WATSON
DER WISSENSCHAFT VERPFLICHTET

• NIKO RITTENAU

Konzipiert von
Niko Rittenau

WATSON

DER WISSENSCHAFT VERPFLICHTET

"Dieser Multinährstoff wurde auf der Grundlage der aktuellen wissenschaftlichen Literatur zusammengestellt und liefert alle potenziell kritischen essenziellen Mikronährstoffe in einer pflanzlichen Ernährung, sodass Veganerinnen und Veganer bei der Wahl ihrer Nahrungsmittel flexibler sein können" - Niko Rittenau

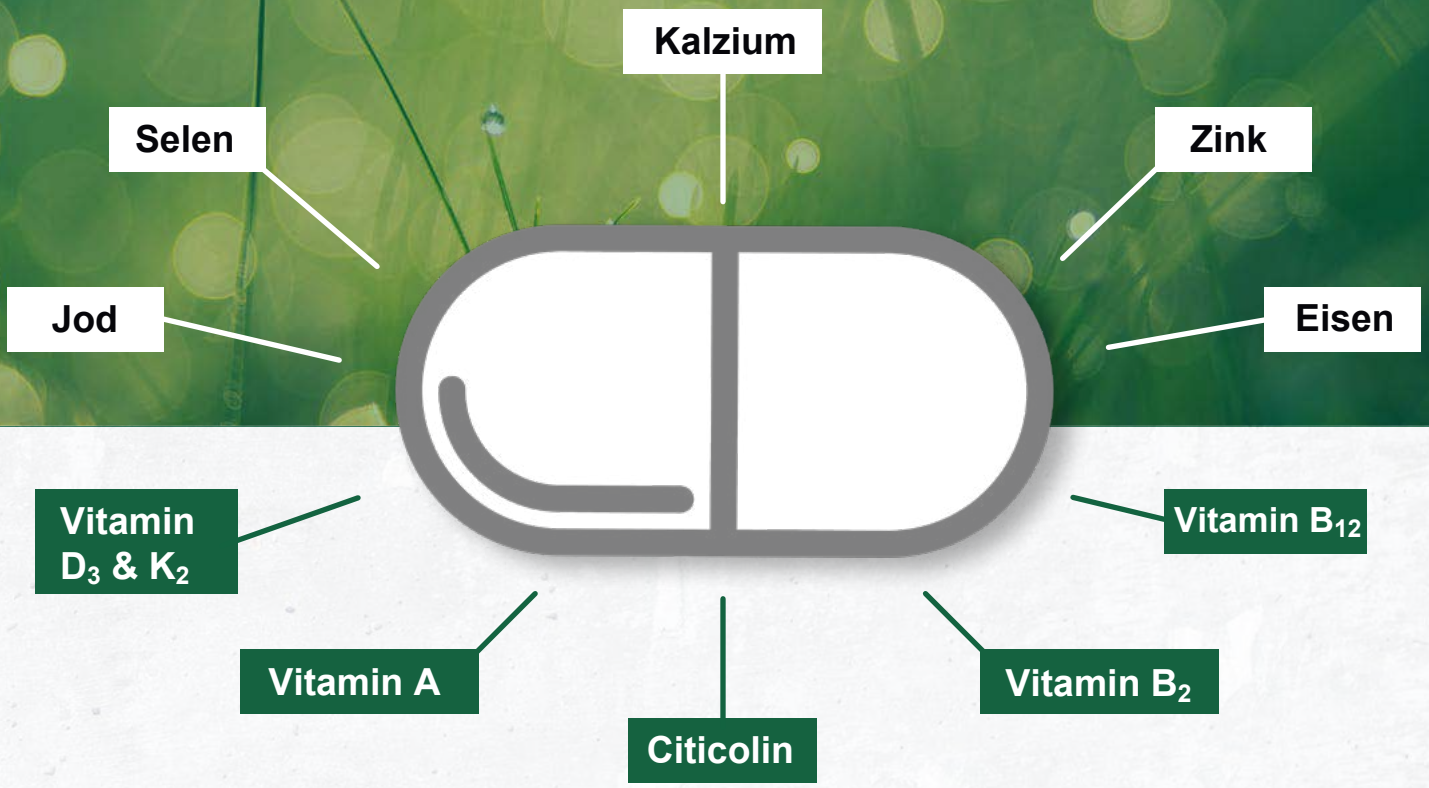
Liefert alle potenziell kritischen, essenziellen Mikronährstoffe einer veganen Ernährung

Braunglasflasche mit Papier-Etikett und recycelbarem Kunststoffdeckel

Mit jeder Bestellung wird eine Studie zur Untersuchung des Multis unterstützt

Laborgeprüft auf Schwermetalle, Schadstoffe und Nährstoffgehalt

Zusammenfassung



- Mit veganem Vitamin D_3
- Vitamin K_2 in der hoch bioverfügbaren MK7-All-Trans-Form
- B_{12} als MHA-Formel (Methylcobalamin, Hydroxocobalamin und Adenosylcobalamin)
- Kalzium, Eisen und Zink in hoch bioverfügbarer Bisglycinat-Verbindung
- Mit Jod und Selen für eine optimale Schilddrüsenfunktion
- Vitamin A in einer Mischung aus Retinylpalmitat & Retinylacetat
- 100% hoch bioverfügbares Citicolin als Markenrohstoff Cognizin®

Zufuhrempfehlung: 1x täglich eine Kapsel zu einer Mahlzeit

INHALTSVERZEICHNIS

1. EINLEITUNG 6

1.1 Hinweise zur Anwendung 10
1.2 Erläuterungen zur Zusammensetzung 13
1.3 Begründung zur Exklusion von EPA & DHA 15

2. BESCHREIBUNG DER ENTHALTENEN NÄHRSTOFFE 18

2.1 Vitamin A 19
2.2 Vitamin B_{12} 26
2.3 Vitamin B_2 30
2.4 Vitamin D 33
2.5 Vitamin K 38
2.6 Kalzium 41
2.7 Eisen 45
2.8 Zink 50
2.9 Jod 55
2.10 Selen 59
2.11 Cholin 64

3. QUELLENVERZEICHNIS 69

1. Einleitung

1. Einleitung

Das nachfolgende Dokument gibt detaillierte Informationen zum vom Ernährungswissenschaftler Niko Rittenau konzipierten Multinährstoffpräparat namens *ProVeg Essentials+* für vegan lebende Menschen. Das Ziel des Multinährstoffs ist die Bereitstellung sämtlicher potenziell kritischer Mikronährstoffe der veganen Ernährung, damit vegan lebende Menschen freier in ihrer Lebensmittelauswahl sind und sichergehen können, dass sie optimal versorgt sind. Selbstverständlich ist ein Nahrungsergänzungsmittel niemals ein Ersatz für eine gesunde Ernährung, sondern – wie der Name suggeriert – lediglich eine Ergänzung zu einer isokalorischen, vollwertigen und abwechslungsreichen veganen Kost. Im Falle der veganen Ernährung unter den aktuellen Rahmenbedingungen ist dieses Präparat allerdings eine äußerst wichtige Ergänzung, da ansonsten im Durchschnitt eine Reihe an essenziellen Nährstoffen zu kurz kommen könnte. Das langfristige Ziel der veganen Ernährung soll dabei keineswegs eine permanente Supplementierung mit kritischen Nährstoffen sein, sondern eine gezielte Anreicherung von veganen Grundnahrungsmitteln mit potenziell kritischen Nährstoffen. So kann zukünftig eine Bedarfsdeckung in der veganen Ernährung auch ohne gesonderten Fokus auf kritische Nährstoffe und gänzlich ohne Nahrungsergänzungsmittel stattfinden. Hierzu benötigt es mehr Wissen auf Produzentenseite in Bezug auf kritische Nährstoffe und in welcher Form und Konzentration diese sinnvoll eingesetzt werden, sowie ein insgesamt größeres Bewusstsein der (veganen) Allgemeinbevölkerung in Bezug auf die Wichtigkeit der Bedarfsdeckung kritischer Nährstoffe. Bis dahin bietet der Multinährstoff allerdings eine gute Übergangslösung.

Nährstoffmängel – nicht nur ein Problem von Veganern

Die Problematik der suboptimalen Nährstoffbedarfsdeckung ist dabei aber keineswegs lediglich ein Problem von vegan lebenden Menschen. Auch die deutsche mischköstliche Allgemeinbevölkerung würde von einer gezielten Anreicherung profitieren. Das legen Untersuchungen wie die Nationale Verzehrsstudie II (NVS II) nahe, die gezeigt hat, dass beispielsweise über 80% der Deutschen suboptimal mit Vitamin D und Folat versorgt sind.[1] Die NVS II zeigte auch, dass etwa die Hälfte der Bevölkerung nicht die Optimalzufuhr an Vitamin E erhält. Außerdem erreichen ohne die Verwendung von Jodsalz über 90% der Bevölkerung die Zufuhrempfehlungen für Jod nicht. So wird folgerichtig in der Schwangerschaft auch in der Mischkost Folsäure standardmäßig supplementiert, um das Risiko von Neuralrohrdefekten bei Neugeborenen zu reduzieren.[2]

Dr. Walter Willett, einer der meist zitierten Epidemiologen unserer Zeit, empfiehlt in seinen Veröffentlichungen für jede Art der restriktierten Ernährung (u.a. vegetarische und vegane Ernährung) ein Multinährstoffpräparat als „Sicherheitsnetz“, um eine Grundversorgung an essenziellen Nährstoffen sicherzustellen.[3] Auch weitere Wissenschaftler schreiben in ihren Veröffentlichungen, dass aufgrund suboptimaler Kostzusammenstellung sehr viele Personen keine adäquate Nährstoffversorgung aufweisen und es ihrer Ansicht nach vernünftig wäre, dass jene Personen diese Nährstoffe als Supplement zuführen.[4]

Die größte Ernährungsfachgesellschaft weltweit, die Academy of Nutrition and Dietetics, schreibt in Bezug auf Multinährstoffpräparate ebenfalls, dass diese bei regelmäßiger Anwendung und guter Zusammenstellung die Nährstoffzufuhr deutlich erhöhen und so zu einer besseren Nährstoffbedarfsdeckung beitragen können.[5] Das „Human Nutrition Research Center on Aging“ der Tufts University[6] empfiehlt im Rahmen ihrer Ernährungspyramide zumindest für ältere Menschen eine gezielte Nährstoffsupplementierung und das „Department of Nutrition“ der Harvard T.H. Chan School of Public Health[7] empfiehlt Multinährstoffpräparate ebenfalls als „Sicherheitspolice“ im Rahmen einer insgesamt gesunden Ernährung. Trotz all der vielversprechenden Daten zum Thema der Nahrungsergänzung darf in der gesamten Debatte natürlich auch nicht vergessen werden darauf hinzuweisen, dass zum aktuellen Zeitpunkt Nahrungsergänzungsmittel unzureichend reglementiert sind und dadurch immer wieder über- oder unterdosierte Produkte am Markt vorkommen.[8,9] Ebenso befinden sich zum Teil belastete Nahrungsergänzungsmittel am Markt und daher ist stets ein Auge auf gute Qualität zu legen.

Nährstoffmängel – Aufklärung als erster Schritt

Das Problem der mangelnden Zufuhr an einer ganzen Reihe an essenziellen Mikronährstoffen geht aber noch tiefer. Die größte Herausforderung liegt darin, Menschen im ersten Schritt überhaupt erst bewusst zu machen, dass sie in Bezug auf manche Nährstoffe unterversorgt sind und welche langfristigen Konsequenzen dies für ihre Gesundheit haben kann. Solange allerdings das Hauptaugenmerk von Lebensmittelproduzenten auf dem Aussehen der Ware, dessen Geschmack und der Haltbarkeit anstatt auf dem Gehalt an Nährstoffen liegt und es keine gesetzlichen Mindestgehalte für Nährstoffe in Lebensmitteln gibt, wird dies nicht ohne Weiteres realisierbar sein.

Darüber hinaus muss die Kommunikation von Nährwertinformationen im Allgemeinen reformiert werden. Bis zum Jahr 2016 war die Kennzeichnung von Lebensmitteln noch besonders dürftig, da erst im Dezember 2016 die EU-Lebensmittelinformationsverordnung Nr. 1169/2011 (LMIV) zur Kennzeichnung gewisser Nährwerte auf vorverpackten Lebensmitteln in Kraft trat.[10] Selbst bei diesen Lebensmitteln wird aber nur der Gehalt an Fett (inkl. gesättigten Fettsäuren), Kohlenhydraten (inkl. Zucker), Eiweiß und Salz angegeben. Diese sechs Pflichtangaben

dürfen zwar noch durch bestimmte freiwillige Angaben, wie den Ballaststoffgehalt oder die Menge an ungesättigten Fettsäuren, ergänzt werden und auch Informationen über den Gehalt an Vitaminen und Mineralstoffen sind unter bestimmten Voraussetzungen erlaubt, jedoch ist all das nicht verpflichtend. Generell ausgenommen von der Kennzeichnungspflicht ist lose verkaufte Ware, die in der Regel ohne Nährwertinformationen angeboten werden darf. Zur losen Ware zählen auch Lebensmittel, die an der Theke auf Wunsch des Käufers am Verkaufsort verpackt werden, beispielsweise Wurst, Käse oder Brot. Aufgrund dieser unzureichenden Kennzeichnung und den davon ausgenommenen Lebensmitteln können Verbraucher ohne die Zuhilfenahme von (zum Großteil veralteten und wenig akkuraten) Nährwerttabellen den Gehalt dieser Stoffe in ihren Lebensmitteln nicht evaluieren. So gibt es für Lebensmittelproduzenten in vielen Fällen keinen Anreiz, bei der Lebensmittelverarbeitung auf besonders nährstoffschonende Zubereitungsverfahren zu achten.In Ländern wie den USA[11] und Kanada[12] ist eine Anreicherung von Lebensmitteln wie (Weiß-)Mehlen, Pflanzendrinks etc. deutlich weiter verbreitet als in Deutschland und manche Länder wie Finnland legen sogar einen gesonderten Schwerpunkt auf die Anreicherung ihrer Böden mit Mineralien wie Selen, um die Bedarfsdeckung der Bevölkerung durch selenreiche, heimische Vollkorngetreide, Hülsenfrüchte und Gemüse zu gewährleisten.[13] Länder wie Kanada haben hingegen von Haus aus bereits selenreiche Böden, weshalb hier keine weitere Anreicherung nötig ist. Vegan lebende Menschen erhalten in diesen Ländern ohne speziellen Fokus ausreichende Mengen an Selen über einheimische pflanzliche Lebensmittel. In Deutschland sind die Böden deutlich ärmer an Mineralien wie Selen und es findet weder eine Anreicherung der Böden noch der Lebensmittel und auch keine flächendeckende Aufklärung der Bevölkerung über diese wichtigen Sachverhalte statt. Dabei zeigen Untersuchungen durchaus, dass die deutsche Bevölkerung wohlwollend auf mit Selen angereicherte Lebensmittel wie selenreiche Äpfel reagieren würde.[14]

Vegane Ernährung in Deutschland

In Deutschland wird zur Verbesserung der Versorgung der mischköstlichen Bevölkerung zwar in vielen Fällen das Tierfuttermittel in der industriellen Tierhaltung mit Zusatzstoffen wie Jod und Selen angereichert,[15] doch auf die Nährstoffbedürfnisse von vegan lebenden Menschen wird nicht im selben Maße geachtet. Diese spezielle Situation veranlasste 2016 die Deutsche Gesellschaft für Ernährung in ihrem Positionspapier zu veganer Ernährung, eine rein pflanzliche Ernährungsweise für Risikogruppen wie Schwangere, Stillende und Kleinkinder nicht zu empfehlen und insgesamt zehn potenziell kritische Nährstoffe aufzuführen, die vor allem in Zeiten eines erhöhten Nährstoffbedarfs nicht oder nur schwer über vegane Lebensmittel gedeckt werden können.[16] Diese Ablehnung der veganen Ernährungsweise steht damit zwar im Gegensatz zu den Fachgesellschaften anderer Länder wie den USA[17] und Kanada,[18] die eine vegane Ernährungsweise in jeder Lebensphase empfehlen, ist aber aufgrund der

oben genannten Umstände durchaus nachvollziehbar. Bis diese Unzulänglichkeiten deutschlandweit (ebenso wie in der Schweiz und in Österreich) ausgeglichen sind, ist die Verwendung eines auf die Bedürfnisse vegan lebender Menschen zugeschnittenen Multinährstoffpräparats der einfachste Weg, um eine Nährstoffversorgung bei veganer Ernährung hierzulande sicherzustellen. Gleichzeitig gibt es Veganern etwas mehr Flexibilität in ihrer Lebensmittelauswahl, da sie mithilfe eines Multinährstoffkomplexes nicht darauf angewiesen sind, zwingend gewisse Lebensmittel zur Mikronährstoffbedarfsdeckung auf täglicher Basis zu konsumieren. Multinährstoffpräparate werden insgesamt gut vertragen, bieten eine vielversprechende Lösung zur Schließung von Nährstofflücken in Speiseplänen und sind bei richtiger Dosierung risikoarm und praktisch. Die Kosten-Nutzen-Abwägung zeigt, dass Multinährstoffpräparate mit zehn oder mehr Nährstoffen in physiologischen Dosierungen ein überaus geringes Risikopotenzial aufweisen und ihre langfristigen potenziellen Vorteile ihre kaum bis gar nicht vorhandenen Nachteile bei weitem übersteigen.[19] Welche Nährstoffe in welcher Konzentration und welcher Form bestmöglich den Nährstoffbedarf von vegan lebenden Personen decken können, wird nachfolgend im Detail erläutert.

1.1 Hinweise zur Anwendung

In der Theorie kann jeder essenzielle Nährstoff für den Menschen im Rahmen einer gut geplanten veganen Ernährung gedeckt werden. In der Praxis zeigen Untersuchungen mit vegan lebenden Menschen allerdings, dass eine Reihe an essenziellen Nährstoffen nicht oder nur unzureichend zugeführt werden, sodass eine Anreicherung veganer Grundnahrungsmittel oder eine Supplementierung für diese Gruppe notwendig ist.
Das nachfolgend vorgestellte Multinährstoffpräparat deckt potenzielle Mängel in der veganen Ernährung aufgrund schlechter Anbaumethoden hierzulande sowie zu hoher bzw. falscher Verarbeitung der Lebensmittel und fehlender Anreicherungen. Diese drei Teilbereiche müssen in der Produktion pflanzlicher Lebensmittel zukünftig deutlich verbessert werden, damit Nahrungsergänzungsmittel (auch für vegan lebende Personen) überflüssig werden. Zum aktuellen Zeitpunkt ist eine Nahrungsergänzung über Supplemente wie ein veganes Multinährstoffpräparat allerdings der effektivste, einfachste, besterforschte und kostengünstigste Weg, um sämtliche potenziell kritischen Nährstoffe einer veganen Ernährungsweise in Ländern wie Deutschland, Österreich und der Schweiz zu decken.
Der hier vorgestellte Multinährstoff wurde auf die speziellen Nährstoffbedürfnisse vegan lebender Menschen in Europa mit Fokus auf Deutschland, Österreich und die Schweiz zusammengestellt. Manche europäischen Länder wie Finnland benötigen beispielsweise durch ihre flächendeckende Anreicherung der Böden mit Selen nicht jene zusätzlichen Selenmengen, die Veganer in den D-A-CH-Staaten benötigen. Auch für Personen aus den USA und Kanada ist dieses Präparat nur bedingt geeignet, weil auch dort aufgrund weitreichender Anreicherung der Lebensmittel und einer anderen Mineralisierung der Böden nicht dieselben Nährstoffengpässe bei vegan essenden Personen herrschen.
Das hier vorgestellte Präparat ist für gesunde Erwachsene Männer und Frauen ohne Primärerkrankungen mit Normalgewicht bei veganer Ernährungsweise zusammengestellt. Aufgrund vergleichbarer Nährstoff-bedürfnisse kann der Multinährstoff darüber hinaus auch von Jugendlichen ab dem 13. Lebensjahr in derselben Dosierung (eine Kapsel pro Tag) eingenommen werden. Für vegan lebende Kinder unter 13 ist der Multinährstoff nicht geeignet. Für vegan lebende Schwangere und Stillende ist der Multinährstoff zwar nicht optimal zusammengestellt, aber sie können ihn als Basissupplementierung verwenden und jene Stoffe, die sie in höherer Dosis benötigen zusätzlich supplementieren.

Für Personen mit Primärerkrankungen mit Auswirkungen auf den Mikronährstoffbedarf oder Personen mit stark ausgeprägtem Über- bzw. Untergewicht gelten separate Empfehlungen, die durch dieses Präparat nicht optimal erfüllt werden. Personen, die regelmäßig Medikamente einnehmen, sollten dieses Präparat (ebenso wie andere Nahrungsergänzungsmittel) nur in Rücksprache mit der behandelnden medizinischen Fachkraft einnehmen, da gewisse hierin enthaltene Nährstoffe Wechselwirkungen mit bestimmten Medikamenten haben können. Dies gilt beispielsweise für das im Präparat enthaltene Vitamin K_2, das bereits ab einer Dosis von 10 µg Wechselwirkungen mit blutgerinnungshemmenden Medikamenten wie Warfarin oder Marcumar haben kann.[20] Dieses Präparat ist ebenso ungeeignet für mischköstlich oder vegetarisch essende Personen, die auf regelmäßiger Basis relevante Mengen an tierischen Produkten verzehren, da sich hierdurch ihre Nährstoffzufuhr deutlich verändert und damit zugleich ihre Ansprüche an ein Multinährstoffpräparat. Das vorgestellte Präparat ist zur täglichen und dauerhaften Einnahme im Rahmen einer veganen Ernährungsweise konzipiert. Um den Bedarf an kritischen Nährstoffen von vegan lebenden Menschen dauerhaft decken zu können, sollte das Nahrungsergänzungsmittel kontinuierlich auf täglicher Basis zusammen mit einer Mahlzeit mit zumindest moderatem Fettgehalt eingenommen werden. Wenn dieses Supplement regelmäßig eingenommen wird, sollten jene Lebensmittel, die in Tabelle 1 aufgelistet werden, nicht in großer Menge und regelmäßig verzehrt werden.

Tab. 1: Lebens- und Nahrungsergänzungsmittel, die bei Verwendung des Multinährstoffpräparats nur eingeschränkt konsumiert werden sollten

Lebensmittel	Begründung
Algen	Viele Algen (z.B. Kombu, Arame, Wakame, Nori etc.) enthalten große Mengen an Jod. Da der Tagesbedarf an Jod mithilfe des Multinährstoffpräparats bereits zur Gänze abgedeckt ist, kann ein zusätzlicher regelmäßiger Algenverzehr (vor allem von sehr jodreichen Algen) zu einer Überdosierung an Jod führen. Ein gelegentlicher Verzehr stellt kein Problem dar.
Paranüsse	Paranüsse sind die selenreichsten pflanzlichen Lebensmittel. Da der Tagesbedarf an Selen mithilfe des Multinährstoffpräparats bereits zur Gänze abgedeckt ist, kann ein zusätzlicher regelmäßiger Paranussverzehr zu einer Überdosierung mit Selen führen. Ein gelegentlicher Verzehr stellt kein Problem dar.

Tab. 1: Lebens- und Nahrungsergänzungsmittel, die bei Verwendung des Multinährstoffpräparats nur eingeschränkt konsumiert werden sollten

Lebensmittel	Begründung
Andere (Multi-) Nährstoffpräparate	Wenn das hier vorgestellte Multinährstoffpräparat für vegan lebende Menschen auf täglicher Basis eingenommen wird, besteht kein Bedarf an der Einnahme weiterer Nährstoffpräparate. Im Gegenteil kann dies auf Dauer zu einer Überversorgung führen. Dennoch kann es sinnvoll sein, unter gewissen Umständen noch weitere einzelne Nährstoffe (z.B. langkettige Omega-3-Fettsäuren bei mangelnder Konvertierungsrate) zu ergänzen, wenn es die jeweilige Situation verlangt.

Darüber hinaus gibt es manche Lebensmittel, die einen wichtigen Beitrag zur Mikronährstoffbedarfsdeckung bei einer veganen Ernährung liefern können, die bei der regelmäßigen Einnahme des Multinährstoffpräparats jedoch obsolet werden. Sie können aber im Gegensatz zu den in Tabelle 1 genannten Lebensmitteln weiterhin ohne Risiko zugeführt werden.

Dabei handelt es sich um:

1. **Jodsalz:**

Jodsalz liefert 20 µg Jod pro Gramm Salz.[21] Da der Tagesbedarf an Jod mithilfe des Multinährstoffpräparats bereits zur Gänze abgedeckt ist, ist eine zusätzliche Jodzufuhr über Jodsalz nicht notwendig. Die durch Jodsalz zusätzlich zugeführten Mengen sind allerdings selbst bei der Verwendung der täglichen Höchstmenge an Salz in Höhe von 6 g[22] noch unter der Grenze für die tägliche langfristige Maximalzufuhr an Jod. Wenn das Multinährstoffpräparat verwendet wird, ist es nicht notwendig, im Haushalt Jodsalz zu verwenden. Der Konsum von Jodsalz in Speisen, die außer Haus konsumiert werden, stellt aufgrund der geringen Mengen an Jod kein Problem dar.

2. **Angereicherte Pflanzendrinks:**

Gewisse Marken von Pflanzendrinks wie Alpro und Oatly produzieren Pflanzendrinksorten, die mit Vitamin B_2, Vitamin B_{12}, Vitamin D, Kalzium und weiteren Nährstoffen angereichert sind. Die Höhe der Anreicherung bewegt sich dabei in einem Rahmen, der selbst beim täglichen Verzehr von bis zu einem Liter dieser angereicherten Pflanzendrinks zusammen mit dem Nährstoffkomplex keine Überschreitung der Grenzwerte für die Maximalzufuhr der einzelnen Nährstoffe mit sich bringt. Ohne die Verwendung eines veganen Multinährstoffpräparats sind diese Produkte in vielen Fällen eine wichtige Nährstoffquelle für die zuvor genannten kritischen Nährstoffe.

1.2 Erläuterung zur Zusammensetzung

Das Multinährstoffpräparat wurde so konzipiert, dass die empfohlene Tagesdosis eine Kapsel beträgt, die zu einer Mahlzeit mit zumindest moderater Fettmenge eingenommen werden sollte. Die Fettmenge muss nicht separat kalkuliert werden. Es reichen bereits die üblichen zur Zubereitung verwendeten Mengen an Nüssen, Samen oder Ölen in gängigen Gerichten.
Aufgrund der fettlöslichen Nährstoffe im Nährstoffpräparat wie Vitamin A, D und K wird die Einnahme zu einer Mahlzeit mit moderatem Fettgehalt empfohlen, um die Aufnahme dieser Nährstoffe zu optimieren. Im Vergleich zu einer fettfreien Mahlzeit erhöhte sich die Aufnahme von Vitamin D beispielsweise in einer Untersuchung um über 30% bei einer moderat fettreichen Mahlzeit.[23]
Tabelle 2 auf der folgenden Seite zeigt die gewählte Nährstoff-zusammensetzung des Multinährstoffpräparats. Gründe für die Auswahl der einzelnen Nährstoffe sowie deren Dosishöhen werden im Nachgang erläutert.

Tab. 2: Inhaltsstoffe des veganen Multinährstoffpräparats *ProVeg Essentials+*

Dosierung	Nährstoff	Form
500 µg RÄ	Vitamin A	Retinylacetat & Retinylpalmitat (1:1)
100 µg	Vitamin B_{12}	Methyl-, Hydroxo- & Adenosylcobalamin
1,4 mg	Vitamin B_2	Riboflavin-5-Phosphat-Natrium
25 µg (1.000 IE)	Vitamin D_3	Cholecalciferol (Vitashine™)
50 µg	Vitamin K_2	Menachinon-7 (K2VITAL® DELTA)
120 mg	Kalzium	Calciumbisglycinat
6,5 mg	Zink	Zinkbisglycinat
6 mg	Eisen	Eisenbisglycinat (Ferrochel™)
55 µg	Selen	Natriumselenit
150 µg	Jod	Kaliumiodid
100 mg	Cholin	Citicolin (Cognizin®)

Zwei Dinge sind bereits beim ersten Blick auf die Zusammensetzung auffällig: Zum einen wurde ein von der Deutschen Gesellschaft für Ernährung (DGE) bei veganer Ernährung als potenziell kritisch genannter Nährstoff nicht inkludiert. Dabei handelt es sich um die langkettigen Omega-3-Fettsäuren EPA (Eicosapentaensäure) und DHA (Docosahexaensäure). Zum anderen wurde auch ein weiterer Nährstoff inkludiert, der zwar von der DGE nicht als potenziell kritisch genannt wird, dessen Zufuhr im Rahmen des vorgestellten Nährstoffkomplexes aber positive synergetische Effekte bringt. Die Rede ist von Vitamin K_2. Darüber hinaus wurde Vitamin A inkludiert, das ebenfalls von der DGE nicht als potenziell kritisches Vitamin bei veganer Ernährung angesehen wird. Wie an späterer Stelle noch im Detail dargestellt wird, kann allerdings bei einigen Personen die Konvertierungsrate des Vitamin-A-Vorläufers Beta-Carotin zu Vitamin A (Retinol) unzureichend sein. Daher wurde auch vorgeformtes Vitamin A hinzugefügt. Außerdem wurde aus Gründen der Vorsicht eine Zugabe von Cholin festgelegt. Die Datenlage zu Cholin insgesamt und besonders in Bezug auf eine vegane Ernährungsweise lässt zahlreiche Fragen offen, doch durch die Inkludierung wird eine Grundversorgung sichergestellt.

1.3 Begründung zur Exkludierung von EPA & DHA

In einer Reihe von Untersuchungen zeigen Veganer im Vergleich zu Mischköstlern deutlich reduzierte Plasmakonzentrationen der langkettigen Omega-3-Fettsäuren EPA und DHA,[24,25] die unter anderem wichtig für die Entwicklung und den Erhalt der kognitiven Fähigkeiten sind.[26] Dieser Umstand legt nahe, dass eine vegane Ernährung ohne Fokus auf die optimale Omega-3-Bedarfsdeckung in vielen Fällen nicht ausreichend ist. Daher überrascht es nicht, dass auch die DGE langkettige Omega-3-Fettsäuren (EPA & DHA) als potenziell kritisch in der veganen Ernährung einstuft. Dennoch wurde auf die Zugabe von EPA und DHA im Rahmen des Multinährstoffkomplexes bewusst verzichtet. Dies hat zum einen damit zu tun, dass nicht jede Person diese zwingend supplementieren muss, wenn sie einige Optimierungen in ihrer Ernährungsweise vornimmt. Des Weiteren bewegen sich die Zufuhrempfehlungen zur Optimierung der Omega-3-Versorgung zwischen 250 und 1.000 mg (je nach Fachgesellschaft)[27] und dies würde zusammen mit den anderen Nährstoffen des Präparats nicht mehr in die Tagesportion von einer Kapsel passen.

Darüber hinaus gibt es zum aktuellen Zeitpunkt kaum Hersteller, die Mikroalgenöl (vegane Quelle von EPA & DHA) in einer entsprechenden Matrix verkapselt anbieten, um es stabil genug zu machen, damit nicht die Mindesthaltbarkeit und die ansonsten unkomplizierte Lagerung unter der Zugabe von Omega-3-Fettsäuren aus Mikroalgenöl leiden. Daher können Personen, die zusätzlich langkettige Omega-3-Fettsäuren benötigen, diese einfach ergänzend über ein separates Präparat mit Mikroalgenöl zuführen. Neben der Möglichkeit, Mikroalgenöl bei Bedarf als separate Kapseln oder als offenes Öl zuzuführen, ist vor allem die Anreicherung von Lebensmitteln mit langkettigen Omega-3-Fettsäuren in Zukunft besonders vielversprechend. Außerdem kann der menschliche Organismus in einigen Fällen EPA und DHA selbst bilden, wenn ausreichend sogenannte Alpha-Linolensäure (ALA; eine kurzkettige Omega-3-Fettsäure) über die Nahrung zugeführt wird. Tabelle 3 zeigt den Alpha-Linolensäure-Gehalt ausgewählter pflanzlicher Lebensmittel.

Tab. 3: Gehalt an Alpha-Linolensäure (ALA) in ausgewählten pflanzlichen Lebensmitteln[28,29]

Nahrungsmittel	ALA in g/100 g
Chiasamen	20,7
Leinsamen	17,1
Sacha-Inchi-Samen	14,1
Walnüsse	7,8
Hanfsamen (geschält)	7,3
Sojabohnen	0,9
Sesam	0,6
Erdnüsse	0,5
Grünkohl	0,4
Mohn	0,4
Mandeln	0,3
Rucola	0,2
Oliven	0,2
Blattspinat	0,1

So wie Chia-, Lein-, Hanf-, Sacha-Inchi-Samen und Walnüsse exzellente vollwertige ALA-Lieferanten sind, sind entsprechend auch deren Öle ausgezeichnete ALA-Lieferanten. Ob und wie effektiv der Körper die Eigensynthese vollziehen kann, ist dabei von vielen Faktoren wie der insgesamten Fettsäurezufuhr (vor allem dem Omega-3- zu Omega-6-Verhältnis), dem Geschlecht, dem Alter, dem allgemeinen Gesundheitszustand, der insgesamten Nährstoffversorgung und vielem Weiteren abhängig. Zudem scheint die Höhe der Eigensynthese von DHA in Abhängigkeit von der Zufuhr von vorgeformtem DHA aus der Nahrung zu stehen.[30] Das legt den Schluss nahe, dass vegan lebende Menschen womöglich höhere Konvertierungsraten der Fettsäuren im Vergleich zu Fisch essenden Mischköstlern aufweisen,[31] was durch die hemmende Wirkung von Nahrungs-DHA auf die DHA-Eigensynthese erklärt wird.[32] Das bedeutet, dass der Organismus weniger DHA selbst herstellt, wenn es in ausreichender Menge vorgeformt über die Nahrung zugeführt wird. Im Umkehrschluss steigt die Effektivität der Eigensynthese, wenn das Angebot an langkettigen Omega-3-Fettsäuren auf Dauer knapp ist. Diese Vermutung bestärkt auch eine Untersuchung, in der das Verhältnis an Linolsäure (LA) zu Alpha-Linolensäure (ALA) von 1:1 bei ansonsten geringer Zufuhr langkettiger Omega-3-Fettsäuren auf Dauer nicht nur die Plasmakonzentration an ALA und EPA, sondern auch an DHA während eines Untersuchungszeitraumes von zehn Monaten steigern konnte.[33] Um die Eigensynthese zweifelsfrei beurteilen zu können, ist ein HS-Omega-3-Index-Test hilfreich.

Dieser sollte mindestens bei 4% liegen und hat einen Optimalwert ab 8%.[34] Dieser Test zeigt, ob die Eigensynthese bei ausreichender ALA-Zufuhr (min. 2 g ALA pro Tag) zur Eigensynthese ausreicht oder ob ein pflanzliches Mikroalgenöl mit vorgeformtem EPA und DHA in der Dosierung von etwa 250-1.000 mg pro Tag (zur Primärprävention bei gesunden Menschen) notwendig ist. Therapeutisch können auch höhere Dosen sinnvoll sein.

