussagekräftigere Bestimmungsmethode gemäß Expertenmeinung ist die Bestimmung des SePP (Burk et Hill 2005; Xia et al 2005; Hollenbach 2010). Selenoprotein P zeigt die Menge an, die dem Körper zur Biosynthese von funktionellen Selenoproteinen zur Verfügung steht. Die Konzentration an SePP im Plasma schwankt in Abhängigkeit der Ernährungssituation beträchtlich. So sinkt der Spiegel bei marginaler Selenversor-

gung und steigt bei selenreicher Ernährung. Dies hängt mit der Transportfunktion von Selen zusammen (Schomburg et al 2004). Im Vergleich dazu bleibt die zelluläre Glutathionperoxidase (GPx) aufgrund ihrer wichtigen Funktion, Thiol-Gruppen (R-SH) von Proteinen vor Oxidation zu schützen, bei grenzwertig schlechter Versorgung in ihrer Aktivität konstant und fällt erst bei einem deutlichen Mangel (Hoeflich et al 2010). Somit ist SePP der sensiblere Marker, der eine geringe tägliche Selenaufnahme und damit unzureichende Grundversorgung zuverlässig widerspiegelt. Aus der maximalen Aktivität einiger wichtiger Selenoenzyme und den dafür benötigten Plasmaselenkonzentrationen kann man auf ein Optimum des Selenstatus schließen. So liegt die Plasmaselenkonzentration laut Duffield et al (1999) und Xia et al (2005) bei etwa 90µg/L für ein Aktivitätsmaximum der Glutathionperoxidasen, wofür etwa 50-60µg Se/d Zufuhr benötigt werden. Für eine maximale SePP-Konzentration werden laut Xia et al (2005) und Burk et al (2006) mehr als 90µg Se/d Zufuhr benötigt.

### 2.2.7 Selenmangel und Risikopersonen für Mangelversorgung

Von einer Unterversorgung spricht man bei einer Zufuhr unter 20-25µg/Tag. Ein Selenmangel besteht laut Biesalski et al 1997 in Deutschland nicht. Durch Vorliegen bestimmter Risikokonstellationen können jedoch deutlich geringere Mengen zugeführt werden als empfohlen (siehe Tab.2).

Tab. 2: Risikopersonen für Selenmangel

Risiko aufgrund nutritiver Faktoren:	Risiko aufgrund von Verlusten:
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reine Vegetarier (Veganer)</li> <li>• Extrem einseitige Ernährung, z.B. Alkoholiker</li> <li>• Parenterale Ernährung</li> <li>• Mangelernährung/Malabsorption</li> <li>• Anorexia nervosa</li> <li>• Frühgeborene</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schwere lang anhaltende Diarrhöen</li> <li>• Maldigestions- und Malabsorptionssyndrome</li> <li>• Bulimie</li> <li>• Nierenschädigung mit Proteinurie</li> <li>• Dialysepatienten</li> <li>• Diuretikatherapie</li> <li>• Diabetes insipidus</li> <li>• Starke Blutverluste (z.B. Hypermenorrhöen)</li> <li>• Lang währende Stillzeit</li> </ul>

Die latenten Zeichen einer Unterversorgung sind eher unspezifisch. Dazu zählen Müdigkeit und Leistungsschwäche, Haarausfall, Leberfunktionsstörung, Arthritis, Weißfärbung der Fingernägel, Muskelschwäche, Infertilität. Bisher bekannte

schwere Selenmangelerkrankungen sind die Keshan Krankheit (Selenmangel gepaart mit Vit.E - Mangel und Coxsackie Viruserkrankung) als Folge einer Immunschwäche und resultierender dilatativer Kardiomyopathie (Brigelius-Flohé et al 2001; Beck et al 2003) und die Kashin Beck Krankheit mit Osteoarthrose und Spondylarthrosen, wobei auch zusätzlich Mykotoxine als Auslöser angenommen werden (Sudre et Mathieu 2001). Auch dem myxödematösen Kretinismus mit körperlicher und geistiger Entwicklungsbeeinträchtigung liegt ein Selenmangel gepaart mit einer Jodmangelversorgung gerade während der Entwicklungsphase zugrunde (Zimmermann und Köhrle 2002).

### **2.2.8 Selenübersversorgung**

Typische Zeichen einer Selenintoxikation sind Knoblauchgeruch, Haut-/Haar-/Zahn- und Nagelveränderungen bis zu Brüchigkeit und Verlust, Schmerzen in den Extremitäten, Hyperreflexie, gastrointestinale Beschwerden, Gewichtsverlust, Müdigkeit und Leistungsschwäche (Sunde 2001).

Diese Symptomatik tritt erst auf ab einer täglichen Zufuhr von mehr als 1000µg Se/d über längeren Zeitraum gesehen. Eine gesicherte Grenzdosis (UL) ohne unerwünschte Selenwirkungen liegt laut verschiedener Institutionen zwischen 300-400µg Se/Tag (SCF 2000; IOM 2000).

### **2.2.9 Selen und Krankheiten**

Durch Entzündungsreaktionen und Infektionskrankheiten kommt es zu einem Abfallen der Plasmaselenkonzentration. Vermutet wird dabei eine SePP Umverteilung aus dem Plasma in andere Kompartimente (Maehira et al 2002). Folgende Krankheiten wie Herz-Kreislaufferkrankungen (dilatative Kardiomyopathie, akuter Myokardinfarkt, koronare Herzerkrankungen); Tumorerkrankungen; Niereninsuffizienz; Gastrointestinale Erkrankungen; Reproduktionsstörungen bei suboptimaler Versorgung; Krankheiten mit erhöhtem oxidativem Stress und resultierender Radikalbildung wie: Intensivmedizinische Patienten (Sepsis, Verbrennungen, systemische Entzündungen) zeigen ein Abfallen der Selenkonzentration (Raymann 2000; Gärtner et al 2001; Angstwurm et al 2007). Eine therapeutische Selengabe scheint dabei aufgrund antioxidativer, immunmodulierender und zellproliferationshemmender, apoptosesteigernder Wirkung durch eine vermehrte Expression und Aktivitätsmaximierung von Selenoenzymen bei vielen Krankheiten möglicherweise indiziert. Allerdings gibt es entsprechende Studien hierzu nur spärlich. Die positiven

---

Effekte einer Selensupplementierung in Krankheitssituationen scheinen besonders deutlich beim marginal versorgten Patienten (mit relativ geringer Grundkonzentration) zu sein (Persson-Moschos et al 1995).



### 3 Fragestellung & Zielsetzung

Ziel dieser wissenschaftlichen Arbeit ist es, einen speziellen neu entwickelten Food-Frequency-Fragebogen (FFT) zu validieren und damit auf seine Einsetzbarkeit hin zu überprüfen, indem er dem Goldstandard - der Bestimmung der laborchemischen Biomarker Jodurie, Plasmaselen und SePP - gegenübergestellt und auf signifikante Korrelation getestet wird. Der validierte Fragebogen als möglicherweise geeignete Methode im Alltag könnte so helfen, die Bestimmung der Nährstoffversorgung für mangelgefährdete Risikopersonen durch Ärzte und Ernährungsberater vergleichbar sicher, aber einfacher, schneller und kostengünstiger zu machen.

In dieser Arbeit sollen dabei folgende Hauptfragen geklärt werden:

- Eignet sich der FFT als Erhebungsinstrument zur Einschätzung der Nährstoffzufuhr von Jod und Selen?
- Ist der FFT möglicherweise eine zuverlässige Hilfe, um bereits im Rahmen einer Anamnese Nährstoffdefizite zu vermuten und dann, bei erheblichen Defiziten, weitere laborchemische Untersuchungen zu veranlassen?
- Kann die Versorgungssituation der Studienteilnehmer mit den Mikronährstoffen Jod und Selen als ausreichend bezeichnet werden oder besteht weiterer Aufklärungsbedarf?



## **4 Material und Methoden**

### **4.1 Studiendesign / Untersuchungskollektiv / Organisation**

Nachdem das Studienprotokoll durch die Ethikkommission der LMU München geprüft und keine Bedenken geäußert wurden, konnten von Mai bis Dezember 2009 im Rahmen unserer ernährungs-epidemiologischen Querschnittsstudie 283 Probanden rekrutiert und Daten zu ihrem Ernährungsverhalten erhoben werden. Die Studienteilnehmer wurden durch Anfragen im privaten Umfeld, durch Auslegen/Aushänge in diversen Restaurants, Bäckereien, Reformhäusern, Apotheken, Bibliotheken und Institutsgebäuden der LMU, durch Kontaktierung von Vereinen und Yoga-Schulen, durch Anzeigenschaltung in einer auflagenstarken Reformhauszeitschrift, durch Kontakt zu Vegetarismus- und Veganismus-Foren im Internet sowie durch Patienten der endokrinologischen Ambulanz des Klinikums Innenstadt der LMU München geworben und für die Studie gewonnen. Zur Vermeidung von Selektionseffekten (Bias) wurden Vergleichsgruppen gebildet und klare Ein- und Ausschlusskriterien festgelegt. Für die 3 Ernährungsgruppen war eine jeweilige Rekrutierung von mind. 80 und max. 110 Frauen und Männern berechnet. Letztendlich wurden entsprechend der Verzehrsgewohnheiten 99 Probanden der omnivoren, 101 der vegetarischen und 83 der veganen Ernährungsweise zugeteilt, und damit die drei zu untersuchenden Gruppen in repräsentativer Stichprobengröße gebildet. Als omnivor wurden Personen zugelassen, die eine in Deutschland übliche Kost einhielten und Fleisch, Fisch, Eier, Milch und Milchprodukte verzehrten. Als Vegetarier wurden Personen zugelassen, die eine gleichartige Kost, aber ohne Produkte von toten Tieren einhielten. Als Veganer wurden Personen zugelassen, die den Verzehr aller Produkte tierischer Provenienz ablehnten. Voraussetzung für die Studienteilnahme war die Erfüllung der Einschlusskriterien und ein Fehlen der Ausschlusskriterien.

#### **Einschlusskriterien:**

- kontinuierliche Kostform (entweder omnivore, vegetabile oder vegane Ernährungsweise) seit mindestens 6 Monaten
- mindestens jugendliches Alter bis max. 65. Lebensjahr
- subjektiv gesundheitliches Wohlbefinden

**Ausschlusskriterien:**

- Zufuhr stark jod-/selenhaltiger Speisen innerhalb von 24 h vor der laborchemischen Untersuchung
- Chronische Erkrankung (mit gestörter Verdauung, Resorption und Verwertung, die die zu erhebenden Parameter stark beeinflussen könnten - wie z.B.: Bulimie, Anorexie, Sondenernährte, Dialysepatienten und Nierenerkrankte)
- Diäten mit geringer Nahrungsaufnahme
- Schwangerschaft/Stillzeit (erhöhter Bedarf)
- extrem einseitige Ernährung (z.B. Alkoholiker)
- regelmäßiger Gebrauch von Arzneien (wie z.B. Laxantien und Diuretika > Verlust über Darm bzw. Urin)

**4.2 Methodik**

Die Studienteilnehmer stellten sich einmalig in der endokrinologischen Ambulanz des Klinikums Innenstadt der Ludwig-Maximilians-Universität München vor. Im Rahmen unserer Studie zur AIT führten wir eine Validierungsstudie durch, um den eingesetzten Food Frequency Fragebogen (FFT) auf seine Gültigkeit, die Mikronährstoffversorgung adäquat einschätzen zu können, zu überprüfen. Zum Vergleich wurden die als „Goldstandard“ angesehenen Biomarker Jodurie, Plasmaseelen- und SelenoproteinP-Konzentration herangezogen, die entsprechenden Korrelationen bestimmt und der Verzehrshäufigkeitsbogen FFT so ausreichend evaluiert.

**4.3 Ablauf**

Zuerst wurden die Studienteilnehmer auf Einschluss- bzw. Ausschlusskriterien geprüft. Dann wurde den Teilnehmern der Zweck und die Art der Untersuchung genau erklärt. Schließlich war die freiwillige Teilnahme durch schriftliche Einwilligung zur Studie notwendig. Die Personen wurden zu ihrer Ernährungsweise mittels eines hierfür speziell entworfenen Food-Frequency-Fragebogens (FFT) befragt. Danach wurden drei Serumröhrchen (mit EDTA versetzte BD - Vacutainer) venösen Blutes genommen sowie eine Urinprobe der Probanden asserviert. Die Auswertung des Jodids im Urin wurde im Labor von Prof. Gärtner im Medizinischen Klinikum Innenstadt durchgeführt. Die Werte Plasmaselen und SePP wur-

den anhand neuester Bestimmungsmethodik im Labor von Prof. Schomburg an der Charité Berlin bestimmt.

#### 4.4 Erhebungsinstrumente

Folgende Erhebungsinstrumente wurden benutzt:

- 1) Fragebogen (FFT) zu Nahrungsgewohnheiten und Verzehrshäufigkeit
- 2) laborchemische Biomarker:
  - > Jodurie
  - > Plasmaselenkonzentration
  - > Selenoprotein P(SePP)-konzentration

##### 4.4.1 Fragebogen zu Ernährungsgewohnheit und Verzehrshäufigkeit zur Erfassung der Zufuhr von Jod und Selen (FFT)

Bei Risikopersonen mit geringer nutritiver Mikronährstoffzufuhr (Jugendliche in Pubertät mit Bevorzugung von Softdrinks und Fastfood, Rohköstler und Veganer, Raucher und salzmeidende Hypertoniker, schwer chronisch Erkrankte) und bei erhöhtem Bedarf (Schwangere, Stillende, Kleinkinder, schwer chronisch Erkrankte) muss ein Nährstoffmangel rechtzeitig vermutet werden. Zur einfachen und schnellen Überprüfung sollte bei diesen Personen mittels eines Food-Frequency-Tables die Nährstoffzufuhr von Jod und Selen bestimmt werden (Adam 2003).

Der spezielle Food-Frequency-Fragebogen wurde unter der Leitung von Prof. Dr. med. Dr. med. habil. Olaf Adam, Ernährungsmediziner am Klinikum Innenstadt der LMU, Abteilung Ernährungsmedizin im Walther-Straub-Institut, entwickelt. Gewünscht wurde ein Erhebungsinstrument, mit dem Personen hinsichtlich des Verzehrs jod- und selenreicher Lebensmittel ausreichend charakterisiert werden können. Hierbei stand nicht die aktuelle Ernährung einer Person, sondern die für die Person typische (mittel-langfristige) Ernährungsweise in Vordergrund. Zur Erzielung einer möglichst hohen Standardisierung, ist zudem die Vergleichbarkeit zu anderen Studien wichtig. Um all diesen Forderungen gerecht zu werden, kam der speziell entwickelte Fragebogen, der sich an den evaluierten Fragebogen des Jodmonitorings 1996 anlehnt, zum Einsatz. Bezüglich der Jodanamnese weicht er nur gering von dem, bei der Studie zur Jodversorgung schwangerer Frauen in Bayern (Jeon 2011) zum Einsatz gekommenen FFT ab. Zur Ermittlung der Selenzufuhrdaten wurde der Fragebogen um die gezielte Anamnese selenhaltiger Nah-

rungsmittel erweitert. Die Vergleichbarkeit der Selenanamnese scheint aufgrund fehlender evaluierter Fragebögen in der Literatur jedoch schwieriger.

Die Anamnese der Nährstoffzufuhr wurde auf drei Gruppen mit verschiedener Kostform - omnivor, vegetarisch, vegan - modifiziert, und um den Bereich der Eisenzufuhr (die bei der Promotionsarbeit meiner Frau Stephanie Maria Hildbrand ``Bedeutung des Jod/Selen-Quotienten und des Ferritins für das Auftreten einer AIT bei sich omnivor, ovo-lakto-vegetarisch und vegan ernährenden Personen`` weiter beleuchtet wird) erweitert. Dies findet in der hier vorliegenden Dissertation jedoch keine weitere Beachtung. Erfasst wurde die Nahrungsaufnahme mit Hilfe einer Lebensmittelliste mit insgesamt 36 Lebensmitteln. Es wurden Standardportionsgrößen aufgrund der Mengenlehre der Küche 1995, Mundgerecht 1996, MONICA Mengeliste festgelegt. Der Standardportion einer Lebensmittelgruppe wurde ein entsprechend gemittelter Jod- bzw. Selengehalt in Anlehnung an Literaturdaten aus dem: Bundeslebensmittelschlüssel II.2; Souci-Fachmann-Kraut 2007; verschiedenen Studienergebnissen: (Anke et al 2002, Biesalski et al 1997, Domke et al 2004); Deutsche Gesundheitshilfe (DGH 2008); Deutsches Grünes Kreuz (DGK 2008) und Produktdaten der Lebensmittelindustrie durch Frau Gawron, diplomierte Ökotrophologin in der Abteilung Ernährungsmedizin am Walther-Straub-Institut, zugeordnet. Schließlich wurde die durchschnittliche Verzehrshäufigkeit einer bestimmten Portionsgröße während des vergangenen Jahres abgefragt. Der Bezugszeitraum von einem Jahr ist für retrospektive Studien typisch, da hierdurch saisonale und andere kurzfristige Schwankungen ausgeglichen werden.

**Inhalt:** Informationen über Ernährungsverhalten (omnivor, ovo-lacto-vegetarisch, vegan); semiquantitative Häufigkeitstabelle mit 36 ausgewählten Lebensmitteln (bezogen auf Verzehr des vorangegangenen Monats/Jahres, anthropometrische Daten; Gesundheitsverhalten (Medikamente, Rauchen); sozioökonomische Daten; Daten über chronische Erkrankungen

**Zweck:** Ein- und Ausschluss der Teilnehmer; Einteilung in Kostgruppen; Gewinnen von Basisinformationen (Grundlage für deskriptive Statistik); Erkenntnisgewinn für Prävention und Therapie mangelversorgter Personen; Klärung Zusammenhang Ernährungsverhalten und Krankheitsgeschehen

Alle 36 Lebensmittel des Fragebogens wurden einzeln berechnet und dann in sinnvolle Lebensmittelgruppen zum einfacheren Darstellen zusammengefasst:

**Tab. 3: Lebensmittelgruppen/Nährstoffgehalte des Ernährungsfragebogens**  
(Werte aus verschiedenen Literaturquellen gemittelt) (in Mikrogramm)

Lebensmittelgruppe	Jodgehalt pro 100g	Jodgehalt pro Portion	Selengehalt pro 100g	Selengehalt pro Portion
Brot / Backwaren (je nach Salzart)	24-33	12-20	4	2,5
Milch / Milchprodukte (Milch, Joghurt, Käse, Sahne, Butter)	7-40	10-14	1,5-5	3 / 5
Nährmittel (Reis, Getreide, Teigwaren, Frühstückscerealien)	1-3	5	7-10	6
Eier / Eierspeisen(Eiernudeln)	10	6	8 10-20	5 14
Fisch / Meeresfrüchte	65-80	120-140	30-140	50
Fleisch / Fleischwaren Wurst (je nach Salzart)	3-10 60	5-18 12	7-14	15
Gemüse	10-18	18-27	1-3	4
Pilze	15	10,5	7	5
Hülsenfrüchte	3-5	3	10-15	10
Nüsse / Paranüsse	1-3	1	5 / 103	3 / 62
Sojabohnen, Tofu	gering	gering	10-30	10

Für Lebensmittel, die in haushaltsüblichen Maßen, wie Löffel oder Glas verzehrt werden sowie für Lebensmittel, die in natürlichen Einheiten wie Scheibe oder Stück gegessen werden, wurden diese Maße/Einheiten zur Portionsgrößenermittlung in den Fragebogen übernommen. Die Häufigkeitsabfrage war sehr flexibel gestaltet. Der Befragte konnte seine Angaben auf Tag, Woche, Monat oder Jahr beziehen und zwischen 1 bis 4-mal als Häufigkeit wählen. Mit den Studienteilnehmern wurde der Ernährungsfragebogen gemeinsam erarbeitet und ausgefüllt, um eine hohe maximale Responderrate zu erreichen. Dabei überprüfte der Interviewer, ob der Fragebogen richtig und komplett ausgefüllt wurde. Die Daten wurden dann unter Kontrolle einer weiteren Person in eine Excel-Datei (Microsoft Office 2007) übertragen und ausgewertet.

Auswertung des Fragebogens:

**1) Jodberechnung** (bedeutendste Zufuhr durch):

Jodzufuhr durch Backwaren

(Anzahl Scheiben Brot x 12 µg + Anzahl Brötchen x 12 µg + Anzahl Laugenbrötchen/Brezeln x 20 µg + Stück Kuchen/Gebäck x 5 µg) x k1

Faktor k1 = 1, wenn Herstellung mit Jodsalz = 0, wenn Herstellung ohne Jodsalz = 0,5, wenn Jodsalzverwendung unklar oder Einkauf bei unterschiedlichen Bäckereien.

Jodzufuhr durch Wurstwaren

Anzahl Portionen Wurst x 12 µg + Anzahl Portionen Bratwurst/Weißwurst/andere Würste x 12 µg

Jodzufuhr durch Milchprodukte

Anzahl Becher Joghurt/Kefir/Quark x 10 µg + Anzahl Tassen Milch x 10µg + Anzahl Portionen Hartkäse x 14 µg + Anzahl Portionen Weichkäse x 6 µg

Jodzufuhr durch Fisch

Anzahl Portionen Seefisch x 140 µg + Anzahl Portionen Meeresfrüchte x 120 µg

Jodzufuhr durch Gemüse

Anzahl Portionen Champignons x 27 µg + Anzahl Portionen Brokkoli x 22 µg + Anzahl Portionen Spinat x 18 µg

Jodzufuhr durch Jodsalz im Haushalt und Außer-Haus-Mahlzeiten

20 µg x k2 – 2,3 µg x k2 x a + 2,3 µg x 0,7 x a

Faktor k2 = 1, wenn im Haushalt Jodsalz / = 0, wenn im Haushalt kein Jodsalz / = 0,7, wenn Jodsalzverwendung unklar / a = Anzahl der Außer-Haus-Essen

Jodzufuhr durch Medikamente

Anzahl der Tabletten x Jodgehalt der Tablette

Durch Addition der jeweiligen Einzelergebnisse berechnet sich die tägliche individuelle Jodzufuhr.

**2) Selenberechnung** (*bedeutendste* Zufuhr durch):Selenzufuhr durch Backwaren

Anzahl Scheiben Brot x 2,5 µg + Anzahl Brötchen x 2,5 µg + Anzahl Laugenbrötchen/Brezeln x 2,5 µg + Stück Kuchen/Gebäck x 2,5 µg

Selenzufuhr durch Fleisch und Wurstwaren

Anzahl Portionen Fleisch x 15 µg + Anzahl Portionen Würste x 15 µg

Selenzufuhr durch Milchprodukte

Anzahl Becher Joghurt/Kefir/Quark x 3 µg + Anzahl Tassen Milch x 3 µg + Anzahl Portionen Käse x 5 µg

Selenzufuhr durch Fisch

Anzahl Portionen Seefisch x 50 µg + Anzahl Portionen Meeresfrüchte x 50 µg

Selenzufuhr durch Gemüse

Anzahl Portionen Gemüse x 4 µg

Selenzufuhr durch Sojabohnen/Tofu

Anzahl Portionen Soja x 10 µg

Selenzufuhr durch Medikamente

Anzahl der Tabletten x Selengehalt der Tablette

Durch Addition der jeweiligen Einzelergebnisse berechnet sich die tägliche individuelle Selenzufuhr.

**4.4.2 Laborparameter Blut/Urin****4.4.2.1 Urinjodausscheidung / Jodurie**

Die Messung des Gesamtjodgehaltes in organischem Material wurde mit der photometrischen Cer-Arsenit-Methode nach Sandell-Kolthoff im Labor von Prof. Gärtner der Medizinischen Klinik, Klinikum Innenstadt der Ludwig-Maximilians-Universität München durch Frau Petra Rank ermittelt. Der Jodgehalt im Urin konnte hierbei nach 20-minütiger Veraschung bei 225°C mit konzentrierter Schwefel-, Perchlor- und Salpetersäure im Metallblock-Thermostat unter oxidierenden Bedingungen mittels der Cer-Arsenit Methode gemessen werden. Die Methode beruht auf einem pseudokatalytischen Effekt von Jodid auf die Reduktion von  $\text{Ce}^{4+}$  durch  $\text{As}^{3+}$  in verdünnter Schwefelsäure.



Dabei ist die Geschwindigkeit der Reduktion des gelben  $\text{Ce}^{4+}$  zum farblosen  $\text{Ce}^{3+}$  proportional zur  $\text{J}^-$ -Konzentration. Die Absorptionsabnahme wurde photometrisch bei 405 nm bestimmt.

#### 4.4.2.2 Plasmaselen und SePP

Unter Erhalt der Kühlkette wurden die Serumproben in das Labor von Prof. Schomburg an der Charité Berlin geschickt. Dort wurden zur Bestimmung des Selenstatus die folgenden Biomarker ausgewertet:

Plasmaselen-Bestimmung: Mittels dreifacher spektrofluorimetrischer Analyse anhand konnte der Gesamtselengehalt aus dem Plasma/Serum bestimmt werden.

SePP-Bestimmung: Dabei wurde mittels ELISA (enzyme linked immunsorbent assay) im Triplikate nach der immunoluminometrischen Sandwichmethode ausgewertet. Nachfolgend konnte antikörpervermittelt im Western Blot die SePP-Konzentration quantifiziert werden (Hollenbach 2010).

### 4.5 Datenauswertung und Statistische Methoden:

Die statistische Auswertung wurde unter Verwendung folgender Programme durchgeführt:

- Excel - Microsoft Office Version 2007 (=>Sammlung und Ordnung der Rohdaten in Tabellenform und Erstellung von Histogrammen)
- Software R - Versionsnummer 2.12.0 – Statistikprogramm der LMU (=>Berechnungen und Erstellung statistischer Graphen)

Neben den Auswertungen für das Gesamtkollektiv wurden alle Berechnungen nach Ernährungsgruppe (mit und ohne Nahrungsergänzung) und Geschlecht stratifiziert. Dabei wurden Mittelwerte, Standardabweichungen, Median und Wertebereich (Range) berechnet. Die Häufigkeitsverteilung wurde anhand von Säulen-/Stabdiagrammen graphisch dargestellt. Danach erfolgte die Beurteilungen der Daten auf Normverteilung und Prüfung der statistischen Signifikanz. Diese analytische Statistik wurde von Mitarbeitern des Instituts für Statistik - Leitung Prof. Küchenhoff LMU – Herr Holger Reulen und Herr Christoph Molnar - durchgeführt. Zuerst wurden die Daten der drei verschiedenen Kostgruppen mittels QQ-Plots

(Quantil-Quantil-Plots) auf Normalverteilung überprüft, um nachfolgende korrekte statistische Tests anwenden zu können. Zum Testen auf Unterschiede bezüglich Nährstoffzufuhr und unterschiedliche Versorgungslage zwischen Vegetariern und Mischköstlern (als Vergleichsgruppe mit den empirisch höchsten Werten) und Veganern und Mischköstlern wurde der Wilcoxon - Rangsummen - Test benutzt. Es wurden dafür zuerst Untersuchungshypothese („es gibt Unterschiede zwischen verschiedenen Kostgruppen wie die Empirie zeigt“) und Nullhypothese („es gibt keine Unterschiede zwischen den Kostgruppen“) formuliert. Anhand der Prüfung der Nullhypothese (es wird also unterschieden, ob sich die Gruppen nicht unterscheiden) wurde die Wahrscheinlichkeit für das empirische Ergebnis, dass Unterschiede zwischen den Gruppen vorhanden sind, geliefert [=>Verteilung möglicher Gruppenunterschiede]. Dabei wurde die Wahrscheinlichkeit, die Nullhypothese abzulehnen (=alpha-Risiko/Irrtumswahrscheinlichkeit) auf 5% festgelegt (=>Größe des Ablehnungsbereiches). Wenn das empirische Ergebnis unter 5% fällt, so ist es unwahrscheinlich, dass die Nullhypothese zutrifft. Die Formulierung der Alternativhypothese (omnivore Kostgruppe unterscheidet sich durch höhere Werte) wurde möglich [=>gibt Lage des Ablehnungsbereiches an]. Schließlich wurde mittels Signifikanztestung festgestellt, ob zwischen den jeweiligen Kostgruppen klinisch relevante Unterschiede vorliegen. Dabei ist das Signifikanzniveau (also die Bereitschaft, sich für Alternativhypothese zu entscheiden, obwohl Nullhypothese gilt) auf 5% festgelegt. Bei p-Werten unter 0,05 gelten Werte als statistisch signifikant. Beim Wilcoxon-Test werden also die Werte zweier Stichproben zu einer gemeinsamen Gruppe zusammengefasst, nach Größe geordnet und dann mit Rangzahlen versehen. Daraus berechnet sich eine Rangsumme für jede Stichprobe und eine Prüfgröße. Je mehr sich die aus der gemeinsam geordneten Reihe eruierten Rangsummen für beide Stichproben unterscheiden, desto deutlicher müssen sich die zugehörigen Populationen unterscheiden. Bei einer angenommenen Irrtumswahrscheinlichkeit von  $\alpha=5\%$  galten p-Werte  $<0,05$  als statistisch signifikant.

Die Validierung unserer Untersuchung beruht auf dem Vergleich zweier Erhebungsmethoden, a) der Konzentration des Spiegels an Spurenelementen mit b) der Aufnahme an Spurenelementen aus dem Ernährungsfragebogen. Als statistische Kennzahl für die Validität wurde der Pearson-Korrelationskoeffizient zwischen dem Fragebogen und den Biomarkern als Stärke des Zusammenhangs be-

rechnet. Zur Darstellung des Zusammenhangs beider statistischer Variablen wurden Scatterplots (Punktwolken) mit Regressionsgeraden entwickelt. Dabei gilt: Je linearer die Regression der beiden untersuchten Parameter (je näher der Korrelationskoeffizient bei 1), desto gültiger ist die Annahme, dass das, was mittels Biomarker gemessen werden soll, auch mit dem Fragebogen erfasst wird.

Vorraussetzung für verwendbare Daten sind außer der Validität noch Objektivität und Reproduzierbarkeit/Reliabilität. Dies ist durch die Verwendung von Daten möglich, die mittels standardisierter Messverfahren/evaluierter Datenerhebungsmethodik jederzeit wiederholbar ist. Diese Kriterien sind hier auch erfüllt.

