



Spurenelemente in Prävention und Therapie

DR. LIOBA HOFMANN

Spurenelemente gehören wie die Mengenelemente zu den Mineralstoffen. Sie werden vom Körper nur in Spuren, also in Mengen unterhalb von 50 Milligramm je Kilogramm Körpergewicht, benötigt. Besonders wichtige Vertreter sind Eisen, Jod, Zink und Selen. Dieser Artikel behandelt Eisen, Jod und Zink. „Selen – Präventiv wirksam oder toxisch?“ beginnt auf Seite 22 dieser Ausgabe.

Spurenelemente gehören wie die Mengenelemente zu den Mineralstoffen. Sie werden vom Körper nur in Spuren, also in Mengen unterhalb von 50 Milligramm je Kilogramm Körpergewicht, benötigt. Eisen liegt streng genommen leicht darüber, gehört aber wegen seiner biochemischen Eigenschaften zu den Spurenelementen. Wie bei den Mengenelementen handelt es sich um anorganische Stoffe, die für den Erhalt der körperlichen Funktionen unverzichtbar sind (Hahn et al. 2016). Wichtige Spurenelemente sind Eisen, Jod, Zink und Selen.

Die DGE hat im Jahr 2015 die Empfehlungen für die Zufuhr von Selen geändert. Aufgrund neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse werden die Referenzwerte für alle Altersgruppen zwar nach wie vor als Schätzwerte für eine angemessene Zufuhr, aber jetzt als konkrete Werte und nicht mehr als Spannen angegeben. Männer sollen nun ab einem Alter von 15 Jahren

70 Mikrogramm und Frauen 60 Mikrogramm Selen pro Tag aufnehmen. In den früheren Empfehlungen betrug die Spanne 30 bis 70 Mikrogramm pro Tag. Im Gegensatz zu den früheren Empfehlungen sollen Stillende 15 Mikrogramm Selen pro Tag mehr zuführen. Diese Menge kompensiert die Abgabe mit der Frauenmilch (www.dge.de/wissenschaft/weitere-publikationen/faqs/selen/).

Mehr über das Spurenelement Selen erfahren Sie in unserem Beitrag „Selen – Prävention wirksam oder toxisch?“ auf den Seiten 22 bis 29 dieser Ausgabe.

EISEN

Funktionen und Stoffwechsel

Eisen ist wichtiger Bestandteil sauerstoffreicher und elektronenübertragender Wirkgruppen wie Hämoglobin (sorgt für den Sauerstofftransport zu Organen und Geweben), Myoglobin (Sauerstoffspeicher im Muskel) und verschiedener Enzyme, etwa der Cytochrome (Enzyme der Atmungskette im Energiestoffwechsel). Entsprechend sind 60 Prozent des Eisens an Hämoglo-

bin gebunden, 25 Prozent an die Speicherformen Ferritin und Hämosiderin und rund 15 Prozent an Myoglobin und Enzyme (DGE 2015). Eisen wirkt antioxidativ und schützt die Zellen vor einer hohen Radikalbelastung, ist an der Bildung von Hormonen, Neurotransmittern (Dopamin) und Gallensäuren beteiligt. Eisen kann als Bestandteil der humoralen Immunantwort das Immunsystem stärken, denn dieses profitiert von einem adäquaten Eisenhaushalt. Eisenabhängige Oxidoreduktasen gewährleisten die Verstoffwechslung von Giften im Körper. Damit übt Eisen auch eine Entgiftungsfunktion aus.

Eisen wird im Körper an das Protein Transferrin gebunden transportiert, das erst im Jahr 2000 entdeckte Hormon Heparin reguliert den Eisenbestand über die Absorption im Darm. In Abhängigkeit des Ferritingehalts in Blut und Leber erhöht oder senkt Heparin die Aufnahme des Nahrungseisens im Dünndarm. Supplemente können diese Steuerung außer Kraft setzen, da sie Eisenmengen enthalten, die so in der Nahrung nicht vorkommen (FETeV 2018; Colombani, Mettler 2016).

Eisenmangel

Im Körper unterliegt Eisen einem effizienten Recyclingkreislauf, sodass die Bedarfsdeckung bei zu geringen Aufnahmen noch eine Weile gewährleistet ist. Ein Eisenmangel tritt aber schon bei niedrigen Eisenspeichern (Ferritin) auf. Bei einer Eisenmangelanämie (Blutarmut: Mangel an Hämoglobin) ist der Eisenmangel schon weiter fortgeschritten (FETeV 2018). Ein Prozent der Deutschen leidet an einer Eisenmangelanämie. Diese gehört weltweit zu den häufigsten Mangelerscheinungen (BfR 2015). Eisenmangel schränkt die körperliche Leistungsfähigkeit ein, stört die Thermoregulation und beeinflusst das Immunsystem. Erste Symptome sind Haar- und Nagelbrüchigkeit, trockene Haut, Einrisse in den Mundwinkeln sowie erhöhte Infektanfälligkeit. Schwerer Eisenmangel verzögert das Wachstum. Im Alter von zwölf bis 18 Monaten kann eine mäßige Anämie die Intelligenzentwicklung stören, möglicherweise irreversibel (DGE 2015). Symptome wie Erschöpfung, Müdigkeit, Schlafprobleme oder Schwindel bessern sich beim Auffüllen der Eisenspeicher. Frauen mit zu geringen Eisenspeichern (< 15 µg/l) profitieren bezüglich Müdigkeit (Cippa, Krayenbühl 2014).