2. Beschreibung der enthaltenen Nährstoffe

2.1 Vitamin A

Allgemeines zu Vitamin A

Vitamin A ist kein von der DGE als kritisch deklarierter Nährstoff in der veganen Ernährung im Rahmen ihres Positionspapiers zu veganer Ernährung in den unterschiedlichen Lebensphasen.[35] Dennoch kann unter gewissen Umständen die Vitamin-A-Versorgung bei Personen mit sehr einseitiger veganer Ernährung oder (auch bei abwechslungsreicher veganer Kost) aufgrund einer genetischen Disposition unzureichend sein.[35.1,35.2] Vitamin A bezeichnet eine Gruppe an fettlöslichen Retinoiden mit ihrem bekanntesten Vertreter Retinol.[36] Vitamin A hat im menschlichen Körper zahlreiche Aufgaben und ist unter anderem relevant für die Immunfunktion, die Sehkraft, die Reproduktionsfähigkeit, die Schilddrüsenfunktion und vieles Weitere.[37] In der Ernährung des Menschen stehen zwei unterschiedliche Wege zur Deckung der Vitamin-A-Versorgung zur Verfügung: Vorgeformtes Vitamin A aus tierischen Produkten (Retinol und andere Retinoide) sowie sogenanntes Provitamin A (Beta-Carotin und andere Carotinoide) aus pflanzlichen Lebensmitteln.[38] Der menschliche Organismus kann Provitamin A zu Vitamin A konvertieren und damit in der Theorie seinen kompletten Vitamin-A-Bedarf auch ohne den Verzehr tierischer Produkte rein pflanzlich über unterschiedliche Carotinoide decken.[39] Beta-Carotin ist der mit Abstand wichtigste Vertreter unter den Carotinoiden mit Provitamin-A-Wirkung. Aber auch andere Carotinoide wie Alpha-Carotin und Beta-Cryptoxanthin können vom Körper zur Vitamin-A-Synthese herangezogen werden.[40] Pflanzen synthetisieren abseits der zuvor genannten noch hunderte weitere Carotinoide, aber nur etwa 10% von ihnen weisen eine Provitamin-A-Funktion auf.[41]

Einige bekannte Carotinoide wie Lycopin, Lutein und Zeaxanthin haben beispielsweise keine Vitamin-A-Funktion, sind aber dennoch als sekundäre Pflanzenstoffe wichtige bioaktive Substanzen.[42] Etwa 85% des gesamten Vitamin-A-Bestandes im Körper wird in der Leber gespeichert, weshalb unter den tierischen Produkten die Leber auch zu den Vitamin A reichsten Lebensmitteln gehört.[43] Durch die großen Leberspeicher kann der Körper beim Menschen (unter Voraussetzung guter Füllung) bis zu 6 Monate und länger ohne die Zufuhr von Vitamin A auskommen, indem er von seinen Speichern zehrt.[44] Aus diesem Grund geht eine temporäre Unterversorgung mit Vitamin A, selbst wenn sie über mehrere Monate andauert, nicht sofort mit Mangelsymptomen einher. Wenn Vitamin A als fettlösliches Vitamin mit ausreichend Nahrungsfett in einer Mahlzeit (oder als Supplement) zugeführt wird, hat es mit 70–90% eine sehr hohe Bioverfügbarkeit und wird daher sehr gut absorbiert.[45]

Bei Carotinoiden schwankt die Bioverfügbarkeit in Abhängigkeit von der Zubereitung stark. Während beispielsweise nur 3% des Beta-Carotins in rohen Karotten zugänglich sind, sind es bei gekochten Karotten bereits 27% und bei gekochten Karotten mit der Zugabe einer Fettquelle ganze 39%.[46] Wie hoch die Bioverfügbarkeit letztendlich aber tatsächlich ist, hängt (ebenso wie die Konvertierungsrate zu Vitamin A) von der gesamten Aufnahme an Retinol und Beta-Carotin sowie den genetischen Voraussetzungen der jeweiligen Person ab und kann sich im Rahmen einer Ernährungsumstellung mittel- bis langfristig ändern.[47]

Bedarf & Zufuhrempfehlungen

Die Zufuhrempfehlungen für Vitamin A werden von Ernährungsfachgesellschaften als sogenannte Retinol-Äquivalente (RÄ) dargestellt, um die Unterschiede in der Verwertbarkeit zwischen vorgeformtem Retinol und den unterschiedlichen Carotinoiden mit Provitamin-A-Charakter zu berücksichtigen und diese in standardisierte Zufuhrempfehlungen zu überführen. 1 mg Retinol aus tierischen Produkten oder Nahrungsergänzungsmitteln entspricht dabei genau 1 mg RÄ. 1 mg Retinol-Äquivalent wiederum entspricht 12 mg Beta-Carotin aus pflanzlichen Nahrungsmitteln und 24 mg an anderen Provitamin-A-Carotinoiden wie Alpha-Carotin und Beta-Cryptoxanthin aus Pflanzen.[48] In Nahrungs-ergänzungsmitteln mit vorgeformtem Vitamin A finden vor allem die Retinol-Formen Retinylacetat und Retinylpalmitat Einsatz.[49] Die Höhe der täglichen Zufuhrempfehlung an RÄ unterscheidet sich zwischen den Fachgesellschaften einzelner Länder.

So empfiehlt beispielsweise die DGE pro Tag 850 µg RÄ für erwachsene Männer und 700 µg RÄ für erwachsene Frauen.[50] Die European Food Safety Authority (EFSA) empfiehlt hingegen nur 750 µg RÄ für Männer und 650 µg RÄ für Frauen.[51] In den USA werden für erwachsene Männer 900 µg und für Frauen 700 µg RÄ empfohlen.[52] Da Beta-Carotin auch abseits seiner Provitamin-A-Wirkung bedeutende antioxidative Eigenschaften aufweist, gelten auch abseits der Deckung des Vitamin-A-Bedarfs die Zufuhrempfehlungen von 2–4 mg pro Tag.[53] Beta-Carotin sollte dabei aus vollwertigen pflanzlichen Lebensmitteln und nicht aus Nahrungsergänzungsmitteln stammen.[54]

Neuere Untersuchungen zur individuellen Konvertierungsfähigkeit von Carotinoiden in Vitamin A haben gemischte Ergebnisse geliefert und so wurde in den vergangenen Jahren von einigen Veröffentlichungen infrage gestellt, ob eine Deckung des Vitamin-A-Bedarfs tatsächlich für alle Teile der Bevölkerung ausschließlich über die reine Zufuhr von Provitamin A möglich ist.[55,56] In Untersuchungen wurden mehrere Genmutationen entdeckt, welche die Konvertierungsfähigkeit der betroffenen Individuen stark einschränken können. Eine Untersuchung berichtet, dass derartige genetische Dispositionen bei etwa 27–45% der getesteten Probanden vorkamen.[57,58] Die betroffenen Personen wandeln dabei je nach Schwere der genetischen Disposition 32–69% weniger Beta-Carotin in Vitamin A um.[59]

In äußerst seltenen Fällen können betroffene Personen Beta-Carotin praktisch gar nicht umwandeln, was bei diesen Personen nicht nur zu einem Vitamin-A-Mangel trotz ausreichender Beta-Carotin-Zufuhr führt, sondern aufgrund der zu großen Mengen an nicht-umgewandeltem Beta-Carotin in ihrem Organismus auch zu einer Hypercarotinämie samt harmloser Gelbfärbung der Haut.[60] Abseits von der zu kritisierenden geringen Probandenzahl in vielen dieser Experimente bleibt in Bezug auf die vegane Ernährungsweise zusätzlich festzuhalten, dass es nicht zielführend für die Ermittlung der mittel- und langfristigen Konvertierungsrate von Beta-Carotin zu Vitamin A ist, wenn man diese Untersuchungen mit Mischköstlern an Stelle von Veganern durchführt, wie es bis dato stets gemacht wurde. Denn es ist bekannt, dass die Fähigkeit des Körpers zur Bildung von Vitamin A aus Carotinoiden umso geringer ist, je mehr vorgeformtes Vitamin A in der Ernährung vorkommt.[61] Wenn man zu den schlechteren Konvertierern gehört, sollte man die Zufuhr an Retinol-Äquivalent durch Beta-Carotin über die Nahrung mindestens verdoppeln und mehr gekochte carotinoidhaltige Lebensmittel gemeinsam mit einer Fettquelle zur Optimierung der Absorptionsrate verzehren.[62] Sollte man zu jenen äußerst seltenen Personen gehören, deren Konvertierungsrate so gut wie gar nicht ausgeprägt ist, empfiehlt es sich, vorgeformtes Vitamin A (Retinol) in Höhe von 0,5–1 mg (= 500–1000 µg) zu supplementieren. Dabei ist es wichtig, diese Dosierung nicht merklich zu überschreiten, weil die therapeutische Breite einer optimalen Vitamin-A-Supplementierung schmal ist.[63] Veröffentlichungen empfehlen unter den aktuellen Umständen bei Supplementierung eine Dosis von höchstens 750 µg bei täglicher langfristiger Supplementierung.[64] Auch wenn vorgeformtes Vitamin A in der Natur nur in tierischen Produkten vorkommt, gibt es dennoch synthetisch hergestellte vegane Retinol-Supplemente für jene Personen, die Beta-Carotin im Rahmen einer veganen Ernährungsweise unzureichend konvertieren.

Tolerable Upper Intake Level & Symptome bei Überversorgung

Das Food and Nutrition Board des amerikanischen Institute of Medicine (IOM)[65] ebenso wie die European Food Safety Authority[66] setzen das Tolerable Upper Intake Level (UL) für Vitamin A bei 3.000 µg RÄ an. Das UL beziffert jene Höchstmenge eines Nährstoffs, die langfristig als sichere tägliche Maximalzufuhrmenge für die allermeisten Personen innerhalb der Bevölkerung angesehen wird.[67] Die hier genannten ULs beziehen sich stets auf nicht-schwangere, nicht-stillende, gesunde erwachsene Personen. Fachgesellschaften haben ULs für Kinder unterschiedlicher Altersgruppen sowie für Schwangere und Stillende separat festgelegt. Hypervitaminosen mit Vitamin A sind nur durch die Zufuhr von hohen Dosen an vorgeformtem Vitamin A (Retinol) möglich. Dies kann in erster Linie durch zu hoch dosierte Nahrungsergänzungsmittel geschehen, trat aber in der Vergangenheit auch bei Polarforschern auf, die Eisbärenleber verzehrt haben, die bekanntlich äußerst reich an Vitamin A ist und deren Verzehr leicht zu einer Hypervitaminose führen kann.[68] Selbst sehr große Mengen an Carotinoiden mit Provitamin-A-Funktion wie Beta-Carotin können nicht zu einer Vitamin-A-Hypervitaminose führen.[69]

Daher kann selbst eine hohe Zufuhr an carotinoidreichen pflanzlichen Lebensmitteln wie Karotten, Süßkartoffeln, Grünkohl etc. in Verbindung mit der täglichen Einnahme des vorgestellten Multinähstoffpräparats bei gesunden Menschen nicht zu einer Überversorgung mit Vitamin A führen.

Vorkommen in der Ernährung

Vorgeformtes Vitamin A kommt nur in tierischen Produkten vor. Dort vor allem in Organen wie der Leber. Moderate Mengen finden sich allerdings auch in Muskelfleisch, Milch und Eiern. Zu den besten Beta-Carotin-Lieferanten im Pflanzenreich gehören vor allem orange farbige Gemüse sowie dunkelgrünes Blattgemüse. Der recht hohe Carotinoid-gehalt von dunkelgrünem Blattgemüse erscheint auf den ersten Blick kontraintuitiv, weil diese Lebensmittel keine orangene Farbe aufweisen, jedoch wird in ihnen lediglich das Orange durch das stärker deckende Grün des Chlorophylls verdeckt.[70] Das ist auch der Grund, warum Blätter im Herbst ihre Farbe ändern: Das Chlorophyll wird abgebaut und die anderen Pflanzenpigmente kommen zum Vorschein.
Tabelle 4 zeigt die besten pflanzlichen Beta-Carotin-Lieferanten:

Tab. 4: Beta-Carotin-Gehalt ausgewählter pflanzlicher Lebensmittel[71]

Nahrungsmittel	Beta-Carotin-Gehalt in mg/100g in mg/100g
Süßkartoffel	7,9
Karotte	7,6
Grünkohl	5,2
Brunnenkresse	4,9
Spinat	4,8
Honigmelone	4,7
Feldsalat	3,9
Mangold	3,5
Chicoree	3,4
Kürbis	2,3
Aprikosen	1,6
Rucola	1,4
Pfifferlinge	1,3
Mango	1,2

Zusätzlich muss man ergänzend erwähnen, dass die gängigen Nährwerttabellen vermutlich noch nicht in ausreichendem Maße berücksichtigen, dass das Beta-Carotin aus unterschiedlichen Lebensmitteln in unterschiedlichem Maße konvertiert wird, was die genaue Berechnung der Zufuhr zusätzlich erschwert. Es gibt nämlich nicht nur interindividuelle Unterschiede zwischen Personen in der Umwandlungsrate, sondern auch Unterschiede in der Umwandlungsrate zwischen einzelnen Beta-Carotin-haltigen pflanzlichen Lebensmitteln. Die Spanne der Konvertierungsrate bewegt sich dabei in einer Übersichtsarbeit zwischen im besten Fall 4:1 und im schlechtesten Fall 28:1.[72] Das heißt, dass es Unterschiede um den Faktor 7 in der Effizienz der Umwandlung gibt.
Bei manchen Lebensmitteln konnte bereits aus weniger als 4 mg Beta-Carotin 1 mg Vitamin A synthetisiert werden und bei anderen Lebensmitteln benötigte es wiederum bis zu 28 mg Beta-Carotin, um 1 mg Vitamin A zu synthetisieren. Am effizientesten war dabei mit einem Verhältnis von 3,6:1 die Konvertierung des Beta-Carotins in sogenanntem Golden Rice. Bei Golden Rice handelt es sich um eine spezielle Sorte von gentechnisch verändertem Reis, der besonders reich an Beta-Carotin ist, um damit die Vitamin-A-Defizite in Entwicklungsländern zu bekämpfen.[73] Bei anderen Lebensmitteln war die Konvertierungsrate geringer: Spirulina mit 4,5:1, Früchte (in der Untersuchung nicht näher definiert) mit 12:1, Süßkartoffeln mit 13:1, Karotten mit 15:1, Spinat mit 21:1 und andere grüne Blattgemüse mit 28:1.[74]
In der EPIC-Oxford Studie wurde gezeigt, dass vegan lebende Personen im Gegensatz zu mischköstlich oder vegetarisch essenden Personen eine signifikant geringere Vitamin-A-Zufuhr hatten, wenn diese als RAE (Retinolaktivitätsäquivalent mit einer Konvertierungsrate von 12:1) anstatt als RE (Retinoläquivalent mit einer Konvertierungsrate von 6:1) berechnet wird.[74.1] Das RAE ergibt sich dabei aus einer aktuelleren und verbesserten Berechnungsgrundlage verglichen mit dem RE.
Konkret bedeutet dies, dass eine weibliche Person mit einem Vitamin-A-Bedarf in Höhe von 700 µg RÄ laut DGE mit regulärer Konvertierungsrate beispielsweise mit einer mittelgroßen Süßkartoffel (ca. 120 g Rohgewicht) bereits ihren von der DGE vorgeschlagenen Tagesbedarf an Vitamin A aus Beta-Carotin unter der Berücksichtigung der 13:1-Konvertierung erhält. Wenn eine Person zu jenen Betroffenen gehört, die zu 32% schlechter konvertieren, benötigt sie etwa 180 g Süßkartoffel (Rohgewicht) und wenn sie zu den selteneren Personen gehört, die um 69% schlechter konvertieren, benötigt sie etwa 400 g Süßkartoffel (Rohgewicht). Wenn die weibliche Person zu den äußerst seltenen Personen mit jener genetischen Disposition gehört, die um etwa 90% schlechter konvertieren, wird sie vorgeformtes Vitamin A über ein veganes Nahrungsergänzungsmittel supplementieren müssen. Es ist darüber hinaus nicht im Detail geklärt, wie effektiv Kleinkinder Beta-Carotin zu Vitamin A konvertieren können.[75] Untersuchungen mit 6- bis 8-jährigen Kindern zeigen aber zumindest, dass sie es bereits effektiv können.[76]

Symptome bei Unterversorgung & Mangeldiagnose

Laut der Nationalen Verzehrsstudie II erreichen in Deutschland etwa 15% der mischköstlichen Männer und 10% der Frauen nicht die empfohlene tägliche Zufuhrmenge an Vitamin A.[77] Vergleichende Untersuchungen zwischen Mischköstlern, Vegetariern und Veganern zeigen jedoch anhand der Blutwerte der Veganer im Durchschnitt keine deutlich schlechteren Retinolwerte im Blut im Vergleich zu den Mischköstlern.[78] Dies wäre grundsätzlich anzunehmen gewesen, wenn man wie in der zuvor genannten Untersuchung von 27–45% an Personen mit genetischer Disposition für die eingeschränkte Vitamin-A-Konvertierung ausgeht. Dies könnte zum einen daran liegen, dass jene Untersuchungen die Rate an schlechten Konvertierern schlichtweg deutlich überschätzt haben oder zum anderen, dass die vegan lebenden Menschen ihre Konvertierungsrate aufgrund fehlender vorgeformter Vitamin-A-Zufuhr auf Dauer anpassen und verbessern können. Ebenso wäre es aber auch möglich, dass ihre aus mischköstlichen Zeiten vorhandenen Vitamin-A-Speicher in der Leber zum Zeitpunkt der Untersuchung noch ausreichend waren, um die Retinolwerte im Blut trotz unzureichender Bedarfsdeckung aufrecht zu erhalten.

Reguläre Vitamin-A-Bluttests stellen keine sensitiven Marker zur Beurteilung der Vitamin-A-Versorgung dar, weil diese Blutwerte erst bei extrem stark ausgeprägten Mängeln sinken und daher Unterversorgungen sehr spät anzeigen.[79] Da der Serum-Vitamin-A-Spiegel (= Retinolspiegel) allein nicht aussagekräftig genug ist, um die Versorgung genau beurteilen zu können, sollte zusätzlich noch das retinol-bindende Protein (RBP) gemessen werden. Das Verhältnis des Retinolspiegels zum RBP kann bessere Einblicke in die Versorgung geben. Dieses sollte dabei größer als 0,7 sein, um eine gute Versorgung anzuzeigen.[80]

Gründe für die Inklusion in das vegane Multinährstoffpräparat

Wie die vorangegangene Darstellung zu Vitamin A im Rahmen der veganen Ernährungsweise gezeigt hat, gibt es einige exzellente pflanzliche Beta-Carotin-Lieferanten wie Karotten und Süßkartoffeln, die bei gesunden Erwachsenen ohne genetische Disposition eine Bedarfsdeckung mit Vitamin A sehr einfach gestalten können. Dennoch beschränkt sich die Auswahl an ausgezeichneten pflanzlichen Beta-Carotin-Lieferanten mit hoher Konvertierungsrate auf eine Handvoll Lebensmittel und es kann nicht mit Sicherheit davon ausgegangen werden, dass diese von sämtlichen vegan lebenden Menschen auf regelmäßiger Basis gegessen werden. Ohne sie kann eine Bedarfsdeckung nur unzureichend erfolgen. Darüber hinaus besteht die Annahme, dass zwischen einem Viertel bis zur Hälfte der Bevölkerung womöglich genetische Dispositionen aufweist, die ihre Beta-Carotin-Verwertung reduzieren. Einige von ihnen können diese Disposition durch die schlichte Mehrzufuhr von Beta-Carotin-haltigen Lebensmitteln ausgleichen, aber manche von ihnen verwerten Beta-Carotin derart ineffizient, dass ihnen eine Supplementierung mit vorgeformtem Vitamin A empfohlen wird.

Da eine Gabe von bis zu 750 µg Retinol in Form von Retinylpalmitat oder Retinylacetat im Rahmen einer veganen Ernährung langfristig auch bei guten Konvertierern keine negativen Effekte verursacht und Vitamin A dafür bekannt ist, die eisenabsorptionshemmenden Effekte von Phytinsäure und Polyphenolen aus einigen vollwertigen Pflanzen zu kompensieren und dadurch die Eisenabsorption zu steigern, spricht dies zusätzlich für eine Inklusion von Vitamin A in das vegane Multinährstoff-präparat.[81] Daher wurde eine Dosis in Höhe von 500 µg Retinoläquivalent in Form von Retinylacetat und Retinylpalmitat (1:1) gewählt. Diese Dosishöhe entspricht 100% der konservativsten Vitamin-A-Empfehlung diverser Fachgesellschaften.[82]

2.2 Vitamin B_{12}

Allgemeines zu Vitamin B_{12}

Unter dem Sammelbegriff Vitamin B_{12} (Cobalamin) werden eine ganze Reihe unterschiedlicher Verbindungen zusammengefasst, die chemisch eng miteinander verwandt sind. Sie alle besitzen dasselbe Grundgerüst, von dem sich alle unterschiedlichen Formen ableiten. Das zentrale Atom innerhalb dieses Grundgerüsts bildet – wie der Name Cobalamin vermuten lässt – ein Kobaltatom, an das unterschiedliche Seitengruppen gebunden sind. Je nachdem, welche Restgruppe am Grundgerüst angebunden ist, unterscheidet man die Cobalaminarten. Am häufigsten unterscheidet man zwischen Methylcobalamin, Cyanocobalamin, Hydroxocobalamin und Adenosylcobalamin. Der menschliche Organismus benötigt sowohl Methyl- als auch Adenosylcobalamin, kann aber bei den allermeisten gesunden Personen beide Formen auch aus der jeweils anderen Form bilden und auch Hydroxo- und Cyanocobalamin in Methyl- und Adenosylcobalamin umwandeln.[83]

Bedarf & Zufuhrempfehlungen

Anhand der verfügbaren Daten lässt sich nicht einwandfrei bestätigen, dass eine der Cobalaminarten für den Großteil der Bevölkerung in relevantem Maße den anderen überlegen ist.[84,85] Manche Veröffentlichungen sprechen sich dennoch weiterhin für eine etwas bessere Aufnahme und Verwertbarkeit von Methylcobalamin im Vergleich zu Cyanocobalamin aus[86] und weitere Untersuchungen legen nahe, dass man am besten eine Kombination mehrerer Cobalamine zuführen sollte.[87]

Um in jedem Fall auf Nummer sicher zu gehen, wurde für das Multinährstoffpräparat eine sogenannte MHA-Formel für Vitamin B_{12} gewählt. Diese enthält sowohl Methyl- als auch Hydroxo- und Adenosylcobalamin. Vitamin B_{12} ist im menschlichen Körper wie erwähnt lediglich in Form der Coenzyme Methylcobalamin und Adenosylcobalamin aktiv. Sowohl Cyano- als auch Hydroxocobalamin müssen erst in diese beiden Formen umgewandelt werden. Im Cytoplasma einer Zelle wird aus den unterschiedlichen Cobalaminen aus der Nahrung bzw. aus dem Nahrungsergänzungsmittel Methylcobalamin gebildet.[88]

In den Mitochondrien der Zellen spielt B_{12} hingegen in Form von Adenosylcobalamin eine wichtige Rolle[89] und so wird im Mitochondrium aus den unterschiedlichen Cobalaminen im Gegensatz zum Cytoplasma kein Methylcobalamin, sondern Adenosylcobalamin gebildet. Ergänzend zu diesen beiden für den Organismus relevanten Cobalaminen bietet sich zudem die Zugabe von Hydroxocobalamin an, welches auch das häufigste

natürlich vorkommende Cobalamin in B_{12}-haltigen Nahrungsmitteln darstellt[90] und im direkten Vergleich mit anderen Cobalaminen eine bessere Depotwirkung aufweist.[91]

Der tägliche Bedarf des Menschen an B_{12} beträgt laut DGE inklusive Sicherheitszuschlag 4 µg für Erwachsene.[92] Die Höhe der tatsächlichen Dosierung wird in erster Linie von der Absorptionsfähigkeit und dem Einnahmeintervall beeinflusst. Die Häufigkeit der Einnahme bestimmt die Zufuhrhöhe, da mit der Höhe der Zufuhr die prozentuale Aufnahme sinkt.[93] Pro Mahlzeit (oder pro Einnahme eines Supplements) kann der Körper nur etwa 2 µg Vitamin B_{12} aktiv im Dünndarm über darauf ausgelegte Transportsysteme aufnehmen.[94] Erst nach etwa 4–6 Stunden ist der Körper wieder in der Lage, diese Menge erneut über seine aktiven Transportsysteme aufzunehmen.[95] Daher kann man prozentual mehr B_{12} absorbieren, wenn man die Dosen auf mehrere Male mit ausreichend zeitlichem Abstand aufteilt. Etwa 2% der Gesamtzufuhr an B_{12} werden darüber hinaus unabhängig von den aktiven Transportsystemen über die passive Diffusion aufgenommen. Wenn die Dosis hoch genug ist, kann man alleine dadurch seinen täglichen Bedarf decken.[96] Wenn man über niedrig dosierte Supplemente oder angereicherte Getränke und Lebensmittel den täglichen B_{12}-Bedarf decken möchte, dann sollte aufgrund der begrenzten Aufnahmefähigkeit pro Zeiteinheit eine Zufuhr an mehreren Zeitpunkten des Tages erfolgen.

Tolerable Upper Intake Level & Symptome bei Überversorgung

Bei der Nahrungsergänzung mit Vitamin B_{12} besteht kaum Grund zur Sorge vor Überdosierung, denn B_{12} hat sich als wasserlösliches Vitamin in vielen Untersuchungen als untoxisch erwiesen. Denn obwohl Vitamin B_{12} in großer Menge von bis zu 5.000 µg im Körper gespeichert werden kann,[97] wird ein Überschuss des wasserlöslichen Vitamins einfach über den Urin ausgeschieden und ist damit ungefährlich.[98] Selbst bei einer täglichen Zufuhr von 3.000 µg B_{12} über lange Zeiträume hinweg sind keinerlei Nebenwirkungen in Untersuchungen (mit Ausnahme der gelegentlichen Hautunreinheiten bei wenigen Individuen) aufgetreten.[100] Daher wurde auch von offizieller Stelle, wie der European Food Safety Authority (EFSA) kein Tolerable Upper Intake Level – also keine definierte Obergrenze für die langfristige tägliche Einnahme – festgelegt.[101]

Vorkommen in der Ernährung

Vitamin B_{12} findet sich in erster Linie in tierischen Produkten. Besonders reich an B_{12} sind Organe wie Leber und Niere, aber auch in Muskelfleisch und Milch können sich größere Mengen an Vitamin B_{12} akkumulieren. Hühnereier enthalten zwar ebenso quantitativ größere Mengen an B_{12}, jedoch ist ihre Bioverfügbarkeit so gering, dass täglich mehrere dutzend Eier gegessen werden müssten, um den B_{12}-Bedarf einer erwachsenen Person dadurch zu decken.[102] Vegan lebenden Menschen stünden in der Theorie einige „natürliche" pflanzliche B_{12}-Quellen zur Verfügung, die allerdings allesamt noch zu wenig erforscht und in vielen Fällen auch nicht ausreichend gut bioverfügbar sind. Gewisse Untersuchungen zeigen beispielsweise, dass durch die bakterielle Fermentation mit den richtigen Kulturen (Propionibakterien, *Lactobacillus reuteri* etc.) größere Mengen an bioverfügbarem B_{12} in fermentierten Lebensmitteln wie Sauerkraut und Pflanzenjoghurt eingebracht werden könnten.[103,104] Ebenso haben sich gewisse Pflanzen wie Wasserlinsen[105] und manche Algenarten[106] wie Chlorella[107] in Untersuchungen als vielversprechende B_{12}-Quellen gezeigt. Zum aktuellen Zeitpunkt fehlen allerdings für all diese Quellen umfangreiche Humandaten, um sie guten Gewissens zur B_{12}-Bedarfsdeckung von vegan lebenden Menschen zu empfehlen.

Symptome bei Unterversorgung & Mangeldiagnose

Untersuchungen zeigten, dass ohne eine B_{12}-Supplementierung oder den regelmäßigen Verzehr angereicherter Lebensmittel selbst bei unspezifischen Tests wie dem Serum-B_{12}-Test etwa 86% der Veganer einen B_{12}-Mangel aufwiesen.[108] Da B_{12} im Organismus so viele unterschiedliche Aufgaben erfüllt, kann sich ein Mangel in sehr verschiedenen Formen zeigen. Häufig erlebte leichte Mangelsymptome sind Kraftlosigkeit, Erschöpfung, Stimmungsschwankungen, Schlaflosigkeit und Immunschwäche. Bei andauerndem Mangel können diese zu schweren Mangelsymptomen wie Verwirrtheit, Taubheit in den Gliedmaßen bis hin zu Lähmungen sowie Koordinations- und Sehstörungen führen.[109] Bei einer mangelnden B_{12}-Zufuhr kann es außerdem zur Erhöhung des Homocysteinspiegels (= Hyperhomocysteinämie) kommen, was langfristig zu einer Erhöhung des Risikos für kardiovaskuläre Erkrankungen, Osteoporose, Rheuma und neurologische Erkrankungen wie Alzheimer und Parkinson führt.[110]

Der Körper hat einen großen B_{12}-Speicher, von dem lange Zeit gezehrt werden kann, sofern dieser gut gefüllt ist. Da der Organismus äußerst effektiv in der Wiederverwertung von B_{12} ist, kann es trotz fehlender B_{12}-Zufuhr über die Nahrung oder Nahrungsergänzungsmittel bei normal gefüllten Speichern bei Erwachsenen mehrere Jahre dauern, bis sich erste Mangelsymptome bemerkbar machen.[111] Wenn sich Personen für eine vegetarische oder vegane Ernährung entscheiden, sollten sie dennoch nicht darauf warten, dass sich die Speicher langsam entleeren, sondern mit Beginn der Nahrungsumstellung auf eine Nahrungsergänzung mit B_{12} achten.

Um den Versorgungsstand des Menschen mit B_{12} überprüfen zu können, gibt es vier potenzielle Laborparameter, wobei besonders einer von ihnen in der Praxis als aussagekräftiger Marker relevant ist. In der Blutbahn kann B_{12} an unterschiedliche Transporter gebunden sein, um zur Zielzelle zu gelangen, aber nur für eine Art von Transporter namens Transcobalamin II (TCII) gibt es in den Zellen tatsächlich auch Rezeptoren. Der Komplex aus Transcobalamin II zusammen mit B_{12} nennt sich Holo-Transcobalamin II (Holo-TC) und ist die einzige Form von B_{12}, die von den DNA produzierenden Zellen des Körpers aufgenommen werden kann, weswegen es als das aktive B_{12} bezeichnet wird.[112] Etwa 80% des im Blut zirkulierenden B_{12} sind jedoch kein Holo-TC und damit biologisch nicht aktiv.[113] Messmethoden wie der gängige Serum-B_{12}-Test, der diese wichtige Unterscheidung nicht abbilden kann, sind daher nur sehr bedingt zur Beurteilung der B_{12}-Versorgung geeignet. Besser ist der Holo-Transcobalamin-Test, der das aktive B_{12} misst. Das Messergebnis sollte dabei größer als 50 pmol/l (Pikomol/Liter) sein, um von einer guten Versorgung ausgehen zu können.[114] Unter 35 pmol/l kann man von einem sicheren B_{12}-Mangel sprechen und ein Wert zwischen 35 und 50 pmol/l gilt als Graubereich, in dem ein Mangel nicht ausgeschlossen werden kann.

Gründe für die Inklusion in das vegane Multinährstoffpräparat

Zahlreiche Ernährungsfachgesellschaften sprechen sich für eine dauerhafte Einnahme von B_{12}-Nahrungsergänzungsmitteln oder die Zufuhr von mit B_{12} angereicherten Lebensmitteln im Rahmen einer veganen Ernährungsweise aus.[115,116] Vitamin B_{12} stellt also das wichtigste Nahrungsergänzungsmittel für vegan lebende Menschen dar und da eine B_{12}-Anreicherung der veganen Grundnahrungsmittel in den D-A-CH-Staaten noch nicht weit verbreitet ist, wurde B_{12} in das Nährstoffpräparat inkludiert. Wie bereits erwähnt, ist die Aufnahme von B_{12} pro Zeiteinheit stark limitiert und daher wurde die Dosis auf 100 µg festgelegt, sodass bei einmaliger täglicher Einnahme der Kapsel (die der Tagesportion entspricht) die Zufuhrempfehlung von 4 µg gedeckt werden kann. Um sämtliche Eventualitäten auszuschließen, wurde B_{12} in Form eines MHA-Komplexes gewählt, um beide Coenzymformen von B_{12} (Methyl- und Adenosylcobalamin) sowie Hydroxocobalamin als Depotform zu inkludieren.

2.3 Vitamin B_2

Allgemeines zu Vitamin B_2

Vitamin B_2, auch Riboflavin genannt, ist ein wasserlösliches Vitamin aus der Gruppe der B-Vitamine und erhielt seinen Namen vom lateinischen Wort "flavus" (gelb, blond) aufgrund seiner gelben Färbung.[117] Wegen seiner Pigmente färben hohe Dosen an Riboflavin auch den Urin gelb, was allerdings gänzlich ungefährlich ist und lediglich anzeigt, dass das Vitamin auch gut im Körper absorbiert wurde.[118]

Vitamin B_2 ist im Vergleich zu anderen B-Vitaminen recht hitzestabil.[119] Im Gegensatz zur recht guten Hitzebeständigkeit ist das Vitamin allerdings wesentlich empfindlicher gegenüber Licht, weshalb vor allem länger lagerfähige Trockenwaren wie Hefeflocken, Weizenkeime etc. dunkel und gut verschlossen gelagert werden sollten.[120] Riboflavin erfüllt eine Vielzahl an Aufgaben im menschlichen Organismus und ist unter anderem am Fett-, Kohlenhydrat- und Proteinstoffwechsel beteiligt, wird für die Bildung von roten Blutkörperchen und Antikörpern benötigt, spielt eine Rolle in der Gesunderhaltung von Haut, Haaren und Nägeln und ist darüber hinaus noch an einer Reihe weiterer Prozesse beteiligt.[121]

Bedarf & Zufuhrempfehlungen

Da die Speicherkapazität für Riboflavin in der Leber im Gegensatz zu Vitamin B_{12} sehr begrenzt ist, ist eine kontinuierliche Nahrungszufuhr von großer Bedeutung.[122] Die offiziellen Zufuhrempfehlungen der DGE für Erwachsene lauten 1,4 mg pro Tag für Männer und 1,1 mg für Frauen.[123] Ähnliche Empfehlungen gelten in den USA, wo ebenfalls 1,1 mg für Frauen, aber nur 1,3 mg für Männer empfohlen werden.[124] Zwar ist die Bioverfügbarkeit von Riboflavin aus pflanzlichen Lebensmitteln (40–70%) laut einer Untersuchung im Durchschnitt geringer als bei tierischen Produkten (70–100%),[125] aber derartige Untersuchungen zur Bioverfügbarkeit von Nährstoffen haben allesamt die Limitierung, dass sie eine meist zu kurze Laufzeit aufweisen und somit die Adaption des Organismus auf eine veränderte Bioverfügbarkeit aus Pflanzen nicht abbilden können.