## 5 Ergebnisse

### 5.1 Probandenkollektiv

Es konnten 99 Mischköstler, 101 Ovo-Lacto-Vegetarier und 83 strikte Veganer für diese ernährungsepidemiologische Querschnittsstudie gewonnen werden, die den Einschlusskriterien entsprachen und bei denen keine Ausschlusskriterien vorlagen. Damit waren die Vorgaben für alle drei Kostgruppen erfüllt. Es gelang, repräsentative Daten mit ähnlicher Alters- und Geschlechtsverteilung innerhalb der drei Ernährungsgruppen zu erheben (Tab.4). Der Altersdurchschnitt im Mittelwert/Median entsprach bei den Mischköstlern 43,6/45 Jahren bei den Vegetariern 39,1/40 Jahren und bei den Veganern 38,9/38 Jahren mit etwa gleich großen Standardabweichungen.

Tab. 4: Allgemeine Daten

Ernährungsform	Probandengruppen		
	omnivor	vegetarisch	vegan
Anzahl	n = 99	n = 101	n = 83
Anzahl Frauen ♀	n = 70; (71 %)	n = 72; (71 %)	n = 56; (67 %)
Anzahl Männer ♂	n = 29; (29 %)	n = 29; (29 %)	n = 27; (33 %)
Alter Mittelwert ± SD	43,6 ± 12,5	39,1 ± 13,9	38,9 ± 13,1
Alter Median	45	40	38
Alter Range(Min-Max)	16 – 65	14 - 63	15 - 65

Die folgende Tabelle 5 zeigt einzeln aufgelistet die Einnahme von Medikamenten / Nahrungssupplementen mit Wirkung auf die Schilddrüse und den Mikronährstoffstatus. Angegeben ist der prozentuale Anteil des Medikaments /Nahrungsergänzungsmittels innerhalb der jeweiligen Ernährungsgruppe. Mischköstler nehmen öfter Jod- und Selentabletten ein als Vegetarier und Veganer. Im Gegensatz dazu führen Veganer spezielle Mikronährstoffpräparate wie Veg1-Tabletten oder Algenpräparate zu sich.

**Tab. 5: Eingenommene Medikamente / Nahrungsergänzungsmittel**

Medikamente / Nahrungsergänzungsmittel	Kostform		
	omnivor (n=99)	vegetabil (n=101)	vegan (n=83)
L-Thyrox / Euthyrox	15%	5%	8%
ThyronaJOD/Jodetten/Jodid	6%	3%	0%
SelenTbl	6%	2%	1%
Veg1Tbl (60ugSelen/150ugJodid)	0%	0%	7%
Algen Tbl (Spirulina/Chlorella) (jod- und selenhaltig)	0%	2%	7%

Tabelle 6 zeigt die Einflussgröße Rauchen, die sich negativ auf den Nährstoffstatus auswirkt. Angegeben sind der prozentuale Anteil der beschriebenen Faktoren und die Anzahl innerhalb der jeweiligen Kostform. Der Großteil der Studienteilnehmer (etwa  $\frac{3}{4}$ ) gab an Nichtraucher zu sein. Der Anteil der aktiven Raucher aller Kostgruppen lag bei 12-13%, der Anteil der ehemaligen Raucher bei 12-17%.

**Tab. 6: Prozentualer Anteil Raucher, Exraucher, Nichtraucher**

	Kostform		
	omnivor (n=99)	vegetabil (n=101)	vegan (n=83)
Raucher	13% (n=13)	13% (n=13)	12% (n=10)
Exraucher	12% (n=12)	13% (n=13)	17% (n=14)
Nichtraucher	75% (n=74)	74% (n=75)	71% (n=59)

Tabelle 7 zeigt, welche Salzsorte die Studienteilnehmer im Alltag zuhause konsumieren. Angegeben sind der prozentuale Anteil des verzehrten Salzes und die Anzahl innerhalb der jeweiligen Kostform. Jodiertes Salz (reines Jodsalz, fluoridiertes Jodsalz, jodierter Kochsalzersatz) wird von fast  $\frac{2}{3}$  der Mischköstler, von knapp noch der Hälfte der Vegetarier und von nur noch 37% der Veganer verzehrt. Nichtjodiertes Speisesalz (gewöhnliches Speisesalz, Meersalz oder Reformsalz) führten etwas mehr als  $\frac{1}{3}$  der Omnivoren, rund der Hälfte der Vegetarier und etwa  $\frac{2}{3}$  der Veganer zu. Bewusst ohne Salzzufuhr zuhause waren 8% der Veganer.

Tab. 7: Salzverwendung im Haushalt

Salzverwendung im Haushalt:	Kostform		
	omnivor (n=99)	vegetabil (n=101)	vegan (n=83)
Jodiertes Speisesalz	64% (n=63)	49% (n=49)	37% (n=31)
Nichtjodiertes Speisesalz	36% (n=36)	51% (n=52)	65% (n=45)
Kein Salz	0% (n= 0)	0% (n= 0)	8% (n= 7)

## 5.2 Zufuhrrgebnisse aus dem FFT

### 5.2.1 Jod

Die mit dem fokussierten FFT errechnete Jodaufnahme lag bei Mischköstlern im Median bei 108 µg/d, bei den Vegetariern bei 96 µg/d und bei den Veganern bei 59 µg/d (Abb. 3 und 4).

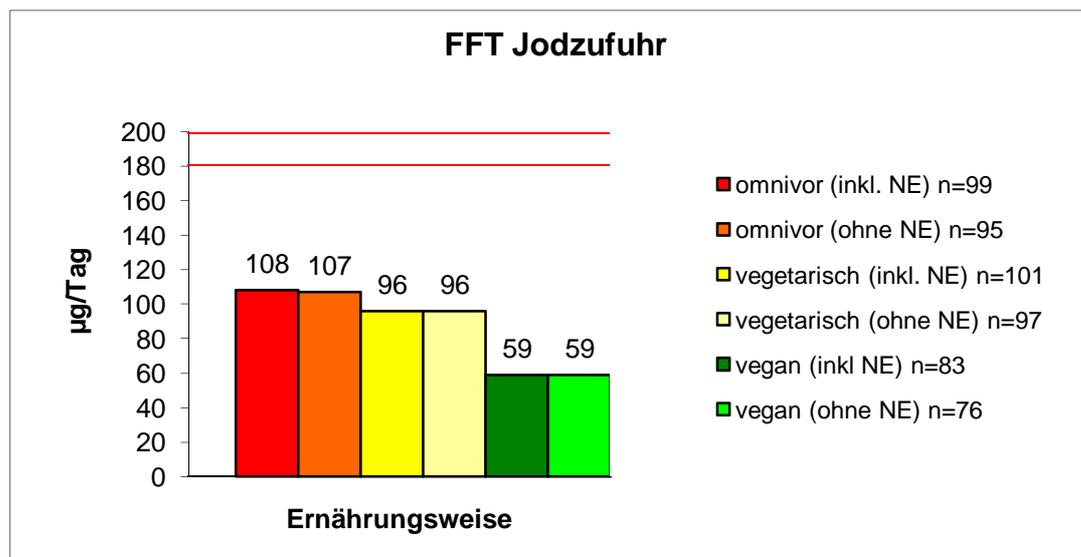
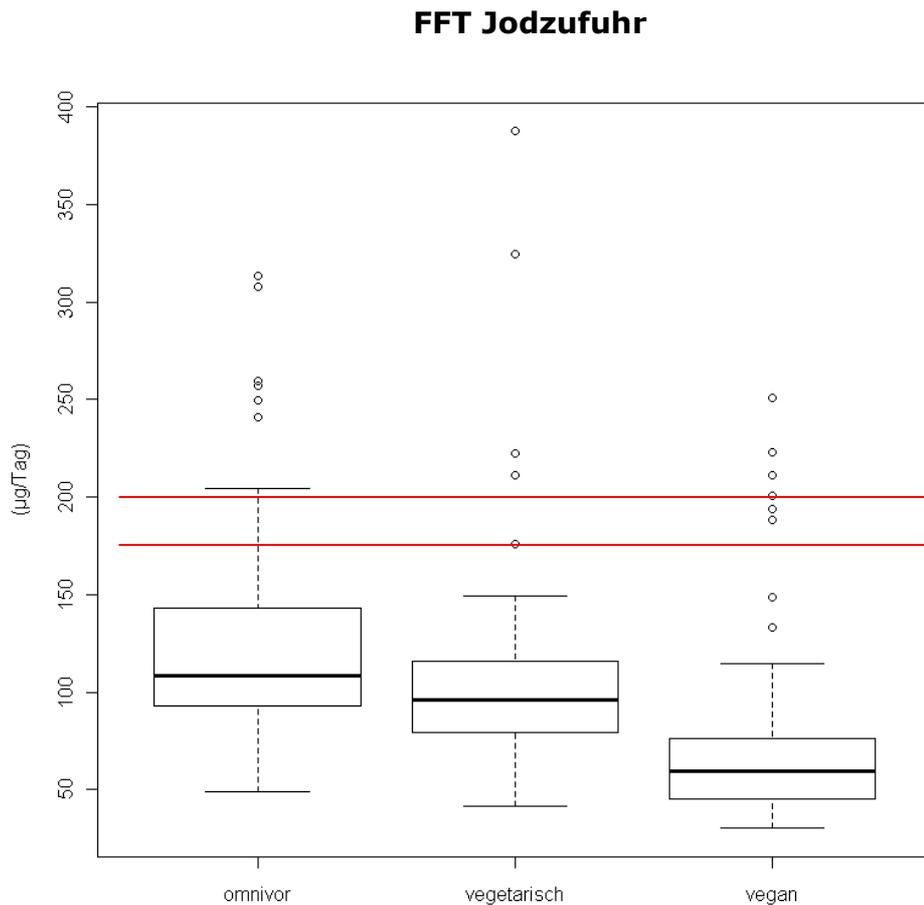


Abb. 3: Gegenüberstellung der Medianwerte der FFT- ermittelten Jodzufuhr.

Aufgeführt sind die Medianwerte der täglichen Jodzufuhr der jeweiligen Ernährungsgruppen (inkl. Nahrungsergänzungsmittel bzw. ohne NE). Die roten Linien markieren den von der DGE empfohlenen Aufnahmebereich des Jods von 180-200 µg/Tag für Jugendliche und Erwachsene.

Die Ernährungsgruppen zeigen bezüglich ihrer Mikronährstoffzufuhr signifikante Unterschiede. Nach Testung/Ablehnung der Normalverteilung mittels Wilcoxon-Rangsummen-Test konnten folgende p-Werte bestimmt werden:

Vergleich Kostgruppen	Wilcox	p. Wilcox
=> omnivor (inkl NE): vegetarisch (inkl NE)	6450	p<0,001
=> omnivor (inkl NE): vegan (inkl NE)	7053	p<0,001
=> vegetarisch (inkl NE): vegan (inkl NE)	1680	p<0,001



**Abb. 4: Boxplot zum Vergleich der geschätzten Jodzufuhr mittels FFT.**

Aufgeführt ist der Boxplot mit den geschätzten Werten der nutritiven Jodzufuhr mit den Medianwerten, den 5%,25%,75% und 95% Quantilen sowie den Minimal- und Maximalwerten. Dargestellt sind die drei Ernährungsgruppen inklusive eventueller Nahrungsergänzung mit Jod. In den Kostgruppen führten omnivore n=4, vegetarische n=4, vegane n=7 Personen zusätzlich Jod zu. Die roten Linien markieren den Referenzbereich von 180-200 µg/Tag für eine ausreichende Jodversorgung.

Die Ernährungsgruppen zeigen auch in dieser Darstellung bezüglich der Medianwerte der Mikronährstoffzufuhr signifikante Unterschiede. Nach Testung/Ablehnung der Normalverteilung konnten mittels Wilcoxon-Rangsummen-Test folgende p-Werte bestimmt werden:

Vergleich Kostgruppen		Wilcox	p. Wilcox
=> omnivor (inkl NE):	vegetarisch (inkl NE)	6450	p<0,001
=> omnivor (inkl NE):	vegan (inkl NE)	7053	p<0,001
=> vegetarisch (inkl NE):	vegan (inkl NE)	1680	p<0,001

In der nachfolgenden Tabelle ist die durchschnittliche Jodzufuhrmenge im Mittel mit Standardabweichung sowie im Median mit Range jeweils geschlechterspezifisch dargestellt. Auch wird zwischen den Gruppen inklusive Nahrungsergänzung und den Gruppen ohne Nahrungsergänzung unterschieden.

Tab. 8: Durchschnittliche Jodzufuhr( µg/Tag)\* auf Basis des FFT

Kostform	♀ inkl. Nahrungs-ergänzung	♂ inkl. Nahrungs-ergänzung	♀ ohne Nahrungs-ergänzung	♂ ohne Nahrungs-Ergänzung
<b>omnivor</b>	118,4 ± 43,2 (107,1) [53,5 - 307,8] (n=70)	134,6 ± 63,7 (115,2) [48,7 - 313,7] (n=29)	111,9 ± 32,5 (105,1) [53,5 - 204,1] (n=66)	134,6 ± 63,7 (115,2) [48,7 - 313,7] (n=29)
<b>Vegetarisch</b>	103 ± 46,3 (98,7) [41,4 - 387,6] (n=72)	103,3 ± 48,6 (92,3) [43,1 - 324,3] (n=29)	97,3 ± 29,1 (96,7) [41,4 - 222,6] (n=70)	92,5 ± 25,7 (92,3) [43,1 - 146,5] (n=27)
<b>Vegan</b>	71 ± 43,6 (61) [30 - 250,9] (n=56)	72,6 ± 48,9 (57,3) [30 - 222,7] (n=27)	60,2 ± 19,4 (59,1) [30 - 131,1] (n=52)	62,2 ± 30,4 (57) [30 - 148,4] (n=24)

\* Mittelwert ± Standardabweichung, (Median), [Range: Min – Max], (Probandenanzahl n)

Die Ernährungsgruppen (hier noch näher unterteilt in Geschlecht) zeigen bezüglich ihrer Jodzufuhr signifikante Unterschiede. Nach Testung/Ablehnung der Normalverteilung mittels Wilcoxon-Rangsummen-Test konnten bei den Medianwerten folgende p-Werte bestimmt werden:

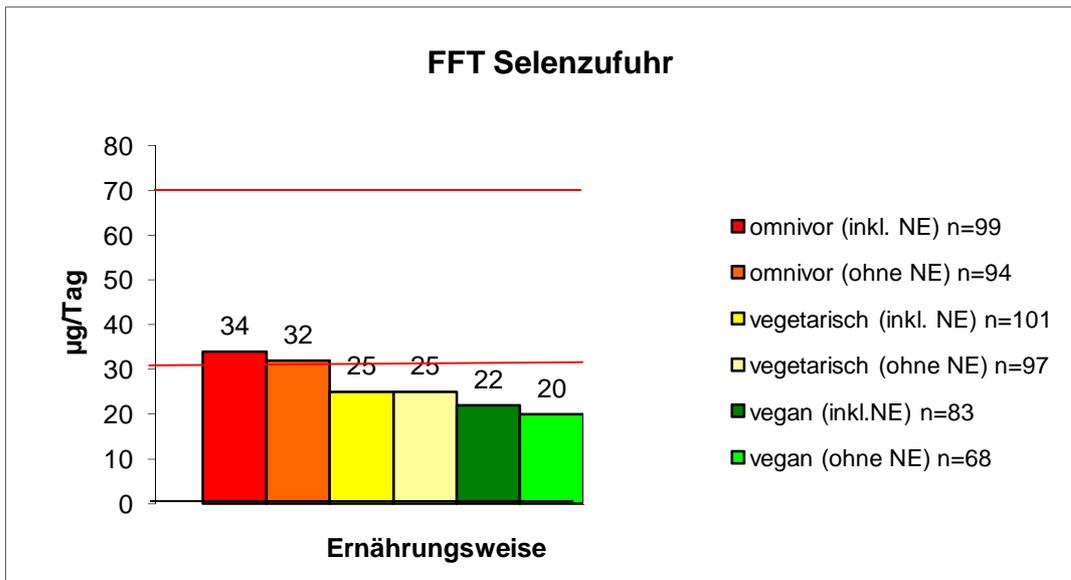
Vergleich Kostgruppen	Wilcox	p. Wilcox
=> omnivor ♀ (inkl NE): vegetarisch ♀ (inkl NE)	3194	p<0,006
=> omnivor ♂ (inkl NE): vegetarisch ♂ (inkl NE)	559	p<0,033
=> omnivor ♀ (inkl NE): vegan ♀ (inkl NE)	3418	p<0,001
=> omnivor ♂ (inkl NE): vegan ♂ (inkl NE)	659	p<0,001
=> vegetarisch ♀ (inkl NE):vegan ♀ (inkl NE)	768	p<0,001
=> vegetarisch ♂ (inkl NE):vegan ♂ (inkl NE)	173	p<0,001

Der Geschlechtervergleich innerhalb der jeweiligen Ernährungsgruppe zeigt bezüglich FFT- ermittelter Jodzufuhr keine signifikanten Unterschiede:

Vergleich Kostgruppen	Wilcox	p. Wilcox
=> omnivor ♀ (inkl NE): omnivor ♂ (inkl NE)	907	p<0,406 *n.s.
=> vegetarisch ♀ (inkl NE):vegetarisch ♂ (inkl NE)	1045	p<0,997 *n.s.
=> vegan ♀ (inkl NE): vegan ♂ (inkl NE)	804	p<0,648 *n.s.

### 5.2.2 Selen

Die mit dem fokussierten FFT errechnete Selenaufnahme lag bei Mischköstlern im Median bei 34 µg/d, bei den Vegetariern bei 25 µg/d und bei den Veganern bei 20 µg/d (Abb. 5 und 6).



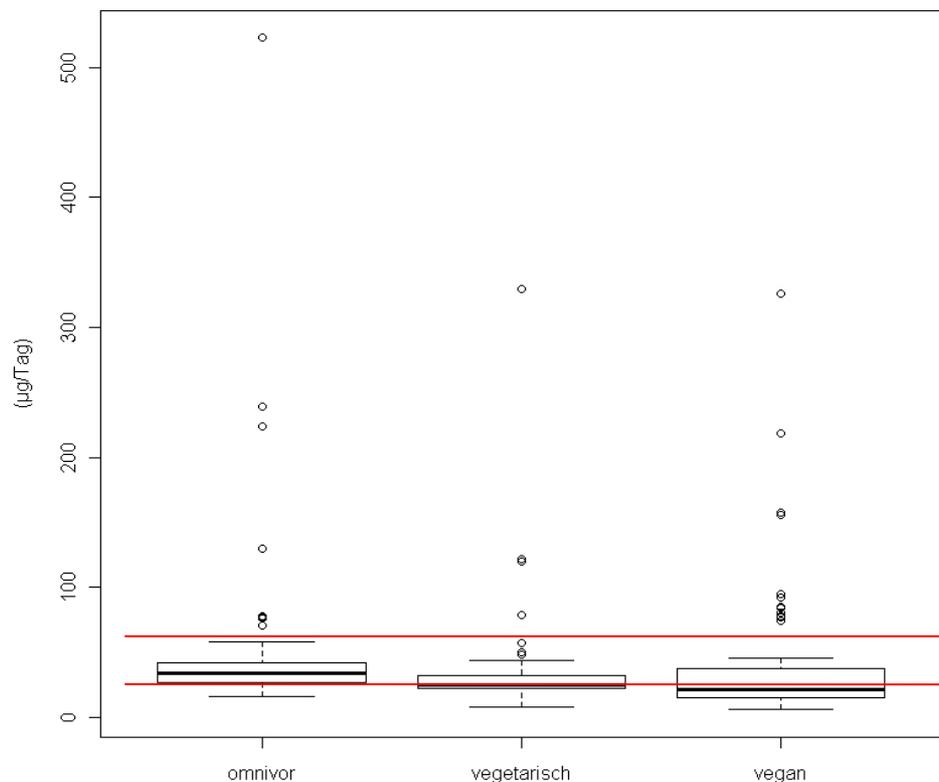
**Abb. 5: Histogramm zur Darstellung der Medianwerte der Selenzufuhr.**

Aufgeführt sind die per FFT ermittelten Medianwerte der Selenzufuhr. Die roten Linien markieren den von verschiedenen Experten empfohlenen Aufnahmebereich des Jods von 30-70 µg/Tag für Jugendliche und Erwachsene.

Die Ernährungsgruppen zeigen bezüglich ihrer Mikronährstoffzufuhr signifikante Unterschiede. Nach Ablehnung der Normalverteilung mittels Wilcoxon-Rangsummentest konnten folgende p-Werte bestimmt werden:

Vergleich Kostgruppen	Wilcox	p. Wilcox
=> omnivor (inkl NE): vegetarisch (inkl NE)	6907	p<0,001
=> omnivor (inkl NE): vegan (inkl NE)	5713	p<0,001
=> vegetarisch (inkl NE): vegan (inkl NE)	3426	p<0,033

## FFT Selenzufuhr



**Abb. 6: Boxplot zum Vergleich der täglichen nutritiven Selenzufuhr in µg/Tag.**

Ermittelt aus dem standardisierten FFT-Fragebogen-Gesamtkollektiv (Frauen und Männer) inklusive Probanden, die Selen zusätzlich zuführen. Dargestellt sind die drei Ernährungsgruppen inklusive eventueller Nahrungsergänzung mit Selen. In den Kostgruppen führten omnivore n=5, vegetarische n=4, vegane n=15 Personen zusätzlich Selen zu. Die roten Linien kennzeichnen die Richtwerte der Zufuhr mit Selen zwischen 30 und 70 µg/Tag.

Die Ernährungsgruppen zeigen auch in dieser Darstellung bezüglich der Medianwerte der Mikronährstoffzufuhr signifikante Unterschiede. Nach Testung/Ablehnung der Normalverteilung mittels Wilcoxon-Rangsummen-Test konnten folgende p-Werte bestimmt werden:

Vergleich Kostgruppen		Wilcox	p. Wilcox
=> omnivor (inkl NE):	vegetarisch (inkl NE)	6907	p<0,001
=> omnivor (inkl NE):	vegan (inkl NE)	5713	p<0,001
=> vegetarisch (inkl NE):	vegan (inkl NE)	3426	p<0,033

In der nachfolgenden Tabelle ist die durchschnittliche Zufuhrmenge von Selen im Mittel mit Standardabweichung sowie im Median mit Range jeweils geschlechter-

spezifisch dargestellt. Auch wird unterschieden zwischen Frauen/Männern inklusive Nahrungsergänzung und Frauen/Männer ohne Nahrungsergänzung.

**Tab. 9: Durchschnittliche Selenzufuhr ( $\mu\text{g}/\text{Tag}$ )\* auf Basis des FFT**

Kostform	♀ inkl. Nahrungsergänzung	♂ inkl. Nahrungsergänzung	♀ ohne Nahrungsergänzung	♂ ohne Nahrungsergänzung
<b>omnivor</b>	47,9 ± 68 (32,1) [16 - 522,7] (n=70)	38,5 ± 12 (36,8) [19,5 - 76,2] (n=29)	33,2 ± 11,5 (30,7) [16 - 76,7] (n=65)	38,5 ± 12 (36,8) [19,5 - 76,2] (n=29)
<b>vegetarisch</b>	32,9 ± 38,1 (24,9) [13,5 - 329,7] (n=72)	32,2 ± 19,2 (27,6) [8,5 - 121,9] (n=29)	26,7 ± 7,8 (24,4) [13,5 - 57,3] (n=69)	29 ± 9,1 (27,1) [8,5 - 48,1] (n=28)
<b>vegan</b>	33,2 ± 47,2 (19,6) [7,5 - 326,4] (n=56)	46,6 ± 47 (35,9) [5,9 - 218,3] (n=27)	19,6 ± 7,6 (18) [7,5 - 40] (n=48)	25,5 ± 13,2 (25,6) [5,9 - 45,3] (n=20)

\* Mittelwert ± Standardabweichung, (Median), [Range: Min – Max], (Probandenanzahl n)

Die Ernährungsgruppen (hier noch näher unterteilt auf Geschlecht) zeigen bezüglich ihrer Selenzufuhr überwiegend signifikante Unterschiede. Nach Testung/Ablehnung der Normalverteilung mittels Wilcoxon-Rangsummen-Test konnten bei den Medianwerten folgende p-Werte bestimmt werden:

Vergleich Kostgruppen	Wilcox	p. Wilcox
=> omnivor ♀ (inkl NE): vegetarisch ♀ (inkl NE)	3430	p<0,001
=> omnivor ♂ (inkl NE): vegetarisch ♂ (inkl NE)	594	p<0,007
=> omnivor ♀ (inkl NE): vegan ♀ (inkl NE)	2980	p<0,001
=> omnivor ♂ (inkl NE): vegan ♂ (inkl NE)	441	p<0,426 *n.s.
=> vegetarisch ♀ (inkl NE):vegan ♀ (inkl NE)	1355	p<0,002
=> vegetarisch ♂ (inkl NE):vegan ♂ (inkl NE)	430	p<0,533 *n.s.

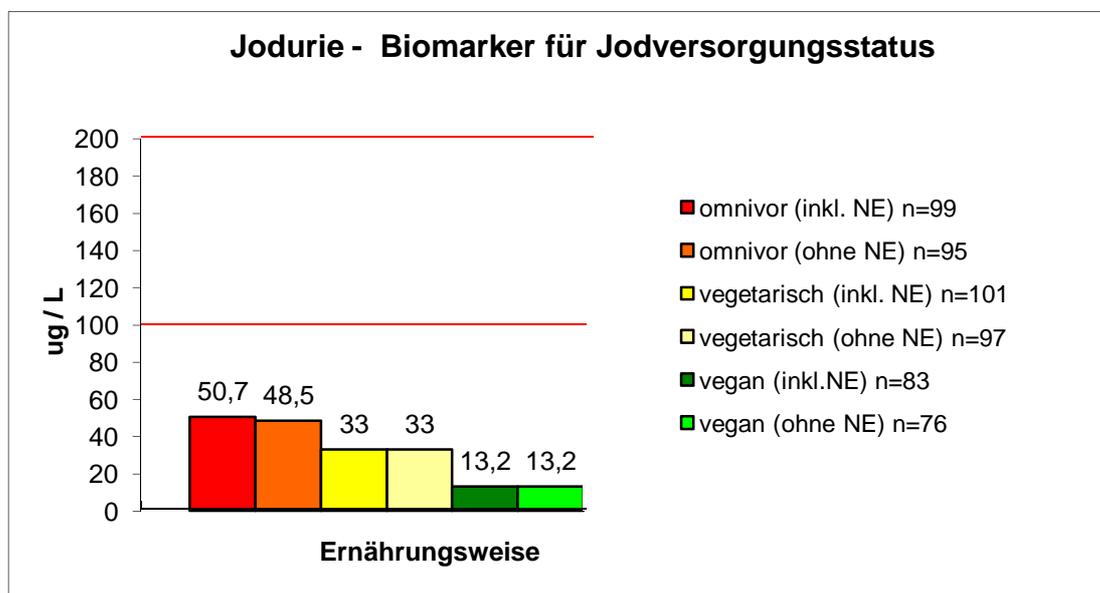
Der Geschlechtervergleich innerhalb der jeweiligen Ernährungsgruppe zeigt bezüglich der FFT- ermittelten Selenzufuhr teils signifikante Unterschiede:

Vergleich Kostgruppen	Wilcox	p. Wilcox
=> omnivor ♀ (inkl NE): omnivor ♂ (inkl NE)	822	p<0,139 *n.s.
=> vegetarisch ♀ (inkl NE):vegetarisch ♂ (inkl NE)	920	p<0,352 *n.s.
=> vegan ♀ (inkl NE): vegan ♂ (inkl NE)	538	p<0,035

### 5.3 Versorgungsstatus der Mikronährstoffe Jod und Selen mittels laborchemischer Analyse der Biomarker: Jodurie, Plasmaselen & SePP

#### 5.3.1 Jodurie

Die Messung der Medianwerte der Jodurie ergab bei der omnivoren Ernährungsgruppe Werte von rund 50 µg/L, bei der vegetarischen Gruppe Werte von 33 µg/L und bei der veganen Gruppe Werte von knapp 13 µg/L - allesamt im Mangelbereich liegend (Abb.7, 8 und Tab.10).

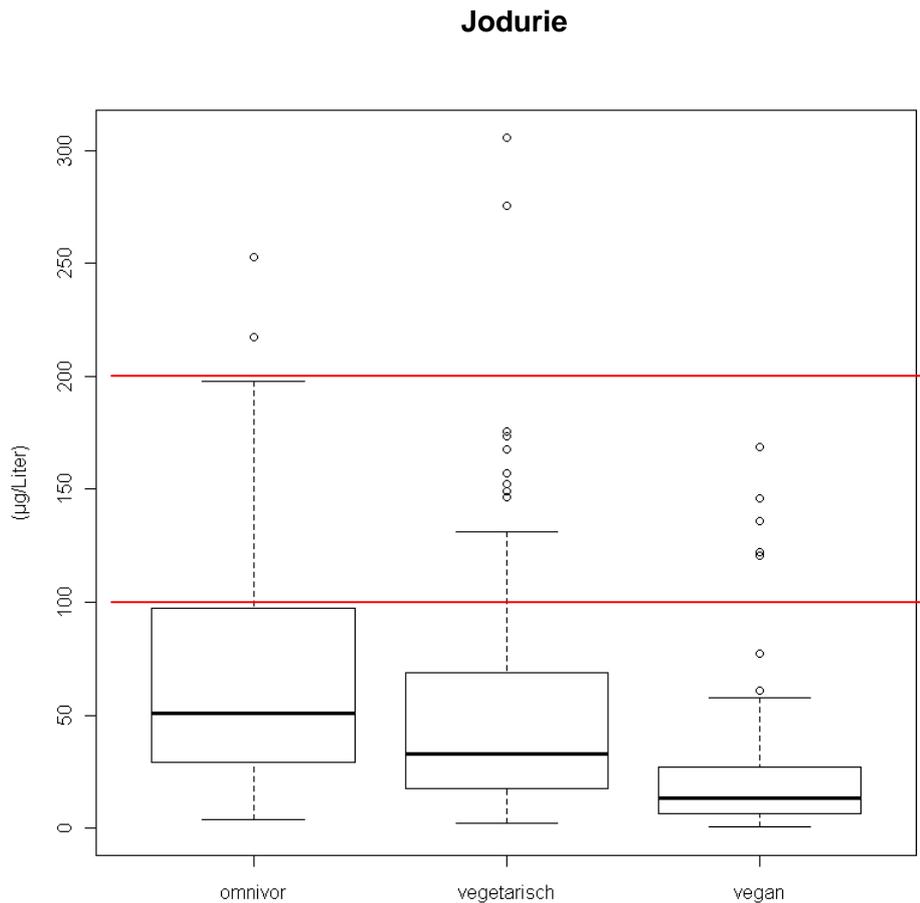


**Abb. 7: Histogramm zur Darstellung der Medianwerte der Jodurie zur Einschätzung des Jodversorgungsstatus.**

Die roten Linien markieren den laborchemischen Referenzbereich (100-200µg/L) des Jodids im Urin.