Ursachen eines Eisenmangels sind oft Resorptionsstörungen, chronische Blutverluste durch die Menstruation, gynäkologische Krankheiten oder okkulte Blutungen im Magen-Darm-Bereich. Auch Umverteilungen in die Speicher, etwa bei Entzündungen und bösartigen Tumoren, schränken die Nutzung von Eisen ein (DGE 2015). Eine Malabsorption entsteht bei Zöliakie, nach Magenoperationen, bei Kurzdarmsyndrom und Infektionen mit *Helicobacter pylori*. Auch bei Erkrankungen wie Krebs (Eisenmangel verstärkt Fatigue), CED, Essstörungen, Herzerkrankungen und chronischen Nierenerkrankungen kommt Eisenmangel häufiger vor. Dabei erfordert die Korrektur eines Eisenmangels nicht zwingend hohe Dosen, bei geringerer Dosierung fallen die Nebenwirkungen schwächer aus. Vitamin-A-Defizite können die Symptome einer Eisenmangelanämie verstärken. Kupferdefizite haben negative Auswirkungen auf den Eisentransport (Biesalski 2016; Colombani, Mettler 2016). Bei nachgewiesenem Mangel besteht die The-

rapie in der Gabe von Eisenpräparaten über einen begrenzten Zeitraum (FETeV 2018).

Eisenüberschuss

Ein hochkomplexes Regulationssystem sorgt dafür, dass nicht zu viel Eisen im Körper gespeichert wird. Daher ist eine zu hohe Zufuhr über die Ernährung selten. Große Verzehrsmengen an Fleisch stehen im Verdacht, über prooxidative Wirkungen Zellen und Gewebe zu schädigen (FETeV 2018): Bei Überladung ist die Transferrin-Bindungskapazität des Eisens überschritten. Nicht an Transferrin gebundenes Eisen im Blut ist hoch reaktiv (Biesalski 2016). So bildet zweiwertiges Eisen mit Sauerstoff Hydroxylradikale, die Proteine, Nukleinsäuren und Membranen angreifen und eine Lipidperoxidation bewirken (Stahl, Hesecker 2012). Eine Zufuhr von Eisenpräparaten sollte deshalb unter ärztlicher Kontrolle erfolgen, da sie zu einer Überladung führen kann. Diese macht sich kurzfristig in Dunkelfärbung des Stuhls, Verstopfung oder Durchfall, Magendrücken, Appetitlosigkeit und Übelkeit oder in einzelnen Fällen mit Überempfindlichkeitsreaktionen bemerkbar. Die langfristig höchste tolerierbare Dosis liegt bei 45 Milligramm pro Tag. Mehr sollte nur bei einem klinisch manifesten Eisenmangel substituiert werden.

Viele im Handel erhältliche Eisenpräparate überschreiten diese Menge bereits in einer Dosis. Eisen sollte nur zur Korrektur des Mangels eingesetzt werden. Dabei ist zu beachten, dass viele Produkte, zum Beispiel auch Sportlernahrung, mit Eisen angereichert sind und diverse Multivitamin-Mineralstoffpräparate ebenfalls Eisen enthalten (Colombani, Mettler 2016). Therapeutische Dosen können eine Irritation der Schleimhaut auslösen und die gastrointestinale Motilität verändern. Sie sind von der Konzentration an freiem (labilem) Eisen im Lumen abhängig und bei Einnahme auf nüchternen Magen ohne Eisenliganden aus der Nahrung am größten (Biesalski 2016).

Eine überschießende Absorption findet sich zum Beispiel bei chronischem Alkoholismus und der erblich bedingten Hämochromatose (Eisenspeichererkrankung), die zur Schädigung von Herzmuskel, Leber und Bauchspeicheldrüse führt und ohne Therapie tödlich verläuft (DGE 2015).

Hämochromatose

In Nordeuropa ist eine von 200 Personen von der erblich bedingten Eisenspeicherkrankheit Hämochromatose betroffen. Bei Eisenüberladung wird zu viel Eisen in den Organen gespeichert. Die Schäden treten nicht unmittelbar, sondern erst im Lauf der Zeit auf. Die Erkrankung ist für bis zu zwei Prozent neu aufgetretener Fälle von Diabetes mellitus und für bis zu 15 Prozent aller Leberzirrhosen verantwortlich. Die primäre Hämochromatose trifft Männer zehnmal häufiger als Frauen, weil diese durch den Menstruationszyklus regelmäßig Blut und damit Eisen verlieren. Erworben wird eine Hämochromatose durch die alkoholische Leberzirrhose und häufige Bluttransfusionen. Patienten mit der Erkrankung sollten keine eisenhaltigen Nahrungsergänzungen und mit Eisen angereicherte Lebensmittel verzehren. Die Dunkelziffer der Erkrankung ist hoch (Biesalski 2016; www.netdoktor.de; Stahl, Hesecker 2012).