Tolerable Upper Intake Level & Symptome bei Überversorgung

Das amerikanische Institute of Medicine (IOM) fasst die Datenlage zur Risikoeinschätzung in Bezug auf hohe Dosen an Riboflavin in ihrem Positionspapier zur Zufuhrempfehlung von Nährstoffen zusammen und berichtet von keiner Veröffentlichung mit negativen Ergebnissen, selbst bei sehr hohen Dosen in Form von Nahrungsergänzungsmitteln.[126]

Als wasserlösliches Vitamin kann es bei Überversorgung über die Nieren mit dem Urin ausgeschieden werden und es wurde beobachtet, dass mit steigender Zufuhr an Riboflavin als ausgleichender Mechanismus auch die Aufnahme von Riboflavin im Darm sinkt.[127] In einer vom IOM zitierten Untersuchung nahmen die Teilnehmer Nahrungsergänzungsmittel mit Riboflavin in Höhe von 400 mg über drei Monate hinweg. Das entspricht etwa dem 300-fachen der Zufuhrempfehlung. Dennoch wurden keine negativen Effekte festgestellt.[128] Wie das IOM schreibt, ist die Datenlage zwar nicht ausreichend, um spezifische Grenzwerte zur Höchstzufuhr festzulegen, aber die Gefahr durch hohe Riboflavindosen ist insgesamt als gering zu beurteilen. Alle Daten sprechen dafür, dass ein leichter Überschuss an Riboflavin über Lebensmittel oder Nahrungsergänzungsmittel als unproblematisch zu betrachten ist. Die einzige Beobachtung, die in erster Linie bei der Zufuhr hoher Dosen an Riboflavin durch Supplemente eintritt, ist die bereits erwähnte ungefährliche gelbliche Verfärbung des Urins.[129]

Vorkommen in der Ernährung

Von allen gängigen Lebensmittelgruppen ist Riboflavin in Milchprodukten durchschnittlich am höchsten konzentriert.[130] Das Kompetenzzentrum für Ernährung des bayerischen Staatsministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten schreibt zur Versorgung mit Riboflavin in der veganen Ernährung allerdings „Vitamin B_2 ist auch in zahlreichen pflanzlichen Lebensmitteln (wie Pilze, Hülsenfrüchte, Getreide, Gemüse und Obst) enthalten, sodass auch bei veganer Ernährung kein Mangel entstehen muss“.[131] Tabelle 5 zeigt den B_2-Gehalt von pflanzlichen Riboflavinlieferanten.

Tab. 5: Vitamin-B_2-Gehalt ausgewählter pflanzlicher Lebensmittel[132]

Nahrungsmittel	Vitamin-B_2-Gehalt in mg /100g	Nahrungsmittel	Vitamin-B_2-Gehalt in mg /100g
Mandeln	0,6	Angereicherte Pflanzendrinks	0,2
Champignons	0,4		
Austernpilze	0,3	Sojabohnen (gekocht)	0,2
Kürbiskerne	0,3	Brokkoli	0,2
Cashews	0,3	Grünkohl	0,2
Hefeflocken (10 g)	0,3	Spinat	0,2
Vollkornbrot	0,2	Haferflocken	0,1

Durch das Keimen von Hülsenfrüchten[133] und Getreiden[134] steigt ihr Riboflavingehalt teils erheblich an. Je nach Art des Korns, der Keimdauer und anderen äußeren Umständen können sich die Riboflavingehalte durch das Keimen vervielfachen.[135]

Symptome bei Unterversorgung & Mangeldiagnose

In einigen Untersuchungen wiesen 17–30% der Veganer unzureichende Riboflavinwerte auf.[136,137,138] Andererseits war in Untersuchungen wie der EPIC Oxford Study die gesamte untersuchte Gruppe der Veganer ausreichend mit B_2 versorgt, was wiederum deutlich macht, dass es bei guter Lebensmittelauswahl möglich ist, rein pflanzlich genügend Vitamin B_2 zu bekommen.[139] Obwohl sich Mangelsymptome unterschiedlicher Nährstoffe oft überschneiden und ähnliche Ausprägungen aufweisen, werden vor allem spröde und rissige Lippen, Mundwinkelentzündung, Seborrhoische Dermatitis im Gesicht, trockene Zunge, Bindehaut- und Halsentzündung sowie generelle Müdigkeit mit einem Mangel an B_2 in Verbindung gebracht.[140]

Gründe für die Inklusion in das vegane Multinährstoffpräparat

Wie gezeigt wurde, gibt es eine Reihe an exzellenten pflanzlichen B_2-Lieferanten wie Champignons, Austernpilze, Hefeflocken, Mandeln und weitere. Da allerdings nicht davon ausgegangen werden kann, dass sämtliche vegan lebende Menschen diese Lebensmittel auf täglicher Basis essen, kann es in Bezug auf Vitamin B_2 in der veganen Ernährungsweise zu Engpässen kommen, weil viele andere pflanzliche Lebensmittel recht arm an B_2 sind und eine Anreicherung der Pflanzendrinks und anderer veganer Grundnahrungsmittel in den D-A-CH-Staaten noch nicht großflächig verbreitet ist. Da die Speicher des Körpers an B_2 verhältnismäßig gering sind, ist außerdem eine tägliche Zufuhr ratsam, was die potenziell kritische Rolle von B_2 in der veganen Ernährung zusätzlich verschärft. Daher wurde eine Menge in Höhe von 100% des Tagesbedarfs für erwachsene Männer (1,4 mg) für das Multinährstoffpräparat festgelegt. Diese Dosis ist auch für Frauen nicht zu hoch angesetzt. Selbst wenn Personen das Präparat täglich einnehmen und zusätzlich größere Mengen an Champignons, Mandeln, Hefeflocken und anderen B_2-reichen Lebensmitteln essen, kann es aufgrund der Wasserlöslichkeit und der damit einhergehenden geringen Toxizität von B_2 auch langfristig nicht zu einer gesundheitlich abträglichen Überversorgung kommen.

2.4 Vitamin D

Allgemeines zu Vitamin D

Vitamin D nimmt eine Sonderstellung unter den Vitaminen ein, weil es im Grunde gar kein Vitamin, sondern ein Hormon ist.[141] Wenn Menschen sich der Sonne aussetzen, ist ihr Körper grundsätzlich in der Lage, bei ausreichend langer und intensiver Sonnenbestrahlung genügend Vitamin D zu bilden und sich damit quasi selbst zu versorgen.[142] Da Vitamine per Definition aber essenziell sind und so von außen zugeführt werden müssen, wird deutlich, warum die Kategorisierung von Vitamin D als Vitamin nur bedingt passend ist. Zutreffend ist die Eingliederung in die Reihe der Vitamine allerdings in Regionen, in denen die Sonneneinstrahlung zu gering ist, damit Menschen ausreichend Vitamin D selbst produzieren können. Zusätzlich können heutzutage viele Menschen selbst in wärmeren Gebieten nicht ausreichend Vitamin D synthetisieren, weil sie entweder einen Großteil ihrer Haut mit Kleidung bedecken oder berufsbedingt die sonnenreichen Stunden des Tages in geschlossenen Räumen verbringen. In diesem Fall sind diese Menschen auf eine Zufuhr von außen angewiesen. Vitamin D ist essenziell für die Knochengesundheit, unterstützt die Immunfunktion und ist ein Regulator der Muskelkontraktion, wodurch es wichtig für die Muskelkraft und die neuromuskuläre Koordination ist.[143] Untersuchungen zeigen, dass es kaum Unterschiede im Vitamin-D-Status zwischen vegetarisch-veganen und mischköstlich essenden Menschen gibt.[144] Dies liegt daran, dass nur maximal 10–20% des Vitamin-D-Bedarfs über die Ernährung gedeckt werden und die restlichen 80–90% über die Eigenproduktion bei Sonneneinstrahlung.[145] Daher ist der wichtigste Faktor nicht, wie viele tierische Produkte man konsumiert, sondern wie viel man sich der Sonne aussetzt oder bei fehlender Sonneneinstrahlung supplementiert.

Bedarf & Zufuhrempfehlungen

Sollten Personen nicht ausreichend Sonnenschein bekommen können, stellt eine Supplementierung mit Vitamin D die nächstbeste Alternative dar. Es besteht mittlerweile unter vielen Wissenschaftlern ein Konsens darüber, dass die offiziellen Zufuhrempfehlungen an Vitamin D von Ernährungsfachgesellschaften zu gering sind.[146,147] Die alternativen Zufuhrempfehlungen anhand der Summe der veröffentlichten klinischen Studien zum Erreichen optimaler 25-Hydroxy-Vitamin-D-Spiegel (25-OH-D) liegen je nach Altersgruppe zwischen 1,5–6-mal höher als die D-A-CH-Referenzwerte oder die Empfehlungen des Institute of Medicine.[148] Die D-A-CH-Referenzwerte empfehlen 800 Internationale Einheiten (IE)[149] pro Tag und das IOM aus den USA sogar nur 600 IE.[150]

Internationale Einheiten (IE) können zu Mikrogramm (µg) umgerechnet werden, indem sie durch 40 dividiert werden. Umgekehrt können µg zu IE umgerechnet werden, indem sie mit 40 multipliziert werden. Erwachsenen (unabhängig vom Geschlecht) wird in einer Reihe von Publikationen eine Zufuhr in Höhe von mindestens 2.000 IE pro Tag empfohlen.[151,152,152.2] Diese Dosis ist mehr als doppelt so hoch wie jene der D-A-CH-Referenzwerte, jedoch belegen die zuvor genannten Veröffentlichungen deren Sicherheit. Außerdem wurde in einer weiteren Untersuchung gezeigt, dass der Vitamin-D-Spiegel auch bei bereits gut versorgten Individuen (Vitamin-D-Spiegel über 80 nmol/l) bei einer täglichen Gabe von 2.000 IE bei fortlaufender Zufuhr nicht über 115 nmol/l anstieg und damit nicht in den Bereich der Überversorgung gelangt.[153]
Manche Erwachsene werden im Gegenteil sogar noch etwas höhere Dosen benötigen, um im Optimalbereich zu landen. Ein Weg zur individualisierten Berechnung der Vitamin-D-Zufuhr für Erwachsene auf Basis des Körpergewichts stellt die Zufuhr von 40–60 IE Vitamin D pro Kilogramm Körpergewicht dar.[154] Dieser Richtwert gilt allerdings nur für Personen mit Normalgewicht. Mithilfe dieser Berechnungsgrundlage wäre die Zufuhrempfehlung für eine 60 kg schwere Beispielperson 2.400–3.600 IE pro Tag. Diese Werte liegen weit unter einer toxischen Zufuhrmenge und können von gesunden Erwachsenen auch ohne engmaschige Kontrolle der Laborwerte auf Dauer eingenommen werden.[155] Vitamin D sollte dabei stets gemeinsam mit einer fetthaltigen Mahlzeit zugeführt werden, um so die Absorptionsrate des fettlöslichen Vitamins zu unterstützen.[156]
Eine weitere Frage in Bezug auf die Supplementierung mit Vitamin D ist neben der Höhe der Tageszufuhr und der optimalen Serumkonzentration auch die Frage nach der Art der Darreichungsform. Im Grunde wird zwischen zwei Arten von Vitamin D unterschieden: Vitamin D_2 (Ergocalciferol) und Vitamin D_3 (Cholecalciferol).[157] Präparate mit D_2 sind immer vegan, wohingegen Präparate mit Vitamin D_3 dies nicht zwingend sind. Vitamin D_3 wurde ursprünglich zumeist aus Schafswolle gewonnen.[158] Mittlerweile gibt es aber auch vegane D_3-Rohstoffe, die aus Flechten oder Algen gewonnen werden.
Beide Arten sind wirksam und in einigen Untersuchungen konnte darüber hinaus bei täglicher Gabe kein deutlicher Unterschied in der Wirksamkeit der beiden Formen gezeigt werden. So waren in einem Test Vitamin-D-Dosen in Höhe von 1.000 IE in Form von entweder D_2, D_3 oder einer 50/50-Kombination bei täglicher Einnahme gleich wirksam.[159] Eine Hypothese lautet, dass D_3 aufgrund seiner längeren Halbwertszeit lediglich bei wesentlich höheren Zufuhrmengen und damit zeitlich größeren Abständen der Einnahme besser als D_2 wirkt. Wenn eine Person also anstatt einer täglichen Supplementierung nur wöchentlich oder in noch selteneren Abständen supplementiert und dafür zur Kompensation mit höheren Vitamin-D-Dosen arbeitet, dann scheint es einen Unterschied zu machen, welche Form von Vitamin D verwendet wird. Eine Metaanalyse kommt zum Ergebnis, dass D_3 im Durchschnitt zu einem rascheren Anstieg des 25-OH-D-Spiegels im Vergleich zu D_2 führt.[160] Daher raten diese und weitere Veröffentlichungen zur Verwendung von D_3.[161]

Tolerable Upper Intake Level & Symptome bei Überversorgung

Die Symptome einer toxischen Vitamin-D-Überversorgung sind sehr unspezifisch und reichen von Appetitlosigkeit über Gewichtsverlust und krankhaft erhöhte Urinausscheidung (Polyurie) bis hin zu Herz-Rhythmus-Störungen.[162] Da Vitamin D die Kalziumabsorption im Dünndarm reguliert, kann eine zu hohe Zufuhr von Vitamin D zu unphysiologisch hohen Konzentrationen an Kalzium im Blut führen, was wiederum das Risiko für Herz- und Nierenerkrankungen erhöht.[163] Zu viel Sonneneinstrahlung kann zwar nicht zu einer Überproduktion an Vitamin D führen,[164] aber ein Übermaß an Sonne kann die Entstehung und das Voranschreiten unterschiedlicher Arten von Hautkrebs begünstigen.[165]

Das Tolerable Upper Intake Level, also der Richtwert für die tägliche Maximalzufuhr an Vitamin D bei langfristiger Einnahme, unterscheidet sich ebenfalls von Quelle zu Quelle und wird von den Fachgesellschaften deutlich geringer als von einigen anderen wissenschaftlichen Veröffentlichungen angesetzt. Daher fürchten einige Wissenschaftler, dass durch diese zu geringen Maximalwerte der Fachgesellschaften nicht die optimalen Präventions- und Therapieerfolge erreicht werden können, wenn sich behandelnde Ärzte an diese Vorgaben halten. Die European Food Safety Authority hat die Grenzwerte für die tägliche Zufuhr in Form von Vitamin D auf 4.000 IE für erwachsene Personen festgelegt.[166] Auch in den USA wird das Tolerable Upper Intake Level für Erwachsene auf 4.000 IE gelegt.[167] Eine Reihe von Veröffentlichungen sieht das UL aber erst bei einer Zufuhr von mehr als 10.000 IE.[168,169,170]

Eigensynthese & Vorkommen in der Ernährung

Bereits einige Minuten pro Tag an der Sommersonne zur Mittagszeit liefern den meisten Menschen ein Vielfaches der Vitamin-D-Menge, die man in gängigen Lebensmitteln findet. 10 Minuten in der Sommersonne zur Mittagszeit können bei ausreichend großer Exposition der Haut gegenüber der Sonne ganze 4.000–10.000 IE Vitamin D liefern.[171]

In weniger sonnenreichen Monaten kann die Vitamin-D-Synthese allerdings nur eingeschränkt funktionieren, da die Strahlung zu schwach ist. Die durchschnittliche Stärke der Sonneneinstrahlung in jedem der Kalendermonate wird dabei mit dem sogenannten UV-Index beziffert. Erst ein UV-Index von 3 oder mehr steht für eine Sonneneinstrahlung, die im Durchschnitt stark genug ist, um eine ausreichende körpereigene Vitamin-D-Synthese zu ermöglichen.[172] Um den vollen Nutzen aus der Sonneneinstrahlung für die Vitamin-D-Produktion zu ziehen, müsste die Sonnenexposition in Monaten mit einem UV-Index von 3 oder höher in der Zeit von 10 bis 15 Uhr stattfinden. In Berlin ist die UV-Strahlung beispielsweise im Durchschnitt nur sechs Monate und in Wien sieben Monate pro Jahr stark genug, damit Menschen an der Mittagssonne überhaupt ausreichend Vitamin D produzieren könnten, während die Strahlung in Los Angeles in elf Monaten im Jahr stark genug ist.[173] Je länger die Wintermonate in einem Land andauern, desto höher ist auch die Gefahr eines Vitamin-D-Mangels.

Die Nahrungsmittelauswahl an Vitamin-D-Lieferanten beschränkt sich bei tierischen Produkten primär auf Lebertran und einige Fische wie Heringe. In einer veganen Ernährung könnten theoretisch mit UVB-Strahlen behandelte Pilze eine exzellente Vitamin-D-Quelle darstellen.[174]

Symptome bei Unterversorgung & Mangeldiagnose

Die DGE nennt Vitamin D zwar als kritischen Nährstoff bei veganer Ernährung, allerdings betont sie in ihrem Positionspapier auch, dass Vitamin D ebenso wie Jod ein kritischer Nährstoff für die Allgemeinbevölkerung und nicht nur für Veganer ist. Laut den Daten der Nationalen Verzehrsstudie II sind etwa 82% der Männer und 91% der Frauen von einer Unterversorgung mit Vitamin D betroffen.[175] Mögliche Mangelsymptome bei einer Unterversorgung mit Vitamin D abseits der negativen Effekte auf die Knochengesundheit sind vielfältig und können unter anderem in Form von erhöhter Infektanfälligkeit, chronischer Müdigkeit, depressiven Verstimmungen, Fertilitätsstörungen und vielen weiteren Symptomen auftreten.[176] Viele wissenschaftliche Veröffentlichungen empfehlen weit höhere Referenzwerte, als von offizieller Stelle wie der DGE vorgesehen. Sie kritisieren die geringen Empfehlungen mit der Begründung, dass eine gute Vitamin-D-Versorgung nicht nur das Mindestmaß zur Prävention von Vitamin-D-Mangelerkrankungen wie Rachitis oder Osteomalazie bedeutet, sondern die optimale Bedarfsdeckung für bestmögliche Gesundheit.[177] Unter Berücksichtigung der Gesamtheit der wissenschaftlichen Daten scheint ein 25-OH-D-Referenzbereich von 75–150 nmol/l angemessen, wobei sich der Optimalbereich zwischen 100–125 nmol/l beläuft.[178,179,180] Je nach Labor können die Werte entweder in ng/ml oder nmol/l angegeben werden. Multipliziert man ng/ml mit dem Faktor 2,5, erhält man die Werte in nmol/l. Dividiert man im Umkehrschluss die Werte in nmol/l durch 2,5 erhält man die Messergebnisse in ng/ml. Wenn man den eigenen Vitamin-D-Status überprüfen und längerfristig beobachten möchte, ist es wichtig, aufgrund der teils großen Schwankungen in den Messverfahren unterschiedlicher Labore die Vitamin-D-Tests immer im selben Labor durchführen zu lassen.[181]

Ein weitestgehender Konsens besteht darüber, dass eine Serumkonzentration von unter 50 nmol/l ein Marker für eine unzureichende Versorgung ist und das Risiko für Rachitis bei Kindern und Osteomalazie bei Erwachsenen erhöht.[182] Der Referenzwert für eine adäquate Versorgung bei Erwachsenen wird erneut von mehreren Quellen unterschiedlich definiert, kann aber auf etwa 75–150 nmol/l festgelegt werden.[183] Obwohl ein großer Teil der Veröffentlichungen diesen Bereich als vollkommen sicher ansieht, warnen manche Institutionen wie die National Institutes of Health (NIH) in ihren Veröffentlichungen vor Serumkonzentrationen von mehr als 125 nmol/l und sehen besonders ab einem Wert von 150 nmol/l eine gesundheitliche Gefahr.[184]

Daher wurde der Optimalwert auf einen schmaleren Bereich von 100–125 nmol/l gesetzt. Dieser Serumwert wird von allen Veröffentlichungen als sicher und ausreichend angesehen und gibt dennoch Raum für eine leicht darunter oder darüber liegende Konzentration. 150 nmol/l ist auch der maximale Serumwert, den man in den meisten Fällen durch Sonneneinstrahlung erreichen kann.[185] Bei „natürlich“ lebenden Völkern wie den Massai und den Hadza, die große Teile des Tages im Freien verbringen, betrugen die Serumkonzentrationen unabhängig von Alter, Geschlecht oder Körpergewicht durchschnittlich etwa 115 nmol/l.[186] Frauen geben darüber hinaus auch erst in etwa mit diesem Serumwert Muttermilch mit optimalem Vitamin-D-Gehalt, um den Säugling ohne Nahrungs-ergänzungsmittel zu versorgen.[187] Dies spricht zusätzlich für einen Optimalwert in dieser Größenordnung.
Die Toxizitätsgrenze für Vitamin D ist zwar nicht eindeutig geklärt, aber sie liegt vermutlich im Bereich zwischen 350 nmol/l[188] und 400 nmol/l.[189] Daher wird in einigen Veröffentlichungen von einem mittleren Grenzwert von etwa 375 nmol/l ausgegangen.[190] Da Vitamin D als fettlösliches Vitamin im Körper gespeichert werden kann, ist es wichtig, die Zufuhrmenge nicht unbedacht hoch zu wählen, da Vitamin D im Gegensatz zu wasserlöslichen Vitaminen in hohen Dosen gesundheitlich abträglich wirken kann.

Gründe für die Inklusion in das vegane Multinährstoffpräparat
Da Vitamin D ein kritischer Nährstoff für die Gesamtbevölkerung und ebenso für vegan lebende Menschen ist, (pflanzliche) Nahrungsmittel in Deutschland unzureichend mit Vitamin D angereichert, UVB-bestrahlte Pilze nicht gängig und die sonnenreichen Tage im Jahr kurz sind und Menschen zu wenig Zeit an der Sonne verbringen, profitieren Menschen in großem Maße von einer Nahrungsergänzung mit Vitamin D. Da die körpereigene Synthese über Sonneneinstrahlung kompensatorisch zur Mehrzufuhr über Nahrungsergänzungsmittel abnimmt, kann es auch bei durchgehender Einnahme des Multinährstoffpräparats während der Sommermonate nicht zu einer abträglichen Überversorgung mit Vitamin D kommen. Eine Dosishöhe von 2.000–3.000 IE wäre eine angemessene Tagesdosis, aber leider ist eine Inklusion von mehr als 1.000 IE Vitamin D für in Deutschland produzierte Multinährstoffe gesetzlich nicht zulässig. Daher wurde die höchstmögliche zugelassene Dosis in Höhe von 1.000 IE je Tagesportion inkludiert. Diese schließt einen Vitamin-D-Mangel aus und kann bei Bedarf um zusätzliche 1.000–2.000 IE ergänzt werden. Auch wenn nicht alle Studien eindeutige Vorteile von Vitamin D_3 im Vergleich zu D_2 ergeben wurde, um auf Nummer sicher zu gehen, veganes Vitamin D_3 als Markenrohstoff Vitashine™ gewählt.

2.5 Vitamin K

Allgemeines zu Vitamin K

Unter dem Begriff Vitamin K werden von Seiten der Ernährungsfachgesellschaften verschiedene strukturell ähnliche Moleküle zusammengefasst. Die beiden relevantesten sind Vitamin K_1 (Phyllochinon) und Vitamin K_2 (Menachinon). Eine der Hauptfunktionen von Vitamin K liegt in seinem wichtigen Einfluss auf die Blutgerinnung, die ohne eine ausreichende Vitamin-K-Zufuhr gestört ist. Daher bekam das Vitamin bei seiner Benennung auch den Buchstaben „K" für Koagulation (= Gerinnung).[191] In einer Reihe von wissenschaftlichen Veröffentlichungen wird eine kombinierte Zufuhr von D_3 und K_2 empfohlen, da diese synergetisch auf den Aufbau von Knochensubstanz wirken.[192,193] Vitamin K_2 könnte zudem helfen, das befürchtete Auftreten von Gefäßverkalkungen durch höhere Dosen an Kalzium zu vermeiden und so das Risiko für Herzerkrankungen zu senken.[194,195] Somit könnten die Vorteile höherer Kalzium- und Vitamin-D-Zufuhren ohne deren potenziell negative Wirkungen genutzt werden. Darüber hinaus wird eine positive Wirkung von Vitamin K_2 auf die Krankheitsentstehung von Stoffwechselerkrankungen wie Diabetes mellitus Typ II und gewisse kanzerogene Erkrankungen in der Literatur beschrieben.[196]

Bedarf & Zufuhrempfehlungen

Führende Ernährungsfachgesellschaften haben bei den Zufuhrempfehlungen für Vitamin K keine Unterscheidung zwischen K_1 und K_2 vorgenommen, obwohl diese auf sehr unterschiedliche Weise wirken können.[197] Aktuell werden in den USA 120 µg Vitamin K (Ohne Differenzierung zwischen K_1 und K_2) für Männer und 90 µg Vitamin K für Frauen empfohlen. In Deutschland werden geringere Dosen in Höhe von 70 µg für Männer und 60 µg für Frauen empfohlen.[198] Anhand der äußerst begrenzten Datenlage leiten sich Richtwerte für Vitamin K_2 in Höhe von 25% der Vitamin-K-Gesamtzufuhr ab.[199] Die EFSA spricht von einer Standarddosis von Vitamin K_2 in Höhe von 50 µg für Erwachsene bei der Verwendung eines Nahrungsergänzungsmittels.[200] Wenn man sich für eine Supplementierung mit K_2 entscheidet, sollte man darauf achten, dass man nicht Mk-7 in der cis-Form, sondern in der Trans-Form erwirbt, weil dieses optimal biologisch aktiv ist.[201] Was man also möchte, ist ein K_2-Präparat mit der Bezeichnung „All-Trans Vitamin K_2 Mk-7".[202] Im Vergleich zu Vitamin K_1 kann K_2 (aus Lebensmitteln ebenso wie aus Nahrungsergänzungsmitteln) den Plasmaspiegel an Vitamin K zehnmal stärker erhöhen und weist eine deutlich längere Halbwertszeit auf.[203]

Tolerable Upper Intake Level & Symptome bei Überversorgung
Personen, die gerinnungshemmende Medikamente (Blutverdünner) zu sich nehmen, sollten vor der Einnahme von Vitamin K als Nahrungsergänzungsmittel oder vor der Umstellung auf eine besonders Vitamin-K-betonte Ernährung mit viel grünem Blattgemüse mit ihrer medizinischen Fachkraft sprechen, da es bereits ab einer Tagesdosis von 10 µg Vitamin K zu Wechselwirkungen mit gerinnungshemmenden Medikamenten wie Marcumar kommen kann.[204] Bei gesunden Menschen hingegen treten selbst bei sehr hohen Zufuhrmengen an Vitamin K aus der Nahrung keine negativen Effekte ein.[205] Insgesamt fehlt es auch in Bezug auf die langfristige Höchstzufuhr an Daten und so konnte weder in Europa[206] noch in den USA[207] ein spezifisches Tolerable Upper Intake Level für Vitamin K festgelegt werden.

Vorkommen in der Ernährung
Wie Tabelle 6 zeigt, sind vor allem dunkelgrüne Blattgemüse reich an Vitamin K_1. Vitamin K_2 stammt aus bakterieller Herkunft und findet sich vor allem in fermentierten tierischen und pflanzlichen Lebensmitteln wie Tabelle 7 zeigt. Unter den tierischen Quellen sind es vor allem gewisse Käsesorten, die relativ reich an K_2 sind. Eine der reichhaltigsten Quellen unter allen K_2-Lieferanten ist allerdings pflanzlich, sofern sie ohne Fischsauce hergestellt wird. Hierbei handelt es sich um sogenanntes Nattō, das aus fermentierten Sojabohnen mithilfe des Bakteriums *Bacillus subtilis natto* produziert wird. Nattō enthält bis zu 1.000 µg MK-7 in hochgradig bioverfügbarer Form pro 100 g.[208]

Tab. 6: Vitamin-K_1-Gehalt ausgewählter pflanzlicher Lebensmittel [209]

Nahrungsmittel	Vitamin-K_1-Gehalt in µg /100g
Blattkohl	706
Rübstiel	568
Rosenkohl	177
Brokkoli	147
Grünkohl	75
Sojabohnen (geröstet)	57
Kiwi	34
Sauerkraut	22

Tab. 7: Vitamin-K_2-Gehalt ausgewählter Lebensmittel[210]

Nahrungsmittel	Vitamin-K_2-Gehalt in µg /100g
Nattō	1.000-1.200
Camembert	86
Emmentaler	43
Roquefort	38
Rinderleber	11
Hühnerfleisch	10
Sauerkraut	5,5
Lachs	0,6

Symptome bei Unterversorgung & Mangeldiagnose

Die Vitamin-K-Versorgung von Menschen wurde in vielen Untersuchungen zur Nährstoffversorgung der Bevölkerung bzw. gewisser Bevölkerungsgruppen nicht erfasst.[211,212,213] Daher lässt sich die Versorgungssituation der Allgemeinbevölkerung sowie der veganen Bevölkerung im Speziellen nur unzureichend einschätzen. Erschwerend kommt hinzu, dass sich im Vergleich zu anderen fettlöslichen Vitaminen stets nur relativ wenig Vitamin K (vor allem K_1) in der Blutbahn befindet, da Vitamin K im Körper rasch verstoffwechselt und ausgeschieden wird.[214] Dieser Umstand erschwert eine genaue Beurteilung des Versorgungsstatus. In gesunden Individuen finden sich Vitamin-K-Plasmawerte im Nüchternzustand mit großen Schwankungen in Höhe von 0,29 bis 2,64 nmol/l.[215] Bis heute ist aber nicht geklärt, wie aussagekräftig dieser Parameter überhaupt ist. Denn auch Personen, die unter diesen Werten lagen, zeigten noch keine erkennbaren Vitamin-K-Mangelsymptome.[216]

Für die genaue Beurteilung der Vitamin-K_2-Versorgung existieren bis heute keine Referenzwerte zur Statusbeurteilung.[217] Der einzig klinisch relevante Marker für den Vitamin-K-Status ist der sogenannte „Quick-Wert“ (= Prothrombin Time), der als Parameter der Funktionsleistung der Blutgerinnung fungiert.[218] Jedoch verändert sich dieser Parameter erst bei sehr schweren Mangelzuständen und ist daher in der Praxis zur Früherkennung ebenfalls ungeeignet.[219] Das ist auch deshalb problematisch, weil eine Unterversorgung mit Vitamin K langfristig die Knochenmineraldichte herabsetzen und so zur Entstehung von Osteoporose beitragen kann.[220] Vor allem für vegan lebende Menschen ist dies von besonderer Bedeutung, weil sie in einer aktuellen Metaanalyse im Vergleich zur mischköstlichen Bevölkerung eine niedrigere Knochenmineraldichte am Oberschenkelhalsknochen und der Lendenwirbelsäule aufwiesen.[221] Daher ist die Schaffung von Laborparametern und Referenzwerten zukünftig ein wichtiges Bestreben.

Gründe für die Inklusion in das vegane Multinährstoffpräparat

Vitamin K_2 hat vielversprechende Untersuchungsergebnisse vor allem in Bezug auf die Knochengesundheit erbracht, die laut aktuellen Daten bei Veganern im Vergleich zu Mischköstlern weniger gut ausfallen kann und daher gilt es, die Vitamin-K_2-Versorgung der veganen Bevölkerung sicherzustellen. Erhebungen gehen in der westlichen mischköstlichen Bevölkerung von durchschnittlichen Vitamin-K_2-Zufuhren in Höhe von 36–54 µg pro Tag aus. Zumindest eine Zufuhr in dieser Höhe sollte in der veganen Ernährung gewährleistet werden. Da vegan lebende Menschen nicht auf regelmäßiger Basis Nattō als pflanzliche K_2-Quelle zuführen, wurden 50 µg (wie es auch die EFSA empfiehlt) einer All-Trans-Vitamin-K_2-Mk-7-Form als Markenrohstoff K2VITAL® DELTA von Kappa Bioscience zum Multinährstoffpräparat hinzugefügt.

2.6 Kalzium

Allgemeines zu Kalzium

Kalzium ist mengenmäßig der bedeutendste Mineralstoff im menschlichen Organismus und wird zu 99% in den Zähnen und Knochen gespeichert.[222] Lediglich das letzte Prozent befindet sich außerhalb des Skeletts und der Zähne und erfüllt auch dort wichtige Aufgaben. Neben seiner großen Bedeutung für die Knochengesundheit hat eine gute Kalziumversorgung einen wichtigen Einfluss auf die Muskulatur bzw. die Muskelkontraktion, auf die Reizübertragung im Nervensystem, die Blutgerinnung, die Stabilisierung der Zellmembran und eine Reihe weiterer Vorgänge im Körper.[223] Eine gute Kalzium- und Vitamin-D-Versorgung von Kindesbeinen an gepaart mit regelmäßiger körperlicher Betätigung während des gesamten Lebens sind die Hauptsäulen der Knochengesundheit, aber auch eine Reihe weiterer Nährstoffe spielen hierfür eine wichtige Rolle.[224] Die Bedeutung von Kalzium für die Knochengesundheit gilt als gesichert. Der genaue Kalziumbedarf, ebenso wie der Einflussgrad all der anderen Nährstoffe und Lebensstilinterventionen auf die Knochengesundheit, ist jedoch noch nicht abschließend geklärt.

Bedarf & Zufuhrempfehlungen

Wie viel Kalzium ein Mensch vor allem im Erwachsenenalter tatsächlich benötigt, ist ein Thema, bei dem sich die Geister scheiden. Sowohl die Expertenmeinungen als auch die Empfehlungen der Fachgesellschaften gehen diesbezüglich weit auseinander. Die offiziellen Empfehlungen der Fachgesellschaften der D-A-CH-Staaten[225] ebenso wie der USA[226] lauten für Erwachsene 1.000 mg pro Tag. Die British Dietetic Association (BDA)[227] ebenso wie der britische National Health Service (NHS)[228] empfehlen hingegen allen Erwachsenen ab dem 19. Lebensjahr unabhängig vom Geschlecht lediglich eine Kalziumzufuhr in Höhe von 700 mg/Tag. Kritik an der gesamten Herangehensweise der Bedarfsberechnung äußert auch der renommierte Epidemiologe Dr. Walter Willett, der bei einer Vielzahl von Untersuchungen zu den Zusammenhängen von Kalzium, Milchzufuhr und der Knochengesundheit mitgewirkt hat. Er weist darauf hin, dass die Zufuhrempfehlungen von Mineralstoffen in den allermeisten Fällen auf Untersuchungen aufbauen, die zu kurzfristig angelegt waren, um die Adaptionen des Organismus ausreichend mit einberechnen zu können.[229] In vielen Fällen wurde in Bezug auf die Bestimmung der Mineralstoffabsorptionsrate bei veganer Ernährung auch zu wenig Fokus auf die Optimierung der Bioverfügbarkeit durch aufnahmefördernde Stoffe gelegt.