Die Ernährungsgruppen zeigen bezüglich ihres Mikronährstoffstatus signifikante Unterschiede. Nach Testung/Ablehnung der Normalverteilung mittels Wilcoxon-Rangsummentest konnten folgende p-Werte bestimmt werden:

Vergleich Kostgruppen	Wilcox	p. Wilcox
=> omnivor (inkl NE): vegetarisch (inkl NE)	6018	p<0,013
=> omnivor (inkl NE): vegan (inkl NE)	6771	p<0,001
=> vegetarisch (inkl NE): vegan (inkl NE)	2101	p<0,001



**Abb. 8: Boxplot zum Vergleich der Jodurie.**

Aufgeführt ist der Boxplot mit dem Jodidspiegel im Urin als Biomarker für den Jodversorgungsstatus mit den Medianwerten, den 5%, 25%, 75% und 95% Quantilen sowie den Minimal- und Maximalwerten. Dargestellt sind die drei Ernährungsgruppen inklusive eventueller Nahrungsergänzung mit Jod. In den Kostgruppen führten omnivore  $n=4$ , vegetarische  $n=4$ , vegane  $n=7$  Personen zusätzlich Jod zu. Die roten Linien markieren den laborchemischen Referenzbereich von 100-200  $\mu\text{g/L}$  für eine ausreichende Jodversorgung.

Die Ernährungsgruppen zeigen auch in dieser Darstellung bezüglich der Medianwerte der Mikronährstoffzufuhr signifikante Unterschiede. Nach Testung/Ablehnung der Normalverteilung mittels Wilcoxon-Rangsummen-Test konnten folgende p-Werte bestimmt werden:

Vergleich Kostgruppen		Wilcox	p. Wilcox
=> omnivor (inkl NE):	vegetarisch (inkl NE)	6018	$p < 0,013$
=> omnivor (inkl NE):	vegan (inkl NE)	6771	$p < 0,001$
=> vegetarisch (inkl NE):	vegan (inkl NE)	2101	$p < 0,001$

In der nachfolgenden Tabelle ist die durchschnittliche Jodurie im Mittel mit Standardabweichung sowie im Median mit Range jeweils geschlechterspezifisch dargestellt. Auch wird unterschieden zwischen Frauen/Männer inklusive Nahrungsergänzung und Frauen/Männer ohne Nahrungsergänzung.

Tab. 10: Durchschnittliche Jodurie ( $\mu\text{g/L}$ )\*

Kostform	♀ inkl. Nahrungs- ergänzung	♂ inkl. Nahrungs- ergänzung	♀ ohne Nahrungs- ergänzung	♂ ohne Nahrungs- Ergänzung
<b>omnivor</b>	62,2 ± 51,8 (45,2) [3,5 – 253] (n=70)	78,7 ± 46,5 (78,1) [5,4 – 217,6] (n=29)	52,5 ± 45,3 (43) [3,5 - 253] (n=66)	78,7 ± 46,5 (78,1) [5,4 – 217,6] (n=29)
<b>vegetarisch</b>	55,7 ± 46,7 (32,9) [2,1 – 275,4] (n=72)	73,9 ± 71 (35,7) [7,5 – 305,5] (n=29)	45,4 ± 38,7 (32,9) [2,1 – 173,5] (n=70)	67,3 ± 57,3 (35,7) [7,5 – 175,4] (n=27)
<b>vegan</b>	20,7 ± 29,7 (13) [0,4 – 146,1] (n=56)	31,9 ± 38,4 (15,6) [0,3 – 168,6] (n=27)	19,1 ± 26,1 (13,1) [0,4 – 146,1] (n=52)	27,9 ± 35,3 (15,3) [0,3 – 168,6] (n=24)

\* Mittelwert ± Standardabweichung, (Median), [Range: Min – Max], (Probandenanzahl n)

Die Ernährungsgruppen (hier noch näher unterteilt in Geschlecht) zeigen bezüglich ihrer Jodurie überwiegend signifikante Unterschiede. Nach Testung/Ablehnung der Normalverteilung mittels Wilcoxon-Rangsummen-Test konnten bei den Medianwerten folgende p-Werte bestimmt werden:

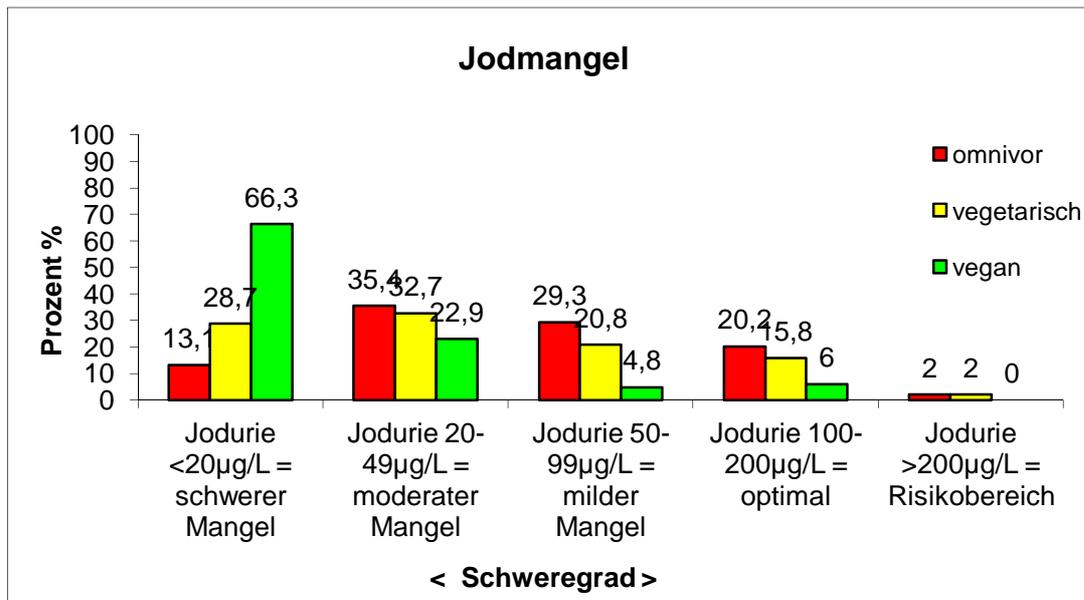
Vergleich Kostgruppen	Wilcox	p. Wilcox
=> omnivor ♀ (inkl NE): vegetarisch ♀ (inkl NE)	2987	p<0,057 *n.s.
=> omnivor ♂ (inkl NE): vegetarisch ♂ (inkl NE)	488	p<0,297 *n.s.
=> omnivor ♀ (inkl NE): vegan ♀ (inkl NE)	3291	p<0,001
=> omnivor ♂ (inkl NE): vegan ♂ (inkl NE)	640	p<0,001
=> vegetarisch ♀ (inkl NE):vegan ♀ (inkl NE)	915	p<0,001
=> vegetarisch ♂ (inkl NE):vegan ♂ (inkl NE)	220	p<0,005

Der Geschlechtervergleich innerhalb der jeweiligen Ernährungsgruppe zeigt bezüglich der Jodurie teils signifikante Unterschiede:

Vergleich Kostgruppen	Wilcox	p. Wilcox
=> omnivor ♀ (inkl NE): omnivor ♂ (inkl NE)	755	p<0,046
=> vegetarisch ♂ (inkl NE):vegetarisch ♂ (inkl NE)	889	p<0,245 *n.s.
=> vegan ♀ (inkl NE): vegan ♀ (inkl NE)	592	p<0,112 *n.s.

### 5.3.1.1 Schweregrad der festgestellten Jodmangelsituation

In nachfolgender Abbildung ist der Prozentsatz an Teilnehmern mit einem schweren, moderatem oder mildem Jodmangel, mit optimaler Versorgung und mit Überversorgung, entsprechend der Nomenklatur der WHO, in den drei Kostgruppen dargestellt.



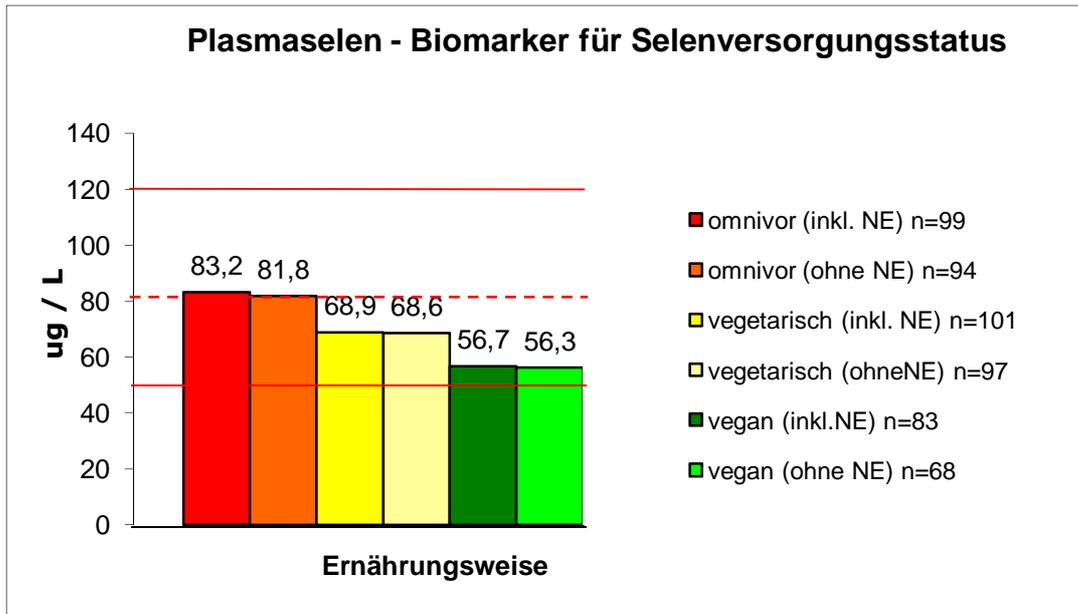
**Abb. 9: Aufteilung des Jodmangels in Schweregrade.**

Dargestellt ist die Jodmangeleinteilung in Schweregrade nach WHO Definition.

Man erkennt, dass 48,5% der omnivoren Kostgruppe, 61,4% der vegetarischen Kostgruppe und 89,2% der veganen Kostgruppe einen deutlichen (schweren plus moderaten) Jodmangel aufweisen. Insgesamt haben nur 20,2 % derer, die sich omnivor ernähren, 15,8% mit vegetabiler Kost und nur 6% der Veganer eine optimale Jodurie von 100-200µg/L.

### 5.3.2 Plasmaselen

Die laborchemische Messung des Plasmaselens lieferte folgende Werte: Mischköstler weisen im Median 83,2µg/Liter auf, Vegetarier 68,9µg/Liter und die vegane Gruppe 56,7µg/Liter (Abb.10, 11 und Tab.11).



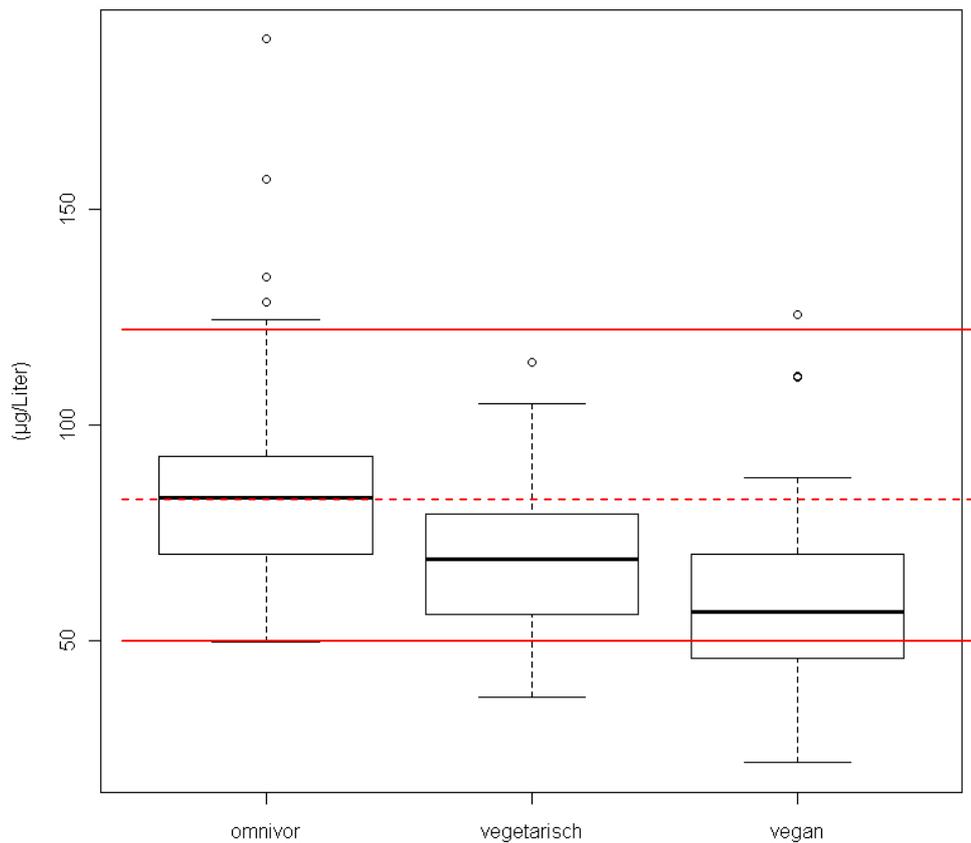
**Abb. 10: Histogramm zur Darstellung der Medianwerte der Plasmaselenwerte zur Einschätzung des Selenversorgungsstatus.**

Die durchgehend roten Linien markieren den vom Umweltbundesamt 2002 festgelegten laborchemischen Referenzbereich (50-120µg/Liter) der physiologischen Plasmaselenkonzentration. Von weiteren Experten\* wird der untere Richtwert für eine ausreichende Selenaufnahme (gestrichelt rot) zunehmend häufiger erst bei  $\geq 80$  µg/L festgelegt \*(Thomson 2004).

Die Ernährungsgruppen zeigen bezüglich ihres Mikronährstoffstatus signifikante Unterschiede. Nach Ablehnung der Normalverteilung mittels Wilcoxon-Rangsummentest konnten folgende p-Werte bestimmt werden:

Vergleich Kostgruppen	Wilcox	p. Wilcox
=> omnivor (inkl NE): vegetarisch (inkl NE)	7216	p<0,001
=> omnivor (inkl NE): vegan (inkl NE)	6893	p<0,001
=> vegetarisch (inkl NE): vegan (inkl NE)	2818	p<0,001

### Plasmaselen



**Abb. 11: Boxplot zum Vergleich der Plasmaselenwerte.**

Aufgeführt ist der Boxplot mit den Plasmaselenwerten als Biomarker für den Selenversorgungsstatus mit den Medianwerten, den 5%, 25%, 75% und 95% -Quantilen sowie den Minimal- und Maximalwerten. Dargestellt sind die drei Ernährungsgruppen inklusive eventueller Nahrungsergänzung mit Selen. In den Kostgruppen führten omnivore n=5, vegetarische n=4, vegane n=15 Personen zusätzlich Selen zu. Die roten Linien markieren den laborchemischen Referenzbereich von 50-120 µg/L (Umweltbundesamt 2000). Zunehmend mehr Experten geben weit höhere Richtwerte von mind. 80-95 µg/L (Thomson 2004) für eine ausreichende Selenversorgung an.

Die Ernährungsgruppen zeigen auch in dieser Darstellung bezüglich der Medianwerte des Plasmaselenstatus signifikante Unterschiede. Nach Testung/Ablehnung der Normalverteilung mittels Wilcoxon-Rangsummen-Test konnten folgende p-Werte bestimmt werden:

Vergleich Kostgruppen		Wilcox	p. Wilcox
=> omnivor (inkl NE):	vegetarisch (inkl NE)	7216	p<0,001
=> omnivor (inkl NE):	vegan (inkl NE)	6893	p<0,001
=> vegetarisch (inkl NE):	vegan (inkl NE)	2818	p<0,001

In der nachfolgenden Tabelle ist die durchschnittliche Plasmaselenkonzentration im Mittel mit Standardabweichung sowie im Median mit Range jeweils geschlech-

terspezifisch dargestellt. Auch wird unterschieden zwischen Frauen/Männer inklusive Nahrungsergänzung und Frauen/Männer ohne Nahrungsergänzung.

Tab. 11: Durchschnittliche Plasmaselen- Konzentration ( µg/L)\*

Kostform	♀ inkl. Nahrungsergänzung	♂ inkl. Nahrungsergänzung	♀ ohne Nahrungsergänzung	♂ ohne Nahrungsergänzung
<b>omnivor</b>	86 ± 23,4 (84,7) [49,6 – 189,4] (n=70)	81,6 ± 13,9 (81,8) [58,1 – 105,4] (n=29)	84,9 ± 23,6 (83,2) [49,6 – 189,4] (n=65)	81,6 ± 13,9 (81,8) [58,1 – 105,4] (n=29)
<b>vegetarisch</b>	66 ± 16,2 (65,3) [36,9 – 104,2] (n=72)	77,7 ± 16,6 (72,1) [44,3 – 114,5] (n=29)	66,8 ± 16,2 (65,3) [36,9 – 104,2] (n=69)	73,8 ± 15,3 (71,7) [44,3 – 104,9] (n=28)
<b>vegan</b>	59 ± 15,4 (57,7) [25,3 – 87,6] (n=56)	60,4 ± 24,9 (52,6) [21,7 – 125,7] (n=27)	58,4 ± 15,1 (57,1) [25,3 – 87,6] (n=48)	53,4 ± 14,9 (52,2) [21,7 – 77,4] (n=20)

\* Mittelwert ± Standardabweichung, (Median), [Range: Min – Max], (Probandenanzahl n)

Die Ernährungsgruppen (hier noch näher unterteilt in Geschlecht) zeigen bezüglich ihres Plasmaselenstatus signifikante Unterschiede. Nach Testung/Ablehnung der Normalverteilung mittels Wilcoxon-Rangsummen-Test konnten bei den Medianwerten folgende p-Werte bestimmt werden:

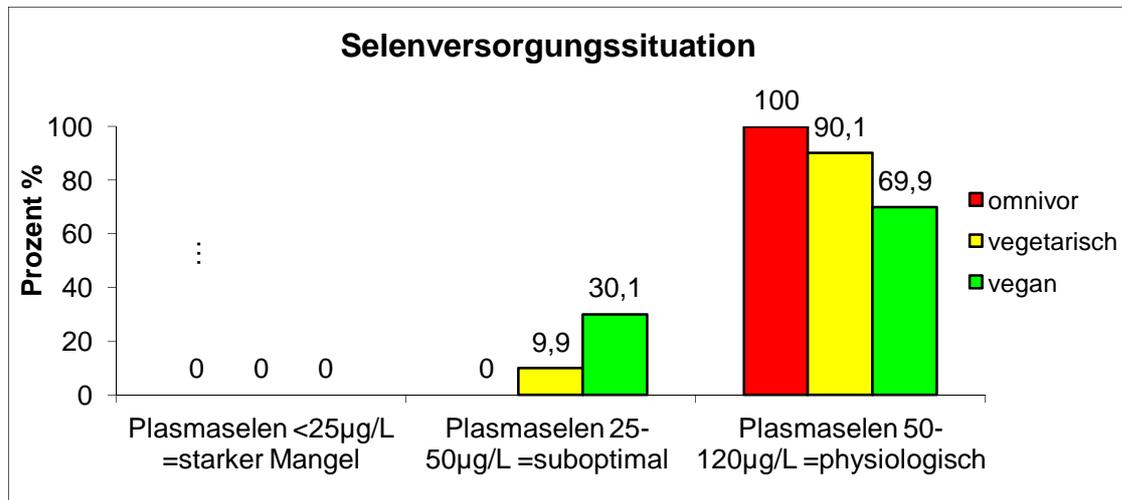
Vergleich Kostgruppen	Wilcox	p. Wilcox
=> omnivor ♀ (inkl NE): vegetarisch ♀ (inkl NE)	3646	p<0,001
=> omnivor ♂ (inkl NE): vegetarisch ♂ (inkl NE)	566	p<0,024
=> omnivor ♀ (inkl NE): vegan ♀ (inkl NE)	3352	p<0,001
=> omnivor ♂ (inkl NE): vegan ♂ (inkl NE)	626	p<0,001
=> vegetarisch ♀ (inkl NE):vegan ♀ (inkl NE)	1429	p<0,009
=> vegetarisch ♂ (inkl NE):vegan ♂ (inkl NE)	231	p<0,009

Der Geschlechtervergleich innerhalb der jeweiligen Ernährungsgruppe zeigt bezüglich des Plasmaselenstatus keine signifikanten Unterschiede:

Vergleich Kostgruppen	Wilcox	p. Wilcox
=> omnivor ♀ (inkl NE): omnivor ♂ (inkl NE)	1074	p<0,653 *n.s.
=> vegetarisch ♀ (inkl NE):vegetarisch ♂ (inkl NE)	906	p<0,302 *n.s.
=> vegan ♀ (inkl NE): vegan ♂ (inkl NE)	826	p<0,499 *n.s.

### 5.3.2.1 Ausprägung Plasmaselenstatus

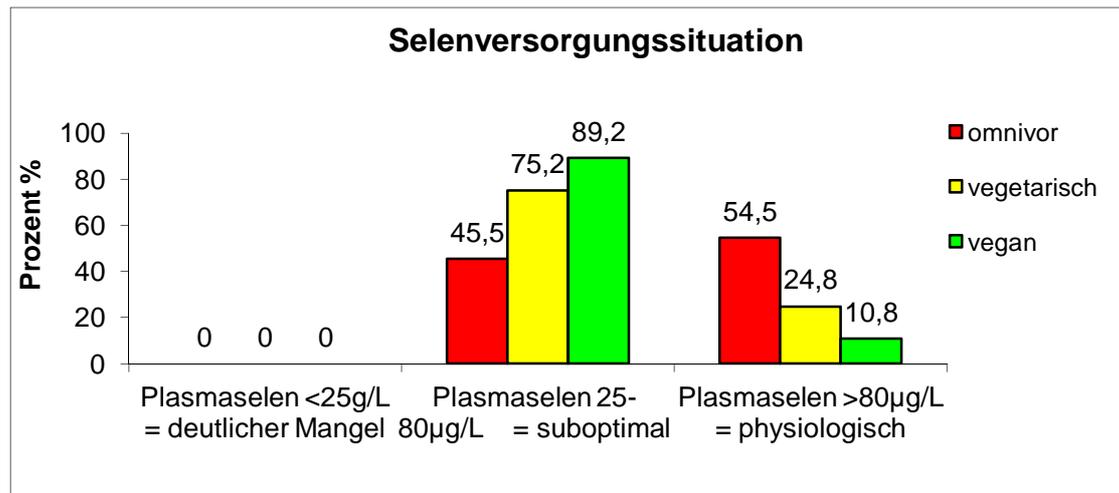
In der nachfolgenden Abbildung ist eine Aufteilung der ermittelten Selenmangelsituation der drei Kostgruppen dargestellt (angelehnt an die Empfehlungen des Umweltbundesamtes 2002).



**Abb. 12: Beurteilung der Selenversorgungssituation anhand der Plasmaselenkonzentration.**

Dargestellt ist die Unterteilung des Plasmaselenstatus der drei Kostgruppen in verschiedene Bereiche von Mangel bis physiologisch (erstellt nach Referenzbereich Umweltbundesamt 2002)

Man erkennt, dass keiner der omnivoren Kostgruppe (n=99), knapp 10% der vegetarischen Kostgruppe (n=101) und etwa 30% der veganen Kostgruppe (n=81) einen moderaten Selenmangel aufweisen. Dementsprechend haben 100 % der Mischköstler, knapp über 90% der Vegetarier und beinahe 70% der Veganer eine optimale Selenversorgung bei einem Plasmaselenpiegel von 50-120mg/L.

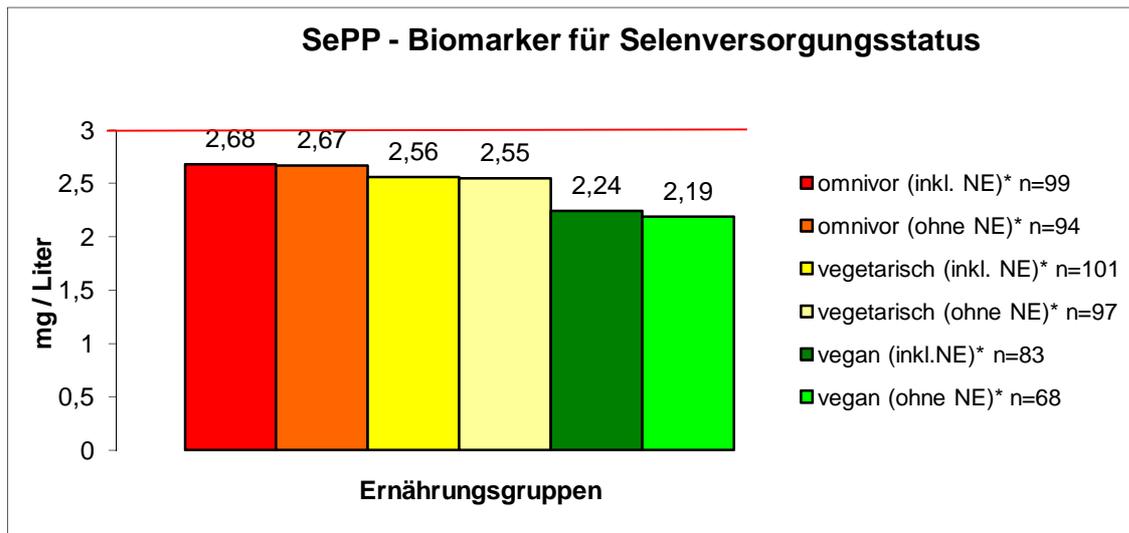


**Abb. 13: Beurteilung der Selenversorgungssituation anhand der Plasmaselenkonzentration.**  
Dargestellt ist die Unterteilung des Plasmaselenstatus in verschiedene Bereiche von Mangel bis physiologisch (erstellt gemäß Referenzbereich Thomson 2004).

Man erkennt, dass keine der Kostgruppen einen deutlichen Selenmangel im Plasma von unter 25µg/L aufweist. Jedoch sind ausgehend von einer definierten unteren physiologischen Versorgungsgrenze von mind. 80µg/L Selen im Plasma 45,5% der Mischköstler, 75,2% der Vegetarier und 89,2% der Veganer nur suboptimal mit Selen versorgt. Im physiologischen Bereich - und damit ausreichend mit Selen versorgt - befinden sich 54,5% der Mischköstler, 24,8% der Vegetarier und 10,8% der Veganer.

### 5.3.3 Selenoprotein P (SePP)

Die laborchemische Messung des Selenoprotein P lieferte folgende Werte: Mischköstler weisen im Median 2,68mg/Liter auf, Vegetarier 2,56mg/Liter und die vegane Gruppe 2,24mg/Liter (Abb. 13, 14 und Tab.13).



**Abb. 14: Darstellung der Medianwerte des SePP.**

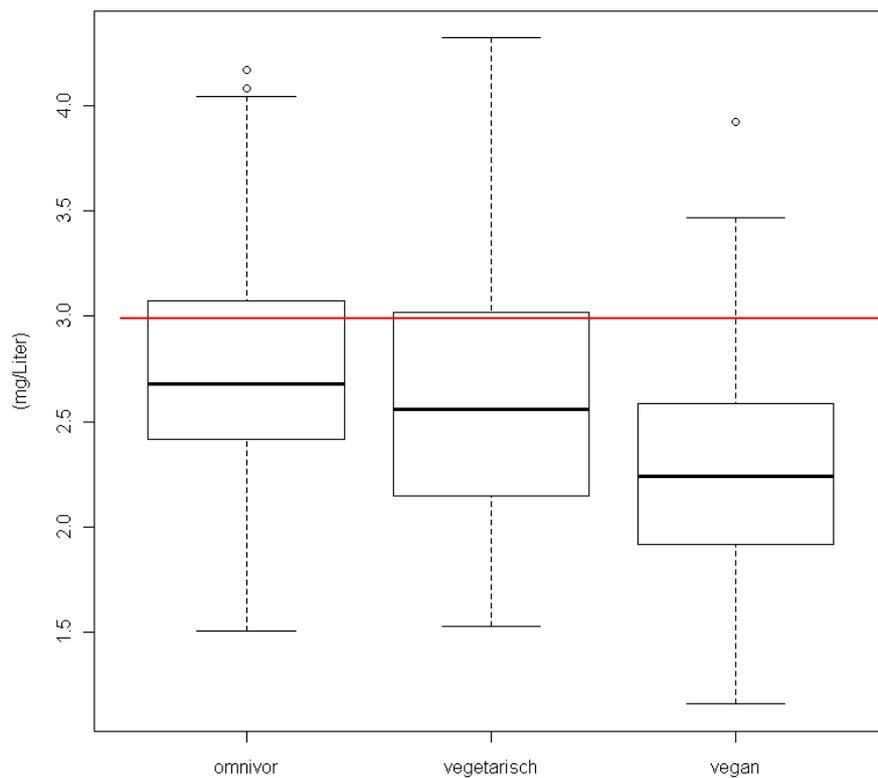
Aufgeführt ist die Versorgungssituation der verschiedenen Ernährungsgruppen mit Selen bestimmt über das sich im Blutplasma befindliche Selenoprotein P in (milli)mg/L. Die rote Referenzlinie stellt den in mehreren repräsentativen Studien ermittelten Richtwert von  $\pm 3$  mg SePP/L einer ausreichenden Selenversorgung dar.