Übersicht 1: Faktoren mit hemmender und fördernder Wirkung auf die Eisenresorption (Biesalski 2016; Colombani, Mettler 2016; FETeV 2018)

Hemmende Faktoren

- Phytinsäure in Getreide, Hülsenfrüchten und Soja
- Sojaprotein, Milchprotein, Eiweiß
- Polyphenole in schwarzem Tee, Kräutertee, Wein, Kaffee und Trauben
- Oxalsäure in Endivie, Spinat, Rhabarber, Roter Röhre, Sellerie, Mangold
- Calcium aus Milch und Milchprodukten, Mineralwässer, grünem Gemüse u. a.
- Phosphate in Wurst, Fleisch, Fast Food, Cola, Lebensmittel mit Phosphatzusätzen
- Andere Metalle aus Getreide und Getreideprodukten, Nüssen und Hülsenfrüchten
- Eigelb (Phosvitin)
- Ballaststoffe

Fördernde Faktoren

- Vitamin C in Zitrusfrüchten und Früchten sowie deren Säften, frischem Gemüse
- Fruchtsäuren; niedriger pH-Wert in saurem Obst, milchsäurem Gemüse wie Sauerkraut u. a.
- Vitamin A und Carotine in Fleisch und Innereien, Möhren, Paprika, Obst
- Vitamin A verbindet sich mit Eisen zu einem besser resorbierbaren Komplex
- Gut verfügbares Häm-Eisen aus Fleisch verbessert auch die Eisenresorption aus anderen Nahrungsbestandteilen
- Fleischabbauprodukte Methionin und Cystin

Übersicht 2: Maßnahmen zur Verbesserung der Eisenresorption (Colombani, Mettler 2016; FETeV 2018)

- Natürliche Lebensmittel bevorzugen, Fastfood und Industrieprodukte, v. a. mit Phosphatzusätzen, selten verzehren
- Adäquate Energieaufnahme
- Früchte unterstützen die Eisenaufnahme aus anderen Lebensmitteln wie Gemüse oder Getreideprodukte durch ihre Fruchtsäuren und Vitamin C
- Tierische Lebensmittel und pflanzliche Eisenlieferanten kombinieren. 30 g Muskelfleisch hat dieselbe Wirkung wie 25 mg Vitamin C (100 ml Orangensaft) auf die Eisenresorption.
- Bei vegetarischer Kost gute pflanzliche Quellen kombinieren und weder Kaffee noch Tee dazu trinken, besser ein Glas Orangensaft oder andere (Zitrus-)Früchte. Gute Eisenlieferanten sind Vollkornprodukte, grünes Gemüse oder Leguminosen.
- Pflanzliche Lebensmittel für eine optimale Verwertung entsprechend vorbereiten: Keimen, Fermentieren, Mahlen, Erhitzen, Wässern/Einweichen, langes Backen von Getreide, Hülsenfrüchten und Nüssen senkt den Phytatgehalt durch Aktivieren des Enzyms Phytase. Aus Hefe- und Sauerteig hergestellte Backwaren solchen mit mineralischen Backtriebmitteln vorziehen.
- Keine Eisenpräparate einnehmen ohne diagnostischen Nachweis und ärztliche Kontrolle
- Dosierungsempfehlungen und Einnahmezeitraum einhalten
- Eisensupplemente zusammen mit einem Glas Fruchtsaft trinken
- Risikogruppen sollten regelmäßig ihren Eisenstatus überprüfen lassen
- Medikamente im Abstand von zwei Stunden zu den Mahlzeiten nehmen

Eisen in der Nahrung

Die Eisenversorgung korreliert eng mit der Ernährungszusammensetzung. Die Bioverfügbarkeit einer vegetarischen Kost liegt zwischen fünf und 15 Prozent, die einer Mischkost bei 14 bis 15 Prozent. Eisen aus pflanzlichen Lebensmitteln ist dreiwertig und muss vor der Absorption erst in zweiwertiges Eisen überführt werden. Unterschiedliche weitere Faktoren, auch der individuelle Eisenstatus, beeinflussen die Bioverfügbarkeit, vor allem die Nicht-Hämeisen-Resorption (Biesalski 2016) (**Übersicht 1**). Die Resorption von Hämeisen aus Fleisch, Fisch und Geflügel wird von Nahrungsmitteln, mit Ausnahme von Calcium, weitaus weniger beeinflusst (Schümann et al. 2014). Gute tierische Eisenquellen sind Fleisch, Leber, Hühnerei, fettreicher Fisch und Meeresfrüchte. Gute pflanzliche Quellen stellen Amaranth, Roggenbrot, Haferflocken, Vollkornprodukte, Sesamkörner, Weizenkleie, Kürbis-