Die durchschnittliche Bioverfügbarkeit von Kalzium aus einer mischköstlichen Ernährung wird mit 30–50% angegeben und wurde bei der Kalkulation der Zufuhrempfehlungen bereits mit eingerechnet.[230] Kalzium profitiert wie andere Mineralstoffe auch von einer Reihe an absorptionsfördernden Stoffen, die die Kalziumaufnahme drastisch verbessern können. Dazu gehören Vitamin D,[231] Nahrungsprotein[232] sowie gewisse präbiotisch wirkende Ballaststoffe wie zum Beispiel Inulin.[233] Darüber hinaus erhöhen alle Techniken zur Reduzierung der Phytinsäurekonzentration in Lebensmitteln wie Einweichen, Keimen, Kochen und Fermentieren indirekt die Kalziumabsorption.[234] Es ist schwierig, genaue Angaben über den Mindestbedarf an Kalzium festzulegen. Das liegt zum einen daran, dass eine Unterversorgung mit Kalzium anhand von Bluttests nicht klar bestimmbar ist und andere Bestimmungsmethoden ebenso Schwachstellen aufweisen. Zum anderen sind die langfristigen Folgen eines Kalziummangels auf die Knochengesundheit erst spät bemerkbar und können auch von einer Vielzahl an Einflussfaktoren verstärkt oder geschmälert werden. In einer großen Kohortenstudie war eine Kalziumzufuhr von weniger als 750 mg/Tag mit einem höheren Risiko für Osteoporose und Frakturen assoziiert. Zwischen 750 und 1.100 mg/Tag waren die Unterschiede nur noch marginal und bei Personen mit einer Zufuhr über 1.100 mg pro Tag stieg das Risiko sogar.[235]
Da sowohl Kalziumbilanzstudien als auch Kohortenstudie eine ähnliche Zahl von etwa 750 mg/Tag für westliche Populationen als Mindestzufuhr ergeben haben und auch Organisationen wie die BDA ihre Empfehlungen nahe an diesen Werten anlehnen, scheint dies ein guter Orientierungswert für die tägliche Mindestzufuhr unter herkömmlichen Bedingungen im Rahmen einer ausgewogenen Ernährung zu sein.

Tolerable Upper Intake Level & Symptome bei Überversorgung
Zu hohe Kalziumzufuhren oberhalb des Tolerable Upper Intake Levels stehen unter anderem im Verdacht, das Risiko für kardiovaskuläre Erkrankungen zu erhöhen.[236] Das UL, also jene Menge, die auch bei längerer Zufuhr als ungefährlich eingeschätzt wird, liegt laut der European Food Safety Authority bei erwachsenen Menschen unabhängig von Geschlecht und Alter bei 2.500 mg/Tag.[237] Dasselbe Maximum gilt auch in den USA.[238] Um das Risiko einer insgesamt zu hohen Kalziumzufuhr zu reduzieren, sollten Kalziumsupplemente maximal 500 mg Kalzium pro Tag enthalten und bei mangelnder Eigensynthese an Vitamin D infolge eines Sonnenmangels mit Vitamin-D_3 und (vor allem bei veganer Ernährung) Vitamin-K_2 ergänzt werden.[239]

Vorkommen in der Ernährung

In der mischköstlichen und vegetarischen Ernährung sind Milch und Milchprodukte die relevantesten Kalziumlieferanten. Diese fallen in einer veganen Ernährungsweise weg und daher gilt es, adäquate Ersatzquellen für Kalzium zu finden. Tabelle 8 zeigt eine Reihe an guten pflanzlichen Kalziumquellen:

Tab. 8: Kalzium-Gehalt ausgewählter pflanzlicher Lebensmittel[240]

Lebensmittel	Kalziumgehalt in mg /100g
Sesam	783
Brennnessel	713
Chiasamen	631
Kalziumreiches Mineralwasser (1L)	500
Mandeln	252
Haselnüsse	225
Grünkohl	212
Leinsamen	198
Tofu (mit Kalziumsulfat)	185
Rucola	160
Pistazien	136
Pflanzenmilch (angereichert)	120
Kohlrabi	59
Brokkoli	58

Vor allem durch den regelmäßigen Verzehr von angereicherten Pflanzendrinks kann ein wichtiger Teil zur Kalziumversorgung in der veganen Ernährung beigetragen werden. Aber auch kalziumreiche Mineralwässer, mit Kalziumsulfat hergestellter Tofu (anstelle von Nigari als Gerinnungsmittel) und Samen wie Sesam- und Chiasamen sind exzellente Kalziumlieferanten. Darüber hinaus sind einige Wildkräuter wie Brennnessel überaus reich an Kalzium. Neben der absoluten Zufuhrmenge ist auch die prozentuale Absorptionsrate von Kalzium entscheidend. Generell niedrige Absorptionsraten finden sich in Pflanzen wie Spinat, Mangold und Rhabarber (ca. 5–10%), mittlere Absorptionsraten in Nüssen, Samen und Hülsenfrüchten (ca. 20–30%) und hohe Absorptionsraten in einigen Gemüsen wie Grünkohl, Brokkoli und Rucola (50–60%).[241] Obst ist insgesamt sehr kalziumarm und daher trägt es unabhängig von seiner Bioverfügbarkeit in der Regel nur in sehr geringem Maße zur Kalziumversorgung bei.

Symptome bei Unterversorgung & Mangeldiagnose
Laut der Nationalen Verzehrsstudie II liegt zwar die mediane Kalziumzufuhr in Deutschland im Rahmen der Empfehlung, aber dennoch erreichen 46% der erwachsenen Männer und 55% der erwachsenen Frauen die empfohlene Zufuhr nicht.[242] Ein langfristiger Kalziummangel schadet der Knochengesundheit, aber auch eine Reihe an anderen chronisch degenerativen Erkrankungen wird in Veröffentlichungen mit einem Kalziummangel in Verbindung gebracht.[243]
Da der Körper durch den Kalziumvorrat in den Knochen beinahe unbegrenzte Speicher zur Aufrechterhaltung der Kalzium-Plasma-Konzentration enthält, kann eine Unterversorgung nicht angemessen über die Blutwerte getestet werden.[244] Daher wird in Untersuchungen auf die Messung der Kalziumbilanz zurückgegriffen. In einer der Untersuchungen, die auch zur Festlegung der D-A-CH-Referenzwerte diente, konnte eine neutrale Kalziumbilanz als Marker für eine ausreichende Kalziumversorgung bei Erwachsenen unabhängig vom Geschlecht im Durchschnitt mit einer Zufuhr von etwa 740 mg/Tag erreicht werden.[245]

Gründe für die Inklusion in das vegane Multinährstoffpräparat
Den Kalziumbedarf rein pflanzlich zu decken, ist durchaus möglich, wenn kalziumreiche Pflanzendrinks oder andere kalziumreiche vegane Lebensmittel (z.B. kalziumreiches Mineralwasser, mit Kalziumsulfat hergestellter Tofu, Wildkräuter wie Brennnessel etc.) täglich konsumiert werden. Ansonsten ist es in vielen westlichen veganen Speiseplänen nur schwer möglich. Daher wurde aus Gründen der Sicherheit im Multinährstoffpräparat eine Menge von 120 mg Kalzium inkludiert. Diese Dosis stellt eine gewisse Grundversorgung sicher. Mehr hat in der Tagesportion von einer Kapsel auch nicht Platz, da Kalzium sehr voluminös ist.
Das Kalzium liegt als Calciumbisglycinat im Präparat vor. Dabei handelt es sich um ein sogenanntes Mineralstoff-Chelat. Chelate sind stabile Komplexe, die aus einem Zentralatom (in diesem Fall Kalzium) und Liganden (in diesem Fall Glycin) bestehen, die mit diesem Zentralatom an mindestens zwei Stellen verbunden sind. Anhand der begrenzten Datenlage lässt sich rückschließen, dass diese Bindungsform mitunter die höchste Bioverfügbarkeit unter den gängigen Mineralstoffverbindungen aufweist. Schon in den 90er Jahren zeigte eine vergleichende Untersuchung von sieben unterschiedlichen Bindungsformen, dass die Absorption von Calciumbisglycinat von allen untersuchten Formen die höchste war.[246] Ein weiterer Vorteil von Mineralstoff-Chelaten ist, dass diese im Rahmen von Multinährstoffkomplexen weniger reaktiv mit anderen Nährstoffen sind. Sie werden außerdem in Bezug auf ihre Bioverfügbarkeit weniger durch Nahrungsbestandteile wie Phytinsäure gehemmt.[247]

2.7 Eisen

Allgemeines zu Eisen

Eisen ist ein essenzieller Nährstoff für den menschlichen Organismus, der für den Sauerstofftransport im Blut, die Immunfunktion und die Gehirnfunktion von entscheidender Bedeutung ist.[249] In Relation zu ihrem höheren Energieverbrauch nahmen altsteinzeitliche Jäger und Sammler knapp 6-mal mehr Eisen als Menschen mit der heutigen, durchschnittlichen westlichen Mischkost auf. Die altsteinzeitlichen Vorfahren des heutigen Menschen nahmen auch über den Verzehr von Blut und Organen erlegter Tiere größere Mengen an Eisen auf, als es westliche, mischköstliche essende Personen heute über den Verzehr von vornehmlich Muskelfleisch ohne Blut und Organe tun. Es kann ferner davon ausgegangen werden, dass die noch nicht kultivierten Urpflanzen, die einen überwiegenden Teil ihrer Ernährung ausmachten, einen wesentlich höheren Gehalt an Eisen enthielten als heutige Kulturpflanzen.[250] Während Eisenmangel in früheren Zeiten also vermutlich kaum verbreitet war, ist dieser in der heutigen Zeit laut der WHO der weltweit häufigste Nährstoffmangel.[251] Die WHO bezeichnet Eisen zudem als einen der bedeutendsten Mangelnährstoffe in Industrieländern.[252]
Dieses Ausmaß zeigt, dass es sich bei Eisen keineswegs nur um einen kritischen Nährstoff in der veganen Ernährung handelt, sondern die Eisenversorgung in Industrienationen, vor allem bei Kindern und Schwangeren, auch im Rahmen einer Mischkost, zu kurz kommen kann. In pflanzlichen Lebensmitteln liegt Eisen zu 100% in Form von Nicht-Hämeisen vor, während in Fleisch und Fisch Eisen zu etwa 40% in Form von Hämeisen und zu etwa 60% ebenfalls in Form von Nicht-Hämeisen vorliegt.[253] Milch, Milchprodukte und Eier enthalten ebenso wie alle pflanzlichen Lebensmittel ausschließlich Nicht-Hämeisen.[254] Die Hämeisenaufnahme ist weniger abhängig vom Eisenbedarf des Körpers und gleichzeitig weniger betroffen von aufnahmehemmenden oder aufnahmefördernden Stoffen. Nicht-Hämeisen ist hingegen vom Körper in Abhängigkeit des Eisenspeichers leichter zu regulieren und wird von hemmenden Substanzen potenziell in seiner Bioverfügbarkeit eingeschränkt, ist aber auch sehr empfänglich für aufnahmefördernde Stoffe.[255]

Bedarf & Zufuhrempfehlungen

Die Höhe des Eisenbedarfs richtet sich nach dem Alter und Geschlecht und ist aufgrund des Eisenverlustes während der Menstruation bei prämenopausalen Frauen im Vergleich zu gleichaltrigen Männern erhöht. Sie reduziert sich nach der Menopause auf die Höhe gleichaltriger Männer.[256]

Ein erwachsener Mann verliert täglich im Durchschnitt etwa 1 mg Eisen und Frauen im Monatsdurchschnitt etwa 1,4 mg pro Tag.[257] Ausgehend von der durchschnittlichen Absorptionsrate bei westlicher Mischkost in Höhe von 15–18%,[258,259] einschließlich eines Sicherheitspuffers, wurden so die offiziellen Zufuhrempfehlungen für erwachsene Männer in Höhe von 10 mg und für nicht-schwangere Frauen in Höhe von 15 mg pro Tag bei Mischkost festgelegt.[260]

Organisationen wie die National Institutes of Health (NIH) empfehlen bei veganer Ernährung eine Verdoppelung der offiziellen Zufuhrempfehlungen aufgrund der potenziell geringeren Bioverfügbarkeit des Eisens aus pflanzlichen Quellen.[261] Allerdings kritisieren einige Autoren, dass die deutlich höheren Zufuhrempfehlungen für Eisen bei vegan-vegetarischer Ernährung von Seiten der NIH lediglich auf kurzzeitig angelegten Versuchen mit mischköstlichen Personen mit adäquaten Eisenspeichern beruhen und dabei nicht berücksichtigt wurde, wie sich der Organismus mittelfristig an eine veränderte Eisenzufuhr aus Pflanzen anpasst und welches Potenzial in der Aufnahmesteigerung des Nicht-Hämeisens aus Pflanzen durch diverse Substanzen liegt.[262] So wird auch in mehreren Veröffentlichungen darauf hingewiesen, dass die einst häufig geäußerte Sorge um den Eisenstatus von vegetarisch und vegan lebenden Menschen durch die exklusive Zufuhr von Nicht-Hämeisen übertrieben war und die regulierende Fähigkeit des Körpers zur Aufrechterhaltung des Eisenspeichers unterschätzt wurde.[263,264] In der Publikation „Iron and Vegetarian Diets“ schlussfolgern die Autoren darüber hinaus, dass jene Personen, die eine ausgewogene pflanzliche Ernährung verfolgen, durch den Verzehr von Vollkorngetreide, Hülsenfrüchten, Nüssen, Samen, Trockenfrüchten und dunkelgrünem Blattgemüse in der Regel kein höheres Risiko für einen Eisenmangel im Vergleich zu Mischköstlern aufweisen.[265] Eisen ist im Vergleich zu anderen Mineralstoffen wie Zink außerdem deutlich empfänglicher für eine Vielzahl an aufnahmefördernden Stoffen, welche die prozentuale Absorptionsrate um ein Vielfaches erhöhen können. Vitamin C, organische Säuren, Beta-Carotin und schwefelhaltige Substanzen können die Eisenabsorption deutlich verbessern.
In einer Untersuchung konnte eine Gabe von etwas mehr als 60 mg Vitamin C die Eisenaufnahme beinahe verdreifachen.[266] Organische Säuren wie Zitronensäure (aus Obst wie Himbeeren, Kiwis oder Erdbeeren und aus Gemüse wie Tomaten und Paprika), Apfelsäure (aus Obst wie Rhabarber, Aprikosen, Kirschen, Pflaumen, Brom- und Heidelbeeren) und Milchsäure (z.B. aus fermentierten Lebensmitteln) konnten ebenfalls eine positive Wirkung auf die Eisenaufnahme zeigen.[267] Als sehr effektiv in der Steigerung der Eisenaufnahme erwies sich außerdem der sekundäre Pflanzenstoff Beta-Carotin, der je nach Zufuhrmenge die Eisenabsorption verdoppeln bzw. verdreifachen und den hemmenden Effekt der Phytinsäure und Polyphenole kompensieren konnte.[268,269] Darüber hinaus hat sich der gleich-zeitige Verzehr von schwefelhaltigen Substanzen aus Zwiebelgewächsen wie Lauch, Knoblauch, Frühlingszwiebeln, Zwiebeln und Schnittlauch als fördernd auf die Eisenaufnahme herausgestellt.[270]

Vegan lebende Menschen führten in Untersuchungen außerdem mehr als 150% der offiziellen Zufuhrempfehlung an Eisen zu[271] und ihre Eisenversorgung kann so zusammen mit aufnahmefördernden Substanzen insgesamt als ausreichend angesehen werden. Außerdem hat der Körper für Eisen im Vergleich zu anderen Mineralstoffen wie Zink deutlich größere Speicher,[272] sodass auch ein Tag mit einer geringeren Zufuhr durch die Eisenspeicher kompensiert werden kann.

Tolerable Upper Intake Level & Symptome bei Überversorgung

Während in den USA vom Institute of Medicine ein Tolerable Upper Intake Level für Eisen in Höhe von 45 mg pro Tag festgesetzt wurde,[273] schlussfolgerte die European Food Safety Authority, dass die wissenschaftlichen Daten zur Festlegung eines ULs nicht ausreichen.[274] Auch laut dem Bundesinstituts für Risikobewertung (BfR) sollte aufgrund der schwer einzuschätzenden Langzeitrisiken einer erhöhten Eisenzufuhr kein UL für Eisen festgesetzt werden. Vielmehr sollte es laut dem BfR das Ziel sein nur so viel Eisen über die Nahrung aufzunehmen, wie es die Tageszufuhrempfehlung für die jeweilige Gruppe vorgibt.[275] Da Eisen nicht effektiv ausgeschieden werden kann,[276] sind vor allem erwachsene Männer im höheren Alter und postmenopausale Frauen sowie Personen mit Erkrankungen wie der vererbten oder erworbenen Hämochromatose (Eisenspeicherkrankheit) als Risikogruppe einer Eisenüberladung bei hoher Zufuhr an (Häm-)Eisen anzusehen. Das BfR betont, dass nach wie vor auch nicht auszuschließen ist, dass bei einer dauerhaft erhöhten Zufuhr von Eisen das Risiko für die Entstehung von Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Krebs und Diabetes mellitus Typ II steigt.[277] Da vegan lebende Menschen im Durchschnitt geringere Eisenwerte als Mischköstler aufweisen (auch wenn die Raten an manifesten Eisenmängeln vergleichbar sind)[278] und Fachgesellschaften eine höhere Eisenzufuhr für vegan lebende Menschen empfehlen (und die DGE Eisen als potenziellen Mangelnährstoff in der veganen Ernährung benennt),[279] kann eine Eisensupplementierung in moderater Dosis bei veganer Kost im Gegensatz zur Mischkost durchaus sinnvoll sein.

Vorkommen in der Ernährung

In der Mischkost zählen neben rotem Fleisch vor allem Organe und Blutwurst als dicht konzentrierte Eisenquellen. Auch Eigelb ist reich an Eisen, wohingegen Milchprodukte verhältnismäßig arm an Eisen sind. In der pflanzlichen Ernährung finden sich eine Reihe an sehr eisenhaltigen Samen wie Kürbiskerne, Sesam, Hanf- und Leinsamen. Auch einige Nüsse wie Pistazien, Mandeln und Haselnüsse liefern recht große Mengen an Eisen. Unter allen Getreiden sind Haferflocken die mit Abstand eisenreichsten. Ein weiterer guter Eisenlieferant sind getrocknete Aprikosen (Marillen), die für ein Obst verhältnismäßig viel Eisen liefern. Pseudogetreide wie Hirse, Amaranth und Quinoa sind ebenso wie die meisten Hülsenfrüchte (allen voran Sojabohnen) gute Eisenlieferanten. Tabelle 9 zeigt einige der besten pflanzlichen Eisenlieferanten.

Tab. 9: Eisengehalt ausgewählter pflanzlicher Lebensmittel[280,281]

Lebensmittel	Eisengehalt in mg/100 g
Kürbiskerne	12,5
Sesam	10
Hanfsamen	9,6
Leinsamen	8,2
Pistazien	7,3
Haferflocken	5,8
Aprikosen (getrocknet)	4,4
Mandeln	4,1
Haselnüsse	3,8
Tofu	3,7
Amaranth	3,6
Linsen (gekocht)	3,6
Spinat	3,4
Schwarzwurzel	3,3

Symptome bei Unterversorgung & Mangeldiagnose

In einer vergleichenden Untersuchung aus der Schweiz war die Eisenzufuhr in der Gruppe der Veganer zwar durchschnittlich höher als in der Gruppe der Vegetarier und der Mischköstler, aber dennoch hatten zumindest in dieser Untersuchung die Mischköstler etwas höhere Eisenspiegel.[282] Relevante Eisenmängel waren hingegen in allen drei Gruppen ähnlich ausgeprägt. Auch in einer weiteren Untersuchung mit langjährigen Vegetarierinnen, die im Durchschnitt 92% ihres Eisens aus Pflanzen aufnahmen (und als Vegetarierinnen gar kein Hämeisen konsumierten), waren bei allen 56 Frauen (davon auch neun Veganerinnen) die Eisenwerte adäquat.[283]

In der Deutschen Veganstudie waren hingegen 40% der unter 50-jährigen Frauen und 12% der über 50-jährigen Frauen von Eisenmängeln betroffen und eine Handvoll von ihnen litt unter einer manifesten Eisenmangelanämie.[284] Zu den Symptomen eines Eisenmangels zählen unter anderem eine herabgesetzte Leistungsfähigkeit, vermehrte Abgeschlagenheit, ein geschwächtes Immunsystem und Einschränkungen der kognitiven Fähigkeiten.[285] Die Zufuhrempfehlungen der Fachgesellschaften wurden mit dem Ziel festgelegt, einen Serum-Ferritin-Spiegel in Höhe von mindestens 15 µg/l (= 15 ng/ml) zu erzielen.[286] Ein Serum-Ferritin-Wert darunter wird in einigen Publikationen als Grenzwert zur Diagnose eines Eisenmangels angesetzt,[287,288] während andere Publikationen den Grenzwert des Eisenmangels bereits bei 30 µg/l (= 30 ng/ml)[289,290] ansetzen. Der Laborwert Serum Ferritin (SF) ist der gängigste Marker zur Überprüfung der Eisenversorgung.[291]

Der Serum-Ferritin-Wert liefert allerdings nur bei gesunden Menschen einen guten Indikator zur Beurteilung der Eisenversorgung, da er bei entzündlichen Erkrankungen leicht verfälscht werden kann. Weitere relevante Marker zur Beurteilung der Eisenversorgung sind darüber hinaus das Transferrin bzw. die Transferrin-Sättigung sowie der lösliche Transferrin-Rezeptor (sTfR). Letzterer gibt auch trotz vorhandener Entzündungen gute Auskunft über den Eisenspiegel und ist im Krankheitsfall ein verlässlicherer Biomarker.[292]

Gründe für die Inklusion in das vegane Multinährstoffpräparat

Auch wenn Institutionen wie das Bundesinstitut für Risikobewertung von einer standardmäßigen Eisensupplementierung in der mischköstlichen Allgemeinbevölkerung abraten, bedeutet dies nicht zwingend, dass dies auch für die vegan lebende Bevölkerung gilt.[293] Trotz der Aussicht auf mittel- bis langfristige Adaption an eine exklusive Nicht-Hämeisen-Zufuhr aus Pflanzen und eine quantitativ hohe Eisenzufuhr im Rahmen einer vollwertigen veganen Ernährung weisen Veganer im Durchschnitt dennoch niedrigere Eisenwerte als Mischköstler auf. Da auch Fachgesellschaften wie die DGE Eisen als potenziellen Mangelnährstoff in der veganen Ernährung ansehen, wurde aus Gründen der Sicherheit eine moderate Eisenmenge von 6 mg in Form von Eisenbisglycinat als Markenrohstoff Ferrochel® zum Multinährstoff beigegeben. Eisenbisglycinat wurde aus mehreren Gründen gewählt. Zum einen ist diese Eisenverbindung weniger anfällig für die mineralstoffabsorptionsmindernde Wirkung von Phytaten im Nahrungsbrei.[294] Zum anderen weist Eisenbisglycinat eine bessere Verträglichkeit als viele andere Eisenverbindungen auf.[295,296] Darüber hinaus ist es mitunter eine der Eisenverbindungen mit der besten Bioverfügbarkeit[297,298,299] und führt beispielsweise im Vergleich zur Gabe von Eisensulfat mit nur einem Viertel der Dosis zu denselben Serumwerten.[300]

2.8 Zink

Allgemeines zu Zink

Zink ist Bestandteil von mehr als 300 Enzymen und ist damit in mehr Enzymsystemen involviert als alle anderen Spurenelemente zusammen.[301] Zink ist nach Eisen das zweithäufigste Spurenelement im menschlichen Körper.[302] Es befindet sich zu etwa 60% in der Muskulatur, zu 30% in den Knochen und zu 10% in anderen Gewebsstrukturen wie den Augen, Prostata, Hoden, Leber, Haut und Haaren. Nur weniger als 1% des Gesamtbestandes an Zink befindet sich im menschlichen Blut.[303] Dieser Umstand führt dazu, dass Bluttests zur Zinkbestimmung nur recht ungenaue Biomarker darstellen, die eine exakte Einschätzung der Zinkversorgung in der Bevölkerung erschweren.[304]

Bedarf & Zufuhrempfehlungen

Eine gut geplante, vollwertige vegane Ernährung kann grundsätzlich den Zinkbedarf in allen Lebensphasen decken,[305] aber dennoch sollte vor allem bei erhöhtem Nährstoffbedarf, wie es in der Schwangerschaft, der Stillzeit und im Kindesalter der Fall ist, ein besonderes Augenmerk auf eine adäquate Zinkzufuhr gelegt werden. Im Gegensatz zu anderen Mineralstoffen wie Eisen sind die Zinkspeicher des Körpers relativ klein und so sind Menschen auf eine kontinuierliche Zinkzufuhr über die Nahrung angewiesen.[306]

Die Frage ist aber nicht nur, ob das Spurenelement auf regelmäßiger Basis mengenmäßig ausreichend zugeführt wird, sondern auch, ob die Bioverfügbarkeit hoch genug ist, damit ausreichende Mengen des Zinks im Körper absorbiert werden können. Die Bioverfügbarkeit von Zink aus pflanzlichen Lebensmitteln ist vor allem aufgrund deren Gehalts an Phytinsäure geringer als bei Zink aus tierischen Quellen. Wie auch bei anderen Mineralstoffen ist die Phytinsäure der bedeutendste aufnahmehemmende Stoff in der pflanzlichen Ernährung, der die Absorption von Nahrungszink in relevantem Maße hemmen kann.[307] Auch die gleichzeitige Zufuhr von Polyphenolen, wie sie unter anderem in Kaffee, Tee und Kakao vorkommen, ist zwar gesund, wirkt aber ebenso wie beim Eisen hemmend auf die Aufnahme.[308] Darüber hinaus sollten hoch dosierte Eisenpräparate nicht zeitgleich zu zinkhaltigen Mahlzeiten eingenommen werden, um die Zinkaufnahme nicht zu hemmen. Eisenkonzentrationen in physiologischen Dosen, wie sie auch in Nahrungsmitteln oder im veganen Präparat vorkommen, stellen aber kein Problem dar.[309] Aufnahmesteigernd wirken einige organische Säuren wie Zitronensäure (in Obst und Gemüse), Apfelsäure (in Obst) und Milchsäure

(z.B. aus fermentierten Lebensmitteln wie Sauerkraut).[310] Auch die schwefelhaltigen Substanzen in Zwiebelgewächsen wie Zwiebeln und Knoblauch unterstützen die Aufnahme von Zink.[311] Generalisierend kann außerdem festgehalten werden, dass grundsätzlich eine hohe Proteinzufuhr die Zinkaufnahme verbessern kann.[312] Vor allem die Aminosäuren Histidin, Methionin und Cystein haben sich als aufnahmefördernd in Bezug auf Zink herausgestellt.[313] Durch den Abbau von Phytinsäure und die Vermeidung der gleichzeitigen Zufuhr von polyphenolreichen Getränken kann eine Bioverfügbarkeit in pflanzlichen Lebensmitteln erreicht werden, die jener in der Mischkost ebenbürtig ist. In diesem Fall würden dieselben Richtwerte für die Zinkzufuhr einer phytinsäurearmen Mischkost auch für die Zinkzufuhr der veganen Ernährung gelten, in der die Phytinsäure durch die richtige Verarbeitung oder Zubereitung stark reduziert wurde. Für mischköstliche westliche Ernährungsweisen empfiehlt die DGE 11 mg Zink für Männer und 7 mg Zink für Frauen pro Tag.[314] In einer vollwertigen vegetarisch-veganen Ernährungsweise empfiehlt die DGE hingegen aufgrund des höheren Phytinsäuregehalts ganze 16 mg für Männer und 10 mg für Frauen.[315] Auch in den USA wird vom Institute of Medicine eine 50-prozentige Erhöhung der Zinkzufuhr bei vegetarisch-veganer Kost empfohlen.[316] Allerdings trifft ein Großteil der Einwände hinsichtlich der erhöhten Eisenzufuhrempfehlung auch auf die erhöhte Zinkzufuhrempfehlung zu: Aufgrund der Anpassung des Organismus an die herabgesetzte Bioverfügbarkeit durch Phytinsäure scheint eine starke Kompensation stattzufinden. In der Frage nach der optimalen Zinkzufuhr darf erneut nicht von Kurzzeitexperimenten mit gut versorgten Mischköstlern ohne ausreichenden Zeitraum zur Anpassung auf die Langzeitversorgung von Vegetariern und Veganern geschlossen werden. Wie länger andauernde Experimente mit unterschiedlich hohen Zinkzufuhren zeigten, steigerten Individuen bei einer zinkarmen Kost ihre Aufnahme um ein Vielfaches und bei den geringsten Zufuhrmengen beobachteten die Wissenschaftler eine Zinkabsorption von über 90%.[317] In der Untersuchung konnten große Absorptionssteigerungen allerdings nur erreicht werden, wenn der Phytinsäuregehalt der Nahrung insgesamt gering war. Daher gilt es also, entweder höhere Mengen an Zink zuzuführen oder die Bioverfügbarkeit so stark zu erhöhen, dass auch mit einer etwas geringeren Zufuhr die Bedarfsdeckung erreicht werden kann.

Tolerable Upper Intake Level & Symptome bei Überversorgung

Als Tolerable Upper Intake Level für Zink wurden in den Vereinigten Staaten 40 mg pro Tag festgelegt.[318] In Europa ist man, wie auch bei anderen Nährstoffen, vorsichtiger und empfiehlt ein UL in Höhe von 25 mg pro Tag für Erwachsene.[319] Akute Symptome bei einer Überzufuhr an Zink sind ein metallischer Geschmack im Mundraum, Übelkeit, Erbrechen, Bauchschmerzen, Lethargie und Durchfall.[320] Eine langfristige Überversorgung mit Zink über dem UL führt zu einer geschwächten Immunabwehr, einem reduzierten HDL-Cholesterinspiegel, einem Kupfermangel (aufgrund der kompetitiven Aufnahmehemmung) sowie zur sogenannten hypochromen mikrozytären Anämie (= Form der Anämie mit vermindertem MCH und MCV).[321]

Studien legen außerdem die Vermutung nahe, dass langfristige Zinküberschüsse in sehr hoher Menge (> 100 mg pro Tag) das Risiko für Prostatakrebs erhöhen können.[322]

Vorkommen in der Ernährung

Unter den tierischen Produkten stechen Austern als besonders zinkreich hervor. Zinkreich sind außerdem Rindfleisch, Hummer und Krabbe.[323] Unter den pflanzlichen Lebensmitteln trumpfen vor allem einige Samen wie Sesam, Kürbiskerne, Sonnenblumenkerne und Leinsamen, aber auch einige Nüsse wie Walnüsse, Mandeln und Cashews, die reich an Zink sind. Unter den Getreiden sticht der Hafer als besonders zinkreich hervor. Die allermeisten Hülsenfrüchte und Vollkorngetreidesorten liefern darüber hinaus auch moderate Zinkmengen, die in Summe ebenso einen relevanten Teil zur Bedarfsdeckung beitragen können. Vor allem bei Sauerteig-Vollkornbrot kann durch die Fermentation in der Herstellung der Phytinsäuregehalt im Durchschnitt um bis zu 60% reduziert und damit die Mineralstoffaufnahme begünstigt werden.[324] Tabelle 11 gibt eine Auflistung der Gehalte der zinkreichsten pflanzlichen Lebensmittel.

Tab. 11: Zink-Gehalt ausgewählter pflanzlicher Lebensmittel[325]

Lebensmittel	Zinkgehalt in mg /100g
Sesam	7,7
Kürbiskerne	6,5
Sonnenblumenkerne	5,7
Leinsamen	5,5
Chiasamen	4,6
Haferflocken	4,2
Erdnüsse	2,8
Walnüsse	2,7
Mandeln	2,2
Sojabohnen (gekocht)	1,9
Haselnüsse	1,9
Weizenkeime (10 g)	1,8
Amaranth (gekocht)	1,5
Vollkornbrot	1,5

Dass man durch eine vegane Ernährung bei guter Zusammenstellung des Speiseplans auf Dauer genügend Zink zuführen kann, zeigt auch eine Untersuchung, die die Nährstoffzufuhr einer Gruppe vegan lebender Menschen mit der Zufuhr einer mischköstlichen Gruppe verglich. Diese fand mit 6,5 mg pro 1.000 kcal bei den Veganern eine ausgesprochen hohe Zufuhrmenge, die im Rahmen einer isokalorischen Kost bedarfsdeckend wäre.[326] Solche Daten unterstreichen, dass mit einer guten Kostzusammenstellung quantitativ genügend Zink zugeführt werden kann.

Symptome bei Unterversorgung & Mangeldiagnose

Schwere Zinkmängel sind in der westlichen Bevölkerung zwar selten, aber subklinische Mängel könnten weiter verbreitet sein als bisher angenommen.[327] Eine vergleichende Untersuchung zwischen Mischköstlern, Vegetariern und Veganern zeigte, dass von den vegan lebenden Personen ganze 47% Zinkmängel aufwiesen.[328] Unter den Vegetariern in der Untersuchung waren es mit 19% deutlich weniger und in der Gruppe der Mischköstler waren es nur 11%. Aufgrund des breiten Wirkens von Zink im menschlichen Organismus sind auch die Symptome eines Zinkmangels vielfältig und reichen von Entwicklungs- und Wachstumsverzögerungen im Kindesalter bis hin zu einem geschwächten Immunsystem, verringerter Wundheilung und einer Beeinträchtigung des Fett-, Protein-, Kohlenhydrat- und Insulinstoffwechsels. Außerdem beeinträchtigt ein Mangel an Zink nicht nur die Geschmackswahrnehmung und die Appetitregulierung, sondern auch das Geruchsvermögen und den Sehsinn und kann sogar zu Nachtblindheit führen.[329] Auch die Reproduktionsfähigkeit leidet unter einem Zinkmangel.[330] Diese und weitere Symptome können aber zum Teil auch auf andere Nährstoffdefizite zurückzuführen sein und so ist eine genaue Abgrenzung und Diagnose eines Zinkmangels schwierig. Da sich, wie erwähnt, weniger als 1% des Gesamtbestandes an Zink im menschlichen Blut befindet,[331] sind gängige Bluttests für Zink nur bedingt aussagekräftig.[332] Zur Beurteilung des Zinkstatus ist im Vergleich zum Test im Serum ein Test im Vollblut besser geeignet. Dieser sollte im Referenzwert zwischen 4,0–7,5 mg/l (61,2–114,8 µmol/l) liegen.[333]

Gründe für die Inklusion in das vegane Multinährstoffpräparat

Wie die vorangegangene Darstellung gezeigt hat, profitiert Zink nicht im selben Maße von stark aufnahmefördernden Substanzen wie andere Mineralstoffe und ist insgesamt in den meisten pflanzlichen Lebensmitteln etwas weniger dicht konzentriert als andere Mineralstoffe. So führen beispielsweise stark aufnahmefördernde Substanzen wie Vitamin C (welches die Eisenabsorption vervielfacht) bei Zink zu keiner Aufnahmesteigerung.[334] Eine Bedarfsdeckung ist rein pflanzlich zwar durchaus möglich, aber aus Gründen der Absicherung wurde Zink in das vegane Multinährstoffpräparat in einer Höhe inkludiert, die selbst im Rahmen einer zinkreichen veganen Kost auf Dauer zu keiner Überversorgung mit Zink führt.