Die Ernährungsgruppen zeigen bezüglich Ihrer Mikronährstoffzufuhr signifikante Unterschiede. Nach Bestimmung/Ablehnung der Normalverteilung mittels Wilcoxon-Rangsummentest konnten folgende p-Werte bestimmt werden:

Vergleich Kostgruppen		Wilcox	p. Wilcox
=> omnivor (inkl NE):	vegetarisch (inkl NE)	5913	p<0,026
=> omnivor (inkl NE):	vegan (inkl NE)	6213	p<0,001
=> vegetarisch (inkl NE):	vegan (inkl NE)	2861	p<0,001

Der nachfolgende Box-Plot in Abb.14 zeigt die Plasmaspiegel des Selenoprotein P noch genauer.

### Selenoprotein P



**Abb. 15: Boxplot zum Vergleich des SelenoproteinP.**

Aufgeführt ist der Boxplot mit dem SePP als Biomarker für den Selenversorgungsstatus mit den Medianwerten, den 5%, 25%, 75% und 95% -Quantilen sowie den Minimal- und Maximalwerten. Dargestellt sind die drei Ernährungsgruppen inklusive eventueller Nahrungsergänzung mit Selen. In den Kostgruppen führten omnivore n=5, vegetarische n=4, vegane n=15 Personen zusätzlich Selen zu. Die rote Linie markiert den Richtwert von 3mg/L (Schomburg) für eine ausreichende Selenversorgung.

Die Ernährungsgruppen zeigen auch in dieser Darstellung bezüglich der Medianwerte des SePP - Status signifikante Unterschiede. Nach Testung/Ablehnung der Normalverteilung mittels Wilcoxon-Rangsummen-Test konnten folgende p-Werte bestimmt werden:

Vergleich Kostgruppen		Wilcox	p. Wilcox
=> omnivor (inkl NE):	vegetarisch (inkl NE)	5913	p<0,026
=> omnivor (inkl NE):	vegan (inkl NE)	6213	p<0,001
=> vegetarisch (inkl NE):	vegan (inkl NE)	2861	p<0,001

In der nachfolgenden Tabelle ist die durchschnittliche SePP-Konzentration im Mittel mit Standardabweichung sowie im Median mit Range dargestellt. Auch wird unterschieden zwischen Probanden inklusive Nahrungsergänzung und Probanden ohne Nahrungsergänzung.

Tab. 12. Durchschnittliche Selenoprotein P - Konzentration (mg/L)

Kostform:	♀ & ♂ inkl. Nahrungsergänzung	♀ & ♂ ohne Nahrungsergänzung
<b>omnivor</b>	2,78 ± 0,55 (2,68) [1,51 – 4,17] (n=99)	2,77 ± 0,56 (2,68) [1,51 – 1,41] (n=94)
<b>vegetarisch</b>	2,60 ± 0,60 (2,56) [1,53 – 4,32] (n=101)	2,58 ± 0,60 (2,55) [1,53 – 4,32] (n=97)
<b>vegan</b>	2,26 ± 0,52 (2,24) [1,16 – 3,92] (n=83)	2,21 ± 0,48 (2,19) [1,16 – 3,47] (n=68)

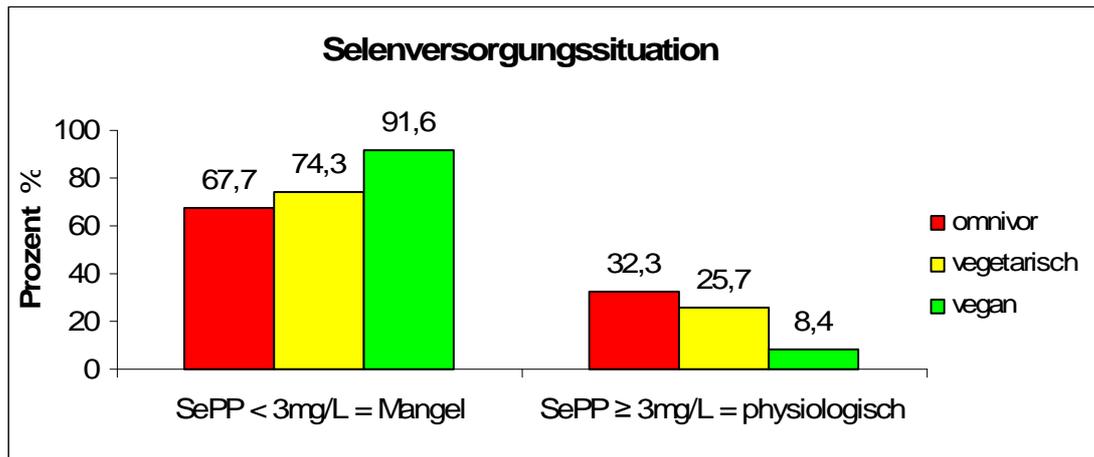
\* Mittelwert ± Standardabweichung, (Median), [Range: Min – Max], (Probandenanzahl n)

Die Ernährungsgruppen zeigen bezüglich ihres SePP-Status signifikante Unterschiede. Nach Testung/Ablehnung der Normalverteilung mittels Wilcoxon-Rangsummen-Test konnten bei den Medianwerten folgende p-Werte bestimmt werden:

Vergleich Kostgruppen	Wilcox	p. Wilcox
=> omnivor (inkl NE): vegetarisch (inkl NE)	5913	p<0,026
=> omnivor (inkl NE): vegan (inkl NE)	6213	p<0,001
=> vegetarisch (inkl NE): vegan (inkl NE)	2861	p<0,001

### 5.3.3.1 Ausprägung SePP- Status

In der nachfolgenden Abbildung ist eine Aufteilung der ermittelten Selenmangelsituation der drei Kostgruppen dargestellt (angelehnt an Erfahrungswerte Prof. Dr. Schomburg – Institut für Experimentelle Endokrinologie Charité Berlin).



**Abb. 16: Beurteilung der Selenversorgungssituation anhand des Biomarkers SePP.**

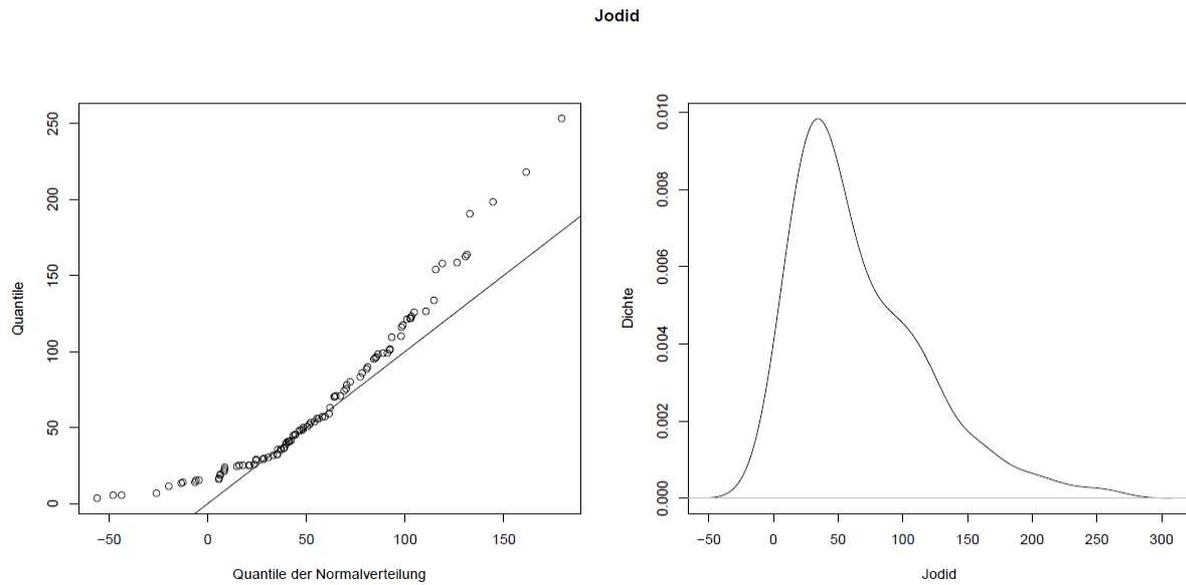
Dargestellt sind die drei Kostgruppen und die Unterteilung der SePP-Plasmaspiegel in die Bereiche Mangel und physiologisch (erstellt gemäß Richtwert Schomburg)

Ausgehend von einem aus mehreren Tausend Laboruntersuchungen im Labor des Instituts für experimentelle Endokrinologie der Charité unter der Leitung von Prof. Dr. Lutz Schomburg (Deputy Coordinator) definierten Erfahrungswert/Richtwert von 3mg/L SePP im Plasma für eine ausreichende Selenversorgung erreichen nur gerade 32,3% der Mischköstler und 25,7% der Vegetarier und 8,4% der Veganer eine ausreichende Selenversorgung. Der überwiegende Anteil aller Probanden – Mischköstler 67,7%, Vegetarier 74,3% und Veganer 91,6% - ist ungenügend mit Selen versorgt.

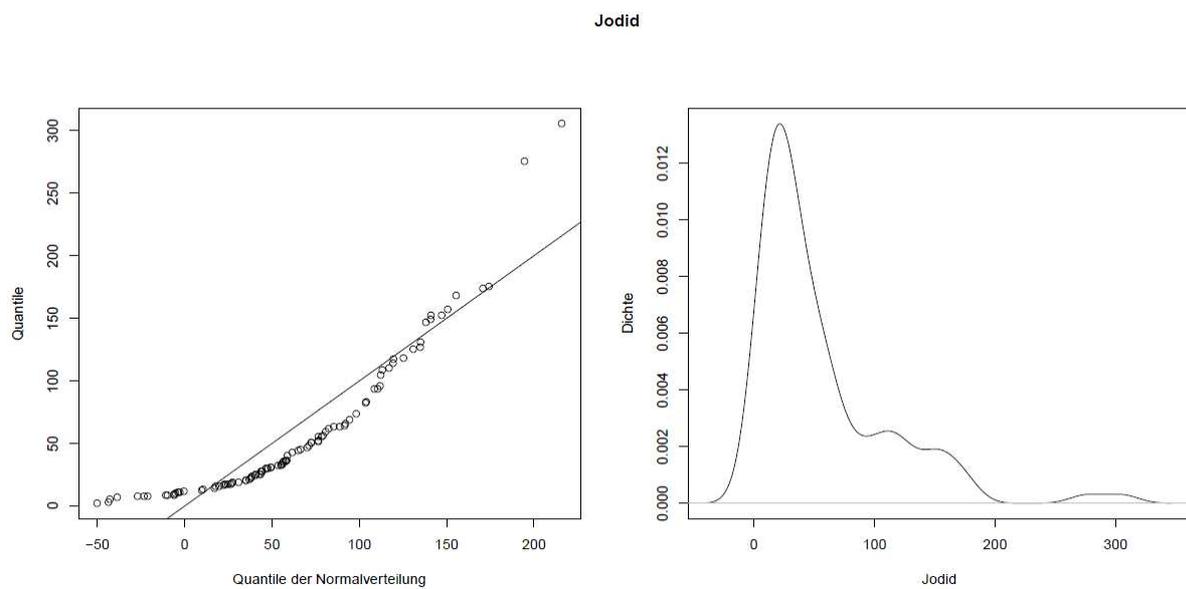
#### 5.4 Überprüfung auf Normalverteilung mittels QQ-Plots

Die drei verschiedenen Kostgruppen wurden mittels QQ-Plots (Quantil-Quantil-Plots)

auf Normalverteilung überprüft. Dadurch sollen anschließende korrekte statistische Tests - wie die Untersuchung auf Unterschiede in der Nährstoffversorgung innerhalb der Kostgruppen - ermöglicht werden. Bei den QQ-Plots befinden sich auf der X-Achse die Quantile der Normalverteilung und auf der Y-Achse die Quantile des untersuchten Nährstoffs/Biomarkers. Eine Normalverteilung liegt vor, wenn die Punkte in etwa auf einer Geraden sind. Der rechte Teil der Graphik zeigt zudem noch die Verteilung der Werte (linksschief, normal oder rechtsschief).



**Abb. 17:** Darstellung der Datenverteilung der Jodurie innerhalb der omnivoren Kostgruppe



**Abb. 18:** Darstellung der Datenverteilung der Jodurie innerhalb der vegetarischen Kostgruppe

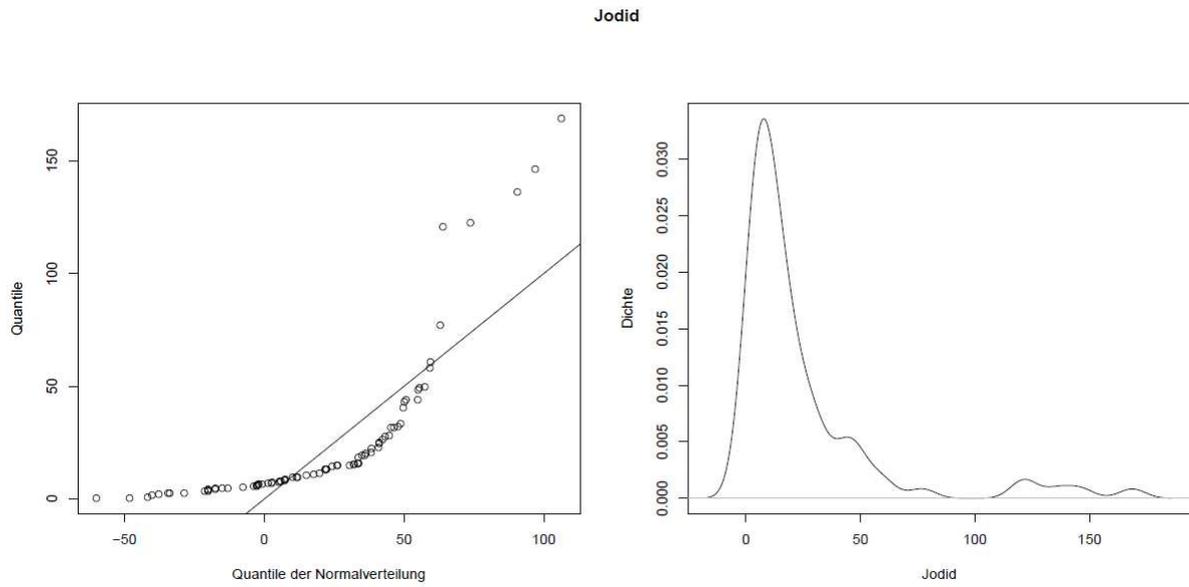


Abb. 19: Darstellung der Datenverteilung der Jodurie innerhalb der veganen Kostgruppe

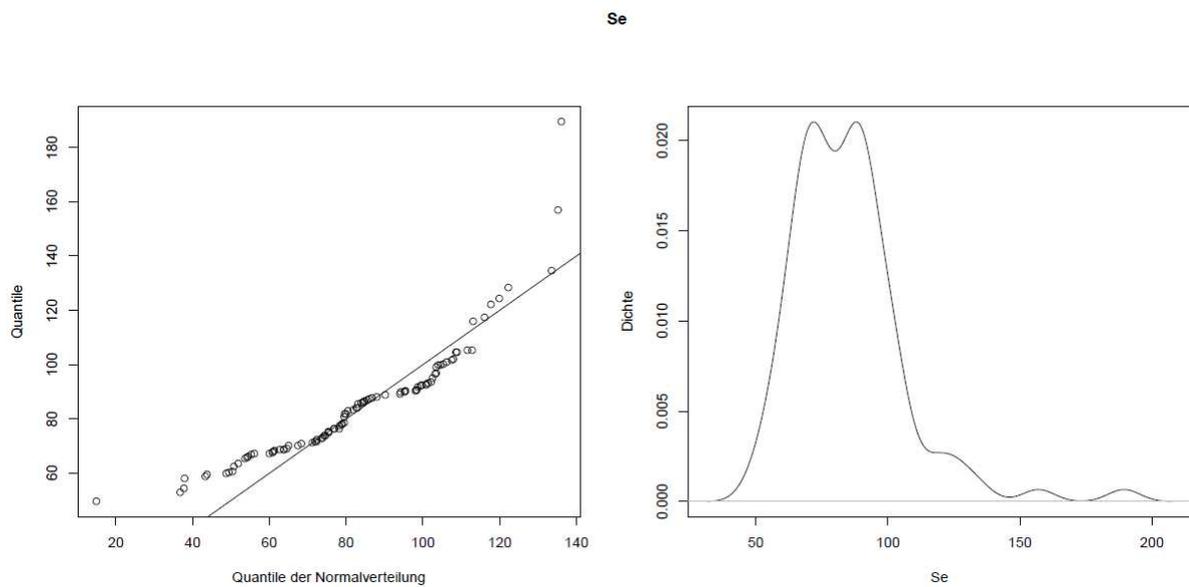
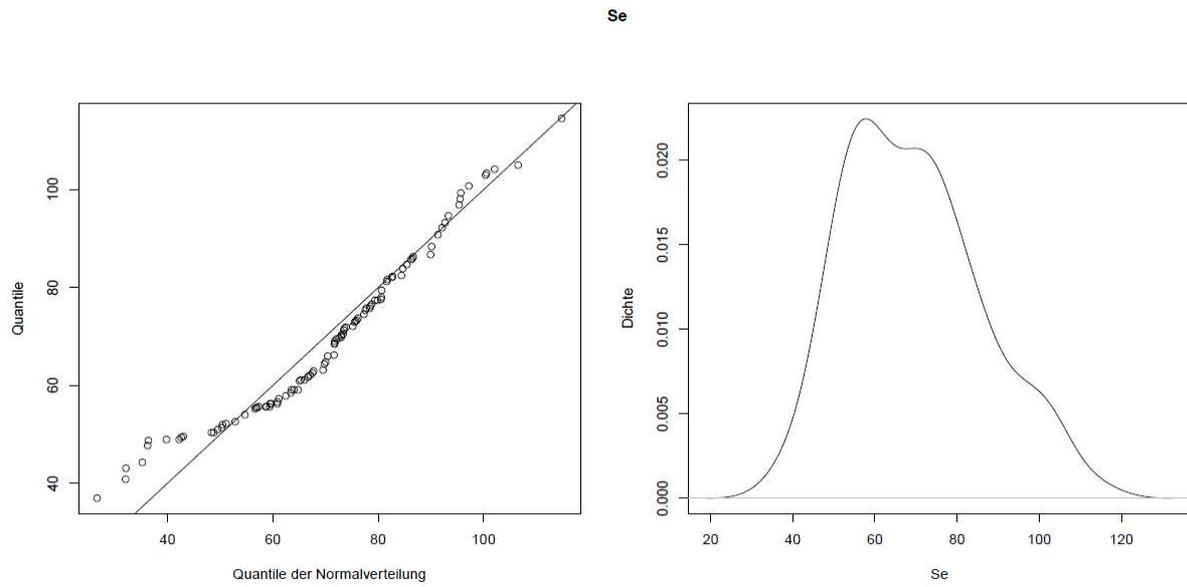
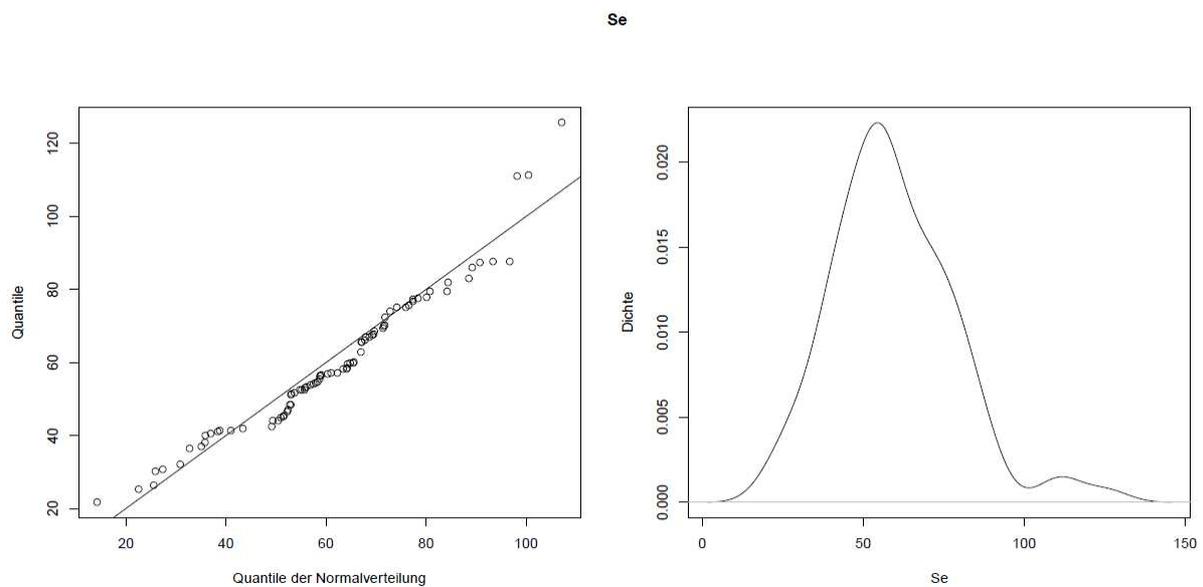


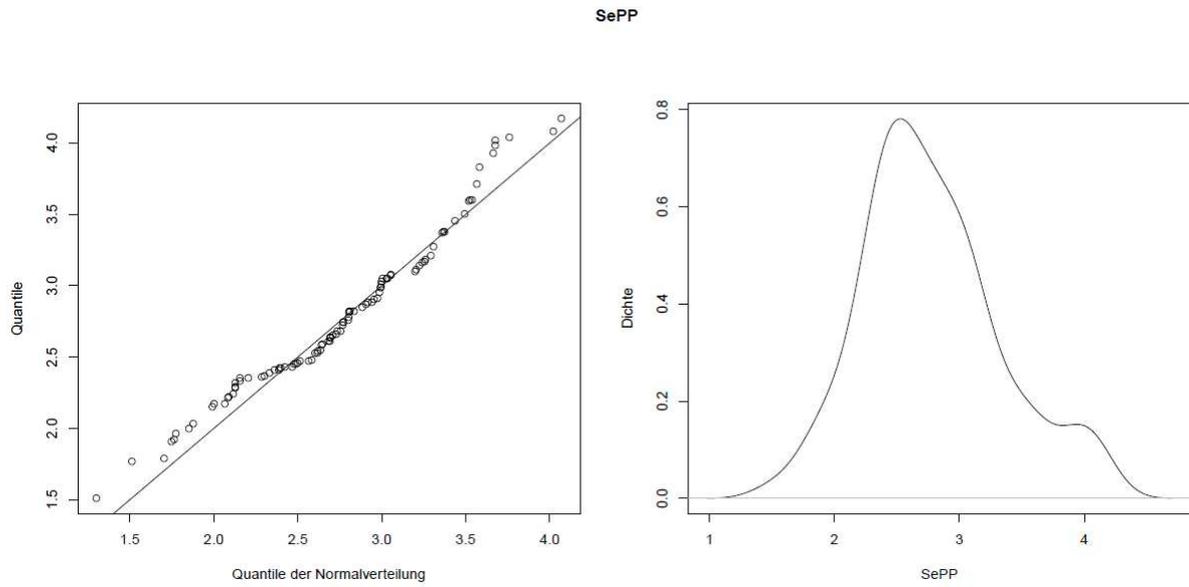
Abb. 20: Darstellung der Datenverteilung des Plasmaselenspiegels innerhalb der omnivoren Kostgruppe



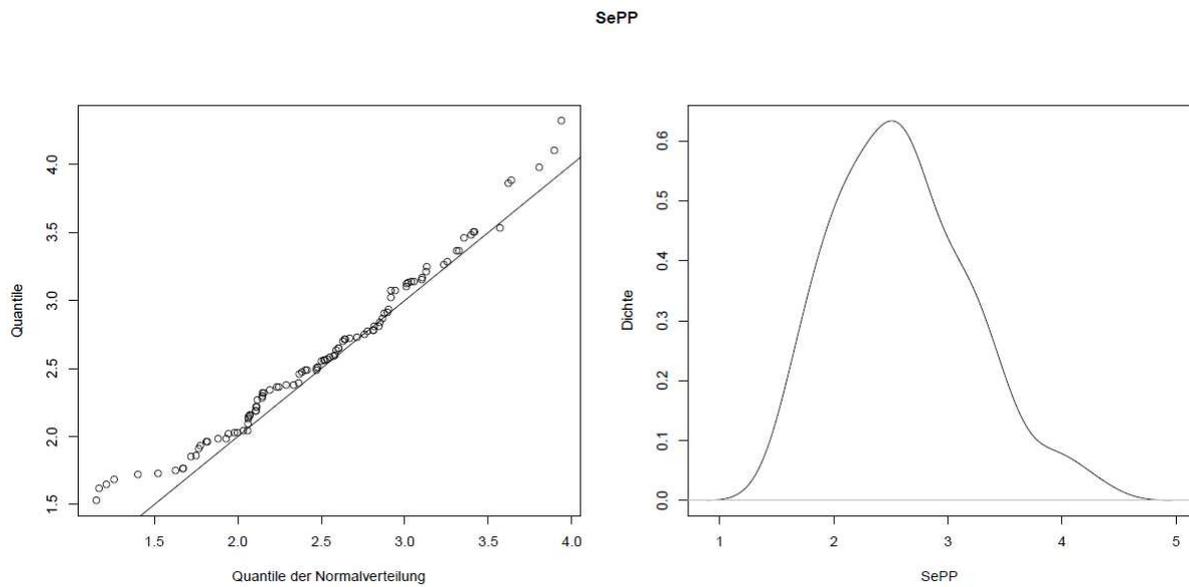
**Abb. 21:** Darstellung der Datenverteilung des Plasmaselenspiegels innerhalb der vegetarischen Kostgruppe



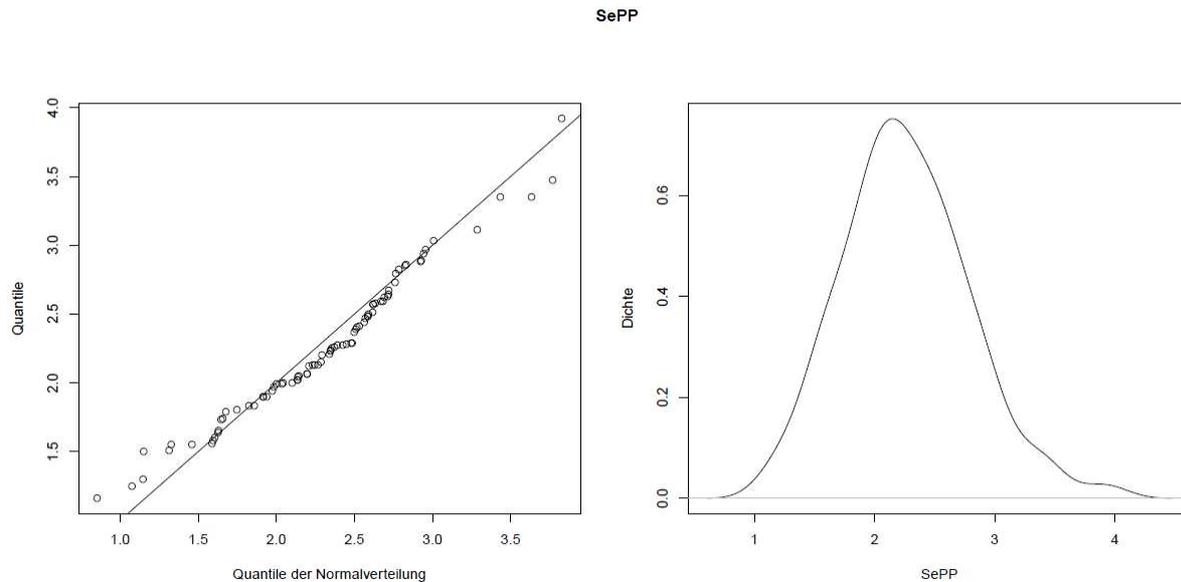
**Abb. 22:** Darstellung der Datenverteilung des Plasmaselenspiegels innerhalb der veganen Kostgruppe



**Abb. 23:** Darstellung der Datenverteilung des Selenoprotein P-Spiegels innerhalb der omnivorenen Kostgruppe



**Abb. 24:** Darstellung der Datenverteilung des Selenoprotein P-Spiegels innerhalb der vegetarischen Kostgruppe

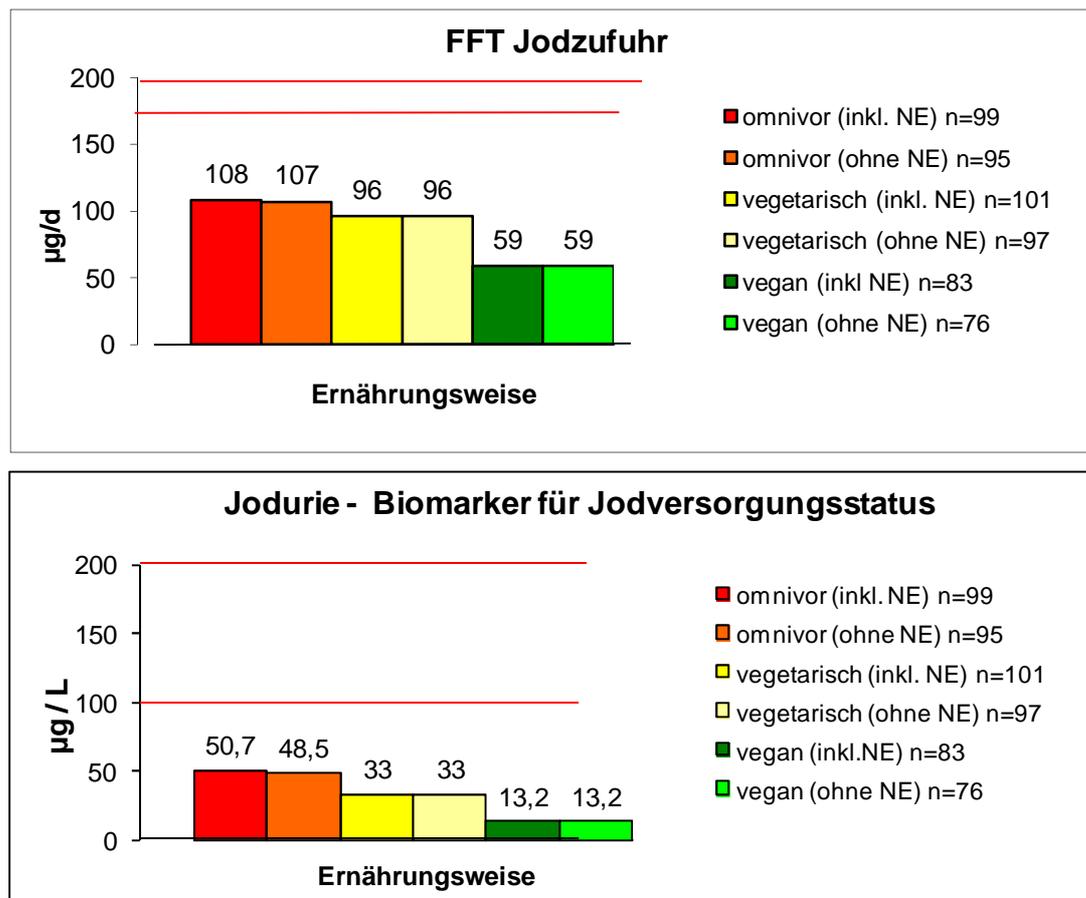


**Abb. 25: Darstellung der Datenverteilung des Selenoprotein P-Spiegels innerhalb der veganen Kostgruppe**

### 5.5 Betrachtung des Zusammenhangs zwischen geschätzter Zufuhr und gemessenen Daten durch Gegenüberstellung der Daten aus dem FFT und den laborchemischen Daten

Als Maß für den Zusammenhang zwischen den zwei statistischen Variablen 1.) Messung der tatsächlichen Nährstoffversorgung mittels Biomarker und 2.) Schätzung der Nährstoffversorgung über den FFT wurde in unserer Studie der Korrelationskoeffizient nach Bravais-Pearson bestimmt. So sieht man in den nachfolgenden Scatterblots/Streudiagrammen (Abb.26, Abb.28, Abb.30) die Wertepaare und Regressionsgeraden aller Probanden. Es wurde erwartungsgemäß ein linearer Zusammenhang zwischen Fragebogen- und Laborwerten festgestellt.