kerne, Hülsenfrüchte, Blattgemüse (Endivien, Feldsalat, Grünkohl, Mangold, Spinat) und Wurzelgemüse (Schwarzwurzeln, Fenchel, Karotten, Kartoffeln) dar (GU-Nährwerttabelle 2016/2017). Die geschickte Zusammenstellung der Kost ist dabei wichtiger als die Höhe des Eisengehalts einzelner Lebensmittel. Durch Kombination von Fleisch, Fisch, Geflügel und Vitamin-C-Trägern mit pflanzlichen eisenreichen Lebensmitteln kann die Eisenaufnahme um das Zehnfache steigen. Auch leere Eisenspeicher lassen die Aufnahmemenge um das Zwei- bis Dreifache ansteigen (Verbraucherzentrale 2018). In Zeiten erhöhten Bedarfs (z. B. Schwangerschaft und Stillzeit) steigt die Resorptionsrate um 40 Prozent an (Keller 2014). Magensäure wirkt resorptionsfördernd; Fleisch erhöht die Magensäuresekretion. Letztere erleichtert die Bindung von dreiwertigem Eisen an Ascorbinsäure oder organische Säuren und verhindert unlösliche Eisenkomplexe. Vitamin C hebt ungünstige Effekte der Polyphenole und Phytate auf die Eisenresorption auf (Stahl, Hesecker 2012; **Übersicht 2**).

Empfehlungen für die Zufuhr

Frauen wird aufgrund der Menstruation ab dem zehnten Lebensjahr bis zum Alter von 51 Lebensjahren 15 Milligramm Eisen pro Tag empfohlen, danach aufgrund der Menopause (wie auch den Männern ab dem 19. Lebensjahr) zehn Milligramm täglich. Stillende sollen 20 Milligramm, Schwangere 30 Milligramm pro Tag aufnehmen. Frauen mit starker Monatsblutung, etwa wenn sie Intrauterinpeppare tragen, benötigen mehr Eisen.

In Deutschland beträgt die mediane Zufuhr bei Männern 11,8 Milligramm pro Tag, bei Frauen 9,6 Milligramm pro Tag (DGE 2015). Während 14 Prozent der Männer die täglich empfohlene Zufuhr an Eisen nicht erreichen, sind es bei den Frauen 58 Prozent. Bezogen auf die Altersklassen unter 50 Jahren sind es sogar 75 Prozent der Frauen (Keller 2014). Risikogruppen für eine mangelnde Eisenversorgung sind demnach menstruierende Frauen und Schwangere, Kinder zwischen sechs Monaten und vier Jahren, aber auch Vegetarier (v. a. Veganer) und Leistungssportler können betroffen sein (Biesalski 2016). Eine Unterschreitung der empfohlenen Zufuhr muss nicht zwangsläufig zum Mangel führen, da auch die Zusammensetzung der Nahrung entscheidet, wieviel Eisen der Körper aufnimmt. Erst Untersuchungen des Eisenstatus im Blut und der Eisenspeicher geben Aufschluss (Verbraucherzentrale 2018).

Supplemente

Das Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) rät von der prophylaktischen Einnahme eisenhaltiger Nahrungsergänzungsmittel sowie mit Eisen angereicherter Lebensmittel ohne erhöhten Bedarf und Rücksprache mit dem Arzt grundsätzlich ab. Es sind keine posi-

tiven Wirkungen einer erhöhten Eisenaufnahme über den Bedarf hinaus zu erwarten (BfR 2008). Da sich aufgrund der derzeitigen Erkenntnisse nicht ausschließen lässt, dass eine unkontrollierte und längerfristige Verwendung von eisenhaltigen Nahrungsergänzungen unter anderem das Risiko für die Entstehung von Herzerkrankungen, Krebs und Diabetes erhöht, empfiehlt das BfR, dass Nahrungsergänzungen nicht mehr als sechs Milligramm Eisen pro Tag enthalten sollen. Zusätzlich sollte die Packung Warnhinweise enthalten, dass Männer, postmenopausale Frauen und Schwangere Eisen nur nach Rücksprache mit ihrem Arzt einnehmen sollten (Verbraucherzentrale 2018). In der Schwangerschaft ist der Bedarf an Eisen für Plazenta und Gebärmutter sowie die Eisenspeicher des Feten erhöht. Zwar schützt eine Eisensupplementierung in der Schwangerschaft vor Anämie, es gibt jedoch Hinweise, dass zusätzliche Eisenaufnahmen bei gut versorgten Schwangeren das Risiko für Fehlgeburten und niedriges Geburtsgewicht erhöhen. Deshalb wird in Deutschland und anderen europäischen Ländern keine generelle prophylaktische Eisensupplementierung für Schwangere empfohlen. Diese sollte nur nach ärztlich diagnostizierter Unterversorgung erfolgen (Koletzko et al. 2018). Zuviel Eisen über Supplemente begünstigt zudem einen Zink- und Kupfermangel (Columbani, Mettler 2016). Über Wechselwirkungen zwischen Medikamenten und Eisen informiert **Übersicht 3**.