Das Bundesinstitut für Risikobewertung schlägt vor, dass Zink-supplemente bei täglicher Anwendung für Erwachsene im Rahmen einer westlichen Mischkost nicht mehr als 6,5 mg liefern sollten.[335] Auf Basis dieser Empfehlung wurde ein Zinkgehalt in Höhe von 6,5 mg pro Tag gewählt. Als Form wurde erneut eine Bisglycinat-Verbindung gewählt, denn diese zeigte sich in Untersuchungen sogar als noch höher bioverfügbar als ohnehin bereits gut bioverfügbare Verbindungen wie Zink-Gluconat.[336] Zinkbisglycinat zeigte in Untersuchungen außerdem, dass es trotz des Beiseins von aufnahmehemmenden Substanzen wie Phytaten eine gute Bioverfügbarkeit aufweist.[337]

2.9 Jod

Allgemeines zu Jod

Das Spurenelement Jod wurde aufgrund der Farbe seines violetten Dampfes nach dem griechischen Wort für veilchenfarbig (ioeidis) benannt.[338] Jod ist vor allem bekannt als essenzieller Nährstoff für die Funktionsfähigkeit der Schilddrüse. Sowohl eine Über- als auch Unterversorgung mit Jod können zu einer Störung der Schilddrüsenfunktion führen.[339] Daher sollte auf eine bedarfsgerechte Jodzufuhr geachtet werden, die weder weit unter noch weit über dem Tagesbedarf liegt. Jod aus der Nahrung oder aus jodiertem Speisesalz wird zu mehr als 90% absorbiert, was zusätzlich eine genau bemessene Zufuhr aufgrund der hohen Absorptionsrate entscheidend macht.[340] Aufgrund der hohen Bioverfügbarkeit ist Jod aber im Gegensatz zu Eisen, Zink und Kalzium nicht im selben Maße von aufnahmehemmenden Stoffen abhängig.

Bedarf & Zufuhrempfehlungen

Sowohl die World Health Organization (WHO)[341] als auch die Schweizerische Gesellschaft für Ernährung (SGE)[342] und das Institut of Medicine (IOM)[343] in den USA empfehlen Erwachsenen beider Geschlechter 150 µg Jod pro Tag. Die Deutsche Gesellschaft für Ernährung (DGE) ebenso wie die Österreichische Gesellschaft für Ernährung (ÖGE) empfehlen mit 200 µg Jod pro Tag eine höhere Zufuhr für beide Geschlechter.[344] Wenn das Multinährstoffpräparat verwendet wird, sollten keine jodhaltigen Algen auf regelmäßiger Basis verzehrt werden, um keine Überversorgung zu riskieren. Moderat jodhaltige Algen wie Nori, beispielsweise in veganem Sushi, können aber ab und zu verzehrt werden, solange dies nicht auf regelmäßiger Basis passiert. Bei Verwendung des Multinährstoffs wird auch die Verwendung von Jodsalz überflüssig, da bereits der gesamte tägliche Jodbedarf über das Präparat gedeckt wird. Aufgrund der geringen Jodierung des Speisesalzes (20 µg/g)[345] schadet der tägliche Konsum von Jodsalz in Höhe der maximal empfohlenen Salzzufuhr (6 g) nicht.[346]

Tolerable Upper Intake Level & Symptome bei Überversorgung

In den USA gilt ein Tolerable Upper Intake Level in Höhe von 1.000 µg als langfristige Maximalzufuhr.[347] Die European Food Safety Authority ist auch bei Jod deutlich vorsichtiger und legt für Erwachsene ebenso wie für Schwangere und Stillende ein UL in Höhe von 600 µg/Tag fest.[348] Das Bundesinstitut für Risikobewertung empfiehlt zum Schutz von besonders empfindlichen Verbrauchern vorsorglich das UL noch weiter zu senken und

auf eine tägliche Aufnahmemenge von maximal 500 µg zu beschränken.[349] Diese großen Schwankungen in den Höchstwerten zeigen, dass es noch gewisse Unsicherheiten in dieser Thematik gibt. Außerdem unterscheidet sich die Verträglichkeit hoher Jodmengen von Mensch zu Mensch. Sie ist abhängig von der Höhe der bisherigen Jodzufuhr und der dementsprechenden Gewöhnung, dem Allgemeinzustand der Schilddrüse, der zeitgleichen Zufuhr von Lebensmitteln wie Kreuzblütlern und Sojaprodukten (Goitrogene), der sportlichen Aktivität der Person (Verluste über Schweiß) und der individuellen Disposition zur Entwicklung von Schilddrüsenfehlfunktionen durch Jodexzess.[350] Vor allem Personen, die lange Zeit mangelhaft mit Jod versorgt waren, sollten in der ersten Zeit der schrittweisen Erhöhung der Jodzufuhr überschüssige Mengen vermeiden.

Vorkommen in der Ernährung

In der mischköstlichen Ernährung liefern vor allem Seefische und Meeresfrüchte sowie (in einigen Fällen) Milchprodukte relevante Mengen an Jod.[351] In welcher Konzentration ein pflanzliches Lebensmittel Jod enthält, hängt neben der Fähigkeit der Pflanze zur Akkumulierung von Jod vor allem vom Jodgehalt des Bodens ab.[352] Durch das Schmelzwasser als Spätfolge der letzten Eiszeit wurde das wasserlösliche Jod in Deutschland allerdings zu großen Teilen aus den Böden in die Flüsse geschwemmt. Von dort aus gelangte es ins Meer und die Böden wurden jodarm hinterlassen.[353] Gerade in Deutschland, Österreich und der Schweiz, aber auch in vielen anderen europäischen Ländern, sind weder heimische pflanzliche noch tierische Produkte ohne zusätzliche Anreicherung der Böden oder der Futtermittel jodhaltig genug, um eine ausreichende Jodzufuhr der Bevölkerung über die Nahrung sicherzustellen.[354] Das aus den Böden geschwemmte Jod ist dabei für die menschliche Ernährung keineswegs verloren. Vielmehr wird es im Meer von Algen aufgenommen und steht so als nachhaltige, rein pflanzliche Jodquelle in Form von Algen zur Verfügung. Der Jodgehalt der Algen ist es auch, der Fischen und Meeresfrüchten ihren Jodgehalt verleiht, denn ebenso wie in Bezug auf den Gehalt an Omega-3-Fettsäuren wie die Eicosapentaensäure (EPA) und die Docosahexaensäure (DHA) akkumuliert sich auch das Jod aus der pflanzlichen Ursprungsquelle im Laufe der marinen Nahrungskette und gelangt so über den Umweg des Fisches auf die Teller von Mischköstlern.

Jod ist für das Wachstum der gängigen essbaren Kulturpflanzen an Land nicht essenziell und große Mengen Jod können ihnen im Gegenteil sogar schaden.[355] Unterschiedliche Pflanzen haben zwar unterschiedliche Kapazitäten zur Jodanreicherung, aber die äußerst jodarmen Böden in Deutschland geben Pflanzen gar nicht erst die Möglichkeit, ihr volles Potenzial in der Aufnahmefähigkeit von Jod auszuschöpfen. So liefern Tomaten aus jodarmen Böden im Durchschnitt die geringe Jodmenge von nur etwa 1 µg/100 g.[356] In Untersuchungen konnte aber gezeigt werden, dass eine Anreicherung der Böden den Jodgehalt von Tomaten auf bis zu 1.000 µg/100 g erhöhen könnte, ohne dabei der Pflanze zu schaden.[357]

Im Gegensatz zu den meisten Landpflanzen können viele Algen noch weitaus größere Mengen an Jod akkumulieren und enthalten auch ohne weiteres Zutun des Menschen bereits sehr große Mengen davon. Allerdings sind Meeresalgen zum aktuellen Zeitpunkt nur bedingt als Jodquelle geeignet, weil sie große Schwankungen im Jodgehalt aufweisen und daher schwer berechenbare Jodlieferanten sind. Erschwerend kommt hinzu, dass es zurzeit keine allgemeingültigen Standards für Algen und Algenprodukte im Lebensmittelhandel gibt.[358]
Diese Höhe der Schwankungen wird bei einem Blick auf die Jodgehalte unterschiedlicher gängiger Algen deutlich, wie Tabelle 12 zeigt. In Spalte 2 wird jeweils der Durchschnittsgehalt aus mehreren Untersuchungen dargestellt und daneben sieht man in Klammern die Schwankungsbreite.

Tab. 12: Jodgehalt ausgewählter Algen[359,360,361]

Algenart	Jodgehalt in µg /g
Kombu/Kelp	1.500 (500–11.000)
Arame	714 (586–5.640)
Hijiki	263 (95–430)
Dulse	173 (40–550)
Wakame	160 (60–350)
Meeressalat	136 (50–240)
Nori	35 (5–550)
Lithothamnium	20 (10–30)

Das Jod in Algen ist wasserlöslich und so geht beim Kochen ein Großteil des Jods aus der Alge in die Kochflüssigkeit über. Wenn man beispielsweise Kombu für 15 Minuten kocht, gehen bis zu 99% des Jods in die Flüssigkeit über.[362] Über die Lithothamnium gibt es in Bezug auf ihren Jodgehalt verhältnismäßig wenige Daten. In der wissenschaftlichen Literatur ist dieser mit etwa 30 µg/g[363] erfasst, wobei ihn manche Händler anhand ihrer eigenen Analysen mit lediglich knapp 10 µg/g anführen.[364]

Symptome bei Unterversorgung & Mangeldiagnose

Untersuchungen mit Veganern aus den USA,[365] Schweden,[366] Deutschland[367] und Großbritannien[368] haben gezeigt, dass unter den üblichen Bedingungen eine vegane Ernährung zu wenig Jod liefert, wenn sich die Menschen nicht durch jodhaltige Algen und/oder jodiertes Speisesalz versorgen. Wenn kein Jodsalz verwendet wird, erreichen allerdings auch in Deutschland 96% der männlichen und 97% der weiblichen Allgemeinbevölkerung nicht die Empfehlung für die Jodzufuhr.[369] Jod gilt daher nicht nur bei einer veganen Ernährung als kritischer Nährstoff und so sollten auch Vegetarier und Mischköstler auf eine ausreichende Jodzufuhr achten. In einer vergleichenden Untersuchung aus der Schweiz aus dem Jahr 2015 wiesen 65% der Mischköstler, 66% der Vegetarier und 79% der Veganer eine suboptimale Jodversorgung auf.[370] Jod ist essenziell für die Funktionsfähigkeit der Schilddrüse und ein Mangel führt dazu, dass diese nicht mehr in ausreichender Menge Schilddrüsenhormone produzieren kann.[371] Dieser Mangel an Schilddrüsenhormonen im Blut ist wiederum der Grund für eine Reihe an Abnormalitäten, die als Jodmangelkrankheiten bezeichnet werden. Jodmängel sind bis heute der weltweit häufigste Grund für vermeidbare Hirnschäden bei Neugeborenen.[372] Derart schwerwiegende Schäden aufgrund von Jodmangel sind in westlichen Ländern zwar faktisch nicht existent, jedoch kann eine chronische Unterversorgung mit Jod auch bei westlichen Kindern zu milden kognitiven Beeinträchtigungen und somit zu verringerten Schulleistungen führen.[373] Zur Beurteilung der Jodversorgung wird zumeist die Jodausscheidung über den Urin herangezogen. Diese sollte bei guter Versorgung zwischen 100 und 200 µg/l liegen.[374] Ein leichter Mangel besteht bei einem Wert unter 100 µg/l, ein moderater Mangel bei unter 50 µg/l und ein schwerer Jodmangel bei unter 20 µg/l.[375]

Gründe für die Inklusion in das vegane Multinährstoffpräparat

Wie Erhebungen zeigen, kann die Jodversorgung bei einem großen Teil der (veganen) Bevölkerung suboptimal sein. Da vegan lebende Menschen aufgrund des (noch) geringeren Speisenangebots für ihre Bedürfnisse weniger oft auswärts in Kantinen und Restaurants essen,[376] profitieren sie darüber hinaus voraussichtlich auch nicht im selben Maße wie die Allgemeinbevölkerung von der Jodsalzprophylaxe.

Da moderat jodhaltige Algen wie Nori, Wakame oder Dulse nicht auf dem regelmäßigen Speiseplan der allermeisten vegan lebenden Personen stehen, fehlt es ihnen aufgrund der jodarmen Böden in vielen Teilen Europas an guten pflanzlichen Jodlieferanten. Aus diesem Grund wurde eine Jodmenge in Höhe von 150 µg entsprechend der internationalen Zufuhrempfehlungen in Form von Kaliumiodid gewählt und dem Präparat hinzugefügt.

2.10 Selen

Allgemeines zu Selen

Das Spurenelement Selen wurde aufgrund seines silbrig-matten Glanzes nach der Mondgöttin Selene benannt.[377] Die erste Zufuhrempfehlung für Selen für die menschliche Ernährung wurde in den USA erst 1989 veröffentlicht und zeigt, wie jung die Forschung zu Selen im Rahmen der menschlichen Ernährung ist.[378] Die Erforschung von Selen und dessen Bedeutung ist immer noch von vielen Fragezeichen durchzogen und so sind bis heute die Zufuhrempfehlungen für Selen streng genommen nur Schätzwerte.[379] Eine Reihe von Metaanalysen bringt eine gute Selenversorgung mit einem geringeren Auftreten von kanzerogenen[380,381] und kardiovaskulären Erkrankungen[382,383] in Verbindung. Außerdem hat eine gute Selenversorgung eine positive Wirkung auf die Schilddrüsenfunktion[384] sowie die Fruchtbarkeit[385] und kann bei Frauen in der Schwangerschaft voraussichtlich das Risiko für Frühgeburten reduzieren.[386] Die Schilddrüse ist das Gewebe mit dem höchsten Selengehalt im menschlichen Organismus und auch wenn Jod als das wichtigste Spurenelement für die Schilddrüsenfunktion bekannt ist, kann durch einen gleichzeitigen Mangel an Selen eine jodmangelbedingte Schild-drüsenerkrankung noch weiter verstärkt werden.[387] Zu guter Letzt werden einer guten Selenversorgung auch antivirale, antiinflammatorische (entzündungshemmende) und antirheumatische Effekte zugesprochen.[388]

Bedarf & Zufuhrempfehlungen

Die Bioverfügbarkeit von Selen ist wesentlich höher als beispielsweise jene von Eisen und Zink und beträgt im Durchschnitt 70–90%.[389,390] Optimale Laborparameter für Selen wurden in Untersuchungen mit einer Zufuhr von etwa 1 µg Selen pro kg Körpergewicht erreicht.[391] Anhand dieser Ergebnisse orientieren sich auch die aktuellen D-A-CH-Schätzwerte.[392] Obwohl Selen in pflanzlichen Lebensmitteln in vielen Fällen in Form von Selenomethionin gebunden vorliegt und dieses auch eine hoch bioverfügbare Selenverbindung ist,[393] sollte bei der Supplementierung aufgrund des stark schwefeligen Eigengeruchs lieber auf eine Natriumselenit- oder Natriumselenatverbindung zurückgegriffen werden. Vor allem in höheren Zufuhrmengen sind Supplemente mit Selenomethionin auch abseits ihres strengen Eigengeruchs zu vermeiden, da es unreguliert in Körperproteine eingebaut werden kann, was wiederum gesundheitlich abträglich wirken kann, wie auch das BfR in einer Stellungnahme zu Selenomethionin betont.[394]

Tolerable Upper Intake Level & Symptome bei Überversorgung
Eine toxische Überversorgung an Selen geht mit Müdigkeit, Haarverlust und Nagelverfärbung einher.[395] Die Absorption von Selen ist weitestgehend unabhängig von der aktuellen Selenversorgung des menschlichen Körpers[396] und daher reagiert der Körper noch sensibler bei einer Überversorgung mit Selen im Vergleich zu anderen Mineralstoffen, deren Absorptionsrate mehr von den Körperspeichern abhängig ist (z.B. Eisen). Das Institute of Medicine hat ein Tolerable Upper Intake Level für Selen in Höhe von 400 µg pro Tag festgelegt.[397] Bei der Festlegung des UL in Europa war die European Food Safety Authority erneut etwas vorsichtiger und hat sich für ein UL in Höhe von 300 µg für Erwachsene entschieden.[398]

Vorkommen in der Ernährung
Tierische Produkte sind in Deutschland recht zuverlässige Selenquellen, die auch keinen so großen Schwankungen unterliegen. Dies liegt nicht am tierischen Produkt selbst, sondern an der gut kontrollierten Fütterung der Masttiere. In der Mast werden häufig selenreiche Mineralstoffmischungen verwendet, um einen kontinuierlich hohen Selengehalt in Fleisch, Fleischwaren und Eiern zu garantieren.[399] In der EU darf Tierfutter mit bis zu 500 µg Selen pro kg Futtermittel angereichert werden.[400] Dies wird, abgesehen vom erwünschten Selengehalt des Fleisches, auch deshalb gemacht, um die Fertilität der Tiere, ihr Muskelfleisch und ihre Infektresistenz zu verbessern.[401] Diese Supplementierung der Tiere garantiert also einen kontinuierlich hohen Selengehalt in ihrem Fleisch, ist aber am Ende für die menschliche Selenzufuhr nichts anderes als eine Supplementierung über den Umweg des Tieres. Da in Deutschland, Österreich und der Schweiz – im Gegensatz zu Ländern wie Finnland – keine Anreicherung der Böden mit Selen stattfindet sind Pflanzen hierzulande keine ausreichenden Selenlieferanten.[402]

Selen ist für Pflanzen kein essenzieller Nährstoff und kann in höherer Konzentration für diese sogar toxisch wirken.[403] Dieser Umstand erklärt auch, warum viele Pflanzen nicht sonderlich große Mengen an Selen enthalten. Sofern genügend Selen im Boden vorhanden ist, können aber zumindest einige Pflanzenarten relevante Mengen davon aufnehmen und anreichern und so einen relevanten Teil zur Selenversorgung des Menschen beitragen.[404] Obst enthält im Vergleich zu Getreide, Hülsenfrüchten, Gemüse und Nüssen durchschnittlich den geringsten Selengehalt.[405] Wurzelgemüse, Erbsen, Bohnen, Tomaten, Gurken und eine Reihe anderer Gemüse sind zwar ebenso nur bedingt in der Lage, Selen zu akkumulieren, aber wieder andere Gemüsesorten wie Spargel, die gesamte Gruppe der Zwiebelgewächse (Knoblauch, Zwiebeln etc.) und Kohlgemüse (Grünkohl, Rotkohl etc.) können in Abhängigkeit des Selengehalts im Boden auch größere Mengen an Selen anreichern.[406] Noch größere Mengen können einige (Pseudo-)Getreide, Nüsse, Samen und Pilze aufweisen. Der tatsächliche Selengehalt ist allerdings, wie beschrieben, vom Selengehalt des Bodens abhängig und kann von Land zu Land stark schwanken.

Tabelle 13 zeigt, wie stark sich der Selengehalt von pflanzlichen Lebensmitteln in Abhängigkeit des Selengehalts im Boden unterscheiden kann.

Tab. 13: Selengehalt gewisser pflanzlicher Lebensmittel von selenreichen & selenarmen Böden[407,408,409]

Selenreicher Boden	Selengehalt in µg /100g
Kichererbsen (gekocht)	30
Weizenpasta (gekocht)	25
Linsen (gekocht)	21
Erbsen (gekocht)	20
Selenarmer Boden	**Selengehalt in µg /100g**
Kichererbsen (gekocht)	4
Linsen (gekocht)	4
Erbsen (gekocht)	3
Weizenpasta (gekocht)	3

Paranüsse stellen zwar eine gut bioverfügbare Quelle für Selen dar,[410] jedoch ist seit langem bekannt, dass die Schwankungsbreite ihres Selengehaltes sehr hoch sein kann. Die dokumentierten Schwankungen sind so hoch, dass eine einzelne Paranuss in Abhängigkeit ihrer genauen Herkunft den Tagesbedarf entweder um ein Vielfaches übersteigen oder nur eine unbedeutende Menge an Selen zur Deckung beitragen kann.[411,412] Trotz teils sehr großer Ausreißer enthielten Paranüsse in Messungen durchschnittlich etwa 2,3–10,2 µg/g mit einem Mittelwert von etwa 6,4 µg/g.[413] Bei einem Gewicht von etwas über 4 Gramm pro Nuss würden in diesem Fall bereits zwei Paranüsse den Tagesbedarf decken. Einer der höchsten bis dato gemessenen Selenwerte in Paranüssen betrug allerdings mehr als 500 µg/g, wodurch bereits eine Paranuss den Tagesbedarf bei weitem übersteigen würde.[414] Was es in Zukunft braucht, sind bessere Kontrollen des Selengehalts und mehr Transparenz, damit Paranüsse zu einer verlässlichen Selenquelle in der veganen Ernährung werden können. In Bezug auf die zweitbesten pflanzlichen Selenlieferanten – die Steinpilze – ist zum einen fraglich, wie groß die Schwankungen unterschiedlicher Steinpilze aus unterschiedlichen Regionen sind und zum anderen sind Steinpilze eine recht kostspielige Selenquelle. Darüber hinaus zeigen die Auswertungen des Bundesamtes für Strahlenschutz, dass eine Vielzahl von wild wachsenden Speisepilzen auch über 30 Jahre nach der Katastrophe von Tschernobyl vor allem im Süden Deutschlands immer noch stark belastet sind.[415] In Teilen der USA und Kanadas sind aufgrund selenreicherer Böden manchmal sogar herkömmliche Vollkorngetreideprodukte recht gute Selenquellen, die hierzulande in den meisten Fällen keinen nennenswerten Beitrag zur Selenversorgung leisten.[416]

Getreide aus den USA kann bis zu 100 µg/100 g enthalten, während Getreide aus Deutschland meist weniger als 5 µg/100 g aufweist.[417] Ebenso können Hülsenfrüchte aus Kanada exzellente Selenquellen sein, während deutsche Hülsenfrüchte meist nur vernachlässigbare Mengen an Selen enthalten. In einer Untersuchung von 19 Linsenarten aus der kanadischen Provinz Saskatchewan wurde gezeigt, dass der Selengehalt der kanadischen Linsen im Trockenzustand zwischen 42 und 67 µg/100 g lag und so 100 g getrocknete Linsen bereits den überwiegenden oder kompletten Tagesbedarf eines Erwachsenen decken können.[418] Im Gegensatz dazu liefern Linsen aus selenärmeren Gebieten (wie etwa Deutschland)[419] nur knapp 10 µg/100 g[420] und so müsste man als Frau täglich 600 g und als Mann täglich 700 g Linsen (Trockengewicht) kochen und essen, um den Tagesbedarf laut DGE zu decken. Kanadische Linsen sind hierzulande oft in Lebensmittelgeschäften vertreten und so lohnt sich ein Blick auf das Herkunftsland, wenn man diese als Selenquelle verwenden möchte.

Symptome bei Unterversorgung & Mangeldiagnose

In westlichen Ländern ist ein ausgeprägter Selenmangel bei einer mischköstlichen Ernährung nicht zu erwarten.[421] Wie eine vergleichende Untersuchung mit Daten aus unterschiedlichen europäischen Ländern allerdings zeigt, nehmen mehr als ein Drittel der erwachsenen Bevölkerung trotz Mischkost weniger als 35 µg (m) bzw. 30 µg (w) Selen pro Tag zu sich und befinden sich somit weit unterhalb der Zufuhrempfehlung.[422] Untersuchungen, die den Selengehalt der Speisepläne von vegan und mischköstlich lebenden Schweden analysierten, stellten in der veganen Gruppe vergleichsweise geringe Selenzufuhren fest.[423,424] Auch im Rahmen der britischen EPIC Oxford Study wurde festgestellt, dass etwa ein Drittel der männlichen und knapp die Hälfte der weiblichen Probanden bei veganer Ernährung eine Selenzufuhr von weniger als 45 µg pro Tag aufweisen.[425] Als Laborparameter zur Überprüfung der Selenversorgung dient die Plasmaselenkonzentration. Diese sollte sich in einer Höhe von 110–130 µg/l befinden.[426,427] Dieser Wert wurde festgelegt, weil das für den Selentransport im Blut verantwortliche Transport-Protein namens Selenoprotein P (SePP), das aktuell als einer der aussagekräftigsten Indikatoren gilt, bei etwa dieser Plasmakonzentration sein Plateau erreicht und selbst bei höheren Dosen nicht mehr ansteigt. Wissenschaftler gehen davon aus, dass dies wiederum ein Indikator dafür ist, dass ab diesem Zeitpunkt die Optimalversorgung mit Selen gegeben ist.[428]

Gründe für die Inklusion in das vegane Multinährstoffpräparat
Aufgrund der selenarmen Böden in weiten Teilen Europas gilt Selen in den D-A-CH-Staaten als kritischer Nährstoff bei einer veganen Ernährung. Mischköstlich essende Personen erhalten in Deutschland genügend Selen über die Anreicherung der Tierfuttermittel mit Selen,[429] doch da eine derartige Anreicherung der pflanzlichen Grundnahrungsmittel für vegan lebende Personen (noch) nicht stattfindet, mangelt es vielen Veganerinnen und Veganern hierzulande an diesem Spurenelement. Aus diesem Grund wurde eine Menge von 55 µg Natriumselenit in das Multinährstoffpräparat inkludiert, um eine Deckung des Nährstoff-Referenzwerts durch eine geruchsarme Selenverbindung zu erreichen. Da ein überwiegender Teil der pflanzlichen Nahrungsmittel hierzulande sehr arm an Selen ist, kann eine vegane Ernährungsweise bei Inkludierung des Präparats unabhängig der restlichen Lebensmittelauswahl (mit Ausnahme eines hohen Paranuss- und Steinpilzverzehrs) nicht zu einer Überschreitung des UL und somit zu einer Überdosierung führen.

2.11 Cholin

Allgemeines zu Cholin

Cholin, in einigen Veröffentlichungen auch als Vitamin B_4 bezeichnet,[430] wurde erst im Jahr 1998 vom IOM in den USA offiziell als essenzieller Nährstoff klassifiziert.[431] Auch die EFSA erkennt Cholin als essenziellen Nährstoff an.[432] Im Rahmen der D-A-CH-Referenzwerte findet man allerdings vergeblich eine Zufuhrempfehlung für Cholin[433] und bei Nachfrage an die DGE heißt es: „gegenwärtig zählen wir Cholin nicht zu den essenziellen Nährstoffen, da der Körper selbst in der Lage ist, Cholin zu synthetisieren".[434] In der wissenschaftlichen Literatur heißt es hingegen, dass der Körper zwar durchaus gewisse Mengen an Cholin selbst synthetisieren kann, dass diese Mengen aber unter den normalen Umständen nicht zur Bedarfsdeckung ausreichen.[435] Dieser Umstand macht Cholin zu einem überlebensnotwendigen, essenziellen Nährstoff, der zumindest zum Teil über die Nahrung zugeführt werden muss.[436] Eine genaue Bestimmung des individuellen Bedarfs an Cholin wird allerdings durch den Fakt erschwert, dass eine Reihe an genetischen Polymorphismen die endogene Synthesefähigkeit einschränken und so nicht jede Person dieselbe Menge an Cholin selbst produzieren kann.[437] Im menschlichen Organismus hat Cholin zahlreiche Aufgaben. Cholin ist unter anderem Bestandteil von wichtigen Neurotransmittern, die für Gedächtnis, Stimmung, Muskelkontraktion und weitere Funktionen des Gehirns und des Nervensystems von Bedeutung sind.[438] Cholin ist außerdem wichtig für die frühkindliche Gehirnentwicklung, was den Nährstoff vor allem für Schwangere besonders relevant macht.[439]

Bedarf & Zufuhrempfehlungen

In Europa schreibt die EFSA in ihrer Veröffentlichung zu Cholin, dass die vorhandenen Biomarker zur Messung des Cholinstatus nicht ausreichen, um eine konkrete Zufuhrempfehlung wie bei anderen essenziellen Nährstoffen zu definieren. Diese würden dann im Englischen als sogenannte „Recommended Daily Allowance" (RDA) bezeichnet werden. Stattdessen legt die EFSA aufgrund mangelnder Daten einen sogenannten „Adequate Intake" (AI) mit 400 mg Cholin pro Tag als Schätzung fest.[440] Allerdings beruht dieser AI lediglich auf der durchschnittlichen Cholinzufuhr gesunder mischköstlicher Populationen in Europa und ist daher auch keine verlässliche Kenngröße zur Beurteilung des tatsächlichen Bedarfs. In den USA werden hingegen höhere Zufuhrempfehlungen für Cholin ausgesprochen, aber auch das IOM legt aufgrund der mangelnden Daten erneut nur einen AI und keine RDA fest.

Der AI aus den Staaten beträgt für erwachsene Frauen 425 mg und für Männer 550 mg Cholin pro Tag und wurde bereits im Jahr 1998 festgelegt und seitdem nicht mehr verändert und angepasst.[441]
Insgesamt wurden in Experimenten zur Bedarfsberechnung für Cholin zu wenig unterschiedliche Dosen in feinen Abstufungen verwendet und so scheint es durchaus wahrscheinlich, dass offizielle Zufuhrempfehlungen den Cholinbedarf ein Stück weit überschätzen. Die 1998er Zufuhrempfehlung des IOM basiert dabei im Wesentlichen auf einer einzelnen Untersuchung, in der eine beinahe cholinfreie Ernährung (13 mg/Tag) mit einer cholinreichen Ernährung (500 mg/Tag) verglichen wurde.[442] Die Untersuchung zeigte, dass 500 mg Cholin ausreichend waren, um den Cholinbedarf zu decken, aber aufgrund fehlender Zwischendosen ist bis heute nicht bekannt, wo genau die Bedarfsgrenze zwischen den beiden getesteten Dosen in Höhe von 13 mg und 500 mg liegt. Hier bedarf es noch mehr differenzierter Daten. Obwohl die DGE in ihrer Stellungnahme Cholin (noch) nicht als essenziell bezeichnet, fügt sie auf Nachfrage an, dass „die D-A-CH-Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr gegenwärtig überarbeitet werden. Ob ein Referenzwert für Cholin abgeleitet wird, befindet sich noch in der Diskussion“.[443]

Tolerable Upper Intake Level & Symptome bei Überversorgung
Zu hohe Zufuhrmengen an Cholin können nach Fisch riechenden Körpergeruch, Übelkeit und Erbrechen, übermäßiges Schwitzen, überhöhten Speichelfluss, Hypotonie (erniedrigten Blutdruck) und Lebertoxizität hervorrufen.[444] Darüber hinaus ist bekannt, dass Cholin (und Carnitin) von der Darmflora in sogenanntes TMA (Trimethylamin) umgewandelt werden kann, welches dann in der Leber zu TMAO (Trimethylaminoxid) konvertiert wird.[445,446] Untersuchungsergebnisse legen nahe, dass erhöhte TMAO-Level wiederum langfristig unter anderem das Risiko für kardiovaskuläre Erkrankungen erhöhen können.[447] Hier scheint eine pflanzenbetonte Ernährungsweise (selbst wenn ausreichend hohe Cholinmengen zugeführt werden) doppelt schützend zu sein. Zum einen zeigen Untersuchungen, dass vegan lebende Menschen aufgrund von Unterschieden in ihrer Darmflora im Vergleich zu Mischköstlern weniger TMAO aus Cholin (und Carnitin) produzieren[448] und des Weiteren enthalten Kreuzblütlergemüse, von denen Veganer im Schnitt mehr als Mischköstler essen, gewisse Substanzen namens Indole, welche die Enzymaktivät, die für die Umwandlung zu TMAO verantwortlich ist, mindern.[449,450] Auch andere Bestandteile in pflanzlichen Lebensmitteln wie beispielsweise Resveratrol in roten Weintrauben haben (zumindest im Tiermodell) einen positiven Einfluss auf die Darmflora und vermindern damit einhergehend die endogene TMAO-Produktion.[451] Dennoch zeigten Untersuchungen an einer Gruppe vegetarisch-vegan lebender Menschen, dass diese gegen die negativen Effekte von zu viel Cholin dennoch nicht gänzlich immun sind. Bei einer sehr hohen Cholinsupplementierung in Höhe von 450 mg pro Tag (zusätzlich zum Nahrungscholin) über mehrere Monate hinweg stiegen auch bei dieser Gruppe die TMAO-Level.[452]

Allerdings waren sie im Durchschnitt bei der vegetarisch-vegan lebenden Gruppe dennoch weniger stark ausgeprägt. Die EFSA setzt anhand mangelnder Daten in ihrer Stellungnahme zu Cholin zwar kein Tolerable Upper Intake Level für die langfristige Höchstzufuhr fest,[453] aber in den USA liegt dieses laut dem IOM bei 3.500 mg Cholin pro Tag für beide Geschlechter.[454]

Vorkommen in der Ernährung

Die Hauptquelle für Cholin in der mischköstlichen westlichen Ernährung sind tierische Produkte wie Rindfleisch, Geflügel, Fisch, Milchprodukte und allen voran Eier sowie Innereien wie Leber. Pro 100 g steht die Leber als cholinreichstes Gewebe mit 290 mg (Hühnerleber) bis 430 mg (Rinderleber) an der Spitze. Gekochte Eier enthalten mit etwa 230 mg Cholin pro 100 g ebenfalls sehr große Mengen, die vor allem aus dem Eigelb stammen. Lachs liefert im Durchschnitt 91 mg Cholin pro 100 g, Rinderhack 81 mg, Cheddarkäse 17 mg und Vollmilch 0,7 mg.[455] Auch eine Reihe an pflanzlichen Lebensmitteln kann verhältnismäßig cholinreich sein, wie Tabelle 14 zeigt. Vor allem Kreuzblütlergemüse und einige Hülsenfrüchte (vor allem Soja) ebenso wie Samen (vor allem Leinsamen und Kürbiskerne) stechen hervor.