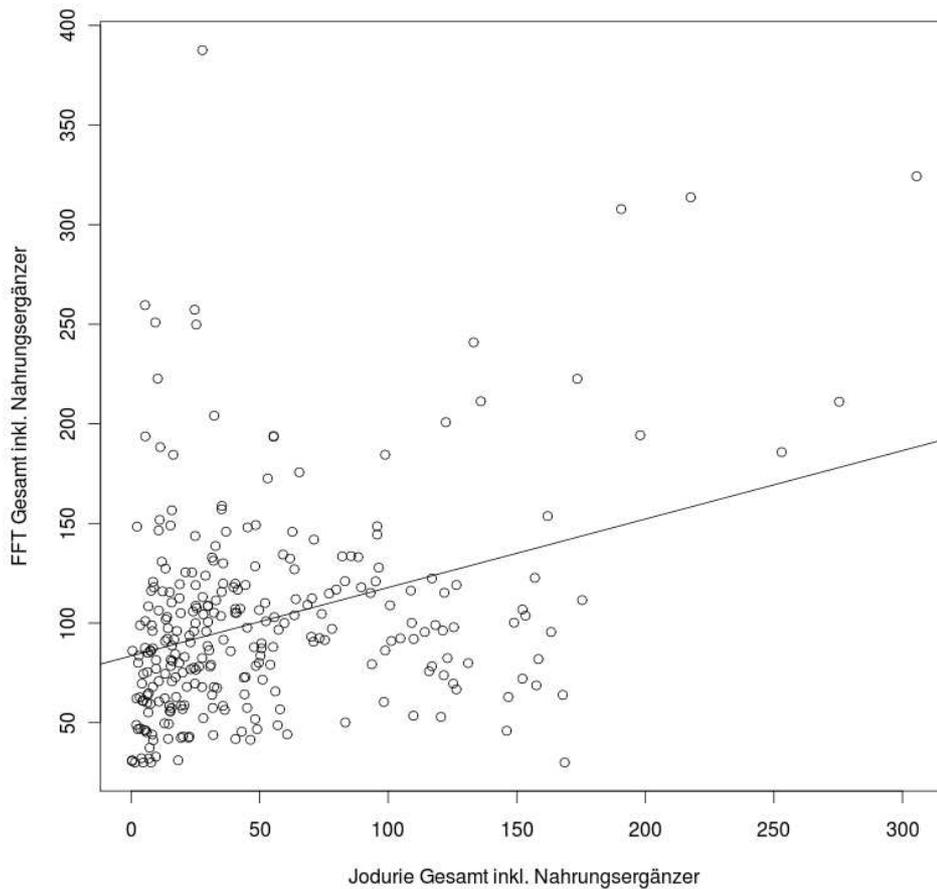
Die folgende Abb.25 zeigt vorab die Gegenüberstellung der mittels fokussiertem FFT erhobenen Jodzufuhrdaten mit den Ergebnissen der Jodurie (jeweils Medianwerte)



**Abb. 26: Gegenüberstellung Zufuhr/ Versorgungsstatus**  
Vergleich der Jodzufuhrwerte mit dem Biomarker Jodurie

Der Vergleich der graphischen Darstellungen zwischen erhobenen Zufuhrwerte mittels FFT und den Werten des Biomarkers zeigt eine gute Übereinstimmung der Ergebnisse. Hier liegt die Jodurie deutlich unter der Jodzufuhr (etwa  $\frac{1}{2}$  bei den Omnivoren, etwa  $\frac{2}{3}$  bei den Vegetariern und über 70% bei den Veganern) anstelle des etwa zu erwartenden  $\frac{1}{3}$  Verhältnisses).

Die nachfolgende Abbildung zeigt anschaulich, wie Jodzufuhr und Jodurie miteinander korrelieren.

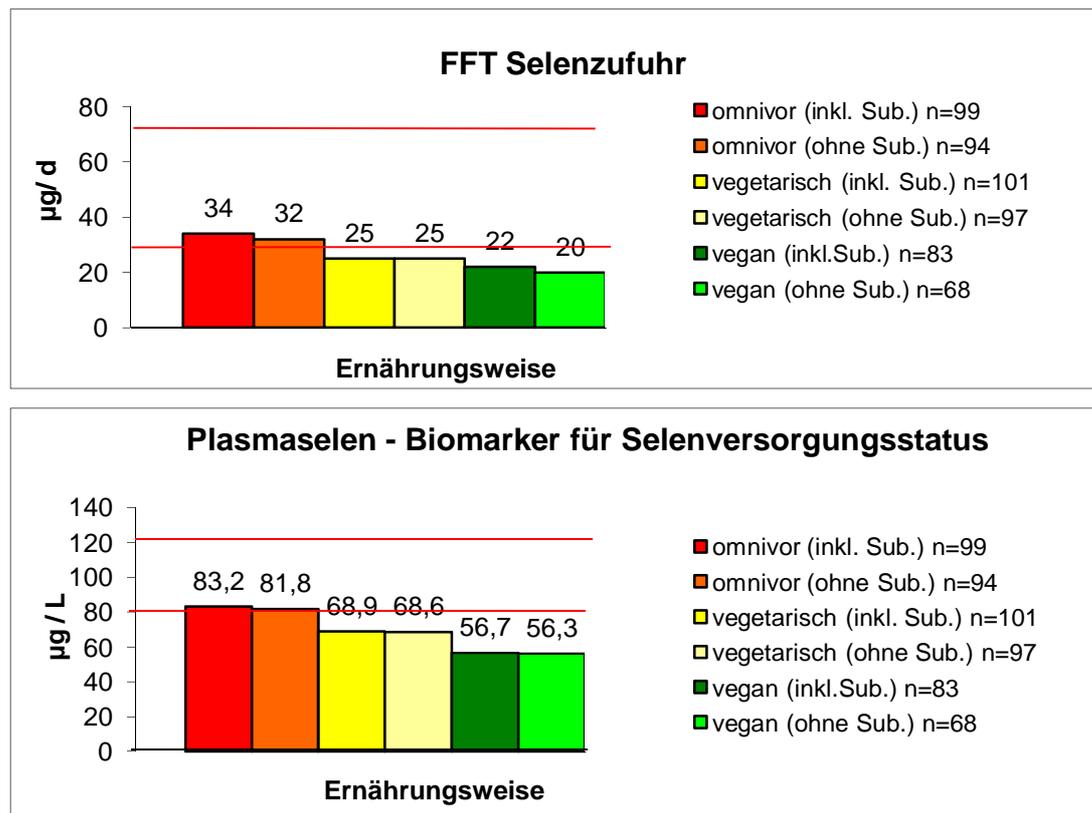


**Abb. 27: Streudiagramm mit der Korrelation Jodzufuhr und Jodurie sowie Regressionsgeraden.**

Gezeigt werden die Wertepaare des ermittelten FFT-Jodzufuhrwertes und der gemessenen Jodurie und deren Korrelation. Es handelt sich um das Gesamtkollektiv inklusive der Nahrungsergänzer (n=283). Steigende Zufuhrwerte gehen mit erhöhter Jodurie einher. Die Regressionsgerade verdeutlicht diesen Zusammenhang.

Man erkennt eine geringe Korrelation ( $r=0,34$ ) des Biomarkers Jodurie zu der geschätzten Jodaufnahmemenge aller Probanden, die signifikant ist ( $p<0,001$ ).

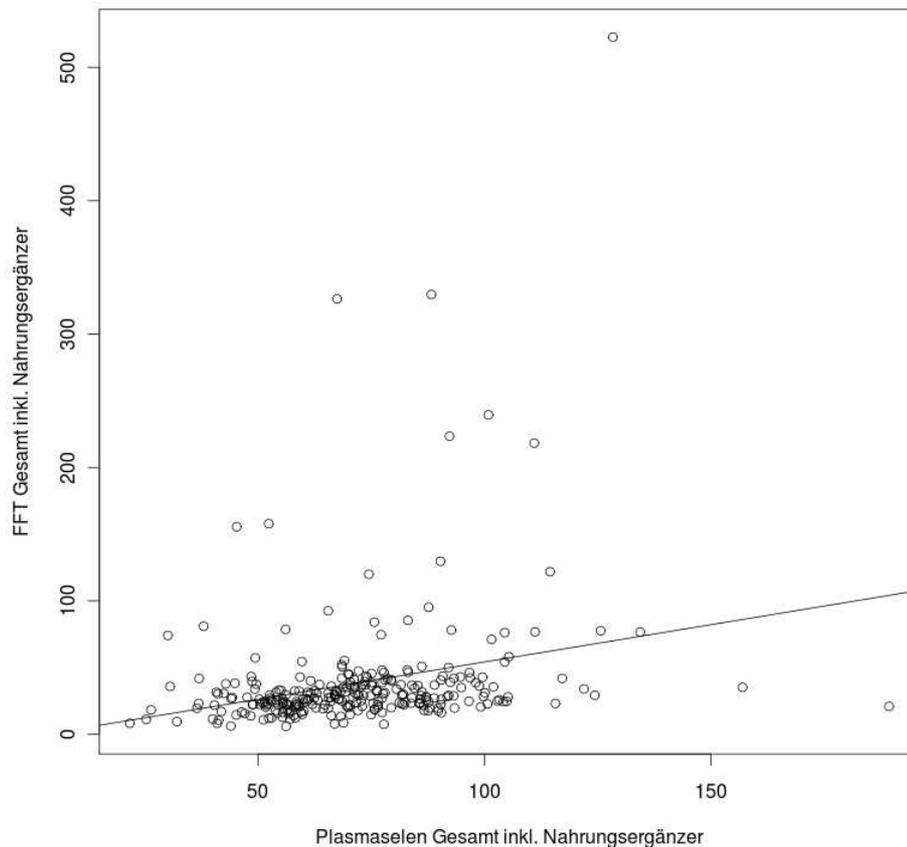
Die folgende Abb.27 zeigt die Gegenüberstellung der mittels fokussiertem FFT erhobenen Selenzufuhr mit den Ergebnissen der Jodurie (jeweils Medianwerte).



**Abb. 28: Gegenüberstellung Zufuhr/ Versorgungsstatus.**  
Vergleich der Selenzufuhrwerte mit dem Biomarker Plasmaselen

Der Vergleich der graphischen Darstellungen zwischen erhobenen Zufuhrwerte mittels FFT und den Werten des Biomarkers zeigt eine gute Übereinstimmung der Ergebnisse.

Die nachfolgende Abbildung zeigt anschaulich, wie Selenzufuhr und Plasmaselen miteinander korrelieren.

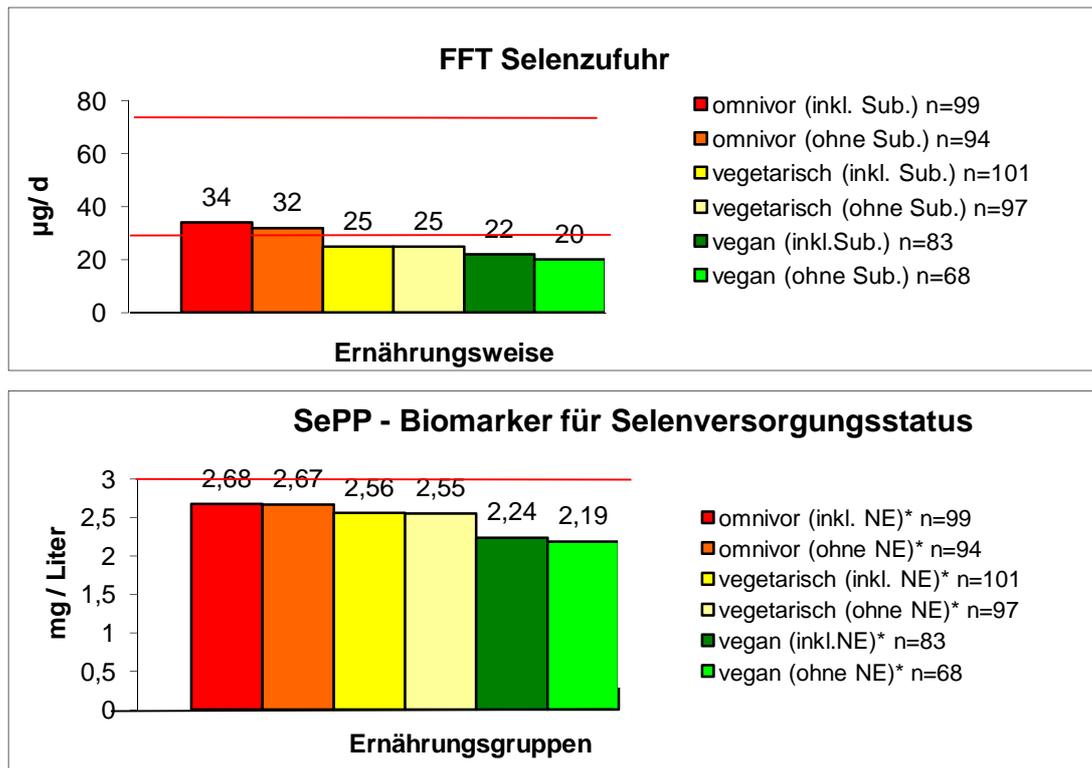


**Abb. 29: Streudiagramm mit der Korrelation Selenzufuhr und Plasmaselen sowie Regressionsgeraden.**

Gezeigt werden die Wertepaare der ermittelten FFT-Selenzufuhrwerte und des gemessenen Plasmaselenspiegels sowie deren Korrelation. Es handelt sich um das Gesamtkollektiv inklusive der Nahrungsergänzer ( $n=283$ ). Steigende Zufuhrwerte gehen mit erhöhtem Plasmaselenspiegel einher. Die Regressionsgerade verdeutlicht diesen Zusammenhang.

Man erkennt eine geringe Korrelation ( $r=0,25$ ) des Biomarkers Plasmaselen zu der geschätzten Selenaufnahmemenge aller Probanden, die signifikant ist ( $p<0,001$ ).

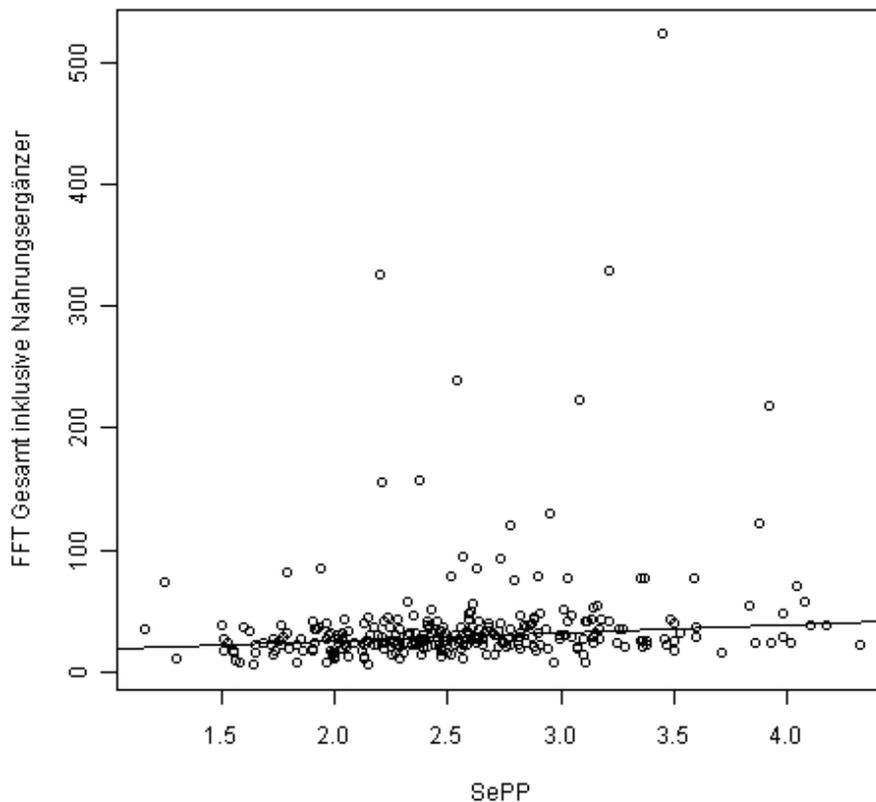
Die folgende Abb.29 zeigt die Gegenüberstellung der mittels fokussiertem FFT erhobenen Selenzufuhrdaten mit den SePP Werten (jeweils Medianwerte).



**Abb. 30: Gegenüberstellung Zufuhr/ Versorgungsstatus**  
Vergleich der Selenzufuhrwerte mit dem Biomarker SePP

Der Vergleich der graphischen Darstellungen zwischen erhobenen Zufuhrwerten mittels FFT und den Werten des Biomarkers zeigt eine gute Übereinstimmung der Ergebnisse.

Die nachfolgende Abbildung zeigt anschaulich, wie Selenzufuhr und SePP-Werte miteinander korrelieren.



**Abb. 31: Streudiagramm mit der Korrelation Selenzufuhr und SePP sowie Regressionsgeraden.**

Gezeigt werden die Wertepaare der ermittelten FFT-Selenzufuhrwerte und des gemessenen SePP-spiegels sowie deren Korrelation. Es handelt sich um das Gesamtkollektiv inklusive der Nahrungsergänzer (n=283). Steigende Zufuhrwerte gehen mit erhöhtem SePP-spiegel einher. Die Regressionsgerade verdeutlicht diesen Zusammenhang.

Man erkennt eine geringe Korrelation ( $r=0,19$ ) des Biomarkers Selenoprotein P zur geschätzten Selenaufnahmemenge aller Probanden, die signifikant ist ( $p<0,001$ ).

Die folgende Tabelle 13 zeigt zusammenfassend den Korrelationskoeffizienten ( $r$ ) zwischen den Biomarkern (Jodurie, Plasmaselen und SePP) und dem Ernährungserhebungsinstrument (FFT). Außerdem sind die  $p$ -Werte zur Beurteilung der Signifikanz bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von  $\alpha=5\%$  angegeben.

Tab. 13: Korrelationskoeffizienten zwischen FFT &amp; Biomarkern sowie p-Wert:

Variablen :	Korrelations- ko- effizient (r)	p-Werte (p)
<b>Jodurie inkl. NE vs. FFT(Jod)</b> (n=283)	r=0,34	p<0,001 => signifikant
<b>Jodurie ohne NE vs. FFT(Jod)</b> (n=268)	r=0,24	p<0,001 => signifikant
<b>Plasmaselen inkl. NE vs. FFT(Selen)</b> (n=283)	r=0,25	p<0,001 => signifikant
<b>Plasmaselen ohne NE vs. FFT(Selen)</b> (n=259)	r=0,35	p<0,001 => signifikant
<b>SePP inkl. NE vs. FFT(Selen)</b> (n=283)	r=0,19	p<0,001 => signifikant
<b>SePP ohne NE vs. FFT(Selen)</b> (n=259)	r=0,33	p<0,001 => signifikant

Bei Betrachtung der Korrelationen wird deutlich, dass zwischen allen Biomarkern und dem FFT ein geringer Zusammenhang in der Größenordnung von 0,19 – 0,35 besteht. Alle p-Werte sind (bei  $\alpha=0,05$ ) sehr klein ( $p<0,001$ ), was bedeutet, dass die jeweiligen Biomarker einen hochsignifikanten Einfluss auf den FFT-Wert haben.

Des Weiteren wollten wir in unserer Studie wissen, ob sich der Versorgungsstatus (mit Jod und Selen) zwischen den Kostgruppen signifikant unterscheiden würde. Aufgrund der höchsten Werte wurde die omnivore Gruppe als Vergleichsgruppe / Referenzgruppe genommen und mit der vegetarischen sowie der veganen Gruppe verglichen. Mit Hilfe des Wilcoxon-Rangsummentests konnte bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von  $\alpha=5\%$  die Nullhypothese, der Nährstoffversorgungsstatus der jeweils verglichenen Gruppen unterscheide sich nicht, verworfen werden.

Die folgenden Tabellen 14 und 15 zeigen die Ergebnisse aller Probanden einschließlich der Nahrungsergänzer (wie schon bei den Graphen einzeln dargestellt) nochmals zusammengefasst.

Tab. 14: Unterschiede der Mikronährstoffzufuhr (mittels FFT erhoben) zwischen den jeweiligen Kostgruppen

Unterschied der Zufuhrwerte omnivor – vegetarisch	Wilcox	p-Wert
Jod( $\mu\text{g}/\text{d}$ ) 108:96=1,13	6450	<0,001 => signifikant
Selen( $\mu\text{g}/\text{d}$ ) 34:25=1,36	6907	<0,001 => signifikant
<b>omnivor – vegan</b>		
Jod( $\mu\text{g}/\text{d}$ ) 108:59=1,83	7053	<0,001 => signifikant
Selen( $\mu\text{g}/\text{d}$ ) 34:22=1,55	5713	<0,001 => signifikant
<b>vegetarisch – vegan</b>		
Jod( $\mu\text{g}/\text{d}$ ) 96:59=1,63	1680	<0,001 => signifikant
Selen( $\mu\text{g}/\text{d}$ ) 25:22=1,17	3426	<0,033 => signifikant

Tab. 15: Unterschiede der Biomarker zwischen den jeweiligen Kostgruppen

Unterschied der Biomarker omnivor – vegetarisch	Wilcox	p-Wert
Jodidurie( $\mu\text{g}/\text{L}$ ) 50,7:33=1,54	6018	<0,013 => signifikant
Plasmaselen( $\mu\text{g}/\text{L}$ ) 83,2:68,9=1,21	7216	<0,001 => signifikant
SePP(mg/L) 2,68:2,56=1,05	5913	<0,026 => signifikant
<b>omnivor – vegan</b>		
Jodidurie( $\mu\text{g}/\text{L}$ ) 50,7:13,2=3,84	6771	<0,001 => signifikant
Plasmaselen( $\mu\text{g}/\text{L}$ ) 83,2:56,7=1,46	6893	<0,001 => signifikant
SePP(mg/L) 2,68:2,24=1,20	6213	<0,001 => signifikant
<b>vegetarisch – vegan</b>		
Jodidurie( $\mu\text{g}/\text{L}$ ) 33:13,2=2,5	2101	<0,001 => signifikant
Plasmaselen( $\mu\text{g}/\text{L}$ ) 68,9:56,7=1,26	2818	<0,001 => signifikant
SePP(mg/L) 2,56:2,24=1,14	2861	<0,001 => signifikant

In allen Vergleichen der Kostgruppen gegeneinander, wo  $p < \alpha = 0,05$  gemessen wurde, sind also signifikant höhere Werte bei den Mischköstlern gegenüber den zu vergleichenden Gruppen Vegetarier bzw. Veganer, bzw. der Vegetarier gegenüber der Veganer festzustellen. Somit kann die Nullhypothese  $H_0$  abgelehnt werden, d.h.  $y$  hängt von  $x$  linear ab.

#### Selenversorgungsstatus:

Die Ergebnisse (Tab.15) zeigen signifikante Unterschiede im Plasmaselenstatus zwischen Mischköstlern und Vegetariern zum einen und zwischen Mischköstlern und Veganern zum zweiten. Ebenso liegen signifikante Unterschiede der SePP-konzentration vor, einerseits zwischen Mischköstlern und Vegetariern und andererseits zwischen Mischköstlern und Veganern.

Jodversorgungsstatus:

Der Jodversorgungsstatus (Tab.15) zwischen Mischköstlern und Vegetariern, zwischen Mischköstlern und Veganern, sowie zwischen Vegetariern und Veganern zeigt signifikante Unterschiede.



## 6 Diskussion/Problemstellung

Betrachtet man die Ergebnisse der Studie, so können folgende Kernaussagen zusammengefasst werden:

- Der spezielle FFT korreliert signifikant bezüglich der erhobenen Werte der Jod- wie auch Selenanamnese mit den laborchemisch bestimmten Biomarkern
- Die Jodausscheidung im Urin ist deutlich niedriger als mit der durch den FFT ermittelten Zufuhr zu erwarten wäre.
- Mischköstler zeigen im Vergleich zu Vegetariern und Veganern eine signifikant bessere Versorgungslage mit den Spurenelementen Jod und Selen.
- Die Jodversorgung ist bei allen Ernährungsgruppen unzureichend; insbesondere bei den Vegetariern und Veganern ist sie bedenklich niedrig
- Je nach Auslegung des Selen-Referenzbereichs für eine ausreichende Versorgung, fallen erhebliche Unterschiede im Selenstatus der verglichenen Kostgruppen auf.

In der folgenden Diskussion soll näher auf diese Aussagen und die erzielten Ergebnisse eingegangen werden.

### 6.1 Allgemeine Daten anhand des FFT / Beeinflussung der Nährstoffzufuhr

a) Allgemeine Daten:

Frauen-/Männerquote:

Die Teilnahme an der Studie war freiwillig und zeigt einen höheren Frauenanteil von etwa 70%. Die Subgruppenanalyse zeigt höhere Zufuhrmengen für Selen und Jod bei Männern im Vergleich zu Frauen, die jedoch nicht signifikant sind. Lediglich die Männer der omnivoren Kostgruppe zeigen signifikant höhere Zufuhrwerte von Selen. Allerdings wird hierdurch die generelle Aussage zur Korrelation von FFT-Daten und gemessenen Werten nicht beeinflusst.

Alter:

Es besteht eine geringe Differenz bezüglich des Alters zwischen den Ernährungsgruppen. Insgesamt sind die Daten jedoch vergleichbar, wie in Tab.4 im Ergebnisteil dargestellt.

b) Einflussgröße Rauchen, wodurch sich eine mögliche Reduktion der Jod-/Selenaufnahme ergibt:

Insgesamt 36 der 283 Probanden (13%) gaben an, aktive Raucher zu sein, 39 (14%) gaben an, früher regelmäßig geraucht zu haben und 208 (73%) waren angeblich Nichtraucher. Eine Subgruppenanalyse wurde wegen des geringen Anteils nicht durchgeführt

c) Einflussgrößen, wodurch die Jod-/Selenaufnahme zunimmt:Zufuhr von Medikamenten/Nahrungsergänzungsmitteln:

Wie (in Tab.5 Ergebnisteil) zu sehen ist, führen sowohl Mischköstler, als auch Vegetarier und Veganer zusätzlich jod- bzw. selenhaltige Medikamente und jodhaltige Nahrungssupplemente zu.

Eine gewisse Schwierigkeit bei der Erfassung mittels FFT bestand darin, dass bei der angegebenen Präparatevielfalt der Nahrungsergänzungsmittel, deren Herstellernamen nicht immer bekannt waren, genaue Mengenangaben der beinhalteten Spurenelemente schwer zu bestimmen waren. Allgemein scheinen Veganer im Vergleich zu Mischköstlern und Vegetariern über die Bedeutung von essentiellen Nährstoffen und den Folgen eines Defizits aufgeklärter zu sein, wie die etwas häufigere Einnahme von Nahrungsergänzungsmitteln zeigt. Jedoch bevorzugen sie eher Nahrungsergänzung auf biologischer Basis wie Algen/-tabletten und konzentrierte Vitalstoffmischungen wie Veg1-Tbl, Juice plus, Orthomol etc., um die kostentypisch drohende Mangelversorgung zu verringern.

Zufuhr von Jodsalz:

Mischköstler verwenden signifikant häufiger Jodsalz im Haushalt, verglichen mit Vegetariern und Veganer. Sieben Veganer (8%) gaben an, kein Salz im Haushalt zu verwenden. Der Großteil aller Probanden (Omnivore 71%, Vegetarier 75%, Veganer 67%) war nicht darüber informiert, ob ihre Bäcker Jodsalz verwenden. Für

Backwaren mit Jodsalz gebacken entschieden sich 21% der Mischköstler (darunter 3 Personen selbstbackend), 13% der Vegetarier (inkl. 2 Selbstbäcker) und 5% der Veganer (inkl. 1 Selbstbäcker) Bescheid. Wissentlich Backwaren ohne Jodsalzverwendung verzehrten 6% der Omnivoren, 12% der Vegetarier (inkl. 1 dauerhafter Selbstbäcker) und 28% der Veganer (inkl. 4 Selbstbäcker). Von der omnivoren Kostgruppe wussten 84% nicht, ob Ihre Fleisch- und Wurstwaren Jodsalzzusätze enthielten. 11% wussten über die Jodsalzverwendung Ihrer Metzger Bescheid, während 5% der Mischköstler bewusst auf Jodzusätze in Fleisch- und Wurstwaren verzichteten. Nicht ausgewertet wurden die z.T. lückenhaften Angaben über Jodsalzverwendung gekochter Speisen in Kantinen- und Restaurants.