Erkrankungen und Eisenstatus

Diverse Erkrankungen profitieren von einem Auffüllen der Eisenspeicher bei knappen Eisenreserven. Dazu zählen zum Beispiel das Restless-Legs-Syndrom, ADHS und Depressionen. Eisenmangel beeinträchtigt kognitive Funktionen, Erschöpfung, Müdigkeit und Schlafprobleme treten auf (Cippa, Krayenbühl 2014). Volle Eisenspeicher und eine vorausgegangene hohe Eisenaufnahme reduzieren zwar die Resorption im Darm. Das bietet jedoch keinen Schutz vor Eisenüberladung. Gesundheitliche Schäden durch im Darmlumen verbleibendes nicht resorbiertes Eisen können den Darm direkt betreffen, den oxidativen Stress im Körper erhöhen (Eisen im Überschuss wirkt prooxidativ) oder das Wachstum von Pathogenen fördern. Pathogene Keime profitieren von überschüssigem Eisen, da sie es selbst für ihren Stoffwechsel benötigen und haben dann bessere Voraussetzungen zur Vermehrung (Schümann et al. 2014).

Übergewicht

Bei Übergewichtigen ist die Hcpidinkonzentration häufig erhöht, was die Eisenresorption einschränkt. Zusammen mit der bei Übergewicht vorliegenden chronischen Entzündung führt das bei einem Drittel der Patienten mit metabolischem Syndrom und nichtalkoholischer Fettleber zur Überladung der Eisenspeicher einerseits und zu niedrigen Plasmawerten als Fol-

Übersicht 3: Interaktionen von Eisen mit Medikamenten und anderen Metallen (Biesalski 2016)

- Prevacid, Prilosec (bei Magen- und Duodenalulcera), Antazida, Protonenpumpeninhibitoren und H₂-Rezeptorantagonisten ändern saures Milieu im Magen und hemmen Eisenabsorption
- Antibiotika (Tetracycline, Doxocyclin) bilden Komplexe mit Eisen
- Cholestyramin beeinflusst enterohepatischen Kreislauf und gefährdet Eisenversorgung
- Eisensupplemente senken die Bioverfügbarkeit von Levodopa (Antiparkinsonmittel), Methyl-dopa (bei Hypertonie), Penicillamin und Levothyroxin (bei Hypothyreose)
- Eisensupplemente nicht zusammen mit Allopurinol (bei Gicht) nehmen, kann die Eisenspeicherung in der Leber erhöhen
- Zinksupplemente in hoher Dosis beeinträchtigen Bioverfügbarkeit von Eisen, gleichzeitige Einnahme von Zink und Eisen kann die Aufnahme von Bisphosphonaten verringern
- Gleichzeitige Einnahme von Calcium und Eisen verringert die Non-Hämeisenaufnahme
- Hohe Eisenformula können bei Kindern die Kupferaufnahme verringern

ge der gestörten Resorption andererseits. Die Eisenüberladung führt zu steigender Insulinresistenz des viszeralen Fettgewebes. Therapeutisch sind dann hohe orale Dosen erfolglos, besser ist eine parenterale Gabe, insbesondere nach bariatrischer Chirurgie. Hier führen zusätzlich noch Blutverluste und die inflammatorische Anämie zur weiteren Einschränkung der Eisenversorgung. Nach bariatrischen Operationen liegt die Prävalenz des Eisenmangels bei 40 bis 75 Prozent, besonders betroffen sind Frauen mit Roux-en-Y-Magenbypass. Er nimmt mit steigendem Abstand zur OP noch zu. Im Verlauf der Gewichtsabnahme kann der Effekt auf die Hcpidinexpression zurückgehen, so dass dann wieder eine orale Substituierung erfolgen kann (Biesalski 2016).

Herzerkrankungen

Es wird diskutiert, dass hohe Mengen an Eisen zum Beispiel aus rotem Fleisch Herz-Kreislauf- und Krebserkrankungen fördern. Gleichzeitig wirkt Eisen als Regulator der Mitochondrien bei Erkrankungen protektiv und regenerationsfördernd. So beeinflusst Eisen den Verlauf einer Herzinsuffizienz positiv, wenn der Eisenstatus nicht optimal war. Um dem hohen Energiebedarf im Herzen gerecht zu werden, weisen Kar-



Etwa ein Drittel der Übergewichtigen mit metabolischem Syndrom und nichtalkoholischer Fettleber haben überladene Eisenspeicher und gleichzeitig niedrige Plasmawerte aufgrund der gestörten Resorption.