Tab. 14: Cholingehalt ausgewählter pflanzlicher Lebensmittel[456]

Nahrungsmittel	Cholingehalt in mg /100g	Nahrungsmittel	Cholingehalt in mg /100g
Leinsamen	79	Kidneybohnen (Dose, gekocht)	33
Kürbiskerne	63		
Erdnussbutter	61	Tofu	28
Edamame (gekocht)	56	Erbsen (gekocht)	28
Sonnenblumenkerne	55	Quinoa (gekocht)	26
Mandeln	52	Spargel (gekocht)	26
Rosenkohl (gekocht)	41	Spinat (gekocht)	25
Brokkoli (gekocht)	40	Sojamilch	24
Walnüsse	39	Rotkohl (gekocht)	21
Blumenkohl (gekocht)	39	Sauerteigbrot	15

Da Cholin außerdem ein Bestandteil von Lecithin ist, sind auch eine Reihe an industriell verarbeiteten Lebensmitteln, in denen Lecithin als Emulgator eingesetzt wird, recht reich an Cholin (z.B. Salatdressings, Bratensaucen, Margarine etc.).[457] Wie gut die unterschiedlichen Arten von Cholin in unterschiedlichen Lebensmitteln und Nahrungsergänzungsmitteln absorbiert werden, ist noch nicht im Detail geklärt.[458]

Symptome bei Unterversorgung & Mangeldiagnose

Ein Cholinmangel kann unter anderem Muskel- und Leberschäden (nicht-alkoholische Fettlebererkrankung) verursachen und die Gehirnentwicklung bei Ungeborenen beeinträchtigen.[459] Da Cholin in deutlich höherer Konzentration in tierischen Produkten enthalten ist, haben vegan lebende Menschen ein höheres Risikopotenzial, bei unausgewogener Ernährungsweise einen Cholinmangel zu erleiden.[460] Ein Vorteil einer veganen Ernährungsweise ist die (im Vergleich zur Mischkost) überdurchschnittlich hohe Folatzufuhr aus Blattgemüse und Hülsenfrüchten, denn ein Folatdefizit verstärkt einen Cholinmangel zusätzlich.[461] Bis zum heutigen Tag fehlen aussagekräftige Biomarker und gut belegte Referenzwerte zur Analyse des Cholinstatus. Das IOM berichtet, dass gesunde Erwachsene Plasmakonzentrationen an Cholin in Höhe von 7–20 µmol/l aufweisen.[462] Eine weitere Untersuchung gibt an, dass die Cholin-Plasmawerte im Nüchternzustand 7–9 µmol/l bei gesunden Erwachsenen betrugen.[463]

Gründe für die Inklusion in das vegane Multinährstoffpräparat

Cholin ist jener Bestandteil des Multinährstoffpräparats, dessen Inklusion bis zuletzt auf der Kippe stand, da die Datenlage zu diesem Nährstoff insgesamt (und vor allem in Bezug auf vegane Ernährung) unzu-reichend ist. Da Cholin (zumindest laut einigen Fachgesellschaften) ein essenzieller Nährstoff ist, der allerdings (wie auch andere Nährstoffe) in höherer Konzentration gesundheitlich abträglich wirkt (und die Spanne der therapeutischen Breite nicht vollends geklärt ist), gilt es, langfristig die richtige tägliche Zufuhrempfehlung herauszufinden und zu bestimmen, ob vegan lebende Menschen auch ohne eine Supplementierung mit der begrenzten Auswahl an guten pflanzlichen Cholinlieferanten ihren Bedarf decken können. Da keine differenzierten Daten zur genauen Bedarfs-deckung vorliegen, gilt die im Multinährstoff enthaltene Dosis in Höhe von 100 mg in Form von Citicolin (CDP-Cholin) als vorsichtiger Versuch, zumindest eine Grundversorgung zu gewährleisten.[464] Aufgrund des sehr hohen Einkaufspreises enthalten die meisten Multinährstoffe entweder ausschließlich Cholinbitartrat oder eine Mischung aus überwiegend Cholinbitartrat und etwas Citicolin (CDP-Cholin). Im Multinährstoff ProVeg Essentials+ wird aufgrund der vielversprechenden Datenlage trotz des deutlich höheren Einkaufspreises ausschließlich Citicolin als Markenrohstoff Cognizin® verwendet. Citicolin gilt als jene Cholinform, die sich besser im Gehirn anreichert. Außerdem legen Untersuchungen nahe, dass Citicolin[465] im Vergleich zu anderen Cholinformen wie Cholinbitartrat[466] die Blut-Hirn-Schranke überwinden kann und es ist vor allem CDP-Cholin,[467] das sich positiv auf die kognitiven Fähigkeiten auswirkt.[468,469,470]

3. Quellenverzeichnis

3. Quellenverzeichnis

[1] Max Rubner-Institut. (2008). *Nationale Verzehrs Studie II Ergebnisbericht, Teil 2*. Zugriff am 1. Januar 2020. Verfügbar unter https://bit.ly/2TbjpjS

[2] Greenberg, J.A., Bell, S.J., Guan, Y. & Yu, J.H., (2011). Folic Acid Supplementation and Pregnancy: More Than Just Neural Tube Defect Prevention. *Rev Obstet Gynecol*, 4(2), 52–59.

[3] Skerrett, P.J. & Willett, W.C. (2010). Essentials of Healthy Eating: A Guide. *J Midwifery Womens Health*, 55(6), 492–501.

[4] Fletcher, R.H. & Fairfield, K.M. (2002). Vitamins for chronic disease prevention in adults: clinical applications. *JAMA*, 287(23), 3127–3129.

[5] Marra, M.V., & Boyar, A.P. (2009). Position of the American Dietetic Association: nutrient supplementation. *J Am Diet Assoc*, 109(12), 2073–2085.

[6] Russell, R.M., Rasmussen, H. & Lichtenstein, A.H. (1999). Modified Food Guide Pyramid for people over seventy years of age. *J Nutr*, 129(3), 751–753.

[7] Harvard T.H. Chan School of Public Health. (o.D.). *Nutrition Insurance Policy: A Daily Multivitamin*. Zugriff am 1. Juli 2020. Verfügbar unter https://bit.ly/3en4yfa

[8] European Food Safety Authority. (2018). *Food Supplements*. Zugriff am 1. Januar 2020. Verfügbar unter https://bit.ly/3aaVjeR

[9] Starr, R.R. (2015). Too Little, Too Late: Ineffective Regulation of Dietary Supplements in the United States. *Am J Public Health*, 105(3), 478–485.

[10] Bundeszentrum für Ernährung. (2019). *Nährwertkennzeichnung: Seit Dezember 2016 Pflicht*. Zugriff am 1. Januar 2020. Verfügbar unter https://bit.ly/2ndlbUw

[11] Institute of Medicine. (2003). *Dietary Reference Intakes: Guiding Principles for Nutrition Labeling and Fortification - Overview of Food Fortification in the United States and Canada.* Zugriff am 1. Januar 2020. Verfügbar unter https://bit.ly/36uuOQI

[12] Government of Canada. (2012). *Prohibition against the sale of unenriched white flour and products containing unenriched flour.* Zugriff am 1. Januar 2020. Verfügbar unter https://bit.ly/35mznuM

[13] Aro, A., Alfthan, G. & Varo, P. (1995). Effects of supplementation of fertilizers on human selenium status in Finland. *Analyst*,120(3), 841–843.

[14] Wortmann, L., Enneking, U. & Daum, D. (2018). German Consumers' Attitude towards Selenium-Biofortified Apples and Acceptance of Related Nutrition and Health Claims. *Nutrients*, 10(2), 190.

[15] Europäische Kommission (2004). *Verzeichnis der zugelassenen Futtermittel-Zusatzstoffe*. Zugriff am 1. Januar 2020. Verfügbar unter https://bit.ly/2vIakG9

[16] Richter, M., Boeing, H., Grünewald-Funk, D. et al. (2016). Position der Deutschen Gesellschaft für Ernährung e. V. (DGE) – Vegane Ernährung. *Ernährungs Umschau*, 63(04), 92–102.

[17] Melina, V., Craig, W. & Levin, S. (2016). Position of the Academy of Nutrition and Dietetics: Vegetarian Diets. *J Acad Nutr Diet*, 16(12), 1970–1980.

[18] Dietitians of Canada. (2014). Healthy Eating Guidelines for Vegans. Zugriff am 1. Januar 2020. Verfügbar unter https://bit.ly/2LwC3fM

[19] Ward, E. (2014). Addressing nutritional gaps with multivitamin and mineral supplements. *Nutr J*, 13, 72.

[20] Gröber, U., Reichrath, J., Holick, M.F. & Kisters, K. (2014). Vitamin K: an old vitamin in a new perspective. *Dermatoendocrinol*, 6(1), e968490.

[21] Jahreis, G., Leiterer, M. & Fechner, A. (2007). Jodmangelprophylaxe durch richtige Ernährung – Der Beitrag von Milch, Seefisch und Jodsalz zur Jodversorgung in Deutschland. *Präv Gesundheitsf*, 2, 179–183.

[22] Deutsche Gesellschaft für Ernährung. (2009). *Kinder und Jugendliche konsumieren zu viel Salz - Bluthochdruck und daraus resultierende Herz-Kreislauf-Krankheiten werden begünstigt*. Zugriff am 1. Januar 2020. Verfügbar unter https://bit.ly/3hl7jRx

[23] Dawson-Hughes, B., Harris S.S., Lichtenstein, A.H., Dolnikowski, G., Palermo, N.J. & Rasmussen, H. (2015). Dietary fat increases vitamin D-3 absorption. *J Acad Nutr Diet*, 115(2), 225–230.

[24] Kornsteiner, M., Singer, I. & Elmadfa, I. (2008). Very low n-3 long-chain polyunsaturated fatty acid status in Austrian vegetarians and vegans. *Ann Nutr Metab*, 52(1), 37–47.

[25] Rosell, M.S., Lloyd-Wright, Z., Appleby, P.N., Sanders, T.A., Allen, N.E. & Key, T.J. (2005). Long-chain n-3 polyunsaturated fatty acids in plasma in British meat-eating, vegetarian, and vegan men. *Am J Clin Nutr*, 82(2), 327–334.

[26] Zeng, L.Z., Cao, Y., Liang, W.X. et al. (2017). An exploration of the role of a fish-oriented diet in cognitive decline: a systematic review of the literature. *Oncotarget*, 8(24), 39877–39895.

[27] Global Organization For EPA & DHA Omega-3s. (2015). *Global Recommendations for EPA and DHA Intake (Rev 18 March 2015)*. Zugriff am 1. Januar 2020. Verfügbar unter https://bit.ly/3nVFvqN

[28] Souci, S.W., Fachmann, W. & Kraut, H. (2016). *Die Zusammensetzung der Lebensmittel Nährwerttabellen* (8. Aufl.). Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft.

[29] Heseker, H. & Heseker, B. (2016). *Die Nährwerttabelle* (4. Aufl.). Neustadt a.d. Weinstraße: Neuer Umschau Buchverlag.

[30] Pawlosky, R.J., Hibbeln, J.R., Lin, Y. et al. (2003). Effects of beef- and fish-based diets on the kinetics of n-3 fatty acid metabolism in human subjects. *Am J Clin Nutr*, 77(3), 565–572.

[31] Welch, A.A., Shakya-Shrestha, S., Lentjes, M.A., Wareham, N.J. & Khaw, K.T. (2010). Dietary intake and status of n-3 polyunsaturated fatty acids in a population of fish-eating and non-fish-eating meat-eaters, vegetari-ans, and vegans and the product-precursor ratio [corrected] of α-linolenic acid to long-chain n-3 polyunsaturated fatty acids: results from the EPIC-Norfolk cohort. *Am J Clin Nutr*, 92(5), 1040–1051.

[32] Emken, E.A., Adlof, R.O., Duval, S.M. & Nelson, G.J. (1999). Effect of dietary docosahexaenoic acid on desaturation and uptake in vivo of isotope-labeled oleic, linoleic, and linolenic acids by male subjects. *Lipids*, 34(8), 785–791.

[33] Ezaki, O., Takahashi, M., Shigematsu, T. et al. (1999). Long-term effects of dietary alpha-linolenic acid from perilla oil on serum fatty acids composition and on the risk factors of coronary heart disease in Japanese elderly subjects. *J Nutr Sci Vitaminol*, 45(6), 759–772.

[34] Harris, W.S. (2008). The omega-3 index as a risk factor for coronary heart disease. *Am J Clin Nutr*, 87(6), 1997–2002.

[35] Richter, M., Boeing, H., Grünewald-Funk, D. et al. (2016). Position der Deutschen Gesellschaft für Ernährung e. V. (DGE) – Vegane Ernährung. *Ernährungs Umschau*, 63(04), 92–102.

[35.1] Lietz, G., Oxley, A., Leung, W. & Hesketh, J. (2012). Single nucleotide polymorphisms upstream from the β-carotene 15,15'-monoxygenase gene influence provitamin A conversion efficiency in female volunteers. *J Nutr*, 142(1), 161S-165S.

[35.2] Hickenbottom, S.J., Follett, J.R., Lin, Y. et al. (2002). Variability in conversion of beta-carotene to vitamin A in men as measured by using a double-tracer study design. *Am J Clin Nutr*, 75(5), 900-907.

[36] Ross, C.A. (2010). Vitamin A. In: Coates, P.M., Betz, J.M., Blackman, M.R. et al. (2010). *Encyclopedia of Dietary Supplements* (2. Aufl.). London/New York: Informa Healthcare, 778–791.

[37] Brossaud, J., Pallet, V. & Corcuff, J.B. (2017). Vitamin A, endocrine tissues and hormones: interplay and interactions. *Endocr Connect*, 6(7), 121–130.

[38] Institute of Medicine & Food and Nutrition Board. (2001). *Dietary Reference Intakes for Vitamin A, Vitamin K, Arsenic, Boron, Chromium, Copper, Iodine, Iron, Manganese, Molybdenum, Nickel, Silicon, Vanadium, and Zinc.* Washington, DC: National Academy Press.

[39] Grune, T., Lietz, G., Palou, A. et al. (2010). Beta-Carotene Is an Important Vitamin A Source for Humans. *J Nutr*, 140(12), 2268–2285.

[40] National Institute of Health. (2019). *Vitamin A - Fact Sheet for Health Professionals (Updated: October 11, 2019).* Zugriff am 1. Januar 2020. Verfügbar unter https://bit.ly/3tAZqLf

[41] Higdon, J. et al. (2000). *Linus Pauling Institute » Micronutrient Information Center – Vitamin A.* Zugriff am 1. Januar 2020. Verfügbar unter https://bit.ly/2Ofwjh6

[42] National Institute of Health. (2019). *Vitamin A - Fact Sheet for Health Professionals (Updated: October 11, 2019).* Zugriff am 1. Januar 2020. Verfügbar unter https://bit.ly/3tAZqLf

[43] Schlenker, E.D. & Long-Roth, S. (2013). *Williams' Essentials of Nutrition and Diet Therapy. (10. Aufl.)*. St. Louis Missouri: Mosby, 95.

[44] O'Byrne, S.M. & Blaner, W.S. (2013). Retinol and retinyl esters: biochemistry and physiology. *J Lipid Res*, 54(7), 1731–1743.

[45] European Food Safety Authority. (2017). Dietary Reference Values for nutrients Summary report. *EFSA Supporting publication*, e15121.

[46] Hedrén, E., Diaz, V. & Svanberg, U. (2002). Estimation of carotenoid accessibility from carrots determined by an in vitro digestion method. *Eur J Clin Nutr*, 56(5), 425–430.

[47] Hickenbottom, S.J., Follett, J.R., Lin, Y. et al. (2002). Variability in conversion of beta-carotene to vitamin A in men as measured by using a double-tracer study design. *Am J Clin Nutr*, 75(5), 900–907.

[48] Institute of Medicine & Food and Nutrition Board. (2001). *Dietary Reference Intakes for Vitamin A, Vitamin K, Arsenic, Boron, Chromium, Copper, Iodine, Iron, Manganese, Molybdenum, Nickel, Silicon, Vanadium, and Zinc*. Washington, DC: National Academy Press.

[49] National Center for Biotechnology Information. (o.D.). *PubChem Database. Vitamin A palmitate, CID=5280531*. Zugriff am 1. Januar 2020. Verfügbar unter https://bit.ly/2ZKsu5e

[50] Deutsche Gesellschaft für Ernährung, Österreichische Gesellschaft für Ernährung, Schweizerische Gesellschaft für Ernährung. (2019). *Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr – Vitamin A. (2. Aufl., 5. Aktual. Ausg.)*. Bonn: Neuer Umschau Verlag.

[51] European Food Safety Authority Panel on Dietetic Products, Nutrition, and Allergies. (2015). Scientific opinion on Dietary Reference Values for vitamin A. *EFSA Journal*, 13(3), 4028.

[52] Institute of Medicine & Food and Nutrition Board. (2001). *Dietary Reference Intakes for Vitamin A, Vitamin K, Arsenic, Boron, Chromium, Copper, Iodine, Iron, Manganese, Molybdenum, Nickel, Silicon, Vanadium, and Zinc*. Washington, DC: National Academy Press.

[53] Max Rubner-Institut. (2008). *Nationale Verzehrs Studie II Ergebnisbericht, Teil 2*. Zugriff am 1. Januar 2020. Verfügbar unter https://bit.ly/2TbjpjS

[54] National Institute of Health. (2019). *Vitamin A - Fact Sheet for Health Professionals (Updated: October 11, 2019).* Zugriff am 1. Januar 2020. Verfügbar unter https://bit.ly/3tAZqLf

[55] Leung, W.C., Hessel, S., Méplan, C. et al. (2009). Two common single nucleotide polymorphisms in the gene encoding beta-carotene 15,15‘-monoxygenase alter beta-carotene metabolism in female volunteers. *FASEB J*, 23(4), 1041–1053.

[56] Tang, G. (2010). Bioconversion of dietary provitamin A carotenoids to vitamin A in humans. *Am J Clin Nutr*, 91(5), 1468–1473.

[57] Lin, Y., Dueker, S.R., Burri, B.J., Neidlinger, T.R. & Clifford, A.J. (2000). Variability of the conversion of beta-carotene to vitamin A in women measured by using a double-tracer study design. *Am J Clin Nutr*, 71(6), 1545–1554.

[58] Leung, W.C., Hessel, S., Méplan, C. et al. (2009). Two common single nucleotide polymorphisms in the gene encoding beta-carotene 15,15'-monoxygenase alter beta-carotene metabolism in female volunteers. *FASEB J*, 23(4), 1041–1053.

[59] Leung, W.C., Hessel, S., Méplan, C. et al. (2009). Two common single nucleotide polymorphisms in the gene encoding beta-carotene 15,15'-monoxygenase alter beta-carotene metabolism in female volunteers. *FASEB J*, 23(4), 1041–1053.

[60] Lindqvist, A., Sharvill, J., Sharvill, D.E. & Andersson, S. (2007). Loss-of-function mutation in carotenoid 15,15'- monooxygenase identified in a patient with hypercarotenemia and hypovitaminosis A. *J Nutr*, 137(11), 2346–2350.

[61] Lemke, S.L., Dueker, S.R., Follett, J.R. et al. (2003). Absorption and retinol equivalence of α-carotene in humans is influenced by dietary vitamin A intake. *J Lipid Res*, 44, 1591–1600.

[62] Brown, M.J., Ferruzzi, M.G., Nguyen, M.L. et al. (2004). Carotenoid bioavailability is higher from salads ingested with full-fat than with fat-reduced salad dressings as measured with electrochemical detection. *Am J Clin Nutr*, 80(2), 396–403.

[63] Penniston, K.L. & Tanumihardjo, S.A. (2006). The acute and chronic toxic effects of vitamin A. *Am J Clin Nutr,* 83(2), 191–201.

[64] Higdon, J. et al. (2000). *Linus Pauling Institute » Micronutrient Information Center – Vitamin A*. Zugriff am 1. Januar 2020. Verfügbar unter https://bit.ly/2Ofwjh6

[65] Food and Nutrition Board, Institute of Medicine. (2001). *Dietary Reference Intakes for Vitamin A, Vitamin K, Arsenic, Boron, Chromium, Copper, Iodine, Iron, Manganese, Molybdenum, Nickel, Silicon, Vanadium, and Zinc*. Washington, D.C.: National Academy Press, 65–126.

[66] Committee on Food & European Food Safety Authority Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies. (2018). *Overview on Tolerable Upper Intake Levels as derived by the Scientific Committee on Food (SCF) and the EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA).* Zugriff am 1. Januar 2020. Verfügbar unter https://bit.ly/39ACMtm

[67] Institute of Medicine. (1998). *Dietary Reference Intakes for Thiamin, Riboflavin, Niacin, Vitamin B6, Folate, Vitamin B12, Pantothenic Acid, Biotin, and Choline*. Washington (DC): National Academies Press.

[68] Rodahl, K. & Moore, T. (1943). The vitamin A content and toxicity of bear and seal liver. *Biochem J*, 37, 166–168.

[69] Grune, T., Lietz, G., Palou, A. et al. (2010). Beta-carotene is an important vitamin A source for humans. *The Journal of Nutrition*, 140, 2268–2285.

[70] American Chemical Society. (2018). *The ACS Student Member Magazine: Why Do Leaves Change Color in the Fall?* Zugriff am 1. Januar 2020. Verfügbar unter https://bit.ly/2QRwwVq

[71] Souci, S.W., Fachmann, W. & Kraut, H. (2016). *Die Zusammensetzung der Lebensmittel Nährwerttabellen (8. Aufl.)*. Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft.

[72] Tang, G. (2010). Bioconversion of dietary provitamin A carotenoids to vitamin A in humans. *Am J Clin Nutr*, 91(5), 1468–1473.

[73] Tang, G., Qin, J., Dolnikowski, G.G., Russell, R.M. & Grusak, M.A. (2009). Golden Rice is an effective source of vitamin A. *Am J Clin Nutr*, 89(6), 1776–1783.

[74] Tang, G. (2010). Bioconversion of dietary provitamin A carotenoids to vitamin A in humans. *Am J Clin Nutr*, 91(5), 1468–1473.

[74.1] Sobiecki, J.G., Appleby, P.N., Bradbury, K.E. & Key, T.J. (2016). High compliance with dietary recommendations in a cohort of meat eaters, fish eaters, vegetarians, and vegans: results from the European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition-Oxford study. *Nutr Res*, 36(5), 464-477.

[75] Allen, L.H. & Haskell, M. (2001). Vitamin A requirements of infants under six months of age. *Food and Nutrition Bulletin*, 22(3), 214–234.

[76] Tang, G., Hu, Y., Yin, S.A. et al. (2012). β-Carotene in Golden Rice is as good as β-carotene in oil at providing vitamin A to children. *Am J Clin Nutr*, 96(3), 658–664.

[77] Max Rubner-Institut. (2008). *Nationale Verzehrsstudie II - Ergebnisbericht, Teil 2 (S.134)*. Zugriff am 1. Januar 2020. Verfügbar unter https://bit.ly/2TbjpjS

[78] Schüpbach, R., Wegmüller, R., Berguerand, C., Bui, M. & Herter-Aeberli, I. (2017). Micronutrient status and intake in omnivores, vegetarians and vegans in Switzerland. *Eur J Nutr*, 56(1), 283–293.

[79] Tanumihardjo, S.A. (2012). Biomarkers of vitamin A status: what do they mean? *In*: World Health Organization. *Report: Priorities in the assessment of vitamin A and iron status in populations*. Geneva: World Health Organization.

[80] Gröber, U. (2011). *Mikronährstoffe: Metabolic Tuning – Prävention – Therapie (3. Aufl.)*. Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft Stuttgart, 122.

[81] Layrisse, M., García-Casal, M.N., Solano, L. et al. (2000). New property of vitamin A and beta-carotene on human iron absorption: effect on phytate and polyphenols as inhibitors of iron absorption. *Arch Latinoam Nutr*, 50(3), 243–248.

[82] European Food Safety Authority Panel on Dietetic Products, Nutrition, and Allergies. (2015). Scientific opinion on Dietary Reference Values for vitamin A. *EFSA Journal*, 13(3), 4028.

[83] Obeid, R., Fedosov, S.N. & Nexo, E. (2015). Cobalamin coenzyme forms are not likely to be superior to cyano- and hydroxyl-cobalamin in prevention or treatment of cobalamin deficiency. *Mol Nutr Food Res*, 59(7), 1364–1372.

[84] Obeid, R., Fedosov, S.N. & Nexo, E. (2015). Cobalamin coenzyme forms are not likely to be superior to cyano- and hydroxyl-cobalamin in prevention or treatment of cobalamin deficiency. *Mol Nutr Food Res*, 59(7), 1364–1372.

[85] Kamath, A. & Pemminati, S. (2017). Methylcobalamin in Vitamin B12 Deficiency: To Give or not to Give? *J Pharmacol Pharmacother*, 8(1), 33–34.

[86] Arslan, S.A., Arslan, L. & Tirnaksiz, F. (2013). Cobalamins and methylcobalamin: Coenzyme of Vitamin B12. *J Pharm Sci*, 38(3), 151–157.

[87] Thakkar, K. & Billa, G.(2015). Treatment of vitamin B12 deficiency-methylcobalamine? Cyancobalamine? Hydroxocobalamin? Clearing the confusion. *Eur J Clin Nutr*, 69(1), 1–2.

[88] Hahn, A., Ströhle, A. & Wolters, M. (2016). *Ernährung – Physiologische Grundlagen, Prävention, Therapie (3. Aufl.)* Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft Stuttgart, 214 ff.

[89] Gropper, S.S., Smith, J.L. & Carr, T.P. (2017). *Advanced Nutrition and Human Metabolism (7. Aufl.)*. Boston: Cengage Learning, 353 f.

[90] Farquharson, J. & Adams, J.F. (1976). The forms of vitamin B12 in foods. *Br J Nutr*, 36(1), 127–136.

[91] Boddy, K., King, P., Mervyn, L., Macleod, A. & Adams, J.F. (1968). Retention of cyanocobalamin, hydroxocobalamin, and coenzyme B12 after parenteral administration. *The Lancet,* 292(7570), 710–712.

[92] Deutsche Gesellschaft für Ernährung, Österreichische Gesellschaft für Ernährung, Schweizerische Gesellschaft für Ernährung. (2018). *Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr – Vitamin B12. (2. Aufl., 4. Aktual. Ausg.)*. Bonn: Neuer Umschau Buchverlag.

[93] Deutsche Gesellschaft für Ernährung, Österreichische Gesellschaft für Ernährung, Schweizerische Gesellschaft für Ernährung. (2015). *Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr – Vitamin B12 (2. Aufl.)*. Bonn: Neuer Umschau Buchverlag.

[94] Gropper, S.S., Smith, J.L. & Carr, T.P. (2017). *Advanced Nutrition and Human Metabolism (7. Aufl.).* Boston: Cengage Learning, 354.

[95] O'Leary, F. & Samman, S. (2010). Vitamin B12 in Health and Disease. *Nutrients*, 2(3), 299–316.

[96] Gropper, S.S., Smith, J.L. & Carr, T.P. (2017). *Advanced Nutrition and Human Metabolism (7. Aufl.)*. Boston: Cengage Learning, 354.

[97] Hahn, A., Ströhle, A. & Wolters, M. (2016). *Ernährung – Physiologische Grundlagen, Prävention, Therapie (3. Aufl.)*. Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft Stuttgart, 218.

[98] Sokoloff, M.F., Sanneman, E.H. & Beard, M.F. (1952). Urinary Excretion of Vitamin B12. *Blood J*, 7, 243–250.

[99] Veraldi, S., Benardon, S, Diani, M. & Barbareschi, M. (2018). Acneiform eruptions caused by vitamin B12: A report of five cases and review of the literature. *J Cosmet Dermatol*, 17(1), 112–115.

[100] American Society for Nutrition. (2012). Nutrient Information: Vitamin B-12. *Adv Nutr*, 3, 54–55.

[101] European Food Safety Authority, Scientific Committee on Food & Scientific Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies. (2006). *Tolerable Upper Intake Levels for vitamins and minerals*. Zugriff am 1. Januar 2020. Verfügbar unter http://bit.ly/2E8tsQI

[102] Doscherholmen, A., McMahon, J. & Ripley, D. (1975). Vitamin B12 absorption from eggs. *Proc Soc Exp Biol Med*, 149(4), 987–990.

[103] Watanabe, F., Yabuta, Y., Tanioka, Y. & Bito, T. (1988). Biologically active vitamin B12 compounds in foods for preventing deficiency among vegetarians and elderly subjects. *Agric Food Chem*, 61(28), 6769–6775.

[104] Gu, Q., Zhang, C., Song, D., Li, P. & Zhu, X. (2015). Enhancing vitamin B12 content in soy-yogurt by Lacto-bacillus reuteri. *Int J Food Microbiol*, 206, 56–59.

[105] Kaplana, A., Zelichaa, H., Tsabana, G. et al. (2019). Protein bioavailability of Wolffia globosa duckweed, a novel aquatic plant – A randomized controlled trial. *J Clin Nutr,* 38(6), 2576–2582.

[106] Croft, M.T., Lawrence, A.D., Raux-Deery, E., Warren, M.J. & Smith, A.G. (2005). Algae acquire vitamin B12 through a symbiotic relationship with bacteria. *Nature*, 438(7064), 90–93.

[107] Kumudha, A., Selvakumar, S., Dilshad, P. et al. (2015). Methylcobalamin – a form of vitamin B12 identified and characterised in Chlorella vulgaris. *Food Chem*, 170, 316–320.

[108] Richter, M., Boeing, H., Grünewald-Funk, D. et al. (2016). Position der Deutschen Gesellschaft für Ernährung e. V. (DGE) – Vegane Ernährung. *Ernährungs Umschau*, 63(04), 92–102.

[109] Biesalski, H.K. (2016). *Vitamine und Minerale – Indikation, Diagnostik, Therapie.* Stuttgart: Georg Thieme Verlag, 108.

[110] Tinelli, C., Di Pino, A., Ficulle, E., Marcelli, S. & Feligioni, M. (2019). Hyperhomocysteinemia as a Risk Factor and Potential Nutraceutical Target for Certain Pathologies. *Front Nutr*, 6, 49.

[111] O'Leary, F. & Samman, S. (2010). Vitamin B12 in Health and Disease. *Nutrients*, 2(3), 299–316.

[112] Lüthgens, K.J. & Müller, M. (2012). *Neuer Marker zur verbesserten Erkennung von Vitamin-B12-Mangelzuständen.* Zugriff am 1. Januar 2020. Verfügbar unter http://bit.ly/2s0WL2C

[113] Gropper, S.S., Smith, J.L. & Carr, T.P. (2017). *Advanced Nutrition and Human Metabolism (7. Aufl.)*. Boston: Cengage Learning, 353f.

[114] Keller, M. (2014). B12 – Manchmal wird es knapp. *UGBforum spezial: Vegan und vollwertig essen*, 21–24.

[115] Richter, M., Boeing, H., Grünewald-Funk, D. et al. (2016). Position der Deutschen Gesellschaft für Ernährung e. V. (DGE) – Vegane Ernährung. *Ernährungs Umschau*, 63(04), 92–102.

[116] Melina, V., Craig, W. & Levin, S. (2016). Position of the Academy of Nutrition and Dietetics: Vegetarian Diets. *J Acad Nutr Diet*, 16(12), 1970–1980.

[117] Belinda, T.J. (2014). Significance of Riboflavin (Vitamin-B2) for Health. *J Pharm Sci & Res*, 6(8), 285–287.

[118] Pinto, J.T. & Zempleni, J. (2016). Riboflavin. *Adv Nutr,* 7(5), 973–975.

[119] Powers, H.J. (2003). Riboflavin (vitamin B-2) and health. *Am J Clin Nutr*, 77(6), 1352–1360.

[120] Pinto, J.T. & Zempleni, J. (2016). Riboflavin. *Adv Nutr*, 7(5), 973–975.

[121] National Center for Biotechnology Information. (2005). *PubChem Compound Database – Riboflavin; CID=493570.* Zugriff am 1. Januar 2020. Verfügbar unter http://bit.ly/2Efpkef

[122] Institute of Medicine. (1998). *Dietary Reference Intakes for Thiamin, Riboflavin, Niacin, Vitamin B6, Folate, Vitamin B12, Pantothenic Acid, Biotin, and Choline*. Washington, D. C.: National Academies Press.

[123] Deutsche Gesellschaft für Ernährung, Österreichische Gesellschaft für Ernährung, Schweizerische Gesellschaft für Ernährung. (2015). *Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr – Riboflavin. (2. Aufl.)*. Bonn: Neuer Umschau Verlag.

[124] Institute of Medicine. (1998). *Standing Committee on the Scientific Evaluation of Dietary Reference Intakes and its Panel on Folate, Other B Vitamins, and Choline.* Washington (DC): National Academies Press.

[125] Vrzhesinskaia, O.A., Kodentsova, V.M. & Spirichev, V.B. (1994). Absorption of vitamin B2 from plant and animal food products. *Fiziol Zh*, 40(1), 39–47.

[126] Institute of Medicine. (1998). *Dietary Reference Intakes for Thiamin, Riboflavin, Niacin, Vitamin B6, Folate, Vitamin B12, Pantothenic Acid, Biotin, and Choline.* Washington, D. C.: National Academies Press.

[127] Gropper, S.S., Smith, J.L. & Carr, T.P. (2018). *Advanced Nutrition and Human Metabolism (7. Aufl.)*. Boston: Cengage Learning.

[128] Schoenen, J., Lenaerts, M. & Bastings, E. (1994). High-dose riboflavin as a prophylactic treatment of migraine: Results of an open pilot study. *Cephalalgia*, 14, 328–329.

[129] Bhusal, A. & Banks, S.W. (2017). *Riboflavin Deficiency.* Zugriff am 1. Januar 2020. Verfügbar unter https://bit.ly/2jYEzzF

[130] Souci, S.W., Fachmann, W. & Kraut, H. (2016). *Die Zusammensetzung der Lebensmittel Nährwerttabellen (8. Aufl.)*. Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft.

[131] Kompetenzzentrum für Ernährung an der Bayer. Landesanstalt für Landwirtschaft. (2016). *Vegane Ernährung*. Zugriff am 1. Januar 2020. Verfügbar unter http://bit.ly/2El3VAv

[132] Souci S.W., Fachmann, W. & Kraut, H. (2016). *Die Zusammensetzung der Lebensmittel Nährwerttabellen (8. Aufl.)*. Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft.

[133] ProdanovIsabel, M., Sierra, I. & Vidal-Valverde, C. (1997). Effect of germination on the thiamine, riboflavin and niacin contents in legumes. *Lebensm Unters Forsch*, 205(1), 48–52.

[134] Rahmatullina, Y.R., Doronin, A.F., Vrzhesinskaya, O.A. & Kodentsova, V.M. (2013). Content of vitamins B1 and B2 in germinating grain. *Bull Exp Biol Med*, 154(5), 628–630.
[135] Finney, P.L. (1982). Effect of Germination on Cereal and Legume Nutrient Changes and Food or Feed Value: A Comprehensive Review. *Recent Adv Phytochem*, 17, 240–245.
[136] Larsson, C.L. & Johansson, G.K. (2002). Dietary intake and nutritional status of young vegans and omnivores in Sweden. *Am J Clin Nutr*, 76, 100–106.
[137] Majchrzak, D., Singer, I., Männer, M. et al. (2006). B-Vitamin Status and Concentrations of Homocysteine in Austrian Omnivores, Vegetarians and Vegans. *Ann Nutr Metab*, 50, 485–491.
[138] Schüpbach, R., Wegmüller, R., Berguerand, C., Bui, M. & Herter-Aeberli, I. (2017). Micronutrient status and intake in omnivores, vegetarians and vegans in Switzerland. *Eur J Nutr*, 56(1), 283–293.
[139] Davey, G.K., Spencer, E.A., Appleby, P.N. et al. (2003). EPIC–Oxford: life-style characteristics and nutrient intakes in a cohort of 33 883 meat-eaters and 31 546 non meat-eaters in the UK. *Public Health Nutrition*, 6(3), 259–268.
[140] Peechakara, B.V. & Gupta, M. (2019). *Vitamin B2 (Riboflavin)*. Zugriff am 1. Januar 2020. Verfügbar unter https://bit.ly/2QqF6eP
[141] Göring, H. & Koshuchowa, S. (2015). Vitamin D -- the sun hormone. Life in environmental mismatch. *Biochemistry (Mosc)*, 80(1), 8–20.
[142] Wacker, M. & Holick, M.F. (2013). Sunlight and Vitamin D – A global perspective for health. *Dermatoendocrinol*, 5(1), 51–108.
[143] Hahn, A., Ströhle, A. & Wolters, M. (2016). *Ernährung – Physiologische Grundlagen, Prävention, Therapie* (3. Aufl.). Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft Stuttgart, 174.
[144] Chan, J., Jaceldo-Siegl, K. & Fraser, G.E. (2009). Serum 25-hydroxyvitamin D status of vegetarians, partial vegetarians, and nonvegetarians: the Adventist Health Study-2. *Am J Clin Nutr*, 89(5), 1686–1692.
[145] Deutsche Gesellschaft für Ernährung, Österreichische Gesellschaft für Ernährung, Schweizerische Gesellschaft für Ernährung. (2015). *Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr – Vitamin D* (2. Aufl.). Bonn: Neuer Umschau Verlag
[146] Heaney, R.P. & Holick, M.F. (2011). Why the IOM recommendations for vitamin D are deficient. *J Bone Miner Res*, 26(3), 455–457.
[147] Bischoff-Ferrari, H. & Willett, W. (o. D.). *Comment on the IOM Vitamin D and Calcium Recommendations*. Zugriff am 1. Januar 2020. Verfügbar unter https://bit.ly/2IAGzc8
[148] Ross, A.C., Taylor, C.L., Yaktine, A.L. & Del Valle, H.B. (2011). *Institute of Medicine – Dietary Reference Intakes for Calcium and Vitamin D*. Washington (DC): National Academies Press.
[149] Deutsche Gesellschaft für Ernährung, Österreichische Gesellschaft für Ernährung, Schweizerische Gesellschaft für Ernährung. (2019). *Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr – Vitamin D* (2. Aufl., 5. Aktual. Ausg.). Bonn: Neuer Umschau Verlag.
[150] National Academy of Sciences/Institute of Medicine. (2011). *Dietary Reference Intakes for Calcium and Vitamin D*. Zugriff am 1. Januar 2020. Verfügbar unter https://bit.ly/2MTj5TV
[151] Kennel, K.A., Drake, M.T. & Hurley, D.L. (2010). Vitamin D Deficiency in Adults: When to Test and How to Treat. *Mayo Clin Proc*, 85(8), 752–758.
[152] Heaney, R.P. (2005). The Vitamin D requirement in health an disease. *J Steroid Biochem Mol Biol*, 97(1–2), 13–19.
[152.2] Holick, M.F., Binkley, N.C., Bischoff-Ferrari, H.A. et al. (2011). Evaluation, Treatment, and Prevention of Vitamin D Deficiency: an Endocrine Society Clinical Practice Guideline. *J Clin Endocrinol*, 96(7), 1911–1930.
[153] Heaney, R.P. (2005). The Vitamin D requirement in health and disease. *J Steroid Biochem Mol Biol*, 97(1–2), 13–19.
[154] Gröber, U. & Holick, M.F. (2015). *Vitamin D – Die Heilkraft des Sonnenvitamins* (3. Aufl.). Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft Stuttgart, 269.
[155] American Geriatrics Society Workgroup on Vitamin D Supplementation for Older Adults. (2014). Recommendations abstracted from the American Geriatrics Society Consensus Statement on vitamin D for Prevention of Falls and Their Consequences. *J Am Geriatr Soc*, 62(1), 147–152.