Wie in dieser Studie zu sehen ist, haben v.a. Veganer Vorurteile gegen die Jodierung von Salz und verwenden dafür scheinbare Alternativen wie Nahrungsergänzungsmittel und Algenprodukte, um drohende bzw. vorhandene Joddefizitsituationen anzugehen. Dies ist aber, wie die Ergebnisse der Jodurie zeigen, nicht ausreichend.

## **6.2 Validierung des FFT durch Gegenüberstellung der Verzehrdaten mit den Biomarkern**

Das Hauptziel dieser Studie bestand darin, neben der Erhebung der Jod- bzw. Selenversorgung der drei Kostgruppen zu überprüfen, ob diese Daten mit der Jodurie bzw. Plasmaselen- und SePP-konzentration übereinstimmen.

Die Erhebung aus Ernährungsprotokollen oder Food-Frequency-Tables als direktes Nachweisprinzip der Jodzufuhr ist oft methodisch schwieriger und weniger präzise als die indirekte Messung via Jodurie (Scriba et Hötzel 1992). So ist dies auch bei der Selenzufuhr zu betrachten. Die berechnete Nährstoffzufuhr hängt entscheidend von der Qualität des Fragebogens, der Vollständigkeit und Wahrhaftigkeit der Angaben durch die Probanden sowie der Annahme der Nährstoffkonzentration in den einzelnen Lebensmitteln ab (Kübler et al. 1997). Häufig wird die Jodversorgung durch die computergestützte Auswertung von Ernährungsprotokollen ermittelt. Wie in mehreren Untersuchungen aus der Vergangenheit hervorging, ist jedoch vor allem diese Methode sehr fehleranfällig und weist, abhängig von den zur Verfügung stehenden Daten sowie vom verwendeten Computerprogramm,

eine große Varianz auf, mit Abweichungen um den Faktor 2 bis 9 von den Ergebnissen der Urinalysen (Adam 2003).

Bisher war die genaue Einschätzung der Selenversorgung nur mittels Bestimmung laborchemischer Biomarker möglich, die Ermittlung der Selenversorgung mittels eines speziellen validierten FFT wurde bisher nicht durchgeführt. Bei entsprechender Übereinstimmung dieser verglichenen Messparameter und Reproduzierbarkeit ähnlicher Ergebnisse könnte evtl. in Zukunft auch von Ernährungsberatern und Nichtmediziner eine Einschätzung der Mikronährstoffversorgung vorgenommen werden.

Der Vergleich zwischen erhobenen Zufuhrwerten mittels FFT und den im Labor bestimmten Werten der Biomarker unsere Untersuchung zeigt, wie im Ergebnissteil (unter 5.5) ersichtlich, eine gute Übereinstimmung der Ergebnisse. Als Maß für den Zusammenhang zwischen tatsächlicher Nährstoffversorgung (mittels Biomarker) und Schätzung der Nährstoffversorgung (über FFT) wurde in unserer Studie der Korrelationskoeffizient nach Bravais-Pearson bestimmt. Es wurde erwartungsgemäß ein linearer Zusammenhang zwischen Fragebogen und Laborwerten festgestellt (siehe Abb.26, 28 und 30). Bei Betrachtung der Korrelationskoeffizienten (Tab.13) sieht man, dass zwischen allen Biomarkern und dem FFT ein geringer Zusammenhang in der Größenordnung von 0,19 – 0,35 besteht. Da alle p-Werte sehr klein sind ( $p < 0,05$  bei einer festgelegten Irrtumswahrscheinlichkeit von  $\alpha = 0,05$ ) kann man sagen, dass die jeweiligen Biomarker einen signifikanten Einfluss auf den FFT-Wert haben.

Die Korrelation Jodurie zu FFT zeigt in der Gruppe mit zusätzlicher Nahrungsergänzung ( $n=283$ ) einen leicht stärkeren Zusammenhang  $r=0,34$  als in der Gruppe ohne Nahrungsergänzung ( $n=268$ ) mit  $r=0,24$ . So kann man sagen, dass die zusätzliche Nahrungsergänzung mit Jod stimmig ist (wirklich mehr Jod zugeführt wird und auch im Labor nachweisbar ist), gut erfasst wird und so entsprechend ins Gewicht fällt. Die Korrelation Plasmaselen zu FFT zeigt in der Gruppe mit zusätzlicher Nahrungsergänzung ( $n=283$ ) einen schwächeren Zusammenhang  $r=0,25$  als in der Gruppe ohne Nahrungsergänzung ( $n=259$ ) mit  $r=0,35$ . Dies könnte bedeuten, dass die zusätzliche Nahrungsergänzung mit Selen nicht wirklich so sehr ins Gewicht fällt, als dass sie mit steigenden Biomarkern auffällig würde oder die Angaben der zusätzlichen Zufuhr nicht korrekt sind bzw. eventuell nicht der Wahrheit

entsprechen. Bei der Korrelation SePP zu FFT zeigt sich die gleiche Tendenz von  $r=0,19$  in der zusätzlichen Nahrungsergänzungsgruppe ( $n=283$ ) und  $r=0,33$  in der Gruppe ohne NE. So betrachtet, scheint der Biomarker SePP also recht gut mit dem Biomarker Plasmaselen übereinzustimmen und kann damit als geeigneter und sehr genauer Parameter zur Bestimmung des Selenstatus herangezogen werden.

Auffällig ist die deutlich geringere Jodausscheidung in allen Gruppen verglichen mit der Jodzufuhr, was auf eine niedrige Zufuhr und folglich erhöhte Retention hinweist. Eigentlich ging man davon aus, dass die Jodurie etwa  $1/3$  unter der Jodaufnahme liegt, wie frühere Daten zeigten. Dies ist hier jedoch nicht der Fall. Hier liegt die Jodurie deutlich unter der Jodzufuhr (etwa  $1/2$  bei den Omnivoren, etwa  $2/3$  bei den Vegetariern und über 70% bei den Veganern). In den meisten Studien zeigt sich eine etwa 30-50% geringere Jodausscheidung im Vergleich zur erfragten Jodzufuhr (Anke 2000), allerdings wurden hierbei die täglichen bzw. wöchentlichen Zufuhrdaten als Vergleich herangezogen. In dem von uns verwendeten FFT wurden die Durchschnittsdaten eines längeren nicht klar definierten Zeitraumes herangezogen und auf die durchschnittliche tägliche Zufuhr berechnet. Dabei ergeben sich offenbar höhere Werte, oder die Menge an jodhaltigen Lebensmitteln wird von den Probanden überschätzt. Nachdem die Korrelation unserer Daten (Zufuhrdaten zu Ausscheidungsdaten) aber relativ gut ist, kann der FFT (eventuell nach Überarbeitung und Aktualisierung) als geeignet angesehen werden, die Jodversorgung einer Population zu untersuchen.

Im Vergleich zu den Werten unserer Untersuchung zeigte das Jodmonitoring 1996 auch eine signifikante jedoch schwächere Korrelation zwischen der FFT ermittelten Jodzufuhr und der Jodausscheidung im Urin (Untergruppe 50-70-jährige ( $n=554$ )  $r=0,2$ ;  $p<0,001$  / Untergruppe Wehrpflichtige ( $n=759$ )  $r=0,15$ ;  $p<0,001$ ).

Eine Studie aus den Niederlanden zeigte bei der Überprüfung der Korrelation zwischen Jodzufuhr und Jodausscheidung einer omnivoren Kostgruppe eine Korrelation von 0,34 bzw. 0,43 (Männer bzw. Frauen) (Brussaard et al. 1997). Diese höhere Übereinstimmung von Jodausscheidung und -zufuhr dürfte v.a. auf eine über 3 Tage gemittelten Jodzufuhr und einen 72 h-Sammelurin zurückzuführen sein.

Bei der Erhebung der Selenversorgung entspricht die Höhe der Selenzufuhr eher den gemessenen Plasmaspiegeln. Dies deutet darauf hin, dass der Mangel an Selen nicht so ausgeprägt ist und die Depots eher aufgefüllt sind, wie dies bei den Teilnehmern mit Jod der Fall ist. Hier soll jedoch kritisch angemerkt werden, dass auch weniger selenhaltige aber dafür häufig verzehrte Lebensmittel zu einem entsprechenden Selenstatus beitragen. Ein entsprechend hoher Konsum von Suppen, Bier, Mischgerichten wie Aufläufe, Eintöpfe und Pizza, aber auch Kartoffeln, Gemüse, Obst und Butter könnte die zu berechnende Selenzufuhrmenge erhöhen. Gerade bei den Veganern scheint die Zufuhr ausgewählter Lebensmittel (jedoch mit dem FFT nicht erfasst) (z.B. Ölsamen und Ölf Früchte etc.) einen gewissen, wenn auch kleineren Anteil zur Selenzufuhr beizutragen. Dafür wurde bei den Mischköstlern die Zufuhr von (sehr selenhaltigen) Innereien nicht erfasst, so dass auch hier bei entsprechender Verzehrshäufigkeit höhere Werte zu erwarten wären. Ein weiteres Problem bei der Erfassung und Berechnung einer möglichst genauen Selenzufuhr bildete die Tatsache, dass viele Probanden (primär Mischköstler und Vegetarier) nicht wussten, ob von ihnen verzehrte Teigwaren mit Eiern hergestellt waren. Dadurch wurde lediglich der Selengehalt ohne Eier angenommen. Somit besteht die Hypothese, dass beim Vergleich mit den Biomarkern die geschätzte Selenzufuhr eher einer Unterschätzung entspricht.

### **6.3 Zufuhresulte der Nährstoffe Jod und Selen aus dem FFT**

#### **6.3.1 Jod**

Die Erfassung und Berechnung der quantitativen Jodnährstoffzufuhr wurde an die bereits beim Jod-Monitoring 1996 und bei der Studie zur Jodversorgung Schwangerer Frauen in Bayern 2009/10 (Gärtner et Adam 2009) zum Einsatz gekommene, evaluierte Jodanamnese angelehnt. Unsere mittels FFT errechnete Jodaufnahme lag bei Mischköstlern im Median bei 108  $\mu\text{g Jod/d}$  ( $\text{♂}115\mu\text{g Jod/d}$  und  $\text{♀}106\mu\text{g Jod/d}$ ) (MW  $123\mu\text{g/d} \pm 51$ ) und somit deutlich unter der Empfehlung von mindestens 180  $\mu\text{g Jod/d}$  (DGE 2008), aber auch niedriger im Vergleich zum Jodmonitoring 96. Diese lag bei 120-140  $\mu\text{g/Tag}$ . Auch die etwas geringere Zufuhrempfehlung der WHO von 150  $\mu\text{g Jod/Tag}$  wurde damit nicht erreicht (WHO 1996). Mit 96  $\mu\text{g Jod/d}$  waren die Vegetarier ( $\text{♂}92\mu\text{g Jod/d}$  und  $\text{♀}99\mu\text{g Jod/d}$ ) (MW  $103\mu\text{g/d} \pm 47$ ) geringer und mit 59  $\mu\text{g Jod/d}$  die Veganer ( $\text{♂}57\mu\text{g Jod/Tag}$  und  $\text{♀}61\mu\text{g Jod/Tag}$ ) (MW  $72\mu\text{g/d} \pm 45$ ) noch erheblich schlechter versorgt. Beim Ver-

gleich der Kostgruppen untereinander zeigten sich deutliche signifikante Unterschiede (siehe Abb. 3 und 4, Tab. 9). Nur 13 von 99 (rund 13%) der Mischköstler (darunter 3 mit zusätzlicher Nahrungsergänzung), 4 von 101 (rund 4%) der Vegetarier (darunter 3 mit zusätzlicher Nahrungsergänzung) und 6 von 83 (rund 7%) der Veganer (darunter alle mit zusätzlicher Nahrungsergänzung) erreichten die empfohlene Zufuhrmenge von mindestens 180-200µg Jod/d.

Bei den Mischköstlern ist durch den Verzehr von Fleisch und Wurstwaren - weniger etwa durch den Konsum von Fisch (da eher gering) - ein Unterschied im Median von knapp 12µg Jod/d zu den Vegetariern zu verzeichnen. Milch und Milchprodukte haben den größten Anteil an der Jodversorgung, Dadurch nehmen die Veganer 49 µg Jod/d weniger auf als Mischköstler. Im Vergleich zu den Daten des Jodmonitoring 96 hat die Jodversorgung unseres Kollektives somit nicht zu-, sondern eher abgenommen. Veganer als Risikogruppe für einen (z.T. erheblichen) Jodmangel sollten eine ausreichende Jodzufuhr durch ausschließliche Verwendung von Jodsalz im Haushalt und Konsum mit Jodsalz hergestellter Backwaren sicherstellen. Experten sprechen gar von möglichen 30-40% Beitrag an der Gesamtjodzufuhr, wenn nur mit jodiertem Salz hergestellte Backwaren konsumiert würden (Meng et Scriba 2000). Der Konsum von Backwaren lag laut Produktdaten der Lebensmittelindustrie bei 84,9kg/Kopf/Jahr (entspricht 233g/Tag) (GMF 2010). Auch sollte durch eventuell ergänzende Zufuhr von Meeresalgen (nur mit moderatem Jodgehalt von unter 20 mg/kg Trockenprodukt wie z.B. Nori – siehe BfR 2007) sowie weiterer jodhaltiger Nahrungsergänzungsmittel gerade in Risikosituationen wie Schwangerschaft, Stillphase etc., der Bedarf sichergestellt werden. Bei Nutzung dieses Wissens könnten alle Kostformen, gerade aber Veganer eine deutlich bessere Bilanz erzielen. Da Ovo-Lacto-Vegetarier wenigstens durch den Verzehr von Milch- und Milchprodukten Jod aufnehmen, ist jedoch kein nennenswertes Risiko für einen Jodmangel im Vergleich zu den Veganern gegeben. Mit einem Beitrag von 37% an der Gesamtjodzufuhr stellen Milch/Milchprodukte die Hauptzufuhrquelle dar (Großklaus 2007). Der Milch-/Milchproduktekonsum belief sich im Jahr 2010 auf 115,9 kg/Kopf/Jahr (entspricht 318g/Tag) (Milch&Markt 2010). Berücksichtigt werden muss, dass bei unserer Berechnung der Gesamtjodzufuhr die Konzentration der Milch/Milchprodukte lediglich mit 7 µg Jod/100 ml (siehe Methodenteil Berechnung) angenommen wurde. Eine aktuelle Untersuchung zum Jodgehalt von Kuhmilch in Thüringen lieferte durchschnittlich knapp 18 µg Jod/ 100ml

Milch (Jahreis et al. 2007). Man kann also von höheren Werten in Milch und Milchprodukten ausgehen, so dass bei entsprechendem Milch-/Milchproduktekonsum die Zufuhrwerte der Mischköstler und Vegetarier höher sein dürften. Insgesamt scheint die Versorgungslage aller Kostgruppen mit Jod nicht optimal, so dass Mischköstler, Vegetarier und v.a. Veganer ihre Zufuhrwerte mit jodiertem Speisesalz erheblich verbessern sollten.

So konnte auch eine Studie (Krajcovicová-Kudlácková et al 2003) feststellen, dass die Jodversorgung bei Vegetariern (n=31) (172µg/l) im Vergleich zu Mischköstlern (n=35) (216µg/l) niedriger war, jedoch deutlich höher als bei den Veganern (n=15) (78µg/L). Dabei litt etwa ¼ der Vegetarier, 9% der Mischköstler und 80% der Veganer unter einem Jodmangel, ausgewiesen durch eine Jodurie von < 100µg/l. Eine neuere Studie aus den USA Region Boston (Leung et al 2011) untersuchte 63 Veganer, die im Median 78,5 µg Jod/L (Range: 6.8-964.7µg/L) und 78 Vegetarier, die im Median 147µg Jod/L (Range: 9.3-778,6) aufwiesen.

### 6.3.2 Selen

Die anhand des fokussierten FFT ermittelte Selenzufuhr unserer Studienteilnehmer erreicht bei Mischköstlern knapp die Bedarfsgrenze. Als zu empfehlende Aufnahmemenge pro Tag werden für Erwachsene von der DGE 30 - 70µg Selen, von Ogasawara sogar 60 - 75µg Selen und als Tageshöchstdosis 300µg Selen angegeben (DGE/ÖGE/SGE/SVE 2008; Ogasawara 2001). Vegetarier und Veganer liegen bei unserer Berechnung deutlich unterhalb der empfohlenen Mindestzufuhr von Selen. Beim Vergleich der Kostgruppen untereinander zeigen sich signifikante Unterschiede (siehe Abb. 5 und 6, Tab. 10). Die Werte (im Median) stellen sich wie folgt dar - Mischköstler 34 µg/d (♂37µg/d und ♀32µg/d) (MW 45µg/d±58), Vegetarier 25µg/d (♂28µg/d und ♀25µg/d) (MW 33µg/d±34) und Veganer 22µg/d (♂36µg/d und ♀20µg/d) (MW 38µg/d±48).

Eine frühere Studie zum Selenstatus (Oster et Prellwitz 1989) errechnete eine tägliche Zufuhr im Mittel bei Männern von 47µg Se/d und bei Frauen von 38µg Se/d, was einer Zufuhrmenge von rund 0,7 µg/kg KG entspricht. Eine Untersuchung zuvor kam auf hoch erscheinende 74µg Se/d bzw. 61µg Se/d (Hartfiel 1988).

Die in der Schweiz und in Deutschland durchgeführten Ernährungssurveys erbrachten im Mittel Werte von 57µg Se/d bei Männern und 48µg Se/d bei Frauen

(Zimmerli et al 1998) bzw. 41 $\mu$ g Se/d bei Männern und 30 $\mu$ g Se/d bei Frauen (Drobner et al 1996).

Verschiedene Autoren beschrieben den Selenstatus in den letzten Jahren in Deutschland mit durchaus unterschiedlichen Werten. Eine deutliche Änderung der Selenzufuhr trat mit dem Ende des Imports von selenreichem amerikanischem/kanadischem Getreide ein, so dass die Zufuhr seit Mitte der 70er Jahre von ungefähr 60-70 $\mu$ g/d auf nur etwa die Hälfte zurückgegangen ist (SCF 2000).

Bemerkenswert ist (wie in folgender Tab. gezeigt), dass Finnland 1984 die Mineraldüngung ihrer Böden mit Selen einführte, was sich bereits 1986 mit einer deutlichen Erhöhung der Zufuhrmenge über die Nahrungskette zeigte. Die nachfolgende Tabelle der Selenzufuhr einiger Selenmangel- und Selenüberschussländer liefert folgende Darstellung (zusammengetragen von Schomburg et Köhrle 2007)

**Tab. 16: Tägliche Selenzufuhr**

Land	Aufnahme( $\mu$ g/Tag)
Tibet	5-15
Finnland (vor `84)	12-23
Neuseeland	19-80
Schottland/England	31-43
Deutschland	38-47
Finnland (seit `86)	69-82
USA	60-160
Kanada	113-220
Japan	128
China	2-6990

Eine adäquate Selenversorgung kann derzeit wohl nicht genau definiert werden, da keine eindeutige, nur mit Selenmangel assoziierte Erkrankung oder Mangelerkrankung identifiziert wurde und die Zeichen einer Unterversorgung eher latent sind (Nève 2002). Deutschland steht damit jedoch sowohl mit den Werten aus der Literatur als auch mit den Werten unserer Studie am unteren Ende der gegenwärtig empfohlenen Tagesdosis von 30-70 $\mu$ g Se/d (DGE 2008).

Insgesamt liegen nur wenige (aktuelle) Daten zur Selenaufnahme bei Vegetariern und Veganern vor. Anke spricht von einer Selenzufuhr bei omnivorer Kost von 42 $\mu$ g Se/d bei Männern bzw. 30 $\mu$ g Se/d bei Frauen während bei vegetarischer Kost 34 $\mu$ g Se/d respektive 30 $\mu$ g Se/d vorliegen (Anke et al 2000). Weitere Ergeb-

nisse zur täglichen Selenzufuhr und Testung auf signifikante Unterschiede unter verschiedener Kostform zeigt nachfolgende Tabelle 17.

**Tab. 17: Übersicht der Studienlage zur Selenversorgung von vegetarisch und vegan lebenden Menschen im Vergleich zur omnivoren Kostgruppe.**

Studie	Land	Vegetarier vs MK	Veganer vs MK
Shultz & Leklem (1983)	USA	kein signifikanter Unterschied	nicht untersucht
Akesson & Ockerman (1985)	Schweden	signifikant niedrigere Werte	kein signifikanter Unterschied
Srikumar et al. (1992)	Schweden	signifikant niedrigere Werte	nicht untersucht
Krajcovicová et al. (1995)	Slowakei	signifikant höhere Werte	nicht untersucht
Rauma et al. (1995)	Finnland	nicht untersucht	kein signifikanter Unterschied
Meissner (1997)	Deutschland	kein signifikanter Unterschied	nicht untersucht
Dhindsa et al. (1998)	Australien	kein signifikanter Unterschied	nicht untersucht
De Bortoli & Cozzolino (2008)	Brasilien	kein signifikanter Unterschied	nicht untersucht

Die Interpretationen bezüglich der Selenversorgungssituation gehen z.T. weit auseinander, so dass unterschiedliche Empfehlungen gegeben werden (Gibson et al 1994; Larson et al 2002 & 2005; Rauma et al 2000).

Im Rahmen unserer Studie konnte gezeigt werden, dass Veganer und auch Vegetarier im Vergleich zu Mischköstlern eine signifikant geringere Zufuhr von Selen haben. Dies war zu erwarten, da in Deutschland die Selenkonzentration in Böden und damit Nutzpflanzen niedrig ist.

#### **6.4 Validierung der Jod- und Selenzufuhr mittels laborchemischer Analyse der Biomarker: Jodurie, Plasmaselen & SePP**

Bei Validierungsstudien gibt es gewisse Anforderungen an die verwendeten Biomarker. Zum einen sollen sie eine hohe Sensitivität und Spezifität aufweisen, was durch eine lineare Korrelation zwischen Nährstoffzufuhr und Biomarker erfüllt wird (wie in unsrer Studie gezeigt), zum anderen soll mittels Biomarker eine genaue Nährstoffzufuhr (einer möglichst mittel- bis langfristigen Zeitspanne) reflektiert werden, was bei Querschnittserhebungen mit nur einmaliger Datenerhebung noch ausreichend erfüllt ist. Genauer wäre sicherlich eine mehrfache Bestimmung der Biomarker (so z.B. mehrere Blutanalysen in den verschiedenen Jahreszeiten mit

entsprechend unterschiedlicher Nahrungszusammensetzung oder Sammelurin anstelle einer einmaligen Urinprobe), was aber gerade bei epidemiologischen Studien nicht immer zu erfüllen ist.

Die mit dem FFT gewonnenen Ergebnisse der Jod- bzw. Selenversorgung in unserem Probandenkollektiv wurden durch die Messung der Jodurie bzw. Plasmaselen- und SePP-konzentration bestätigt.

#### **6.4.1 Jodurie & Schweregrad der festgestellten Jodmangelsituation**

Eine korrekte Abschätzung der Jodzufuhr ist durch die Bestimmung der Urin-Jod-Ausscheidung möglich (Gärtner 2001). Berücksichtigt werden muss dabei die Tatsache, dass die gemessenen Joduriewerte (in  $\mu\text{g}$  Jodid /Liter Urin) z.T. stark variieren können, abhängig von der Diurese und damit dem Hydratationszustand des Einzelnen. Die Jodversorgung in unseren Ernährungsgruppen zeigt deutlich signifikante Unterschiede (siehe Abb. 7, 8 und Tab. 11) und stellt sich wie folgt dar:

Mischköstler weisen (im Median) Werte von rund  $51\mu\text{g}$  Jodid/L auf ( $\text{♂}$   $78,1\mu\text{g/L}$  und  $\text{♀}$   $45,2\mu\text{g/L}$ ) (MW  $67,1\mu\text{g/L}\pm 51$ ) - Vegetarier nur rund  $33\mu\text{g}$  Jodid/L ( $\text{♂}$   $35,7\mu\text{g/L}$  und  $\text{♀}$   $32,9\mu\text{g/L}$ ) (MW  $55,7\mu\text{g/L}\pm 56$ ). Veganer hatten im Median nur eine Jodurie von rund  $13\mu\text{g/L}$  ( $\text{♂}$   $15,6\mu\text{g/L}$  und  $\text{♀}$   $13\mu\text{g/L}$ ) (MW  $24,4\mu\text{g/L}\pm 33$ ). Nur rund 20% derer, die sich omnivor ernähren, knapp 16% mit vegetabiler Kost und gerade etwa 6% der Veganer hatten eine Jodurie im Referenzbereich von 100-200 $\mu\text{g/L}$ . Gut 29% der Mischköstler, rund 21% der Vegetarier und etwa 5% der Veganer zeigen einen milden Jodmangel während etwa 35% der Mischköstler, rund 33% der Vegetarier und gut 23% der Veganer einen moderaten Mangel aufweisen. Einen schweren Jodmangel zeigen 13% der Mischköstler, rund 29% der Vegetarier und erschreckende 66% der Veganer.

Beim Jodmonitoring 1996 wurde die breite Bevölkerung auf ihre Jodausscheidung im Urin untersucht (Manz et al 1998). Dabei wurden im Mittel  $83\mu\text{g}$  Jodid/L bestimmt. Außerdem betrug der Anteil der Teilnehmer mit einer Jodurie unter 100  $\mu\text{g/L}$  62%, was einem leichten Mangel entspricht, und der Anteil unter 50  $\mu\text{g/L}$  lag bei rund 21%, was einem moderaten Mangel entspricht. Im Vergleich dazu liegen unsere Daten deutlich darunter, insbesondere bei den Vegetariern und Veganer.

#### **6.4.2 Plasmaselen und Schweregrad der festgestellten Mangelsituation**

Die Bestimmung des Plasmaselens ergab statistisch signifikante Gruppenunterschiede. Dabei weisen Mischköstler Werte von rund 83µg/L (♂81,8µg/L und ♀84,7µg/L) (MW 88,7µg/L±21) auf, Vegetarier von nur knapp 69µg/L (♂65,3µg/L und ♀72,1µg/L) (MW 69,4µg/L±16). Die statistische Auswertung zeigte hochsignifikante Unterschiede ( $p < 0,001$ ) zwischen allen Gruppen (siehe Abb 10,11 und Tab 11). Veganer hatten im Median nur einen Plasmaselen Spiegel von rund 57 µg/L (♂52,6µg/L und ♀57,7µg/L) (MW 59,4 µg/L±19). Wenngleich keine der Kostgruppen einen deutlichen Selenmangel von  $< 25\mu\text{g/L}$  aufweist, sind dennoch, ausgehend von einer definierten unteren physiologischen Versorgungsgrenze von mind. 80µg Se/L Plasma (Thomson 2004), knapp die Hälfte der Mischköstler, 3/4 der Vegetarier und fast 90% der Veganer nur suboptimal mit Selen versorgt. Eine optimale Selenversorgung zeigen damit lediglich die Hälfte der Mischköstler, gut 1/4 der Vegetarier und nur etwa 10% der Veganer.

Geht man von dem Referenzbereich 50-120µg/L (Umweltbundesamt 2002) aus, so würde sich bei unserem Kollektiv eine ausreichende Selenversorgung unter omnivorer Kost ergeben. Nur etwa 10% der Vegetarier und 30% der Veganer haben danach erniedrigte Plasmaspiegel. Insgesamt scheint hier der Grenzwert deutlich zu niedrig zu sein. Fünfzehn ältere Studien zur Selenversorgung Erwachsener in Deutschland (alle zitiert in: Combs 2001 (Behne und Wolters, 1979; Bergmann et al., 1998; Bononmini et al. 1995; Kasperek et al., 1982; Koehler et al., 1988; Meissner, 1997; Oster et al., 1983; 1986; 1988a; Oster und Prellwitz, 1982; 1990b; Reinhold et al., 1989; Rukgauer et al., 1997; Theile et al., 1995; Thorling et al., 1986) wiesen vergleichbare Plasmaselenwerte auf. In vier Studiengruppen lag der Mittelwert unter 70 µg/L und in einer Gruppe knapp unter 50 µg/L. Laut einer Überprüfung zur Selenversorgung durch Oster (1995) weist die deutsche Bevölkerung im Mittel Plasmaselenkonzentrationen von 60-90µg/l auf. Der Plasmaspiegel, der eine ausreichende Selenversorgung signalisiert wurde in der Literatur vielfach kritisch diskutiert (Tab.18). Seit 1993 scheint sich eine Anhebung der Zufuhrempfehlungen abzuzeichnen.

**Tab. 18: Selenpiegel im Plasma, die in der Literatur als Indikatoren für eine ausreichende Versorgung angesehen werden in ( $\mu\text{g/L}$ )**

Thomson 1993	> 40	
Siegers et al 1994	40	- 190
Biesalski et al 1997	> 50	
Umweltbundesamt 2002	50	- 120
Nève 1995	> 70	
Thomas 2000	74	- 139
Burk 1999; Hambidge 2003	> 80	
Raymann 2000	> 90	
Thomson 2004	80	- 95
Sill-Steffens 2001	100	- 135

Vergleicht man unsere Ergebnisse mit Daten anderer Studien, so muss bei den z.T. stark divergierenden Werten berücksichtigt werden, dass die Nährstoffkonzentration und, daraus resultierend, der Selenstatus je nach Region und Nahrungszusammensetzung deutlich voneinander abweichen. So sieht man bei der Giessener Vollwert-Ernährungs-Studie etwa eine ähnliche Selenversorgungssituation bei den Omnivoren, stärker jedoch divergierend bei den Vegetariern und Veganern (Kolitschus et al 2000). Der untersuchte Plasmaselenstatus zeigt dabei bei den Mischköstlern ( $n=173$ )  $86,9 \mu\text{g/L}$ , bei den Ovo-Lacto-Vegetariern ( $n=110$ )  $77,2 \mu\text{g/L}$  und bei den Rohköstlern ( $n=81$ )  $76,7 \mu\text{g/L}$ . Die Autoren beschreiben, in Übereinstimmung mit unseren Daten, einen signifikanten Unterschied zwischen omnivorer und vegetarischer bzw. veganer Kost/Rohkost mit erhöhter Gefahr für eine marginale Selenversorgung bei den Vegetariern, denen sie jedoch ausreichende oder sogar gute Selenwerte bescheinigen. Zusammenfassend zeigt die Literatur, dass Vegetarier und Veganer zu geringeren Selen-Werten tendieren, wie auch die Studien von Akesson et Ockerman 1985; Kadrova et al 1995 zeigen. Eine neuere Studie von de Bortoli et Cozzolino aus Sao Paolo (2009) fand bei den untersuchten Vegetariern ( $n=30$ ) mit unseren Ergebnissen vergleichbare Werte von  $73,5 \mu\text{g Se/L}$  (Männer) und  $77,3 \mu\text{g Se/L}$  (Frauen).