Eisensupplemente wirken nicht prinzipiell leistungsfördernd im Sport.

diomyozyten eine besondere Dichte an Mitochondrien auf. Diese können ihren ATP-Bedarf nur decken, wenn ihnen genügend Eisen zur Verfügung steht. Die Zellen herzinsuffizienter Patienten weisen wesentlich weniger Eisen auf als die Zellen Gesunder. Schließlich leiden 40 Prozent der Patienten mit chronischer Herzinsuffizienz an einem Eisenmangel. Ursache sind weniger aktive mRNA-bindende Proteine, die den intrazellulären Eisenstoffwechsel regulieren (FETeV 2018; PZ vom 29.8.2016). Ein Teil des Eisens im Plasma ist nicht an Transferrin gebunden. Man vermutet, dass es zur Atherogenese beiträgt (Schümann et al. 2014).

Krebs

80 bis 90 Prozent des konsumierten Eisens bleiben im Darmlumen und können dort über verschiedene Mechanismen in toxischen und therapeutischen Dosen schaden. Dabei hängen eisenvermittelter oxidativer Stress, Entzündungen und Karzinogenese eng zusammen (Biesalski 2016). Eine hohe Eisenzufuhr mit der Ernährung als Hämeisen aus rotem Fleisch wird mit einem gesteigerten Risiko für Dickdarmkrebs in Verbindung gebracht. Bei einem Verzehr von mehr als 160 Gramm rotem Fleisch und Fleischprodukten pro Tag nahm die Mortalität an kolorektalem Krebs zu, was vor allem den Fleischprodukten zugeschrieben wurde. Das niedrigste Risiko bei Fleischprodukten lag bei einem Verzehr von unter 20 Gramm pro Tag, ab einem Verzehr von 50 Gramm und mehr erhöhte sich die Mortalität (Rohrmann et al. 2013). Auch war das erneute Auftreten humaner kolorektaler Adenokarzinome nach operativer Entfernung mit der oralen Einnahme von Eisen und erhöhten Ferritinkonzentrationen im Serum assoziiert. Das relative Risiko für Kolorektalkarzinome, Kolonadenome und hämatologische maligne Tumoren ist ebenfalls erhöht bei Heterozygotie für die erbliche Hämatochromatose. Phytat erniedrigt die Konzentration an verfügbarem Eisen, Ballaststoffe beschleunigen die Darmpassage, sodass sie die Exposition gegenüber Karzinogenen in der Nahrung verkürzen (Schümann et al. 2014).

Akute und chronische Entzündungen

Die zweithäufigste Form der Eisenmangelanämie ist der funktionelle Eisenmangel bei chronischen Erkrankungen. Bei dieser inflammatorischen Anämie sind die Blutwerte trotz normaler oder hoher Eisenspeicher gering. Eine Erhöhung der Zytokine verstärkt die Hpcidinbildung, was eine Hemmung der Absorption am Darm und Freisetzung aus den Makrophagen bewirkt. Dabei sind häufig akute und chronische Infektionen der Grund. Eisen ist ein wichtiger Nährstoff für das Wachstum von Mikroorganismen (Bakterien und Parasiten) und kann die Immunreaktion einschränken. Andererseits kann Eisen zur Minderung der Krankheitsaktivität beitragen (Biesalski 2016). Ein erhöhter luminaler Eisengehalt kann über die Förderung des Wachstums pathogener Keime schädigen. So hat man festgestellt, dass allgemeine Eisensupplementierungsprogramme bewirken, dass bei Kindern ohne Eisenmangel schwerere Verläufe der Malaria auftreten. Umgekehrt ist es eine Verteidigungsstrategie des Wirts, die Verfügbarkeit von Eisen zu begrenzen, etwa indem Eisen an Transferrin und Laktoferrin gebunden wird (Schümann et al. 2014).

Sportliche Leistungsfähigkeit

Diskutiert wird ein Eisenmangel bei Sportlern durch Mikroblutungen in Muskulatur und Darm sowie Verluste mit dem Schweiß (FETeV 2018). Auch wegen Müdigkeit im Sport wird häufig Eisen supplementiert. Allerdings ist über die Empfehlungen der DGE schon aufgrund des Sicherheitszuschlags der leicht erhöhte Eisenbedarf von Sportlern gedeckt. Kritisch ist allenfalls die Einnahme von nicht steroidalen Entzündungshemmern wie Voltaren und Ibuprofen durch zusätzliche Blutverluste.

Eisensupplemente wirken nicht prinzipiell leistungsfördernd im Sport. Bei Eisenmangel sorgen sie für die Wiedererlangung der ursprünglichen Leistungsfähigkeit (Colombani, Mettler 2016).