[156] Dawson-Hughes, B., Harris, S.S., Lichtenstein, A.H. et al. (2015). Dietary fat increases vitamin D-3 absorption. *J Acad Nutr Diet*, 115(2), 225–230.

[157] Hahn, A., Ströhle, A. & Wolters, M. (2016). *Ernährung – Physiologische Grundlagen, Prävention, Therapie (3. Aufl.)*. Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft Stuttgart, 170.

[158] Spiro, A. & Buttriss, J.L. (2014). Vitamin D: An overview of vitamin D status and intake in Europe. *Nutr Bull,* 39(4), 322–350.

[159] Holick, M.F., Biancuzzo, R.M., Chen, T.C. et al. (2008). Vitamin D2 is as effective as vitamin D3 in maintaining circulating concentrations of 25-hydroxyvitamin D. *J Clin Endocrinol Metab*, 93(3), 677–681.

[160] Tripkovic, L., Lambert, H., Hart, K. et al. (2012). Comparison of vitamin D2 and vitamin D3 supplementation in raising serum 25-hydroxyvitamin D status: a systematic review and meta-analysis. *Am J Clin Nutr*, 95(6), 1357–1364.

[161] Tripkovic, L., Lambert, H., Hart, K. et al. (2012). Comparison of vitamin D2 and vitamin D3 supplementation in raising serum 25-hydroxyvitamin D status: a systematic review and meta-analysis. *Am J Clin Nutr*, 95(6), 1357–1364.

[162] National Institutes of Health. (2018). *Vitamin D – Fact Sheet for Health Professionals.* Zugriff am 1. Januar 2020. Verfügbar unter http://bit.ly/2P5HdUx

[163] Institute of Medicine, Food and Nutrition Board. (2010). *Dietary Reference Intakes for Calcium and Vitamin D.* Washington, DC: National Academy Press.

[164] Holick, M.F., MacLaughlin, J.A. & Doppelt, S.H. (1981). Regulation of cutaneous previtamin D3 photosynthesis in man: skin pigment is not an essential regulator. *Science*, 211(4482), 590–593.

[165] D'Orazio, J., Jarrett, S., Amaro-Ortiz, A. & Scott, T. (2013). UV Radiation and the Skin. *Int J Mol Sci*, 14(6), 12222–12248.

[166] European Food Safety Authority. (2012). Scientific Opinion on the Tolerable Upper Intake Level of vitamin D. *EFSA Journal*, 10(7), 2813.

[167] National Institutes of Health. (2018). *Vitamin D – Fact Sheet for Health Professionals.* Zugriff am 1. Januar 2020. Verfügbar unter http://bit.ly/2P5HdUx

[168] American Geriatrics Society Workgroup on Vitamin D Supplementation for Older Adults. (2014). Recommendations abstracted from the American Geriatrics Society Consensus Statement on vitamin D for Prevention of Falls and Their Consequences. *J Am Geriatr Soc*, 62(1), 147–152.

[169] Vieth, R. (2007). Vitamin D toxicity, policy, and science. *J Bone Miner Res*, 22(2), 64–68.

[170] National Institutes of Health. (2018). *Vitamin D – Fact Sheet for Health Professionals.* Zugriff am 1. Januar 2020. Verfügbar unter http://bit.ly/2P5HdUx

[171] Gröber, U. & Holick, M.F. (2015). *Vitamin D – Die Heilkraft des Sonnenvitamins (3. Aufl.).* Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft Stuttgart.

[172] Zittermann, A. (2010). The estimated benefits of vitamin D for Germany. *Mol Nutr Food Res*, 54(8), 1164–1171.

[173] Bundesamt für Strahlenschutz. (2018). *UV-Index weltweit.* Zugriff am 1. Januar 2020. Verfügbar unter https://bit.ly/2s0FFid

[174] Urbain, P., Singler, F., Ihorst, G., Biesalski, H.K. & Bert, H. (2011). Bioavailability of vitamin D2 from UV-B-irradiated button mushrooms in healthy adults deficient in serum 25-hydroxyvitamin D: a randomized controlled trial. *Eur J Clin Nutr,* 65(8), 965–971.

[175] Max Rubner-Institut. (2008). *Nationale Verzehrs Studie II Ergebnisbericht, Teil 2.* Zugriff am 1. Januar 2020. Verfügbar unter https://bit.ly/2TbjpjS

[176] National Institutes of Health. (2018). *Vitamin D – Fact Sheet for Health Professionals.* Zugriff am 1. Januar 2020. Verfügbar unter http://bit.ly/2P5HdUx

[177] Heaney, R.P. & Armas, L.A. (2015). Screening for vitamin D deficiency: is the goal disease prevention or full nutrient repletion? *Ann Intern Med*, 162(10), 738–739.

[178] Vasquez, A., Manso, G. & Cannell, J. (2004). The clinical importance of vitamin D (cholecalciferol): a paradigm shift with implications for all healthcare providers. *Altern Ther Health Med*, 10(5), 28–36.

[179] Alshahrani, F. & Aljohani, N. (2013). Vitamin D: Deficiency, Sufficiency and Toxicity. *Nutrients*, 5(9), 3605–3616.

[180] Gröber, U. & Holick, M.F. (2015). *Vitamin D – Die Heilkraft des Sonnenvitamins (3. Aufl.).* Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft Stuttgart, 261.

[181] Deutsche Gesellschaft für Ernährung, Österreichische Gesellschaft für Ernährung, Schweizerische Gesellschaft für Ernährung. (2015). *Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr – Vitamin D. (2. Aufl.)*. Bonn: Neuer Umschau Verlag.

[182] Ameri, P., Bovio, M. & Murialdo, G. (2012). Treatment for vitamin D deficiency: here and there do not mean everywhere. *Eur J Nutr*, 51(2), 257–259.

[183] Gröber, U. & Holick, M.F. (2015). *Vitamin D – Die Heilkraft des Sonnenvitamins (3. Aufl.).* Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft Stuttgart, 261.

[184] National Institutes of Health. (2018). *Vitamin D – Fact Sheet for Health Professionals.* Zugriff am 1. Januar 2020. Verfügbar unter http://bit.ly/2P5HdUx

[185] Binkley, N., Novotny, R., Krueger, D. et al. (2007). Low vitamin D status despite abundant sun exposure. *J Clin Endocrinol Metab*, 92(6), 2130–2135.

[186] Luxwolda, M.F., Kuipers, R.S., Kema, I.P., Dijck-Brouwer, D.A. & Muskiet, F.A. (2012). Traditionally living populations in East Africa have a mean serum 25-hydroxyvitamin D concentration of 115 nmol/l. *Br J Nutr,* 108(9), 1557–1561.

[187] Heaney, R.P. & Armas, L.A. (2015). Screening for vitamin D deficiency: is the goal disease prevention or full nutrient repletion? *Ann Intern Med*, 162(10), 738–739.

[188] Ross, A.C., Taylor, C.L., Yaktine, A.L. & Del Valle, H.B. (2011). *Institute of Medicine – Dietary Reference Intakes for Calcium and Vitamin D*. Washington (DC): National Academies Press.

[189] Deutsche Gesellschaft für Ernährung, Österreichische Gesellschaft für Ernährung, Schweizerische Gesellschaft für Ernährung. (2015). *Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr – Vitamin D. (2. Aufl.)*. Bonn: Neuer Umschau Verlag.

[190] Gröber, U. & Holick, M.F. (2015). *Vitamin D – Die Heilkraft des Sonnenvitamins (3. Aufl.).* Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft Stuttgart, 261.

[191] Schwalfenberg, G.K. (2017). Vitamins K1 and K2: The Emerging Group of Vitamins Required for Human Health. *J Nutr Metab*, 6254836.

[192] Schwalfenberg, G.K. (2017). Vitamins K1 and K2: The Emerging Group of Vitamins Required for Human Health. *J Nutr Metab*, 6254836.

[193] Iwamoto, J., Takeda, T. & Ichimura, S. (2000). Effect of combined administration of vitamin D3 and vitamin K2 on bone mineral density of the lumbar spine in postmenopausal women with osteoporosis. *J Orthop Sci,* 5(6), 546–551.

[194] Katarzyna, M. (2015). Proper Calcium Use: Vitamin K as a Promoter of Bone and Cardiovascular Health. *Integr Med (Encinitas)*, 14(1), 34–39.

[195] Masterjohn, C. (2007). Vitamin D toxicity redefined: vitamin K and the molecular mechanism. *Med Hypotheses*, 68(5), 1026–1034.

[196] Halder, M., Petsophonsakul, P., Akbulut, A.C. et al. (2019). Vitamin K: Double Bonds beyond Coagulation Insights into Differences between Vitamin K1 and K2 in Health and Disease. *Int J Mol Sci*, 20(4), 896.

[197] Halder, M., Petsophonsakul, P., Akbulut, A.C. et al. (2019). Vitamin K: Double Bonds beyond Coagulation Insights into Differences between Vitamin K1 and K2 in Health and Disease. *Int J Mol Sci*, 20(4), 896.

[198] Deutsche Gesellschaft für Ernährung, Österreichische Gesellschaft für Ernährung & Schweizerische Gesellschaft für Ernährung. (2015). *D-A-CH-Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr – Magnesium*. Bonn: Neuer Umschau Buchverlag

[199] Szterk, A., Zmysłowski, A. & Bus, K. (2018). Identification of cis/trans isomers of menaquinone-7 in food as exemplified by dietary supplements. *Food Chem,* 243, 403–409.

[200] European Food Safty Authority. (2008). Vitamin K2 added for nutritional purpose in foods for particular nutritional uses, food supplements and foods intended for the general population and Vitamin K2 as a source of vitamin K added for nutritional purposes to foodstuffs, in the context of Regulation (EC) N° 258/97 - Scientific Opinion of the Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies. *The EFSA Journal*, 822, 1–31.

[201] Szterk, A., Zmysłowski, A. & Bus, K. (2018). Identification of cis/trans isomers of menaquinone-7 in food as exemplified by dietary supplements. *Food Chem*, 243, 403–409.

[202] Sato, T., Schurgers, L.J., & Uenishi, K. (2012). Comparison of menaquinone-4 and menaquinone-7 bioavailability in healthy women. *Nutrition journal*, 11(1), 1.

[203] National Institute of Health. (2019). *Vitamin K - Fact Sheet for Health Professionals (Updated: October 11, 2019).* Zugriff am 1. Januar 2020. Verfügbar unter https://bit.ly/2ufeNQf

[204] Gröber, U., Reichrath, J., Holick, M.F. & Kisters, K. (2014). Vitamin K: an old vitamin in a new perspective. *Dermatoendocrinol*, 6(1), e968490.

[205] Institute of Medicine (2001). *Dietary reference intakes for vitamin A, vitamin K, arsenic, boron, chromium, copper, iodine, iron, manganese, molybdenum, nickel, silicon, vanadium, and zinc*. Washington, DC: National Academy Press.

[206] Committee on Food & European Food Safety Authority Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies. (2018). *Overview on Tolerable Upper Intake Levels as derived by the Scientific Committee on Food (SCF) and the EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA).* Zugriff am 1. Januar 2020. Verfügbar unter https://bit.ly/39ACMtm

[207] Institute of Medicine & Food and Nutrition Board. (2001). *Dietary Reference Intakes for Vitamin A, Vitamin K, Arsenic, Boron, Chromium, Copper, Iodine, Iron, Manganese, Molybdenum, Nickel, Silicon, Vanadium, and Zinc.* Washington, DC: National Academy Press.

[208] Vossen, L.M., Schurgers, L.J., van Varik, B.J. et al. (2015). Menaquinone-7 Supplementation to Reduce Vascular Calcification in Patients with Coronary Artery Disease: Rationale and Study Protocol (VitaK-CAC Trial). *Nutrients*, 7(11), 8905–8915.

[209] Halder, M., Petsophonsakul, P., Akbulut, A.C. et al. (2019). Vitamin K: Double Bonds beyond Coagulation Insights into Differences between Vitamin K1 and K2 in Health and Disease. *Int J Mol Sci*, 20(4), 896.

[210] Halder, M., Petsophonsakul, P., Akbulut, A.C. et al. (2019). Vitamin K: Double Bonds beyond Coagulation Insights into Differences between Vitamin K1 and K2 in Health and Disease. *Int J Mol Sci*, 20(4), 896.

[211] Max Rubner-Institut. (2008). *Nationale Verzehrs Studie II – Ergebnisbericht, Teil 2*. Zugriff am 1. Januar 2020. Verfügbar unter https://bit.ly/2TbjpjS

[212] Kristensen, N.B., Madsen, M.L., Hansen, T.H., Allin, K.H., Hoppe, C. & Fagt, F. (2015). Intake of macro- and micronutrients in Danish vegans. *Nutr J*, 14, 115.

[213] Schüpbach, R., Wegmüller, R., Berguerand, C., Bui, M. & Herter-Aeberli, I. (2017). Micronutrient status and intake in omnivores, vegetarians and vegans in Switzerland. *Eur J Nutr*, 56(1), 283–293.

[214] National Institute of Health. (2019). *Vitamin K - Fact Sheet for Health Professionals (Updated: October 11, 2019).* Zugriff am 1. Januar 2020. Verfügbar unter https://bit.ly/2ufeNQf

[215] Sadowski, J.A., Hood, S.J., Dallal, G.E. & Garry, P.J. (1989). Phylloquinone in plasma from elderly and young adults: factors influencing its concentration. *Am J Clin Nutr*, 50(1), 100–108.

[216] Sadowski, J.A., Hood, S.J., Dallal, G.E. & Garry, P.J. (1989). Phylloquinone in plasma from elderly and young adults: factors influencing its concentration. *Am J Clin Nutr*, 50(1), 100–108.

[217] National Institute of Health. (2019). *Vitamin A - Fact Sheet for Health Professionals (Updated: October 11, 2019).* Zugriff am 1. Januar 2020. Verfügbar unter https://bit.ly/2ufeNQf

[218] Yang, R. & Moosavi, L. (2019). *Prothrombin Time. StatPearls.* Zugriff am 1. Januar 2020. Verfügbar unter https://bit.ly/35qEBWx

[219] Suttie, J.W. (2010). Vitamin K. *In*: Coates, P.M., Betz, J.M., Blackman, M.R. et al. *eds. Encyclopedia of Dietary Supplements. (2. Aufl.).* London/New York: Informa Healthcare, 856.

[220] Fusaro, M., Mereu, M.C., Aghi, A., Iervasi, G. & Gallieni, M. (2017). Vitamin K and bone. *Clin Cases Miner Bone Metab*, 14(2), 200–206.

[221] Iguacel, I., Miguel-Berges, M.L., Gómez-Bruton, A., Moreno, L.A. & Julián, C. (2019). Veganism, vegetarianism, bone mineral density, and fracture risk: a systematic review and meta-analysis. *Nutr Rev*, 77(1), 1–18.

[222] Insel, P., Ross, D., McMahon, K. & Bernstein, M. (2017). *Nutrition (6. Aufl.)*. Burlington: Jones & Bartlett Learning, 485.

[223] Gröber, U. (2011). *Mikronährstoffe: Metabolic Tuning – Prävention – Therapie (3. Aufl.)*. Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft Stuttgart, 209.

[224] Kitchin, B. & Morgan, S.L. (2007). Not just Calcium and vitamin D: other nutritional considerations in osteoporosis. *Curr Rheumatol Rep*, 9(1), 85–92.

[225] Deutsche Gesellschaft für Ernährung, Österreichische Gesellschaft für Ernährung & Schweizerische Gesellschaft für Ernährung. (2015). D-*A-CH-Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr – Calcium*. Bonn: Neuer Umschau Buchverlag.

[226] National Academy of Sciences/Institute of Medicine. (2011). *Dietary Reference Intakes for Calcium and Vitamin D*. Zugriff am 1. Januar 2020. Verfügbar unter https://bit.ly/2MTj5TV

[227] British Dietetic Association. (2017). *Food Fact Sheet – Calcium.* Zugriff am 1. Januar 2020. Verfügbar unter https://bit.ly/2N2Rik2

[228] National Health Service. (2017). *Calcium*. Zugriff am 1. Januar 2020. Verfügbar unter https://bit.ly/2HUd-HPM

[229] Harvard Women's Health Watch. (2017). *How much Calcium do you really need?* Zugriff am 1. Januar 2020 Verfügbar unter https://bit.ly/2I3ZjVs

[230] Hahn, A., Ströhle, A. & Wolters, M. (2016). *Ernährung – Physiologische Grundlagen, Prävention, Therapie (3. Aufl.)*. Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft Stuttgart, 385

[231] Aloia, J.F., Dhaliwal, R., Shieh, A. et al. (2014). Vitamin D supplementation increases calcium absorption without a threshold effect. *Am J Clin Nutr*, 99(3), 624–631.

[232] Mangano, K.M., Sahni, S. & Kerstetter, K.E. (2014). Dietary protein is beneficial to bone health under conditions of adequate calcium intake: an update on clinical research. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*, 17(1), 69–74.

[233] Abrams, S.A., Hawthorne, K.M., Aliu, O. et al. (2007). An inulin-type fructan enhances calcium absorption primarily via an effect on colonic absorption in humans. *J Nutr*, 137(10), 2208–2212.

[234] Gupta, R.K., Gangoliya, S.S. & Singh, N.K. (2015). Reduction of phytic acid and enhancement of bioavailable micronutrients in food grains. *J Food Sci Technol*, 52(2), 676–684.

[235] Warensjö, E., Byberg, L., Melhus, H. et al. (2011). Dietary Calcium intake and risk of fracture and osteoporosis: prospective longitudinal cohort study. *BMJ*, 342, d1473.

[236] Bolland, M.J., Avenell, A., Baron, J.A. et al. (2010). Effect of Calcium supplements on risk of myocardial infarction and cardiovascular events: meta-analysis. *BMJ*, 341, c3691.

[237] European Food Safety Authority. (2012). Scientific Opinion on the Tolerable Upper Intake Level of calcium. *EFSA Journal,* 10(7), 2814.

[238] Ross, A.C., Taylor, C.L., Yaktine, A.L. & Del Valle, H.B. (2011). *Institute of Medicine – Dietary Reference Intakes for Calcium and Vitamin D*. Washington (DC): National Academies Press.

[239] Harvard Women's Health Watch. (2017). *How much Calcium do you really need?* Zugriff am 1. Januar 2020. Verfügbar unter https://bit.ly/2I3ZjVs

[240] Souci S.W., Fachmann, W. & Kraut, H. (2016). *Die Zusammensetzung der Lebensmittel Nährwerttabellen (8. Aufl.)*. Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft.

[241] Weaver, C.M. & Plawecki, K.L. (1994). Dietary calcium: adequacy of a vegetarian diet. *Am J Clin Nutr*, 59(5), 1238–1241.

[242] Max Rubner-Institut. (2008). *Nationale Verzehrs Studie II – Ergebnisbericht, Teil 2.* Zugriff am 1. Januar 2020. Verfügbar unter https://bit.ly/2TbjpjS

[243] Fujita, T. (2000). Calcium paradox: consequences of calcium deficiency manifested by a wide variety of diseases. *J Bone Miner Metab*, 18(4), 234–236.

[244] Biesalski, H.K. (2016). *Vitamine – Indikation, Diagnostik, Therapie*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag, 144.

[245] Hunt, C.D. & Johnson, L.K. (2007). Calcium requirements new estimations for men and women by cross-sectiona statistical analyses of Calcium balance data from metabolic studies. *Am J Clin Nutr*, 86(4), 1054–1063.

[246] Heaney, R.P., Recker, R.R. & Weaver, C.M. (1990). Absorbability of calcium sources: the limited role of solubility. *Calcif Tissue Int*, 46(5), 300–304.

[247] Cook, S. (2018). *Chelated Minerals - Addressing Key Challenges in Mineral Supplementation*. Zugriff am 22. Juli 2021. Verfügbar unter https://bit.ly/3kKjbPu

[249] Insel, P., Ross, D., McMahon, K. & Bernstein, M. (2017). *Nutrition (6. Aufl.)*. Burlington: Jones & Barlett Learning, 506.

[250] Eaton, S.B., Eaton, S.B. 3rd & Konner, M.J. (1997). Paleolithic nutrition revisited: a twelve-year retrospective on its nature and implications. *Eur J Clin Nutr*, 51(4), 207–216.

[251] United Nations Children's Fund, United Nations University & World Health Organization. (2001). *Iron Deficiency Anaemia. Assessment, Prevention, and Control – A guide for programme managers.* Zugriff am 1. Juni 2020. Verfügbar unter https://bit.ly/2oQ9jGT

[252] World Health Organization. (2015). *The global prevalence of anaemia in 2011.* Zugriff am 1. Juni 2020. Verfügbar unter https://bit.ly/2Hm3n27

[253] Beard, J.L., Dawson, H. & Piñero, D.J. (1996). Iron metabolism: a comprehensive review. *Nutr Rev*, 54, 295–317.

[254] Insel, P., Ross, D., McMahon, K. & Bernstein, M. (2017). *Nutrition (6. Aufl.)*. Burlington: Jones & Barlett Learning, 507.

[255] Turner-McGrievy, G. & Harris, M. (2014). Key elements of plant-based diets associated with reduced risk of metabolic syndrome. *Curr Diab Rep*, 14(9), 524.

[256] Deutsche Gesellschaft für Ernährung, Österreichische Gesellschaft für Ernährung, Schweizerische Gesellschaft für Ernährung. (2018). *Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr – Eisen (4. Aufl.).* Bonn: Neuer Umschau Buchverlag.

[257] Insel, P., Ross, D., McMahon, K. & Bernstein, M. (2017). *Nutrition (6. Aufl.)*. Burlington: Jones & Barlett Learning, 510.

[258] Deutsche Gesellschaft für Ernährung, Österreichische Gesellschaft für Ernährung, Schweizerische Gesellschaft für Ernährung. (2018). *Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr – Eisen (4. Aufl.)*. Bonn: Neuer Umschau Buchverlag.

[259] Food and Nutrition Board & Institute of Medicine. (2001). *Dietary reference intakes for vitamin A, vitamin K, arsenic, boron, chromium, copper, iodine, iron, manganese, molybdenum, nickel, silicon, vanadium, and zinc*. Washington, DC: National Academy Press.

[260] Deutsche Gesellschaft für Ernährung, Österreichische Gesellschaft für Ernährung, Schweizerische Gesellschaft für Ernährung. (2018). *Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr – Eisen (4. Aufl.)*. Bonn: Neuer Umschau Buchverlag.

[261] National Institutes of Health. (2016). *Iron Fact Sheet for Consumers.* Zugriff am 1. Januar 2020. Verfügbar unter https://bit.ly/2HB7Pre

[262] Hunt, J.R. & Roughead, Z.K. (2000). Adaptation of iron absorption in men consuming diets with high or low iron bioavailability. *Am J Clin Nutr,* 71, 94–102.

[263] Beard, J.L., Murray-Kolb, L.E., Haas, J.D. & Lawrence, F. (2007). Iron absorption prediction equations lack agreement and underestimate iron absorption. *J Nutr*, 137, 1741–1746.

[264] Cook, J.D., Dassenko, S.A. & Lynch, S.R. (1991). Assessment of the role of nonheme-iron availability in iron balance. *Am J Clin Nutr*, 54, 717–722.

[265] Saunders, A.V., Craig, W.J., Baines, S.K., Posen, J.S. (2013). Iron and vegetarian diets. *Med J Aust*, 199(4), 11–16.

[266] Teucher, B., Olivares, M. & Cori, H. (2004). Enhancers of iron absorption: ascorbic acid and other organic acids. *Int J Vitam Nutr Res*, 74(6), 403–419.

[267] Gillooly, M., Bothwell, T.H., Torrance, J.D. et al. (1983). The effects of organic acids, phytates and polyphenols on the absorption of iron from vegetables. *Br J Nutr*, 49(3), 331–342.

[268] Casal, M.N., Layrisse, M., Solano, L. & Tropper, E. (1998). Vitamin A and beta-carotene can improve non-heme iron absorption from rice, wheat and corn by humans. *J Nutr*, 128, 646–650.

[269] Layrisse, M., García-Casal, M.N., Solano, L. et al. (2000). New property of vitamin A and beta-carotene on human iron absorption: effect on phytate and polyphenols as inhibitors of iron absorption. *Arch Latinoam Nutr*, 50(3), 243–248.

[270] Gautam, S., Platel, K. & Srinivasan, K. (2010). Higher bioaccessibility of iron and zinc from food grains in the presence of garlic and onion. *J Agric Food Chem*, 58(14), 8426–8429.

[271] Schüpbach, R., Wegmüller, R., Berguerand, C., Bui, M. & Herter-Aeberli, I. (2017). Micronutrient status and intake in omnivores, vegetarians and vegans in Switzerland. *Eur J Nutr*, 56(1), 283–293.

[272] Hahn, A., Ströhle, A. & Wolters, M. (2016). *Ernährung – Physiologische Grundlagen, Prävention, Therapie (3. Aufl.)*. Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft Stuttgart, 324.

[273] Institute of Medicine & Food and Nutrition Board. (2001). *Dietary Reference Intakes for Vitamin A, Vitamin K, Arsenic, Boron, Chromium, Copper, Iodine, Iron, Manganese, Molybdenum, Nickel, Silicon, Vanadium, and Zinc.* Washington, D. C.: National Academy Press, 290.

[274] European Food Safety Authority. (2018). *Overview on Tolerable Upper Intake Levels as derived by the Scientific Committee on Food (SCF) and the EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA).* Zugriff am 1. Januar 2020. Verfügbar unter https://bit.ly/3hdWxKX

[275] Bundesinstitut für Risikobewertung. (2013). *Verwendung von Eisen in Nahrungsergänzungsmitteln und zur Anreicherung von Lebensmitteln*. Zugriff am 1. Juni 2020. Verfügbar unter https://bit.ly/2qADVLH

[276] Abbaspour, N., Hurrell, R. & Kelishadi, R. (2014). Review on iron and its importance for human health. *J Res Med Sci,* 19(2), 164–174.

[277] Bundesinstitut für Risikobewertung. (2013). *Verwendung von Eisen in Nahrungsergänzungsmitteln und zur Anreicherung von Lebensmitteln*. Zugriff am 1. Juni 2020. Verfügbar unter https://bit.ly/2qADVLH

[278] Schüpbach, R., Wegmüller, R., Berguerand, C., Bui, M. & Herter-Aeberli, I. (2017). Micronutrient status and intake in omnivores, vegetarians and vegans in Switzerland. *Eur J Nutr*, 56(1), 283–293.

[279] Richter, M., Boeing, H., Grünewald-Funk, D. et al. (2016). Position der Deutschen Gesellschaft für Ernährung e. V. (DGE) – Vegane Ernährung. *Ernährungs Umschau*, 63(04), 92–102.

[280] Souci S.W., Fachmann, W. & Kraut, H. (2016). *Die Zusammensetzung der Lebensmittel Nährwerttabellen (8. Aufl.)*. Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft.

[281] Heseker, H. & Heseker, B. (2016). *Die Nährwerttabelle (4. Aufl.).* Neustadt a.d. Weinstraße: Neuer Umschau Buchverlag .

[282] Schüpbach, R., Wegmüller, R., Berguerand, C., Bui, M. & Herter-Aeberli, I. (2017). Micronutrient status and intake in omnivores, vegetarians and vegans in Switzerland. *Eur J Nutr*, 56(1), 283–293.

[283] Anderson, B.M., Gibson, R.S. & Sabry, J.H. (1981). The iron and zinc status of long-term vegetarian women. *Am J Clin Nutr*, 34(6), 1042–1048.

[284] Waldmann, A., Koschizke, J.W., Leitzmann, C. & Hahn, A. (2004). Dietary iron intake and iron status of German female vegans: results of the German vegan study. *Ann Nutr Metab*, 48(2), 103–108.

[285] Beard, J.L. (2001). Iron biology in immune function, muscle metabolism and neuronal functioning. *J Nutr*, 131(2), 568–579.

[286] Food and Nutrition Board & Institute of Medicine. (2001). *Dietary reference intakes for vitamin A, vitamin K, arsenic, boron, chromium, copper, iodine, iron, manganese, molybdenum, nickel, silicon, vanadium, and zinc*. Washington, DC: National Academy Press.

[287] Biesalski, H.K., Bischoff, S.C., Pirlich, M. & Weimann, A. (2018). *Ernährungsmedizin – Nach dem Curriculum Ernährungsmedizin der Bundesärztekammer (5. Aufl.)*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag, 223.

[288] Findeisen, P. (2013). *Laborwerte im Beratungsgespräch: Patienten fragen – Apotheker antworten*. Eschborn: Govi-Verlag, 61.

[289] Gröber, U. (2011). *Mikronährstoffe: Metabolic Tuning – Prävention – Therapie (3. Aufl.)*. Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft Stuttgart, 243.

[290] Bermejo, F. & García-López, S. (2009). A guide to diagnosis of iron deficiency and iron deficiency anemia in digestive diseases. *World J Gastroenterol*, 15(37), 4638–4643.

[291] Daru, J., Colman, K., Stanworth, S.J., De La Salle, B., Wood, E.M. & Pasricha, S.R. (2017). Serum ferritin as an indicator of iron status: what do we need to know? *Am J Clin Nutr*, 106(6), 1634–1639.

[292] Bermejo, F. & García-López, S. (2009). A guide to diagnosis of iron deficiency and iron deficiency anemia in digestive diseases. *World J Gastroenterol*, 15(37), 4638–4643.

[293] Bundesinstitut für Risikobewertung. (2013). *Verwendung von Eisen in Nahrungsergänzungsmitteln und zur Anreicherung von Lebensmitteln*. Zugriff am 1. Juni 2020. Verfügbar unter https:// bit.ly/2qADVLH

[294] Layrisse, M., Garcia-Casal, M.N., Solano, L. et al. (2002). Bioavailability in humans from breakfasts enriched with iron bisglycine chelate, phytates and polyphenols. *J Nutr*, 130, 2195–2199.

[295] Milman, N., Jønsson, L., Dyre, P., Pedersen, P.L. & Larsen, L.G. (2014). Ferrous Bisglycinate 25 Mg Iron Is as Effective as Ferrous Sulfate 50 Mg Iron in the Prophylaxis of Iron Deficiency and Anemia During Pregnancy in a Randomized Trial. *J Perinat Med,* 42(2), 197–206.

[296] Jeppsen, R.B. & Borzelleca, J.F. (1999). Safety Evaluation of Ferrous Bisglycinate Chelate. *Food Chem Toxicol*, 37(7), 723–731.

[297] Szarfarc, S.C., de Cassana, L.M., Fujimori, E., Guerra-Shinohara, E.M. & de Oliveira, I.M. (2001). Relative Effectiveness of Iron Bis-Glycinate Chelate (Ferrochel) and Ferrous Sulfate in the Control of Iron Deficiency in Pregnant Women. *Arch Latinoam Nutr*, 51(1), 42–47.

[298] Name, J.J., Vasconcelos, A.R. & Rocha-Maluf, M.C. (2018). Iron Bisglycinate Chelate and Polymaltose Iron for the Treatment of Iron Deficiency Anemia: A Pilot Randomized Trial. *Curr Pediatr Rev*, 14(4), 261–268.

[299] Pineda, O. & Ashmead, H.D. (2001). Effectiveness of Treatment of Iron-Deficiency Anemia in Infants and Young Children With Ferrous Bis-Glycinate Chelate. *Nutrition*, 17(5), 381–384.

[300] Bagna, R., Spada, E. & Mazzone, R. (2018). Efficacy of Supplementation with Iron Sulfate Compared to Iron Bisglycinate Chelate in Preterm Infants. *Curr Pediatr Rev*, 14(2), 123–129.

[301] Gropper, S.S., Smith, J.L. & Carr, T.P. (2018). *Advanced Nutrition and Human Metabolism (7. Aufl.)*. Boston: Cengage Learning, 504.

[302] Saper, R.B. & Rash, R. (2009). Zinc: An Essential Micronutrient. *Am Fam Physician*, 79(9), 768.

[303] Elmadfa, I. & Leitzmann, C. (2015). *Ernährung des Menschen (5. Aufl.)*. Stuttgart: Eugen Ulmer Verlag, 316.

[304] Hunt, J.R. (2003). Bioavailability of iron, zinc, and other trace minerals from vegetarian diets. *Am J Clin Nutr*, 78(3), 633–639.

[305] Melina, V., Craig, W. & Levin, S. (2016). Position of the Academy of Nutrition and Dietetics: Vegetarian Diets. *J Acad Nutr Diet*, 116(12), 1970–1980.

[306] Hahn, A., Ströhle, A. & Wolters, M. (2016). *Ernährung – Physiologische Grundlagen, Prävention, Therapie (3. Aufl.)*. Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft Stuttgart, 324.

[307] Elmadfa, I. & Leitzmann, C. (2015). *Ernährung des Menschen (5. Aufl.)*. Stuttgart: Eugen Ulmer Verlag, 315.