#### 6.4.3 SePP

Die Darstellung des Selenstatus unserer Untersuchung stützt sich sowohl auf die Bestimmung des Plasmaselenpiegels als auch der SePP-Konzentration im Plasma.

Bei der Bestimmung der SePP-Konzentration im Plasma waren statistisch signifikante Gruppenunterschiede festzustellen (siehe Abb.13, 14 und Tab.13). Die om-

nivore Kostgruppe hatte im Median einen Plasmaspiegel von 2,68mg SePP/L, die vegetabile Gruppe 2,56mg SePP/L und die vegane Kostgruppe 2,24mgSePP/L.

Legt man den in mehreren Tausend Untersuchungen des Instituts für Experimentelle Endokrinologie der Charité Berlin ermittelten Erfahrungswert/Richtwert von 3mg SePP/L im Plasma für eine ausreichende Selenversorgung zu Grunde, haben nur etwa 1/3 der Mischköstler, ¼ der Vegetarier und knapp 1/10 der Veganer eine ausreichende Selenversorgung. Der überwiegende Anteil aller Teilnehmer - Mischköstler 67,7%, Vegetarier 74,3% und Veganer 91,6% - ist nach diesen Werten ungenügend mit Selen versorgt.

Selenoprotein P wird inzwischen als valider Biomarker für die Versorgung mit Selen angesehen. Derzeitig gibt es aber noch keinen allgemein akzeptierten Parameter für eine ausreichende oder optimale Versorgung mit Selen. Außerdem korrelieren zirkulierende Selenoproteine nicht in allen Studien mit der Plasmaselenkonzentration oder mit der Selenzufuhr (Burk et al. 2006) Die Verwendung verschiedener Biomarker bei marginal mit Selen Versorgten liefert also unterschiedliche Richtwerte. So bezeichnet eine aktuelle Studie zur Wahl des besten Biomarkers für die Bestimmung des Selenstatus von Vegetariern und Veganern das selentransportierende Protein SePP als besonders geeignet. Es wird jedoch angemerkt, dass dieser zuverlässige Indikator nur langsam ansteigt (Hoeflich et al. 2010). Bezüglich des Selenstatus fielen in dieser Studie bei den insgesamt marginal mit Selen versorgten Mischköstlern (n=54), Vegetariern(n=28) und Veganern (n=26) deutliche Unterschiede auf. Die GPx-Aktivität war bei allen Kostgruppen unverändert. Jedoch war das Plasmaselen der veganen/vegetarischen Kostgruppe um knapp 20% geringer als das der omnivoren Vergleichsgruppe und die SePP-Konzentration sogar fast 30% geringer. Die Autoren folgern aus ihren Ergebnissen, dass die Bestimmung des SePP die verlässlichste Methode ist, um die Versorgung mit Selen abzuschätzen. Sie weisen auch darauf hin, dass die Wahl des Biomarkers darüber entscheiden kann, ob Personen als ausreichend oder unterversorgt eingestuft werden. Ältere Studien, die mit weniger verlässlichen Parametern der Selenversorgung durchgeführt wurden, sollten deshalb mit Vorsicht interpretiert werden.

Zieht man die Daten unserer Studie heran (Tab.11, 12 im Ergebnisteil), so war dieser Unterschied zwischen den Biomarkern nicht feststellbar. Das Plasmaselen

der vegetarischen Kostgruppe war im Vergleich mit der omnivoren Gruppe etwa 17%, das der Veganer um 31% geringer, und die SePP-Konzentration fiel verglichen mit der omnivoren Probandengruppe bei den Vegetariern nur knapp 5%, bei den Veganern etwa 16% niedriger aus.

Betrachtet man vergleichend die unterschiedlichen Referenzbereiche für das Selen- und das SePP im Plasma (Abb.10b und 13 im Ergebnisteil), so erkennt man eine gute Übereinstimmung für den unteren Richtwert des Gesamtplasmaselens bei  $>80\mu\text{g/L}$  und dem SePP-Richtwert von  $3\text{mg/L}$ . Vergleicht man anhand dieser Richtwerte den Anteil der Studienteilnehmer der jeweiligen Kostgruppen, die im Referenzbereich einer ausreichenden Selenversorgung liegen, so stimmen diese bei den Vegetariern (24,8% sind gemäß Definition des Plasmaselenrichtwertes ausreichend bis optimal versorgt vs. 25,7% gemäß Definition des SePP-Richtwertes) und Veganern (10% vs. 8,4%) recht gut überein, nur bei den Mischköstlern (54,5% vs. 32,2%) differiert es stärker.

Unsere Untersuchung zeigt erstmals, dass mit einem fokussierten FFT eine valide Aussage über die Selenversorgung möglich ist. Da sowohl die Werte für das Plasmaselen, wie auch die Werte für das SePP untereinander, wie auch mit den FFT-Werten statistisch signifikant korrelieren, eignen sich diese Methoden zur Erfassung der Selenversorgung. Demnach ist eine ausreichende Versorgung anzunehmen, wenn das Plasmaselen  $>80\mu\text{g/L}$ , das SePP  $>3\text{mg/L}$  oder die mit dem FFT bestimmte Zufuhr im Bereich des omnivor sich ernährenden Kollektivs unserer Untersuchung, also bei mindestens  $34\mu\text{g/d}$  liegt.



## 7 Zusammenfassung

- Unsere Untersuchungen zeigen, dass Vegetarier und besonders Veganer in nicht geringem Prozentsatz einer Unterversorgung mit Spurenelementen wie Jod und Selen ausgesetzt sind.
- Der FFT ist eine zuverlässige Hilfe für den Arzt und Ernährungsberater, die Jod- bzw. Selenversorgung bereits im Rahmen einer Anamnese abzuschätzen und dann, bei erheblichen Defiziten, weitere laborchemische Untersuchungen zu veranlassen. Dies ist besonders wichtig bei Risikogruppen, wie Personen mit kardio-vaskulären oder entzündlich-rheumatischen Erkrankungen, Senioren oder sich vegan ernährenden Personen.
- Mit dem FFT kann die Zufuhr abgeschätzt werden. Der Bedarf an Selen hängt aber von zahlreichen Faktoren ab, die für eine ausreichende Versorgung berücksichtigt werden müssen. Dies gilt für Gruppen mit verringerter Zufuhr (wie der veganen Kostgruppe) oder erhöhtem Verbrauch (Schwangerschaft, Stillzeit, Wachstumsalter und chronische Erkrankungen). Deshalb ist in diesen Situationen auch die Bestimmung der Serumparameter sinnvoll.
- Der fokussierte FFT ist eine schnelle, preiswerte und verlässliche Methode, die Selenversorgung abzuschätzen und kann z. B. bei epidemiologischen Untersuchungen an großen Kollektiven eingesetzt werden.
- Die erzielten Ergebnisse bezüglich der Jodversorgung machen deutlich, dass intensive Aufklärung über Jodmangelerkrankungen weiterhin notwendig ist, insbesondere bei den Risikogruppen der Vegetarier und Veganer.

Die divergierenden Richtwerte und die unterschiedlichen Bestimmungsmethoden für die ausreichende / optimale Selenversorgung erschweren die Beurteilung der Ergebnisse in der Literatur. Trotzdem kann festgestellt werden, dass die Versorgung der Veganer und Vegetarier mit Selen marginal niedrig ist. Umwelt- und Lebensstilfaktoren können den Bedarf an Spurenelementen beeinflussen. Möglicherweise ist das mit ein Grund, dass die Richtwerte für eine ausreichende Selenzufuhr während der letzten Jahre tendenziell ansteigen. Es wäre wünschenswert,

für Selen eine deutschlandweite Erhebung der Selenzufuhr durchzuführen, wie dies für die Jodzufuhr mit dem Jodmonitoring geschehen ist. Durch den Einsatz des hier beschriebenen fokussierten FFT für Selen ist dies in den Bereich des Möglichen gerückt.

## 8 Literatur

- Adam O (2003): Notwendigkeit von Nahrungsergänzungsmitteln am Beispiel Jod. Ernährungs-Umschau 50; Heft 9: 352-56
- Adam O, Gärtner A (2003): Wie viel Jod brauchen wir in der Nahrung? VFED aktuell 72: 12-16
- Adam O (2006): Nationale und internationale Erfahrungen der Supplementierung mit Jod, Fluorid und Folsäure. Ernährungs-Umschau 53:234
- Akesson B, Ockermann PA (1985): Selenium status in vegans and lactovegetarians. Br J Nutr. 53, 199-205
- Als C, Halsimann M, Burgi E, Donati E, Gerber H, Zimmerli B (2003): Swiss pilot study of individual seasonal fluctuations of urinary iodine concentration over two years: Is agedependency linked to the major source of dietary iodine? Eur J Clin Nutr 57: 636-46
- American Dietetic Association and Dietitians of Canada (2003): Vegetarian diets. J Am Diet Assoc 103(6): 748-65
- Angstwurm MW, Engelmann L, Zimmermann T, Lehmann C, et al. (2007): Selenium in Intensive Care (SIC): Results of a prospective randomized, placebo-controlled, multiple-center study in patients with severe systemic inflammatory response syndrome, sepsis, and septic shock. Crit Care Med 35: 118-126
- Anke M, Drobner C, Röhrig B, Schäfer U, Müller R (2002): The selenium content of the flora and plant and animal foodstuffs in Germany. Ernährungsforschung 47: 67-79
- Anke M, Gleis M, Angelow L, Groppe B, Illing H (1994): Kupfer, Jod und Nickel in Futter- und Lebensmitteln. Übers Tierernähr 22: 321-362
- Anke M, Gleis M, Rother C, Vormann J, Schäfer U, Röhrig B, Drobner E, Scholz E, Hartmann E, Möller E, Sülzle A (2000): Die Versorgung Erwachsener Deutschlands mit Jod, Selen, Zink bzw. Vanadium und mögliche Interaktionen dieser Elemente mit dem Jodstoffwechsel. 3. Interdisziplinäres Jodsymposium, Blackwell Berlin Wien, 147-176
- Arbeitskreis Jodmangel (2003): Jodmangel und Jodversorgung in Deutschland. Infoblatt für Gesundheitsberufe und Beratungskräfte. 2. Aufl. (Hrsg.: Arbeitskreis Jodmangel, Groß Gerau) <http://www.jodmangel.de>
- Arthur JR (2000): The glutathione peroxidases. Cell Mol Life Sci 57: 1825-35
- Arthur JR, Beckett GJ, Mitchell JH (1999): The interactions between selenium and iodine deficiencies in men and animals. Nutr. Res. Rev. 12: 55-73
- Åsvold BO, Vatten LJ, Midthjell K, Bjørø T (2012): Serum TSH within the Reference Range as a Predictor of Future Hypothyroidism and Hyperthyroidism: 11-Year Follow-Up of the HUNT Study in Norway. Journal of Clinical Endocrinology

- & Metabolism 97:93-99, 2012.  
<http://icem.endojournals.org/content/97/1/93.abstract>
- Awasthi YC, Beutler E, Srivastava SK (1975): Purifikation and properties of erythrocyte glutathione peroxidase. *J Biol Chem* 250: 5144-5148
- Bauch KH, Seitz W, Forster S, Keil U (1991): Interdisciplinary preventive
- Beck MA, Levander OA, Handy J (2003): Selenium deficiency and viral infection. *J Nutr* 133: 1463-67
- Behne D, Kyriakopoulos A, Kalcklösch M, Weiss-Nowak C, Pfeifer H, Gessner H, Hammel C (1997): Two new selenoproteins found in the prostatic glandular epithelium and in the spermatid nuclei. *Biomed Environ Sci.* 10(2-3):340-5.
- Biesalski HK, Berger MM, Braetter P, Brigelius-Flohé R, Fuerst P, Köhrle J, Oster O, Shenkin A, Viell B, Wendel A (1997): Kenntnisstand Selen - Ergebnisse des Hohenheimer Konsensusmeetings. *Akt Ernähr Med* 22: 224-231
- Biesalski HK, Köhrle J, Schümann K (2002): Vitamine, Spurenelemente und Mineralstoffe. Prävention und Therapie mit Mikronährstoffen. Georg Thieme Verlag, Stuttgart
- Braverman LE (1998): Adequate iodine intake - the good far outweighs the bad. *Eur J Endocrinol* 139:14-15.
- Brigelius-Flohé R, Maiorino M, Ursini F, Flohé L (2001): Selenium: an antioxidant? In: *Handbook of Antioxidants. Sec. Ed., rev. & exp.* E Cadenas, L Packer (Eds.) Marcel Dekker, Inc., New York, Basel
- Brown KM, Arthur JR (2001): Selenium, selenoproteins and human health: a review. *Publ Health Nutr* 4: 593-599
- Brussaard JH, Brants HA, Hulshof KF, Kistemaker C, Löwik MR (1997): Iodine intake and urinary excretion among adults in the Netherlands. *Eur J Clin Nutr* 51 Suppl 3:S59-62.
- Bundesinstitut für gesundheitlichen Verbraucherschutz und Veterinärmedizin (BgVV)(1995): Bundes-Lebensmittelschlüssel (BLS), Version II.2. Berlin.
- Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) (2004): Domke A, Großklaus R, Nieman B, Przyrembel H, Richter K, Schmidt E, Weißenborn A, Wörner B, Ziegenhagen R. in: *Verwendung von Mineralstoffen in Lebensmitteln - Toxikologische und ernährungsphysiologische Aspekte Teil II*
- Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR)(2004): Nutzen und Risiken der Jodprophylaxe in Deutschland. Aktualisierte Stellungnahme:  
[http://www.bfr.bund.de/cm/208/nutzen\\_und\\_risiken\\_der\\_jodprophylaxe\\_in\\_deutschland.pdf](http://www.bfr.bund.de/cm/208/nutzen_und_risiken_der_jodprophylaxe_in_deutschland.pdf).
- Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR)(2007): Gesundheitliche Risiken durch zu hohen Jodgehalt in getrockneten Algen. Aktualisierte Stellungnahme Nr. 26

- Bundesverband der Deutschen Fleischwarenindustrie eV (2010): Daten zum Fleischverzehr: [http://www.bvdf.de/in\\_zahlen/tab\\_06](http://www.bvdf.de/in_zahlen/tab_06)
- Bürgi H, Schaffner T, Seiler JP (2001): The toxicology of iodate: a review of the literature. *Thyroid* 11: 449-456
- Burikhanov RB, Matsuzaki S (2000): Excess iodine induces apoptosis in the thyroid of goitrogenpretreated rats in vivo. *Thyroid* 10: 123-9
- Burk RF, Hill KE (2005): Selenoprotein P: an extracellular protein with unique physical characteristics and a role in selenium homeostasis. *Annu Rev Nutr* 25: 215-35
- Burk RF, Hill KE, Boeglin ME, Ebner FF, Chittum HS (1997): Selenoprotein P associates with endothelial cells in rat tissues. *Histochem Cell Biol* 108(1):11-5
- Burk, RF, Levander, OA (1999): Selenium. In: *Modern Nutrition in Health and Disease* (Shils, M. E., Olson, J. A., Shike, M. & Ross, A. C., eds.), pp. 265–276. Williams & Wilkins, Baltimore, MD
- Burk RF, Hill KE, Motley AK (2003): Selenoprotein metabolism an function: Evidence for more than one function for selenoprotein P. *J Nutr* 133 (5) 15175-205
- Burk RF, Norsworthy BK, Hill KE et al. (2006): Effects of chemical form of selenium on plasma biomarkers in a high-dose human supplementation trial. *Cancer Epidem Biomarkers Prev* 15: 804-10
- Clar C, Wu T, Liu G, Li P (2002): Iodized salt for iodine deficiency disorders. A systematic review. *Endocrinol Metab Clin N Am* 31: 681-698
- Combs GF Jr (2001): Selenium in global food systems. *Br J Nutr* 85: 517-547
- Dahl L, Johansson L, Julshamn K, Meltzer HM (2003): The iodine content of Norwegian foods and diets. *Public Health Nutr* 7:569-576.
- Davidsson L (1999): Are vegetarians an 'at risk group' for iodine deficiency? *Br J Nutr* 81: 3-4
- Dayan CM, Daniels GH (1996): Chronic autoimmune thyreoditis. *N Engl J Med* 335: 99-107
- De Benoist B. (2004) Iodine status worldwide. WHO Global Database on Iodine Deficiency. Department of Nutrition for Health and Development, WHO Genf, [www.who.int](http://www.who.int)
- De Bortoli MC, Cozzolino SM (2009): Zinc and selenium nutritional status in vegetarians. *Biol Trace Elem Res.* 127(3):228-33
- Delange F (2000): Iodine deficiency. In the thyroid. A fundamental and clinical text. Bravermann LE and Utiger RD, editors. Philadelphia: Lippincott publ. 295-316
- Delange F, Lecomte P (2000): Iodine supplementation: benefits outweigh risks. *Drug Saf.* 22: 89-95

- Derumeaux H, Valeix P, Castetbon K, Bensimon M, Boutron-Ruault MC, Arnaud J, Hercberg S (2003): Association of selenium with thyroid volume and echostructure in 35- to 65-yearold French adults. *Eur J Endocrinol* 148: 309-315.
- Deutsche Gesellschaft für Ernährung (DGE), Österreichische Gesellschaft für Ernährung (ÖGE), Schweizerische Gesellschaft für Ernährungsforschung (SGE), Schweizerische Vereinigung für Ernährung (SVE) (2008): Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr. 1.Auflage, 3.Nachdruck. Frankfurt a.M. Umschau/Braus ; online: Selen => [www.dge.de/modules.php?page\\_9](http://www.dge.de/modules.php?page_9) ; Jod => [www.dge.de/modules.php...page\\_2](http://www.dge.de/modules.php...page_2)
- Dhindsa HS, Bermingham MA, Mierzwa J, Sullivan D (1998): Plasma selenium concentrations in a Sikh population in Sydney, Australia. *Analyst* 123(5):885-7
- Dickerson OB, Smith TH (1994): Selenium, tellurium and osmium, *Occupational Medicine*, 3th. edit, St. Louis
- Domke A, Großklaus R, Niemann B, Przyrembel H, Richter K, Schmidt E, Weiborn A, Wörner B, Ziegenhagen R (2004): Verwendung von Mineralstoffen in Lebensmitteln, Toxikologische und ernährungsphysiologische Aspekte Teil II in BfR Wissenschaft
- Dreher I, Schmutzler C, Jakob F, Köhrle J (1997): Expression von Selenoproteinen in Geweben und Zelllinien. In: Lombeck, I. (Hrsg.): Spurenelemente: Bedarf, Vergiftungen, Wechselwirkungen und neuere Meßmethoden. Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH, Stuttgart. 156-158
- Drobner C, Anke M, Thomas G (1996): Selenversorgung und Selenbilanz Erwachsener in Deutschland. In: Mengen und Spurenelemente, Anke M (Hrsg), H Schubert: Leipzig 627-634
- Duffield AJ, Thomson CD(1999): A comparison of methods of assessment of dietary selenium intakes in Otago, New Zealand. *Br J Nutr* 82(2):131-8.
- Duntas LH, Mantzou E, Koutras DA (2003): Clinical study: Effects of six month treatment with selenomethionine in patients with autoimmune thyroiditis. *Eur J Endocrinol* 48: 389-393.
- Durgrillon A, Gärtner R (1995): Delta-Iodolactones decrease epidermal growth factor induced proliferation and inositol-1,4,5-trisphosphate generation in porcine thyroid follicles – a possible mechanism of growth inhibition by iodine. *Eur J Endocrinol* 132: 735-43
- Eder K, Kralik A, Kirchgessner M (1995): Beeinflussung des Stoffwechsels der Schilddrüsenhormone bei defizitärer bis subtoxischer Selenversorgung. *Z Ernährungswiss* 34: 277-283
- Elmadfa I, Aign W, Muskat E, Fritzsche D (2007): Die große GU Nährwert-Tabelle. Gräfe und Unzer, München

- Ekmekcioglu C (2000): Spurenelemente auf dem Weg ins 21. Jahrhundert – zunehmende Bedeutung von Eisen, Kupfer, Selen und Zink. J. Ernährungsmed. 2: 18-23.
- Europäische Vegetarierunion (2009)  
<http://www.euroveg.eu/lang/de/info/howmany.php>.
- Fischinformationszentrum (2010): Daten zum Konsum 2010
- Flohé L, Günzler WA, Schock HH (1973): Glutathione peroxidase: a selenoenzyme. FEBS Lett 32 (1): 132-134
- Gärtner R (2000): Gibt es Risiken der der Jodmangelprophylaxe? Ernährungs-Umschau 47: 86-91
- Gärtner R, Adam O (2003): Wie viel Jod brauchen wir in der Nahrung ? VFED aktuell 72:12-16
- Gärtner R (2004): Hypothyreose - Epidemiologie und Pathogenese. In: Schilddrüsenerkrankungen. Grundlagen – Diagnostik – Therapie. Wissenschaftl Verlagsgesell mbH Stuttgart, pp 166-169
- Gärtner R (2004): in: Jodmangel und Jodversorgung in Deutschland. Informationsschreiben des Arbeitskreis Jodmangel (AJ), 2.Aufl, Groß Gerau [www.jodmangel.de](http://www.jodmangel.de)
- Gärtner R (2007): Wichtige Spurenelemente für die Schilddrüse. Präventiv Gesundheitsf 2:185-190
- Gärtner R (2009): Patienteninformation - Autoimmunthyreoiditis. Ralf Reglin Verlag. Köln
- Gärtner R, Adam O (2009): Neue Daten zur Jodversorgung schwangerer Frauen in Bayern. Jodversorgung aktuell. Informationsschreiben des Arbeitskreis Jodmangel
- Gärtner R (2010): Hypothyreose: Wann müssen sie substituieren? MMW-Fortschr.Med. Nr. 44 / (152.Jg.)
- Gärtner R, Albrich W, Angstwurm MW (2001): The effect of a selenium supplementation on the outcome of patients with severe systemic inflammation, burn and trauma. Biofactors 14(1-4): 199-204.
- Gärtner R, Bechtner G, Rafferzeder M, Greil W (1996): Comparison of urinary iodine excretion and thyroid iodine transporter. Nature 319: 458-59
- Gärtner R, Bechtner G, Rafferzeder M, Greil W (1997): Comparison of urinary iodine excretion and thyroid volume in students with or without constant iodized salt intake. Exp Clin Endocrinol Diabetes 105 Suppl 4:43-45.
- Gärtner R, Gasnier BCH, Dietrich JW, Krebs B, Angstwurm MWA (2002): Selenium supplementation in patients with autoimmune thyroiditis decreases thyroid peroxidase antibodies concentrations. J Clin Endocrinol Metab 87: 1687-1691.

- Gärtner R, Haen E (2001): Endokrinopharmakologie, Pharmakotherapie mit Hormonen. In: Forth W, Henschler D, Rummel W, Förstermann K, Starke K (Hrsg.) Allgemeine und spezielle Pharmakologie und Toxikologie. Urban & Fischer Verlag München, pp 721-730
- Gärtner R, Manz F, Grossklaus R (2001): Representative data of iodine intake and urinary excretion in Germany. *Exp Clin Endocrinol Metab* 87:1687-91
- Gasnier BCH (2002): Einfluß einer Selen-Substitution auf den Verlauf einer Autoimmunthyreoditis. Dissertationsschrift. LMU München
- Gaßmann B (2000) Dietary Reference Intakes, Report 3: Vitamine C und E, Selen und Carotinoide. *Ernährungs-Umschau* 47: 265-270
- Gibson RS (1994): Content and bioavailability of trace elements in vegetarian diets, *Am J Clin Nutr* 59 (5): 1223-1232
- GMF (Vereinigung Getreide Markt Und Ernährungsforschung) (2010): Daten online zum Verzehr
- Großklaus K (2007): Jod – Risiko oder Nutzen? *VFED aktuell – Nr 106 S7*
- Habermann J, Heinze HG, Horn K, Kantlehner R, Marschner I, Neumann J, Scriba PC (1975): Alimentärer Jodmangel in der Bundesrepublik Deutschland. *Dtsch Med Wschr* 100: 1937-1945
- Hambidge M (2003): Biomarkers of trace mineral intake and status. *J Nutr.* 133 Suppl 3:948S-955S.
- Hampel R, Bennöhr G, Gordalla A, Below H (2009): Jodidurie bei Erwachsenen in Deutschland 2005 im WHO-Zielbereich. *Medizinische Klinik.* Volume 104, Number 6 / Juni 2009 doi: 10.1007/s00063-009-1090-y [http:// dx. doi. org/ 10. 1007/s00063-009-1090-y](http://dx.doi.org/10.1007/s00063-009-1090-y)
- Hampel R, Kuhlberg T, Zollner H, Klinker D, Klein K, Pichmann EG, Kramer A (1996): Current state of alimentary iodine deficiency in Germany. *Z Ernährungswiss* 35:2-5.
- Hartfiel W, Bahnert N (1988): Selenium deficiency in the Federal Republic of Germany. *Biol Trace Elem Res* 15: 1-12
- Hartfiel W, Lux H, Lux J, Gentges K (2010): Bedeutung von Selen – Plädoyer für eine Erhöhung in Milch- und Getreideprodukten zur besseren Grundversorgung; *Ernährung und Medizin.* 25: 129-133
- Heseker H (1999): Jod. Funktionen, Physiologie, Stoffwechsel, Empfehlungen und Versorgung in der Bundesrepublik Deutschland. *Ernährungs-Umschau* 46: 55-59
- Hesketh JE, Villette S (2002): Intracellular trafficking of micronutrients: from gene regulation to nutrient requirements. *Proc Nutr Soc* 61: 405-414

- Hess SY, Zimmermann MB, Arnold M, Langhans W, Hurrell RF (2002): Iron deficiency anemia reduces thyroid peroxidase activity in rats. *J Nutr* 132: 1951-1955
- Heufelder AE (2006): Selen bei Autoimmunerkrankungen in der Schilddrüse. *Ernährung & Medizin*; 21: 125-28
- Heufelder AE, Joba W, Morgenthaler NG (2001): Autoimmunity involving the human sodium/iodide symporter: Fact or fiction? *Exp Clin Endocrinol Diabetes* 109: 35-40
- Hoeflich J, Hollenbach B, Behrends T, Hoeg A, Stosnach H, Schomburg L (2010): The choice of biomarker determines the selenium status in young German vegans and vegetarians. *BJN* 3605: pp.1-5; doi:10.1017/S00071145100002618
- Holleman AF (1995): *Lehrbuch der anorganischen Chemie*. Hollemann Wiberg. De Gruyter, Berlin, New York 613-628
- Hollenbach B (2010): *Dissertationsschrift - Bedeutung und Regulation von Selenoprotein P in inflammatorischen Erkrankungen - Institut für Experimentelle Endokrinologie der Medizinischen Fakultät Charité - Universitätsmedizin Berlin*
- Hotz CS, Fitzpatrick DW, Trick KD, L'Abbe MR (1997): Dietary iodine and selenium interact to affect thyroid hormone metabolism of rats. *J Nutr* 127: 1214-1218
- Hötzel D, Pietrzik K, Thomas M (1976): Jodversorgung in der Bundesrepublik Deutschland. *Ernährungsumschau* 23: 244
- Institute of Medicine (IOM) (2000): *Dietary Reference Intakes for Vitamin C, Vitamin E, Selenium, and Carotenoids*. National Academy of Sciences, Washington, DC.
- International Council for the Control of Iodine Deficiency Disorder (ICCIDD) (2003): *CIDDS Database. Current IDD Status Database*. <http://www.people.virginia.edu/~jtd/iccidd/mi/ciddds.html>
- Jahreis G, Hausmann W, Kiessling G, Franke K, Leitner M (2001): Bioavailability of iodine from normal diets rich in dairy products – results of balance studies in women. *Exp Clin Endocrinol Diabetes*; 109:63-7
- Jahreis G, Leiterer M, Fechner A (2007): Jodmangelprophylaxe durch richtige Ernährung. *Präv Gesundheitsf* 2:179-183.
- Jameson JL, Weetman AP, Zimmermann J, Kahaly G (2003): Erkrankungen der Schilddrüse. In: *Harrisons Innere Medizin*. Dietel M, Dudenhausen J, Suttrop N, Hrsg. 15. Auflage. Berlin: McGraw-Hill/ ABW Wissenschaftsverlag. 2255-80
- Japha A (1842): *Experimenta nonnulla de vi selenii in organismum animale*. Dissertation. Halle
- JECFA (2005): *Evaluations - Iodine*. Online im Internet. [http://www.inchem.org/documents/jecfa/jeceval/jec\\_1050.htm](http://www.inchem.org/documents/jecfa/jeceval/jec_1050.htm)

- Jeon N (2011): Die Jodversorgung schwangerer Frauen in Bayern anhand einer repräsentativen Stichprobe. Dissertation, LMU München: Medizinische Fakultät
- Kadrabova J, Madric A, Kovacicova Z et al. (1995) Selenium status, plasma zinc, copper, and magnesium in vegetarians. *Biol Trace Elem Res* 50, 13-24)
- Karanikas G, Schuetz M, Kontur S, Duan H, Kommata S, Schoen R, Antoni A, Kletter K, Dudczak R, Wilhelm M (2008): No immunological benefit of selenium in consecutive patients with autoimmune thyroiditis. *Thyroid*. 18(1):7-12
- Karl H, Münkner W (1999): Jod in marinen Lebensmitteln. *Ernährungs-Umschau* 46: 288-291.
- Keil U (1998) Klinische Epidemiologie, in: Classen M., Diel V., Kochsiek K.(Hrsg.): *Innere Medizin Urban & Schwarzenberg München* S.3-7
- Kemira (2004): Praxisberichte – Mineralische Selen-Düngung im Grünland.  
<http://www.kemira-growhow.com/DE/EventsAndNews/Konkret/KK03-04/>
- Key TJ, Appleby PN, Rosell MS (2006): Health effects of vegetarian and vegan diets, *Proc. Nutr. Soc.* 65(1): 35-41
- Köhrle J, Gärtner R (2009): Selenium and Thyroid. *Best Pract Res Clin Endocrinol Metab.*; 23:815-27
- Kolitschus M, Hoffmann I, Groeneveld MJ, Leitzmann C (2000): Die Giessener Vollwert-Ernährungs-Studie: Selenstatus von Frauen mit überwiegend ovo-lacto-vegetarischer Ernährung im Vergleich zu solchen mit einer üblichen Ernährung. Poster auf dem 37. Wissenschaftlichen Kongreß der DGE, Bonn. *Proceedings of the German Nutrition Society*
- Krajcovicová-Kudlácková M, Bucková K, Klimes I, Sebková E (2003): Iodine deficiency in vegetarians and vegans. *Ann Nutr Metab* 47(5), 183-5
- Kübler W, Balzter H, Grimm R, Scheck A, Schneider R (1997): National Food Consumption Survey (NVS) and Cooperative Study. *Nutrition Study and Risk Factor Analysis (VERA). Synopsis and Perspectives: Wissenschaftlicher Fachverlag Dr. Fleck.*
- Larson CL, Johannson GK (2002): Dietary intake and nutritional status of young vegans and omnivores in Sweden. *Am J Clin Nutr* 76(1): 100-6
- Larson CL, Johannson GK (2005): Young swedish vegans have different sources of nutrients than young omnivores. *J Am Diet Assoc* 105(9): 1438-41
- Laurberg P, Bülow Pedersen I, Knudsen N, Ovesen L, Andersen S (2001): Environmental iodine intake affects the type of nonmalignant thyroid disease. *Thyroid* 11: 457-469
- Laurberg P, Pedersen KM, Hreidarsson A, Sigfusson N, Iversen E, Knudsen PR (1998): Iodine intake and the pattern of thyroid disorders: a comparative epidemiological study of thyroid abnormalities in the elderly in Iceland and in Jutland, Denmark. *J Clin Endocrinol Metab* 83: 765-769.