JOD

Funktion und Stoffwechsel

In Deutschland leiden schätzungsweise 30 Millionen Menschen unter einer Fehlfunktion der Schilddrüse, häufig ohne es zu wissen (Flemmer 2015). Jod wirkt als Bestandteil der Schilddrüsenhormone Thyroxin (Prohormon T_4) und Trijodthyronin (T_3). Über selenabhängige Jodthyronindejodasen, die die Umwandlung des Prohormons Thyroxin zum aktiven Schilddrüsenhormon T_3 und seinen Abbau aktivieren, bestehen Verbindungen zur Selenversorgung (DGE 2015). Schilddrüsenhormone sind in eine Vielzahl an Prozessen der Organentwicklung und Proteinsynthese verwickelt und für metabolische Aktivitäten unentbehrlich (Biesalski

2016). Ist die Schilddrüse mit Jod gesättigt, wird überschüssiges Jod über die Nieren ausgeschieden (Gärtner 2015).

Jodmangel

In Jodmangelgebieten und Gebieten mit unzureichender Jodversorgung treten als Jodmangelerscheinungen der endemische Kropf und der endemische Kretinismus auf (DGE 2015). Frühsymptome eines Jodmangels sind fehlende Antriebskraft, Konzentrationsschwäche, spröde Haare oder Zyklusstörungen bei der Frau, später werden Körperfunktionen langsamer, die Haut wird trocken und schuppig (Flemmer 2015). Für die kognitive Entwicklung von Kindern ist ausreichend Jod schon vor der Geburt unerlässlich. Bereits ein milder bis moderater Jodmangel in der Frühschwangerschaft kann die geistige Entwicklung des Kindes negativ beeinflussen (AK Jodmangel 2016). Geistige Entwicklungsstörungen bei Kindern durch Jodmangel sind selbst bei frühzeitigem Behandlungsbeginn nach der Geburt nicht mehr völlig rückbildungsfähig (BfR 2015; **Übersicht 4**). Kinder mit einem milden Jodmangel entwickeln nicht ihre volle Intelligenz (Gärtner 2015). Eine Jodanamnese kann klären, ob eine optimale Jodversorgung vorliegt und Mehrfachsupplementierungen vermeiden helfen (Arbeitskreis Jodmangel 2016; **Übersicht 5**). Vor jeder Form der Supplementierung sollte insbesondere bei Verdacht auf Über- oder Unterversorgung mit Jod eine weiterführende Diagnostik und eine individuelle Supplementierung stattfinden (Gärtner 2016). Ein Mangel an Selen, Zink und Eisen beeinflusst den Jodstoffwechsel (BFR 2012). Eisen-, Selen- und Vitamin A-Mangel verschlimmern die Auswirkungen von Jodmangel (Biesalski 2016). Risikofaktoren für einen Jodmangel sind einseitige vegetarische Ernährung, Kuhmilchallergie, Laktoseintoleranz, Fischallergie und salzarme Ernährung (DGE 2015).

Jodüberschuss

Chronisch hohe Aufnahmen an Jod durch die Ernährung (in Europa entspräche das maximal 1 mg/d, Japaner erreichen bei vorwiegendem Seefischverzehr 50–80 mg/d) haben keine Nebenwirkungen, solange keine Vorerkrankungen bestehen. Die Schilddrüse kann sich vor einem Jodexzess schützen. Die Empfehlung der DGE, nicht mehr als 500 Mikrogramm pro Tag aufzunehmen, berücksichtigt, dass in einem historischen Jodmangelgebiet wie Deutschland bei vielen Menschen die Gefahr einer versteckten Autonomie der Schilddrüse besteht. Bei der Zufuhr höherer Joddosen kann sich eine Hyperthyreose entwickeln (Gärtner 2015). Studien weisen auf einen möglichen Zusammenhang zwischen einer längerfristig überhöhten Jodzufuhr (> 500 µg/d), einer Selenunterversorgung und dem Auftreten der Autoimmunerkrankung Hashimoto-Thyreoiditis hin (Biesalski 2016; Duntas 2015). Men-

Übersicht 4: Folgen von Jodmangel und Hypothyreose (Arbeitskreis Jodmangel 2016; Gärtner 2015)	
Schwangere/Stillende	<ul style="list-style-type: none"> • Erhöhtes Risiko für Fehl- und Totgeburten, Komplikationen des Schwangerschaftsverlaufs • Erhöhtes Risiko für mütterliche und kindliche Schilddrüsenunterfunktion und Kropf
Fetus	<ul style="list-style-type: none"> • Störung der Gehirnreifung (verändertes EEG), Hördefekte (z. B. Innenohrschwerhörigkeit), gestörte mentale und motorische Entwicklung • Wachstumsdefizite • Angeborene Struma
Kinder/Jugendliche/Erwachsene	<ul style="list-style-type: none"> • Hypothyreose, Strumabildung • Störungen der neurophysiologischen Entwicklung schon bei moderatem Mangel: Lern-, Merkschwierigkeiten, irreversible intellektuelle Defizite • Knotige Veränderung der Schilddrüse: Risiko bösartiger Veränderungen (kalte Knoten: 3–5 % der kalten Knoten sind malign), autonome Hyperthyreosen (heiße Knoten mit Beschwerden wie Schlafstörungen, Nervosität, Gereiztheit, Gewichtsabnahme, hoher Blutdruck) • Müdigkeit, Antriebschwäche, Leistungsminderung • Erhöhte Infektanfälligkeit, Kälteempfindlichkeit, • Haarausfall, trockene Haut • Depressive Störungen • Verminderte Fruchtbarkeit bei Mann und Frau