[308] Gropper, S.S., Smith, J.L. & Carr, T.P. (2018). *Advanced Nutrition and Human Metabolism (7. Aufl.)*. Boston: Cengage Learning, 502.

[309] Chiplonkar, S.A. & Agte, V.V. (2006). Predicting bioavailable *zinc from lower phytate forms, folic Acid and their interactions with zinc in vegetarian meals.* J Am Coll Nutr, 25(1), 26–33.

[310] Lönnerdal, B. (2000). Dietary factors influencing zinc absorption. *J Nutr*, 130(5), 1378–1383.

[311] Gautam, S., Platel, K. & Srinivasan, K. (2010). Higher bioaccessibility of iron and zinc from food grains in the presence of garlic and onion. *J Agric Food Chem*, 58(14), 8426–84269.

[312] Lönnerdal, B. (2000). Dietary factors influencing zinc absorption. *J Nutr*, 130(5), 1378–1383.

[313] Elmadfa, I. & Leitzmann, C. (2015). *Ernährung des Menschen (5. Aufl.)*. Stuttgart: Eugen Ulmer Verlag, 315.

[314] Deutsche Gesellschaft für Ernährung, Österreichische Gesellschaft für Ernährung & Schweizerische Gesellschaft für Ernährung. (2018). *Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr – Zink. (2. Aufl., 4. Aktual. Ausg.)*. Bonn: Neuer Umschau Verlag.

[315] Deutsche Gesellschaft für Ernährung, Österreichische Gesellschaft für Ernährung & Schweizerische Gesellschaft für Ernährung. (2018). *Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr – Zink. (2. Aufl., 4. Aktual. Ausg.).* Bonn: Neuer Umschau Verlag.

[316] Food and Nutrition Board & Institute of Medicine. (2001). *Dietary reference intakes for vitamin A, vitamin K, arsenic, boron, chromium, copper, iodine, iron, manganese, molybdenum, nickel, silicon, vanadium, and zinc*. Washington, DC: National Academy Press.

[317] Hunt, J.R., Beiseigel, J.M. & Johnson, L.K. (2008). Adaptation in human zinc absorption as influenced by dietary zinc and bioavailability. *Am J Clin Nutr*, 87(5), 1336–1345.

[318] Food and Nutrition Board & Institute of Medicine. (2001). *Dietary reference intakes for vitamin A, vitamin K, arsenic, boron, chromium, copper, iodine, iron, manganese, molybdenum, nickel, silicon, vanadium, and zinc*. Washington, DC: National Academy Press.

[319] European Food Safety Authority. (2006). *Scientific Committee on Food: Tolerable Upper Intake Levels for Vitamins and Minerals.* Zugriff am 1. Januar 2020. Verfügbar unter https://bit.ly/2E8tsQI

[320] Saper, R.B. & Rash, R. (2009). Zinc: an essential micronutrient. *Am Fam Physician*, 79(9), 768–772.

[321] Fosmire, G.J. (1990). Zinc toxicity. *Am J Clin Nutr*, 51(2), 225–227.

[322] Leitzmann, M.F., Stampfer, M.J., Wu, K. et al. (2003). Zinc supplement use and risk of prostate cancer. *J Natl Cancer Inst*, 95(13), 1004–10007.

[323] National Institutes of Health. (2017). *Zinc - Fact Sheet for Health Professionals.* Zugriff am 1. Januar 2020. Verfügbar unter https://bit.ly/37q50GE

[324] Lopez, H.W., Krespine, V., Guy, C. et al. (2001). Prolonged Fermentation of Whole Wheat Sourdough Reduces Phytate Level and Increases Soluble Magnesium. *J Agric Food Chem*, 2001, 49(5), 2657–2662.

[325] Souci S.W., Fachmann, W. & Kraut, H. (2016). *Die Zusammensetzung der Lebensmittel Nährwerttabellen (8. Aufl.).* Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft.

[326] Abdulla, M., Andersson I, Asp, N.G. et al. (1981). Nutrient intake and health status of vegans. Chemical analyses of diets using the duplicate portion sampling technique. *Am J Clin Nutr*, 34(11), 2464–2477.

[327] Sanna, A., Firinu, D., Zavattari, P. & Valera, P. (2018). Zinc Status and Autoimmunity: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Nutrients*, 10, 68.

[328] Schüpbach, R., Wegmüller, R., Berguerand, C., Bui, M. & Herter-Aeberli, I. (2017). Micronutrient status and intake in omnivores, vegetarians and vegans in Switzerland. *Eur J Nutr*, 56(1), 283–293.

[329] Insel, P., Ross, D., McMahon, K. & Bernstein, M. (2017). *Nutrition (6. Aufl.).* Burlington: Jones & Bartlett Learning, 514–515.

[330] Zhao, J., Dong, X., Hu, X. et al. (2016). Zinc levels in seminal plasma and their correlation with male infertility: A systematic review and meta-analysis. *Sci Rep*, 6, 22386.

[331] Elmadfa, I. & Leitzmann, C. (2015). *Ernährung des Menschen (5. Aufl.)*. Stuttgart: Eugen Ulmer Verlag, 316.

[332] Hunt, J.R. (2003). Bioavailability of iron, zinc, and other trace minerals from vegetarian diets. *Am J Clin Nutr*, 78(3), 633–639.

[333] Gröber, U. (2011). *Mikronährstoffe: Metabolic Tuning – Prävention – Therapie (3. Aufl.).* Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft Stuttgart, 122.

[334] Sandström, B. & Cederblad, A. (1987). Effect of ascorbic acid on the absorption of zinc and calcium in man. *Int J Vitam Nutr Res*, 57(1), 87–90.

[335] Weißenborn, A. et al. für das Bundesinstitut für Risikobewertung. (2018). Höchstmengen für Vitamine und Mineralstoffe in Nahrungsergänzungsmitteln. *J Consum Prot Food Saf*, 13, 25–39.

[336] Gandia, P., Bour, D., Maurette, J.M. et al. (2007). A bioavailability study comparing two oral formulations containing zinc (Zn bis-glycinate vs. Zn gluconate) after a single administration to twelve healthy female volunteers. *Int J Vitam Nutr Res*, 77(4), 243–248.

[337] Schlegel, P. & Windisch, W. (2006). Bioavailability of Zinc Glycinate in Comparison With Zinc Sulphate in the Presence of Dietary Phytate in an Animal Model With Zn Labelled Rats. *J Anim Physiol Anim Nutr (Berl)*, 90(5–6), 216–222.

[338] Biesalski, H.K., Bischoff, S.C., Pirlich, M. & Weimann, A. (2018). *Ernährungsmedizin – Nach dem Curriculum Ernährungsmedizin der Bundesärztekammer (5. Aufl.)*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag, 225.

[339] Chung, H.R. (2014). Iodine and thyroid function. *Ann Pediatr Endocrinol Metab*, 19(1), 8–12.

[340] Elmadfa, I. & Leitzmann, C. (2015). *Ernährung des Menschen (5. Aufl.)*. Stuttgart: Eugen Ulmer Verlag, 307.

[341] World Health Organization. (2007). *Assessment of iodine deficiency disorders and monitoring their elimination (3. Edition)*. Zugriff am 1. Januar 2020. Verfügbar unter https://bit.ly/2N5uuQy

[342] Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen. (2019). *Schweizer Ernährungsbulletin 2019 - Jodstatus in der Schweizer Bevölkerung*. Bern: BLV, 6.

[343] The Public Health Committee of the American Thyroid Association. (2006). Iodine Supplementation for Pregnancy and Lactation — United States and Canada: Recommendations of the American Thyroid Association. *THYROID*, 16(10), 949–951.

[344] Deutsche Gesellschaft für Ernährung, Österreichische Gesellschaft für Ernährung & Schweizerische Gesellschaft für Ernährung. (2018). *Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr – Jod. (2. Aufl., 4. Aktual. Ausg.)*. Bonn: Neuer Umschau Verlag.

[345] Jahreis, G., Leiterer, M. & Fechner, A. (2007). Jodmangelprophylaxe durch richtige Ernährung – Der Beitrag von Milch, Seefisch und Jodsalz zur Jodversorgung in Deutschland. *Präv Gesundheitsf*, 2, 179–183.

[346] Deutsche Gesellschaft für Ernährung. (2009). *Kinder und Jugendliche konsumieren zu viel Salz - Bluthochdruck und daraus resultierende Herz-Kreislauf-Krankheiten werden begünstigt.* Zugriff am 1. Januar 2020. Verfügbar unter https://bit.ly/2MTHx7K

[347] Institute of Medicine. (2001). *Panel on Micronutrients: Dietary Reference Intakes for Vitamin A, Vitamin K, Ar-senic, Boron, Chromium, Copper, Iodine, Iron, Manganese, Molybdenum, Nickel, Silicon, Vanadium, and Zinc.* Washington (DC): National Academies Press.

[348] European Food Safety Authority. (2006). *Tolerable Upper Intake Levels for Vitamins and Minerals.* Zugriff am 1. Januar 2020. Verfügbar unter https://bit.ly/2E8tsQI

[349] Bundesinstitut für Risikobewertung. (2004). *Nutzen und Risiken der Jodprophylaxe in Deutschland.* Zugriff am 1. Januar 2020. Verfügbar unter https://bit.ly/2jg0PVG

[350] Teas, J., Pino, S., Critchley, A. & Braverman, L.E. (2004). Variability of iodine content in common commercially available edible seaweeds. *Thyroid*, 14(10), 836–841.

[351] National Institutes of health. (2020). *Iodine - Fact Sheet for Health Professionals.* Zugriff am 1. Januar 2020. Verfügbar unter https://bit.ly/2YlDhCO

[352] Deutsche Gesellschaft für Ernährung, Österreichische Gesellschaft für Ernährung & Schweizerische Gesellschaft für Ernährung. (2015). *Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr – Jod. (2. Aufl.)*. Bonn: Neuer Umschau Verlag.

[353] Jopke, P., Fleckenstein, J. Schnug, E. & Bahadir, M. (1997). Spurenanalytik von Iod in Böden und Pflanzen. *In*: Günzler, H. et al., *Hrsg.: Analytikertaschenbuch 15*. Berlin: Springer, 122.

[354] Arbeitskreis Jodmangel. (2013). *Jod: Mangel und Versorgung in Deutschland – Aktuelles zum derzeitigen Versorgungsstand und Handlungsbedarf.* Zugriff am 1. Januar 2020. Verfügbar unter https://bit.ly/2vPqltT

[355] Zhu, Y.G., Huang, Y.Z. Hu, Y. & Liu, Y.X. (2003). Iodine uptake by spinach (Spinacia oleracea L.) plants grown in solution culture: effects of iodine species and solution concentrations. *Environ Int*, 29(1), 33–37.

[356] Souci, S.W., Fachmann, W. & Kraut, H. (2016). *Die Zusammensetzung der Lebensmittel Nährwerttabellen (8. Aufl.)*. Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft Stuttgart.

[357] Kiferle, C., Gonzali, S., Holwerda, H.T., Ibaceta, R.R. & Perata, P. (2013). Tomato fruits: a good target for iodine biofortification. *Front Plant Sci,* 4, 205.

[358] Ullmann, J. (2017). *Algen – Sonderdruck aus dem Handbuch Lebensmittelhygiene.* Hamburg: Behr's Verlag, 13.

[359] Teas, J., Pino, S., Critchley, A. & Braverman, LE. (2004). Variability of iodine content in common commercially available edible seaweeds. *Thyroid*, 14(10), 836–841.

[360] Ullmann, J. (2017). *Algen – Sonderdruck aus dem Handbuch Lebensmittelhygiene.* Hamburg: Behr's Verlag, 21.

[361] Rittenau, N. (2018). *Vegan-Klischee ade! Wissenschaftliche Antworten auf kritische Fragen zu veganer Ernährung (5. Aufl.)*. Mainz: Ventil, 223.

[362] Zava, T.T. & Zava, D.T. (2011). Assessment of Japanese iodine intake based on seaweed consumption in Japan: A literature-based analysis. *Thyroid Res*, 4, 14.

[363] Aslam, M.N., Kreider, J.M., Paruchuri, T. et al. (2010). A Mineral-Rich Extract from the Red Marine Algae Lithothamnion calcareum Preserves Bone Structure and Function in Female Mice on a Western-Style Diet. *Calcif Tissue Int*, 86(4), 313–324.

[364] PureRaw. (o.D.). *Kalziumalge, Lithothamnium Pulver, (Roh) - Herkunftsland: Europa, Artikelnummer: 400290.* Zugriff am 1. Januar 2020. Verfügbar unter https://bit.ly/3fb0ePI

[365] Leung, A.M., Lamar, A., He, X., Braverman, L.E. & Pearce, E.N. (2011). Iodine status and thyroid function of Boston-area vegetarians and vegans. *J Clin Endocrinol Metab*, 96(8), 1303–1307.

[366] Abdulla, M., Andersson, I., Asp, N.G. et al. (1981). Nutrient intake and health status of vegans. Chemical analyses of diets using the duplicate portion sampling technique. *Am J Clin Nutr*, 34(11), 2464– 2477.

[367] Waldmann, A., Koschizke, J.W., Leitzmann, C. & Hahn, A. (2003). Dietary intakes and lifestyle factors of a vegan population in Germany: results from the German Vegan Study. *Eur J Clin Nutr*, 57(8), 947–955.

[368] Key, T.J.A., Thorogood, M., Keenan, J. & Long, A. (1992). Raised thyroid stimulating hormone associated with kelp intake in British vegan men. *J Hum Nutr Diet*, 5(5), 323–326.

[369] Max Rubner-Institut. (2008). *Nationale Verzehrs Studie II – Ergebnisbericht, Teil 2.* Zugriff am 1. Januar 2020. Verfügbar unter https://bit.ly/23d1feH

[370] Schüpbach, R., Wegmüller, R., Berguerand, C., Bui, M. & Herter-Aeberli, I. (2017). Micronutrient status and intake in omnivores, vegetarians and vegans in Switzerland. *Eur J Nutr*, 56(1), 283–293.

[371] Kapil, U. (2007). Health Consequences of Iodine Deficiency. *Sultan Qaboos Univ Med J*, 7(3), 267–272.

[372] Andersson, M., de Benoist, B., Darnton-Hill, I. & Delange, F. (2007). *Iodine Deficiency in Europe: A continuing public health problem.* Geneva: WHO Press, VII.

[373] Elmadfa, I. & Leitzmann, C. (2015). *Ernährung des Menschen (5. Aufl.)*. Stuttgart: Eugen Ulmer Verlag, 310.

[374] Gröber, U. (2011). *Mikronährstoffe: Metabolic Tuning - Prävention - Therapie (3. Aufl.)*. Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft Stuttgart, 253.

[375] Gröber, U. (2011). *Mikronährstoffe: Metabolic Tuning - Prävention - Therapie (3. Aufl.).* Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft Stuttgart, 253.

[376] Potter-Dunlop, J.A. & Tse, A.M. (2012). Dietary Issues Inpatients Face With Being Vegetarian: An Integrative Review. *Holist Nurs Pract*, 26(1), 30–37.

[377] Biesalski, H.K., Bischoff, S.C., Pirlich, M. & Weimann, A. (2018). *Ernährungsmedizin – Nach dem Curriculum Ernährungsmedizin der Bundesärztekammer (5. Aufl.).* Stuttgart: Georg Thieme Verlag, 234.

[378] Insel, P., Ross, D., McMahon, K. & Bernstein, M. (2017). *Nutrition (6. Aufl.)*. Burlington: Jones & Bartlett Learning, 521.

[379] Deutsche Gesellschaft für Ernährung, Österreichische Gesellschaft für Ernährung & Schweizerische Gesellschaft für Ernährung. (2015). *Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr – Selen. (2. Aufl.)*. Bonn: Neuer Umschau Verlag.

[380] Cai, X., Wang, C., Yu, W. et al. (2016). Selenium Exposure and Cancer Risk: an Updated Meta-analysis and Meta-regression. *Sci Rep*, 6, 19213.

[381] Lee, E.H., Myung, S.K., Jeon, Y.J. et al. (2011). Effects of selenium supplements on cancer prevention: meta-analysis of randomized controlled trials. *Nutr Cancer*, 63(8), 1185–1195.

[382] Zhang, X., Liu, C., Guo, J. & Song, Y. (2016). Selenium status and cardiovascular diseases: meta-analysis of prospective observational studies and randomized controlled trials. *Eur J Clin Nutr*, 70(2), 162–169.

[383] Flores-Mateo, G., Navas-Acien, A., Pastor-Barriuso, R. & Guallar, E. (2006). Selenium and coronary heart disease: a meta-analysis. *Am J Clin Nutr*, 84(4), 762–773.

[384] Ventura, M., Melo, M. & Carrilho, F. (2017). Selenium and Thyroid Disease: From Pathophysiology to Treatment. *Int J Endocrinol*, 2017, 1297658.

[385] Mirone, M., Giannetta, E. & Isidori, A.M. (2013). Selenium and reproductive function. A systematic review. *J Endocrinol Invest*, 36(10), 28–36.

[386] Rayman, M.P., Wijnen, H., Vader, H., Kooistra, L. & Pop, V. (2011). Maternal selenium status during early gestation and risk for preterm birth. *CMAJ*, 183(5), 549–555.

[387] Gröber, U. (2011). *Mikronährstoffe: Metabolic Tuning - Prävention - Therapie (3. Aufl.).* Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft Stuttgart, 269.

[388] Rayman, M.P. (2012). Selenium and human health. *Lancet*, 379(9822), 1256–1268.

[389] Deutsche Gesellschaft für Ernährung, Österreichische Gesellschaft für Ernährung & Schweizerische Gesellschaft für Ernährung. (2015). *Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr – Selen (2. Aufl.)*. Bonn: Neuer Umschau Verlag.

[390] Biesalski, H.K. (2016). *Vitamine – Indikation, Diagnostik, Therapie.* Stuttgart: Georg Thieme Verlag, 140.

[391] Xia, Y., Hill, K.E., Li, P. et al. (2010). Optimization of selenoprotein P and other plasma selenium biomarkers for the assessment of the selenium nutritional requirement: a placebo-controlled, double-blind study of selenomethionine supplementation in selenium-deficient Chinese subjects. *Am J Clin Nutr*, 92(3), 525–531.

[392] Deutsche Gesellschaft für Ernährung, Österreichische Gesellschaft für Ernährung & Schweizerische Gesellschaft für Ernährung. (2018). *Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr – Selen (2. Aufl. 4. Akt. Ausg.).* Bonn: Neuer Umschau Verlag.

[393] Schrauzer, G.N. (2000). Selenomethionine: a review of ist nutritional significance, metabolism and toxicity. *J Nutr*,130(7), 1653–1656.

[394] Bundesinstitut für Risikobewertung. (2004). *Selenverbindungen in Nahrungsergänzungsmitteln*. Zugriff am 21. Juli 2021. Verfügbar unter https://bit.ly/3y4bqYA

[395] MacFarquhar, J.K., Broussard, D.L., Melstrom, P. et al. (2010). Acute Selenium Toxicity Associated With a Dietary Supplement. *Arch Intern Med*, 170(3), 256–261.

[396] Deutsche Gesellschaft für Ernährung, Österreichische Gesellschaft für Ernährung & Schweizerische Gesellschaft für Ernährung. (2015). *Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr – Selen (2. Aufl.).* Bonn: Neuer Umschau Verlag.

[397] Institute of Medicine (US) Panel on Dietary Antioxidants and Related Compounds. (2000). *Dietary Reference Intakes for Vitamin C, Vitamin E, Selenium, and Carotenoids*. Washington (DC): National Academies Press.

[398] European Food Safety Authority. (2006). *Tolerable Upper Intake Levels for Vitamins and Minerals*. Zugriff 1. Januar 2020. Verfügbar unter https://bit.ly/2E8tsQI

[399] Hahn, A., Ströhle, A. & Wolters, M. (2016). *Ernährung – Physiologische Grundlagen, Prävention, Therapie (3. Aufl.).* Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft Stuttgart, 351.

[400] Europäische Kommission (2004). *Verzeichnis der zugelassenen Futtermittel-Zusatzstoffe*. Zugriff am 1. Januar 2020. Verfügbar unter https://bit.ly/2vIakG9

[401] Biesalski, H.K., Bischoff, S.C., Pirlich, M. & Weimann, A. (2018). *Ernährungsmedizin – Nach dem Curriculum Ernährungsmedizin der Bundesärztekammer (5. Aufl.)*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag, 235.

[402] Fairweather-Tait, S.J., Bao, Y., Broadley, M.R. et al. (2011). Selenium in human health and disease. Antioxid Redox Signal, 14(7), 1337–1383.

[403] White, P.J. (2016). Selenium accumulation by plants. *Ann Bot*, 117(2), 217–235.

[404] Elmadfa, I. & Leitzmann, C. (2015). *Ernährung des Menschen (5. Aufl.)*. Stuttgart: Eugen Ulmer Verlag, 330.

[405] Mehdi, Y., Hornick, J.L., Istasse, L. & Dufrasne, I. (2013). Selenium in the Environment, Metabolism and Involvement in Body Functions. *Molecules*, 18(3), 3292–3311.

[406] Mehdi, Y., Hornick, J.L., Istasse, L. & Dufrasne, I. (2013). Selenium in the Environment, Metabolism and Involve-ment in Body Functions. *Molecules*, 18(3), 3292–3311.

[407] Teas, J., Pino, S., Critchley, A. & Braverman, L.E. (2004). Variability of iodine content in common commercially available edible seaweeds. *Thyroid*, 14(10), 836–841.

[408] Ullmann, J. (2017). *Algen – Sonderdruck aus dem Handbuch Lebensmittelhygiene*. Hamburg: Behr's Verlag, 21.

[409] Rittenau, N. (2018). *Vegan-Klischee ade! Wissenschaftliche Antworten auf kritische Fragen zu veganer Ernährung (5. Aufl.)*. Mainz: Ventil, 223.

[410] Rayman, M.P., Infante, H.G. & Sargent, M. (2015). Foodchain selenium and human health: spotlight on speciation. *Br J Nutr*, 100(2), 238–253.

[411] Cominetti, C., de Bortoli, M.C., Garrido, A.B. Jr & Cozzolino, S.M. (2012). Brazilian nut consumption improves selenium status and glutathione peroxidase activity and reduces atherogenic risk in obese women. *Nutr Res*, 32(6), 403–407.

[412] Cardoso, R.B., Apolinário, D., da Silva Bandeira, V. et al. (2016). Effects of Brazil nut consumption on selenium status and cognitive performance in older adults with mild cognitive impairment: a randomized controlled pilot trial. *Eur J Nutr*, 55(1), 107–116.

[413] Thomson, C.D., Chisholm, A., McLachlan S.K. & Campbell, J.M. (2008). Brazil nuts: an effective way to improve selenium status. *Am J Clin Nutr*, 87(2), 379–384.

[414] Silva Junior, E.C., Wadt, L.H.O., Silva, K.E., Lima, R.M.B., Batista, K.D. & Guedes, M.C. (2017). Natural variation of selenium in Brazil nuts and soils from the Amazon region. *Chemosphere*, 188, 650–658.

[415] Bundesamt für Strahlenschutz. (2016). *Die Kontamination von Lebensmitteln nach der Reaktorkatastrophe von Tschernobyl.* Zugriff am 1. Januar 2020. Verfügbar unter https://bit.ly/2Fedp0c

[416] Rayman, M.P. (2008). Food-chain selenium and human health: emphasis on intake. *Br J Nutr*, 100(2), 254–268.

[417] Biesalski, H.K. (2016). *Vitamine – Indikation, Diagnostik, Therapie*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag, 140.

[418] Thavarajah, D., Ruszkowski, J. & Vandenberg, A. (2008). High Potential for Selenium Biofortification of Lentils (Lens culinaris L.). *J Agric Food Chem*, 56(22), 10747–10753.

[419] Deutsche Gesellschaft für Ernährung, Österreichische Gesellschaft für Ernährung & Schweizerische Gesellschaft für Ernährung. (2015). *Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr – Selen (2. Aufl.)*. Bonn: Neuer Umschau Verlag.
[420] Souci, S.W., Fachmann, W. & Kraut, H. (2016). *Die Zusammensetzung der Lebensmittel Nährwerttabellen (8. Aufl.)*. Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft Stuttgart, 888.
[421] Hahn, A., Ströhle, A. & Wolters, M. (2016). *Ernährung – Physiologische Grundlagen, Prävention, Therapie (3. Aufl.)*. Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft Stuttgart, 358
[422] Viñas, B.R., Barba, L.R., Ngo, J. et al. (2011). Projected prevalence of inadequate nutrient intakes in Europe. *Ann Nutr Metab*, 59(2–4), 84–95.
[423] Abdulla, M., Andersson, I., Asp, N.G. et al. (1981). Nutrient intake and health status of vegans. Chemical analyses of diets using the duplicate portion sampling technique. *Am J Clin Nutr*, 34(11), 2464–2477.
[424] Elorinne, A.L., Alfthan, G., Erlund, I. et al. (2016). Food and Nutrient Intake and Nutritional Status of Finnish Vegans and Non-Vegetarians. *PLoS ONE*, 11(2), e0148235.
[425] Sobiecki, J.G., Appleby, P.N., Bradbury, K.E. & Key, T.J. (2016). High compliance with dietary recommendations in a cohort of meat eaters, fish eaters, vegetarians, and vegans: results from the European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition–Oxford study. *Nutr Res*, 36(5), 464–477.
[426] Hurst, R., Armah, C.N., Dainty, J.R. et al. (2010). Establishing optimal selenium status: results of a randomized, double-blind, placebo-controlled trial. *Am J Clin Nutr*, 91(4), 923–931.
[427] Bleys, J., Navas-Acien, A. & Guallar, E. (2008). Serum selenium levels and all-cause, cancer, and cardiovascular mortality among US adults. *Arch Intern Med*, 168(4), 404–410.
[428] Hahn, A., Ströhle, A. & Wolters, M. (2016). *Ernährung – Physiologische Grundlagen, Prävention, Therapie (3. Aufl.)*. Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft Stuttgart, 357.
[429] Hahn, A., Ströhle, A. & Wolters, M. (2016). *Ernährung – Physiologische Grundlagen, Prävention, Therapie (3. Aufl.)*. Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft Stuttgart, 351.
[430] Whelan, W.J. (2005). What's in a Name? - Vitamin B4. *IUBMB Life*, 57(2), 125.
[431] Zeisel, S.H., & da Costa, K.A. (2009). Choline: an essential nutrient for public health. *Nutrition reviews*, 67(11), 615–623.
[432] European Food Safety Authority. (2017). *Dietary Reference Values for nutrients - Summary report*. Zugriff am 1. Januar 2020. Verfügbar unter https://bit.ly/30bDQj5.
[433] Deutsche Gesellschaft für Ernährung, Österreichische Gesellschaft für Ernährung & Schweizerische Gesellschaft für Ernährung. (2018). *Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr. (2. Aufl., 4. Aktual. Ausg.)*. Bonn: Neuer Umschau Buchverlag.
[434] Peterson-Sperlich, B.A. (2019). Persönlicher E-Mail-Kontakt mit der Deutschen Gesellschaft für Ernährung betreffend „Frage bezüglich DGE-Cholinempfehlungen" vom 16. September und 8. Oktober 2019.
[435] Sanders, L.M. & Zeisel, S.H. (2007). Choline: Dietary Requirements and Role in Brain Development. *Nutr Today*, 42(4), 181–186.
[436] Wiedeman, M.A., Barr, S.I., Green, T.J. et al. (2018). Dietary Choline Intake: Current State of Knowledge Across the Life Cycle. *Nutrients*, 10(10), 1513.
[437] Zeisel, S.H. (2006). Choline: critical role during fetal development and dietary requirements in adults. *Annu Rev Nutr,* 26, 229–250.
[438] National Institute of Health. (2019). *Choline - Fact Sheet for Health Professionals (Updated: October 11, 2019).* Zugriff am 1. Januar 2020. Verfügbar unter https://bit.ly/37U2ZkY.
[439] Korsmo, H.W., Jiang, X. & Caudill, M.A. (2019). Choline: Exploring the Growing Science on Its Benefits for Moms and Babies. *Nutrients*, 11(8), 1823.
[440] European Food Safety Authority. (2016). *Dietary Reference Values for choline - EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA)*. Zugriff am 1. Januar 2020. Verfügbar unter https://bit.ly/3GkbhnR
[441] Institute of Medicine. (1998). *Dietary Reference Intakes for Thiamin, Riboflavin, Niacin, Vitamin B6, Folate, Vitamin B12, Pantothenic Acid, Biotin, and Choline*. Washington (DC): National Academies Press.
[442] Zeisel, S.H., da Costa, K., Franklin, P.D. et al. (1991). Choline, an essential nutrient for humans. *The FASEB Journal,* 5(7), 2093-2098.

[443] Peterson-Sperlich, B.A. (2019). Persönlicher E-Mail-Kontakt mit der Deutschen Gesellschaft für Ernährung betreffend „*Frage bezüglich DGE-Cholinempfehlungen*“ vom 16. und 23. September 2019.

[444] National Institute of Health. (2019). *Choline - Fact Sheet for Health Professionals (Updated: October 11, 2019).* Zugriff am 1. Januar 2020. Verfügbar unter https://bit.ly/37U2ZkY

[445] Blaak, E.E. & Canfora, E.E. (2018). Increased circulating choline, L-carnitine and TMAO levels are related to changes in adiposity during weight loss: role of the gut microbiota? *Ann Transl Med*, 6(2), 92.

[446] Zhu, W., Wang, Z., Tang, W.H.W. & Hazen, S.L. (2017). Gut Microbe-Generated Trimethylamine N-Oxide From Dietary Choline Is Prothrombotic in Subjects. *Circulation*, 135(17), 1671–1673.

[447] Janeiro, M.H., Ramírez, M.J., Milagro, F.I., Martínez, J.A. & Solas, M. (2018). Implication of Trimethylamine N-Oxide (TMAO) in Disease: Potential Biomarker or New Therapeutic Target. *Nutrients*, 10(10), 1398.

[448] Koeth, R.A., Wang, Z., Levison, B.S. et al. (2013). Intestinal microbiota metabolism of L-carnitine, a nutrient in red meat, promotes atherosclerosis. *Nat Med*, 19(5), 576–585.

[449] Fennem, D., Phillips, I.R. & Shephard, E.A. (2016). Trimethylamine and Trimethylamine N-Oxide, a Flavin-Containing Monooxygenase 3 (FMO3)-Mediated Host-Microbiome Metabolic Axis Implicated in Health and Disease. *Drug Metab Dispos*, 44(11), 1839–1850.

[450] Cashman, J.R., Xiong, Y., Lin, J. et al. (1999). In vitro and in vivo inhibition of human flavin-containing monooxygenase form 3 (FMO3) in the presence of dietary indoles. *Biochem Pharmacol*, 58(6), 1047–1055.

[451] Chen, M.L.,Yi, L., Zhang, Y. et al. (2016). Resveratrol Attenuates Trimethylamine-N-Oxide (TMAO)-Induced Atherosclerosis by Regulating TMAO Synthesis and Bile Acid Metabolism via Remodeling of the Gut Microbiota. *mBio*, 7(2), 02210–15.

[452] Zhu, W., Wang, Z., Tang, W.H.W. & Hazen, S.L. (2017). Gut Microbe-Generated Trimethylamine N-Oxide From Dietary Choline Is Prothrombotic in Subjects. *Circulation*, 135(17), 1671–1673.

[453] European Food Safety Authority. (2016). *Dietary Reference Values for choline - EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA)*. Zugriff am 1. Januar 2020. Verfügbar unter https:// bit.ly/2Ne57Mk

[454] Institute of Medicine. (1998). *Dietary Reference Intakes for Thiamin, Riboflavin, Niacin, Vitamin B6, Folate, Vitamin B12, Pantothenic Acid, Biotin, and Choline*. Washington (DC): National Academies Press.

[455] Patterson, K.Y., Bhagwat, S.A., Williams, J.R., Howe, J.C. & Holden, J.M. (2008). *USDA Database for the Choline Content of Common Foods - Release Two*. Zugriff am 1. Januar 2020. Verfügbar unter https://bit.ly/35K2gBc

[456] Patterson, K.Y., Bhagwat, S.A., Williams, J.R., Howe, J.C. & Holden, J.M. (2008). *USDA Database for the Choline Content of Common Foods - Release Two*. Zugriff am 1. Januar 2020. Verfügbar unter https://bit.ly/35K2gBc

[457] Partridge, D., Lloyd, K.A., Rhodes, J.M. & Walker, A.W. (2019). Food additives: Assessing the impact of exposure to permitted emulsifiers on bowel and metabolic health – introducing the FADiets study. *Nutrition Bulletin*, 44(4), 329–349.

[458] National Institute of Health. (2019). *Choline - Fact Sheet for Health Professionals (Updated: October 11, 2019).* Zugriff am 1. Januar 2020. Verfügbar unter https://bit.ly/37U2ZkY

[459] National Institute of Health. (2019). *Choline - Fact Sheet for Health Professionals (Updated: October 11, 2019).* Zugriff am 1. Januar 2020. Verfügbar unter https://bit.ly/37U2ZkY

[460] Wallace, T.C., Blusztajn, J.K., Caudill, M.A. et al. (2018). Choline: The Underconsumed and Underappreciated Essential Nutrient. *Nutr Today*, 53(6), 240–253.

[461] National Institute of Health. (2019). *Choline - Fact Sheet for Health Professionals (Updated: October 11, 2019).* Zugriff am 1. Januar 2020. Verfügbar unter https://bit.ly/37U2ZkY

[462] Institute of Medicine. (1998). *Dietary Reference Intakes for Thiamin, Riboflavin, Niacin, Vitamin B6, Folate, Vitamin B12, Pantothenic Acid, Biotin, and Choline*. Washington (DC): National Academies Press.

[463] Holm, P.I., Ueland, P.M., Kvalheim, G. & Lien, E.A. (2003). Determination of choline, betaine, and dimethylglycine in plasma by a high-throughput method based on normal-phase chromatography-tandem mass spectrometry. *Clin Chem,* 49, 286–294.

[464] Zeisel, S.H. (1994). *Choline: Human Requirements and Effects on Human Performance.* Zugriff am 1. Januar 2020. Verfügbar unter https://bit.ly/2secpsh

[465] Secades, J.J. & Frontera, G. (1995). CDP-choline: pharmacological and clinical review. *Methods Find Exp Clin Pharmacol,* Suppl B, 1–54.

[466] Lippelt, D.P., van der Kint, S., van Herk, K. & Naber, M. (2016). No Acute Effects of Choline Bitartrate Food Supplements on Memory in Healthy, Young, Human Adults. *PLoS One*, 11(6), e0157714.

[467] Synoradzki, K. & Grieb, P. (2019). Citicoline: A Superior Form of Choline? *Nutrients*, 11(7), 1569.

[468] Roberts, S. (2021). *Benefits of Citicoline (CDP Choline): Does It Work for Brain Health?* Zugriff am 21. Juli 2021. Verfügbar unter https://bit.ly/2W3sMGB

[469] Secades, J.J. & Frontera, G. (1995). CDP-choline: pharmacological and clinical review. *Methods Find Exp Clin Pharmacol*, Suppl B, 1–54.

[470] Synoradzki, K. & Grieb, P. (2019). Citicoline: A Superior Form of Choline? *Nutrients*, 11(7), 1569.

WATSON • NIKO RITTENAU

DER WISSENSCHAFT VERPFLICHTET