- Leitzmann C (2001): Vegetarismus. Grundlagen, Vorteile, Risiken. CH Beck, München, S 38
- Leung AM, Lamar A, He X, Braverman LE, Peance EN (2011): Iodine status and thyroid function of Boston-area vegetarians and vegans. *J Clin Endocrinol Metab* 96(8): E1303-7
- Lewin MH, Arthur JR, Riemersma RA, Nicol F, Walker SW, Millar EM, Howie AF, Beckett GJ (2002): Selenium supplementation acting through the induction of thioredoxin reductase and glutathione peroxidase protects the human endothelial cell line EAhy926 from damage by lipid hydroperoxides. *Biochim Biophys Acta* 1593: 85-92
- Liesenkötter KP, Göpel W, Bogner U, Stach B, Grüters A (1996): Earliest prevention of endemic goiter by iodine supplementation during pregnancy. *Eur J Endocrinol* 134: 443-448
- Lightowler HJ, Davies GJ (1998): Iodine intake and iodine deficiency in vegans as assessed by the duplicate-portion technique and urinary iodine excretion. *Br J Nutr* 80 (6), 529-35
- Lind P, Kumnig G, Heinisch M et al. (2002): Iodine supplementation in Austria: methods and results. *Thyroid* 12: 903-7
- Maehira F, Luyo GA, Miyagi I, Oshiro M, Yamane N, Kuba M, Nakazato Y (2002): Alterations of serum selenium concentrations in the acute phase of pathological conditions. *Clin Chim Acta* 316(1-2):137-46.
- Manz F (1990): Jod und Ernährung In: Struma (Hrsg Köbberling und Pickardt) Springer Verlag, Berlin , 181-196
- Manz F, Anke M, Bohnet HG, Gärtner R, Klett M, Schneider R, Bittermann H, Böhmer T, Kittel A, Nachtwey K, Neubert A, Ohlig M, Rudolff S, Roche HI, Großklaus R (1998): Jodmonitoring 1996. Repräsentative Studie zur Erfassung des Jodversorgungszustandes der Bevölkerung Deutschlands. Schriftenreihe des BMG, Bd.110 Nomos Verl.-Ges. Baden-Baden
- Manz F, Bohmer T, Gärtner R, Großklaus R, Klett M, Schneider R (2002): Quantification of iodine supply: representative data on intake and urinary excretion of iodine from the German population in 1996. *Ann Nutr Metab* 46:128-138.
- Marchalik E, Persson-Moschos M, Therling EB, Akesson B (1995): Variation in selenoprotein P concentration in serum from different European regions. *Eur J Clin Nutr* 49: 42-8
- Max Rubner-Institut (MRI)(Hrsg) (2008): National Verzehrsstudie II des Bundesforschungsinstituts für Ernährung und Lebensmittel. Ergebnisbericht, Teil 2. Karlsruhe, S. 138f
- Mazakopakis EE, Chatzipavlidou V (2007): Hashimoto`s thyreoditis and the role of selenium. *Current concepts. Hell J Nucl Med.* 10(1):6-8

- Meissner D (1997): Reference values for blood and serum selenium in the Dresden area. *Med Klin (Munich)*. 92 Suppl 3:41-2.
- Meng W, Schindler A (1997): Jodversorgung in Deutschland - Haben die prophylaktischen Maßnahmen Veränderungen bewirkt? *Munch med Wochenschr*. 139: 603-607
- Meng W, Scriba PC (2002): Jodversorgung in Deutschland. *Deutsches Ärzteblatt* 99:2560-2564
- Milch und Markt (2010): Daten zum Verzehr. Presseonlineservice der deutschen Milchindustrie [http://www.milchindustrie.de/de/presse/branchenzahl\\_aktuell/milchaktuell\\_zahlen\\_dat.html](http://www.milchindustrie.de/de/presse/branchenzahl_aktuell/milchaktuell_zahlen_dat.html)
- Monsen ER (2000): Dietary reference intakes for the antioxidant nutrients: vitamin C, vitamin E, selenium and carotenoids. *J Am Diet Assoc* 100: 637-640
- Nährwert -Tabellen. 6. Auflage. Medpharm Scientific Publishers, Stuttgart
- Nève J (1995): Human selenium supplementation as assessed by changes in blood selenium concentration and glutathione peroxidase activity. *J Trace Elem Med Biol*; 9(2):65-73
- Nève J (2002): Selenium as a 'nutraceutical': how to conciliate physiological and supra-nutritional effects for an essential trace element. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care* 5(6):659-63. Review
- Nohr SB, Laurberg P (2000): Opposite variations in maternal and neonatal thyroid function induced by iodine supplementation during pregnancy. *J Clin Endocrinol Metab* 85: 623-27
- Ogasawara Y, Lacourciere G, Stadtman TC (2001): Formation of a selenium-substituted rhodanese by reaction with selenite and glutathione: possible role of a protein perselenide in a selenium delivery system. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 98(17):9494-8
- Oltersdorf U (1993) Ernährungsepidemiologie. Theorie und Methoden der Erforschung der Beziehungen zwischen Mensch-Ernährung-Umwelt. Habilitationsschrift, Universität Gießen
- Ortmann K, Pehrson B (1999): Effect of selenate as a feed supplement to dairy cows in comparison to selenite and selenium yeast. *J Animal Sci* 77: 3365-70
- Oster O, Prellwitz W (1989): The daily dietary selenium intake of West German adults. *Biol Trace Elem Res* 20,1-4
- Oster O, Schlinke B, Marks U (1995): Der Selenstatus von Vegetariern und Nicht-vegetariern in der Bundesrepublik Deutschland. *Z Ernährungswiss* 34, 62-68
- Ovesen L, Boeing H (2000): The use of biomarkers in multicentric studies with particular consideration of iodine, sodium, iron, folate and vitamin D. *Eur J Clin Nutr* 56: 12-17

- Persson-Moschos M, Huang W, Srikumar TS, Akesson B, Lindeberg S (1995): Selenoprotein P in serum as a biochemical marker of selenium status. *Analyst* 120(3): 833-6
- PETA Tierschutzorganisation (2009)  
[http://www.peta.de/vegetarismus/vegetarismus\\_essen\\_frs\\_leben.149.html](http://www.peta.de/vegetarismus/vegetarismus_essen_frs_leben.149.html).
- Pfaff G, Georg T (1995): Assessment of individual iodine intake by the adult population in the Potsdam region on the basis of sea fish and iodized salt consumption. *Z Ernährungswiss* 34:131-136.
- Prummel MF, Strieder T, Wiersinga WM (2004): The environment and autoimmune thyroid diseases. *Eur J Endocrinol* 150(5): 605-18.
- Rasmussen LB, Carle A, Jorgensen T, Knudsen N, Laurberg P, Pedersen IB, Perild H, Vejbjerg P, Ovesen L (2008): Iodine intake before and after mandatory iodization in Denmark: results from the Danish Investigation of Iodine Intake and Thyroid Diseases (DanThyr) study. *Br J Nutr* 100:166-173
- Rasmussen LB, Hollenbach B, Laurberg P, Carlé A, Hög A, Jørgensen T, Vejbjerg P, Ovesen L, Schomburg L (2009): Serum selenium and selenoprotein P status in adult Danes - 8-year followup. *J Trace Elem Med Biol* 23(4):265-71
- Rauma AI, Mykkonen H (2000): Antioxidant status in vegetarians versus omnivores. *Nutr.* 16(2):111-9
- Rayman MP (2000): The importance of selenium to human health.
- Remer T, Neubert A, Manz F (1999): Increased risk of iodine deficiency with vegetarian nutrition. *Br J Nutr* 81: 45-49
- RKI - Empfehlung des Robert Koch-Instituts (2006): Selen in der Umweltmedizin. Mitteilung der Kommission „Methoden und Qualitätssicherung in der Umweltmedizin“ - erschienen in: *Bundesgesundheitsbl – Gesundheitsforsch- Gesundheitsschutz* 49: 88-102 Springer Verlag
- Rotruck JT, Pope AL, Ganther HE, Swanson AB, Hafeman DG, Hoekstra WG (1973): Selenium: biochemical role as a component of glutathione peroxidase. *Science* 179 (73): 588-590
- Saller B, Fink H, Mann K (1998) Kinetics of acute and chronic iodine excess. *Exp Clin Endocrinol Diabetes.* 106: 34-8
- SCF (2000): Opinion of the Scientific Committee on Food on the Tolerable Upper Intake Level of selenium. [http://ec.europa.eu/food/fs/sc/scf/out80q\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/food/fs/sc/scf/out80q_en.pdf)
- SCF (2000): Opinion of the Scientific Committee on Food on the Tolerable Upper Intake Level of Selenium. SCF/CS/NUT/UPPLEV/25 Final.
- Schauder P, Ollenschläger G (Hrsg.) (2003): *Ernährungsmedizin Prävention und Therapie*, Urban und Fischer Verlag, München, Jena, 2. Auflage
- Schelle J (2009): Dissertation: "Parameter des oxidativen Stresses bei Blutspendern" Charité Berlin

- Schomburg L, Köhrle J (2007): Kapitel 58, Selen. Handbuch der Lebensmitteltoxikologie (H. Dunkelberg, A. Hartwig, T. Gebel (Hrsg.)): 2403-2446.
- Schomburg L, Köhrle J (2007): Selen: Nutzen und Risiko. MMW - Fortschritte der Medizin
- Schomburg L, Köhrle J (2008): On the importance of selenium and iodine metabolism for thyroid hormone biosynthesis and human health. *Mol Nutr Food Res* 52: 1235–1246
- Schomburg L, Schweizer U, Holtmann B, Flohè L, Sendtner M, Köhrle J (2003) Gene disruption discloses role of selenoprotein P in selenium delivery to target tissues. *Biochem J* 370: 397-402
- Schomburg L, Schweizer U, Köhrle J (2004): Selenium and selenoproteins in mammals: extraordinary, essential, enigmatic. *Cell Mol Life Sci* 61(16): 1988-95
- Schrauzer GN (1998): Selen - neue Entwicklungen aus Biologie, Biochemie und Medizin. 3.Aufl. Heidelberg, Leipzig, Barth
- Schrauzer GN (2000): Selenomethionine: A review of its nutritional significance, metabolism and toxicity. *J. Nutr.* 130: 1653-1656
- Schumm-Draeger PM (2001): Sodium/iodide symporter (NIS) and cytokines. *Exp Clin Endocrinol Diabetes* 109: 32-4
- Schwarz K, Foltz CM (1957): Selenium as an integral part of factor 3 against dietary necrotic liver degeneration. *J Am Chem Soc* 79: 3292
- Scriba PC, Gärtner R (2000): Risiken der Jodmangelprophylaxe? *Dt Med Wochenschr* 125: 671-675
- Scriba PC, Hötzel D (1992): Jodmangel in Deutschland - ein ungelöstes Problem? In: Notwendigkeit der Jodsalzprophylaxe (Grossklaus R, Somogyi A, eds). München: MMV Medizin-Verlag
- Siegers C-P, Richter B, Pentz R (1994): Selensubstitution bei Selenmangel und Folgeerkrankungen. *Deutsches Ärzteblatt* 91:2233–2237
- Sill-Steffens R, Kraus-Rauch C, Repp V (2001): Selen – ein lebenswichtiges Spurenelement. *Deutsche Gesundheitshilfe (DGH)*, 1.Aufl. Frankfurt/Main
- Souci SW, Fachmann W, Kraut H (2000): Die Zusammensetzung der Lebensmittel.
- Studer H, Peter HJ, Gerber H (1989): Natural heterogeneity of thyroid cells: the basis for understanding thyroid function and nodular goiter growth. *Endocr Rev* 10: 125-35
- Sudre P, Mathieu F (2001) : Kashin-Beck disease: from etiology to prevention or from prevention to etiology? *Int Orthop* 25(3): 175-9
- Sunde RA (2001): Selenium. In: Present Knowledge in Nutrition. 8th ed. BA Bowman, RM, Russell (Eds.) ILSI Press, International Life Sciences Institute, Washington, DC.

- Supersaxo Z, Selz B, Hasler P, Wespi HJ, Abelin T, Burgi H (1991): Is iodination of cooking salt still necessary? Current studies on iodine supply in Switzerland. *Schweiz Med Wochenschr* 121:317-323.
- Suzuki K, Mori A, Saito J, Moriyama E, Ullianich L, Kohn LD (1999): Follicular thyroglobulin suppresses iodide uptake by suppressing expression of the sodium/iodide symporter gene. *Endocrinology* 140: 5422-5430
- Teng W, Shan Z, Teng X et al. (2006): Effect of iodine intake on thyroid diseases in China. *N Engl J Med* 354: 2783-2793
- Thamm M, Ellert U, Thierfelder W, Liesenkötter KP, Völzke H (2007): Iodine intake in Germany. Results of iodine monitoring in the German Health Interview and Examination Survey for Children and Adolescents (KiGGS). *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz* 50(5-6):744-9.
- Thomas L (Hrsg) (2000): Labor und Diagnose. 6. Auflage. Referenzbereich Selen - 74 µg/L bis 139 µg/L TH-Books Verlagsgesellschaft mbH, Frankfurt/Main.
- Thomson CD (2004): Assessment of requirements for selenium and adequacy of selenium status: a review. *Eur J Clin Nutr* 58: 391-402.
- Thomson CD, Robinson MF, Butler JA, Whanger PD (1993): Long-term supplementation with selenate and selenomethionine: selenium and glutathione peroxidase in blood components of New Zealand women. *Br J Nutr* 69: 577-588.
- Thomson JN, Scott ML (1970): Impaired lipid and vitamin E absorption related to atrophy of pancreas in selenium-deficient chicks. *J Nutr* 100(7):797-809
- Umweltbundesamt (2000): Selen und Humanbiomonitoring. Stellungnahme der Kommission „Human-Biomonitoring“ in: *Bundesgesundhbl – Gesundheitsforsch - Gesundheitsschutz* 45: 2,190-195
- Vegetarierbund Deutschland (2009): <http://www.vebu.de/aktuelles/news/293-bald-jeder-dritte-vegetarier-aktuelle-zahlen-und-fakten>. Bald jeder dritte Vegetarier? Aktuelle Zahlen und Fakten
- Verger P, Aurengo A, Geoffroy B, Le Guen B (2001): Iodine kinetics and effectiveness of stable iodine prophylaxis after intake of radioactive iodine: a review. *Thyroid* 11: 353-60
- Vitale M, Di Matola T, D'Ascoli F et al. (2000): Iodide excess induces apoptosis in thyroid cells through a p53-independent mechanism involving oxidative stress. *Endocrinology* 141: 598-605.
- WHO (World Health Organisation)(1996): Trace elements in human nutrition and health. Geneva, World Health Organisation
- WHO (World Health Organization) (2004): Iodine status worldwide: WHO global database on iodine deficiency. Geneva, p. 1, 12
- WHO/UNICEFF/ICCIDD (1996): Recommended iodine levels in salt and guidelines for monitoring their adequacy and effectiveness. WHO/NUT/96.13

- Wikipedia: <http://de.wikipedia.org/wiki/veganismus> - Artikel über Veganismus
- Wikipedia: <http://de.wikipedia.org/wiki/vegetarismus> - Artikel über Vegetarismus
- Wikiwörterbuch – wiktory : [de.wiktionary.org/wiki/omnivor](http://de.wiktionary.org/wiki/omnivor)
- Willet W, Lenart E (1998): Reproducibility and validity of food frequency questionnaires. *Nutritional Epidemiology*, Hrsg Willet W. Oxford University Press, New York. S. 101ff
- Willet WC, Block G (2001): Invited commentary: A further look at dietary questionnaire validation. *Am J Epid* 154: 1103-04
- Willgerodt H, Keller E, Perschke C, Stach B (1997): The status of iodine nutrition in newborn infants, schoolchildren, adolescents and adults in former East Germany. *Exp Clin Endocrinol Diabetes* 105(4):38-42.
- Winkler G, Holtz H, Döring A (1992): Zum Verzehr ausgewählter Lebensmittel in Ost- und Westdeutschland, *Ernährungs-Umschau* 39(5): 200-202.
- Wolff J and Chaikoff IL (1948): Plasma inorganic iodide as a homeostatic regulator of thyroid function. *J Biol Chem* 174: 555
- Xia Y, Hill KE, Byrne DW, Xu J, Burk RF (2005): Effectiveness of selenium supplements in a low selenium area of China. *Am J Clin Nutr* 81(4):829–34
- Yang G, Zhou R (1994): Further observations on the human maximum safe dietary selenium intake in a seleniferous area of China. *J Trace Elem* 8: 159-165.
- Zimmerli B, Haldimann M, Sieber R (1998): Selenversorgung der schweizerischen Bevölkerung. In: *Vierter Schweizerischer Ernährungsbericht*. Bundesamt für Gesundheit (Hrsg.), Bern 74-86
- Zimmermann M, Delange F (2004): Iodine supplementation of pregnant women in Europe: a review and recommendations. *Eur J Clin Nutr* 58:979-984
- Zimmermann MB, Köhrle J (2002): The impact of iron and selenium deficiencies on iodine and thyroid metabolism: biochemistry and relevance to public health. *Thyroid* 12: 867-878
- Zimmermann MB, Zeder C, Chaouki N, Saad A, Torresani T, Hurrell RF (2003): Dual fortification of salt with iodine and microencapsulated iron: a randomized, double-blind, controlled trial in Moroccan schoolchildren. *Am J Clin Nutr* 77: 425-432
- Zois C, Stavrou I, Kalogera C et al. (2003): High prevalence of autoimmune thyroiditis in schoolchildren after elimination of iodine deficiency in northwestern Greece.

## Danksagung

Herrn Prof. Dr. med. R. Gärtner und Herrn Prof. Dr. med. Dr. med. habil. O. Adam danke ich für die Bereitstellung des interessanten Themas und die engagierte und warmherzige Betreuung. Herrn Prof. Dr. med. R. Gärtner möchte ich insbesondere auch für die persönliche Unterweisung in der sonographischen Untersuchung der Schilddrüse sowie für die Möglichkeit der Hospitation in seiner Sprechstunde danken. Es war eine große Bereicherung!

Großer Dank dem Bayerischen Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit, Referat Umweltbezogener Umweltschutz, Umweltmedizin, Rosenkavalierplatz 2, 81925 München, durch deren Sachmittelzuwendung die Durchführung des Projektes ermöglicht wurde.

Ebenso danken wir der Karl-Thiemig-Stiftung zur Förderung von Kunst und Wissenschaft in Bayern, Erlenweg 33, 14532 Kleinmachnow, durch deren Anschubfinanzierung die vorbereitenden Untersuchungen für diese Arbeit ermöglicht wurden.

Danke auch Herrn Prof. Dr. rer. nat. L. Schomburg und Mitarbeitern von der Charité Berlin für die Auswertung der Selendaten wie auch der in der Tandemstudie von Frau Hildbrand benötigten Mikronährstoffdaten.

Besonderer Dank gilt auch Frau Petra Rank und dem Laborteam der LMU München für die Auswertung der meisten Laborwerte. Frau Rank war mit ihrer herzlichen und hilfsbereiten Art eine sehr große Stütze. Dank gilt zudem Frau Wallinger, die die Probandendaten mit viel Mühe digitalisiert hat.

Herzlich danken möchte ich auch Herrn Stefan Schellenberger, dessen Praxis wir für ein Wochenende für Untersuchungen und Probandenkollektivierung nutzen durften.

Danken möchte ich ebenso Herrn Prof. Dr. Küchenhoff und den Mitarbeitern Holger Reulen und Christoph Molnar des Instituts für Statistik der LMU München für die Unterstützung bei der statistischen Auswertung. Hier sei auch Herr Nico Weiss erwähnt, der mich in die Arbeitsfunktionen von Microsoft Excel einführte.

Und Dank gilt selbstverständlich auch den Probanden, die mit großem Interesse an der Studie teilgenommen haben.

Schließlich danke ich herzlich meiner Frau Stephanie Maria, meinen Eltern Ulrike und Helmut Hildbrand und meinem Bruder Daniel, die individuell ihren Teil zum Gelingen dieser Dissertation beigetragen haben.

# **Selbstständigkeitserklärung**

## **Erklärung:**

Ich, Thomas Hildbrand, erkläre, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema:

„Validität der Abschätzung der Jod- und Selenzufuhr anhand eines Food-Frequency-Tables und der Versorgung mit diesen beiden Spurenelementen ermittelt durch die Jodurie und Plasmaselenwerte bei omnivoren, lacto-vegetarisch und vegan sich ernährenden Personen“

selbst verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt, ohne die (unzulässige) Hilfe Dritter verfasst und auch in Teilen keine Kopien anderer Arbeiten dargestellt habe.

Heilbronn/ Januar 2014







# Anhang

## Bedeutung des Jod-/Selen-Quotienten für das Auftreten einer Autoimmunthyreoditis (AIT)

### Fragen zu Ihren Ernährungsgewohnheiten

1. Wie häufig essen Sie üblicherweise folgende Lebensmittel?

- der
- ➔ Bitte geben Sie an, **wie viele** Portionen (z.B. 5 Scheiben Brot) Sie **insgesamt**, entweder täglich, wöchentlich oder monatlich essen!
  - ➔ Bitte machen Sie Ihre Angabe **nur in einer Spalte**, also entweder bei „täglich“ oder bei „wöchentlich“ oder bei „monatlich“.

	täglich	wöchentlich	monatlich	Esse/trinke ich selten,
A Brot (in Anzahl Scheiben)				
B Laugenbrötchen, Brezel (in Stück)				
C andere Brötchen, Semmeln (in Stück)				
D Gebäck, Kuchen (in Stück)				
E Wurst (in Portionen)*				
F Bratwurst, Weißwurst, Wiener und andere Würste (in Stück)				
G Joghurt, Kefir, Quark (in Anzahl kleiner Becher, 150g)				
H Milch, Buttermilch (in Anzahl Tassen, 200 ml)				
I Hartkäse, z. B. Emmentaler, Gouda (in Portionen)*				
J Weichkäse, z. B. Brie, Camembert, Gorgonzola (in Portionen)*				

\* eine Portion Wurst oder Käse entspricht dem Belag einer Scheibe Brot

2. a) Wie häufig essen Sie in der Regel Seefisch?

- ➔ Seefisch = Bückling, Hering, Kabeljau, Makrele, Robarsch, Sardinen, Schellfisch, Seelachs, Thunfisch

\_\_\_\_\_ mal pro Monat

- selten (weniger als 1 mal pro Monat) oder nie

b) Wie häufig essen Sie in der Regel Meeresfrüchte?

- ➔ Meerestiere = Muscheln, Garnelen, Hummer, Algen

\_\_\_\_\_ mal pro Monat

selten (weniger als 1 mal pro Monat) oder nie

### 3. Wie häufig essen Sie in der Regel folgende Lebensmittel?

	Wöchentlich	monatlich	Esse/trinke ich selten, nie
<b>Champignons</b> (Portion ca. 150g)			
<b>Broccoli</b> (Portion ca. 200g)			
<b>Möhren</b> (Portion ca. 200g)			
<b>Spinat</b> (Portion ca. 200g)			
<b>Grünkohl</b> (Portion ca. 200g)			
<b>Erdnuss</b> (Portion ca. 1 Hand voll)			
<b>Paranuss</b> (Portion ca. 1 Hand voll)			
<b>Reis natur</b> (Portion ca. ½ Tasse Rohgewicht)			
<b>Reis poliert</b> (Portion ca. ½ Tasse Rohgewicht)			
<b>Mais</b> (Portion ca. 200g)			
<b>Haferflocken</b> (Portion ca. 2 EL)			
<b>Eierteigwaren</b> (Portion ca. 50g Rohgewicht)			
<b>Fleisch (Muskelfleisch)</b> (Portion ca. 150g)			

### 4. Wie häufig essen Sie in der Regel folgende Lebensmittel?

	Wöchentlich	monatlich	Esse/trinke ich selten, nie
<b>Rindfleisch</b> (Portion ca. 120g)			
<b>Schweinefleisch</b> (Portion ca. 120g)			
<b>Huhn</b> (Portion ca. 120g)			
<b>Andere Fleischsorten</b> (Portion ca. 120g)			
<b>Schinken</b> (Portion ca. 80g)			
<b>Wurst</b> (Portion ca. 80g)			
<b>Bohnen, Erbsen oder Lin- sen</b>			
<b>Sojaprodukte</b> (Portion ca. 100g)			
<b>Vollkornbrot</b> (Portion ca. 2 Scheiben)			



12. Welches Speisesalz verwenden Sie im Allgemeinen in Ihrem Haushalt?  
Wenn Sie es nicht genau wissen, sehen Sie bitte auf der Packung nach.

Bitte nur eine Angabe

- gewöhnliches Speisesalz
- Jodsalz
- Jodsalz mit Fluor
- jodierten Kochsalzersatz (natriumarmes, jodiertes Salz)
- andere Salzsorten (z.B. Meersalz)
- weiß nicht

6. Ernähren Sie sich vegetarisch oder durch eine andere Kostform?

- Ja
- Nein

Wenn ja, welche?

---

### Fragen zu Ihrem Gesundheitszustand

7. Nehmen Sie regelmäßig Medikamente ein? Denken Sie dabei auch an Präparate aus dem Supermarkt oder der Drogerie sowie an homöopathische Präparate, Mineralstofftabletten und Nahrungsergänzungsmittel.

- Nein
- Ja → Wie heißen die Präparate? Welche Mengen (z.B. Anzahl der Tabletten, Anzahl der Tropfen oder ähnliches) nehmen Sie davon durchschnittlich pro Tag oder pro Woche?

	Name des Präparates	Verabreichungsform	Anzahl	
			pro Tag	pro Woche
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				

8. Sind Sie wegen einer Schilddrüsenerkrankung (z.B. Schilddrüsenvergrößerung, Schilddrüsenüberfunktion oder –unterfunktion) schon einmal ärztlich behandelt worden?

- Ja →  mit Medikamenten  
 durch Operation  
 auf andere Weise  
(z.B. Bestrahlung, Radiojod)
- Nein  
 weiß nicht

9. Rauchen Sie zur Zeit oder haben Sie früher geraucht?

- Ja, ich rauche zur Zeit Zigaretten, und zwar \_\_\_\_\_ Zigaretten / Tag  
 Nein, habe aber früher regelmäßig geraucht  
 Nein, habe noch nie regelmäßig geraucht

10. Waren Sie in einem Zeitraum von etwa 24 Stunden vor der Urinprobe in einem asiatischen Restaurant?

- Ja  Nein

11. Liegt bei Ihnen eine Schwangerschaft vor?

- Ja  Nein
- ich bin in der \_\_\_\_\_ Woche  
 ich habe am \_\_\_\_\_ entbunden  
 ich stille seit \_\_\_\_\_ Wochen  
 ich stille nicht

19. Hatten Sie innerhalb der letzten 2 Wochen einen Infekt ?  
(Grippe, Zahneiterung, Venenentzündung)

- Ja  Nein

20. Wurde bei Ihnen in der letzten Woche eine Untersuchung mit einem Röntgenkontrastmittel durchgeführt?

- Ja  Nein

21. Leiden Sie an einer chronischen Krankheit?

Ja  Nein

Ich leide an \_\_\_\_\_

Mein behandelnder Arzt ist \_\_\_\_\_

22. Leiden Sie an einer Allergie?

Ja  Nein

Ich leide an \_\_\_\_\_

Mein behandelnder Arzt ist \_\_\_\_\_

### Angaben zur Person

Größe: \_\_\_\_\_ m      Alter: \_\_\_\_\_ Jahre

derzeitiges Gewicht: \_\_\_\_\_ kg

Welcher Nationalität gehören Sie an?  Deutsch  
 Andere, und zwar:  
\_\_\_\_\_

### **Wir bedanken uns für Ihre Mitarbeit!**

Für Rückfragen stehen wir Ihnen gerne zur Verfügung

Prof. Dr. R. Gärtner (Klinikum Innenstadt)  
stadt)

Prof. Dr. O. Adam (Klinikum Innen-  
stadt)  
Ilona Paysen Tel. 089/2180-75770