Übersicht 5: Fragenkatalog zur Jodanamnese (BfR 2015)	
1. Verwenden Sie im Haushalt/beim Kochen Jodsalz?	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein
2. Trinken Sie regelmäßig Milch?	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein Wenn ja, wieviel trinken Sie pro Tag? <input type="checkbox"/> 1 Glas <input type="checkbox"/> 2 Gläser <input type="checkbox"/> ½ Liter <input type="checkbox"/> mehr als ½ Liter
3. Wie oft essen Sie Seefisch?	<input type="checkbox"/> 1–2 Mal/Woche <input type="checkbox"/> 1–2 Mal/Monat <input type="checkbox"/> selten/nie
4. Verwendet Ihr Bäcker/Fleischer Jodsalz?	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> nicht bekannt
5. Nehmen Sie Folsäure-/Multi-/Vitaminpräparate oder Nahrungsergänzungsmittel mit Jod ein?	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein Wenn ja, welche?
6. Nehmen Sie Jodtabletten ein?	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein Wenn ja, welche?
7. Nehmen Sie jodreiche Algen-/Tangpräparate zu sich?	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein Wenn ja, welche?

schen in Jodmangelgebieten sind im Gegensatz zur asiatischen Bevölkerung hinsichtlich des Schilddrüsenstoffwechsels nicht an sehr hohe Jodzufuhren gewöhnt. So können Algen bei Personen mit autonomer Überfunktion („heißen Knoten“) eine lebensbedrohliche Überfunktion der Schilddrüse auslösen (Gärtner 2016). Als besonders sensible Risikogruppe gegenüber einem Jodüberschuss gelten ältere Menschen, die im Jodmangel aufgewachsen sind und aufgrund dessen eine funktionelle Autonomie ausgebildet haben. In Ab-



Foto: © rawpixel.com

Algen können sehr hohe Jodgehalte aufweisen.

hängigkeit von Dosis und Empfindlichkeit kann ein Jodexzess folgendes bewirken (BfR 2012):

- Schilddrüsenüberfunktion bei funktioneller Autonomie
- Morbus Basedow (autoimmune Schilddrüsenüberfunktion)
- Hashimoto-Thyreoiditis (autoimmune Schilddrüsenentzündung mit Unter- oder Überfunktion)
- Akute Blockade der Jodaufnahme in der Schilddrüse (Wolff-Chaikoff-Effekt) mit oder ohne Schilddrüsenunterfunktion
- Seltene Überempfindlichkeitsreaktionen (z. B. bei Dermatitis herpetiformis During)

Die im Jodsalz verwendeten Jodate sind als Moleküle zu klein, um allergen wirken zu können. Daher gibt es keine Jodallergie. Allergien können aber gegen jodhaltige Produkte, etwa Röntgenkontrastmittel, vorliegen. Hier wirkt der Träger als Allergen. Auch Jodakne tritt nur bei Aufnahmemengen im Milligramm- oder Grammbereich auf, zum Beispiel über jodhaltige Medikamente (BfR 2012). Jod ist nicht gesundheitsschädlich, solange die verzehrte Menge die festgelegten Höchstmengen nicht überschreitet (Gärtner 2016). Ein Mehr an Jod über den körpereigenen Bedarf bringt keine gesundheitlichen Vorteile. Der Gebrauch jodhaltiger Ergänzungsmittel sollte mit dem Arzt abgesprochen werden (Verbraucherzentrale 2018).

Jodquellen

Gute Jodquellen sind Seefische wie Schellfisch, See- lachs, Scholle, Kabeljau und andere maritime Produkte wie Muscheln und Garnelen sowie angereichertes Jodsalz, das zwischen 15 und 25 Mikrogramm Jod pro Gramm Salz enthält und als Jodsalz oder jodiertes Speisesalz gekennzeichnet sein muss.

Sehr jodreich sind Algen. Problematisch ist aber, dass ihr Jodgehalt nicht standardisiert ist (Biesalski 2016).

Extrem jodreich sind getrocknete Tang- und Algenprodukte, vor allem Braunalgen (Arame, Kombu, Wakame und Hijiki), die zum Beispiel als Würzmittel eingesetzt werden. Die für Sushi verwendeten Rotalgen enthalten weniger Jod. Die Jodgehalte schwanken je nach Algengattung erheblich und liegen zwischen fünf und 11.000 Mikrogramm je Gramm Trockengewicht. Schon mit ein bis zehn Gramm Algen kann die maximal empfohlene Aufnahmemenge deutlich überschritten werden. Algenstückchen finden sich auch in Asia-Reis Crackern oder ähnlichem Knabbergebäck. Hier ist es sinnvoll, die Zutatenliste zu lesen (Flemmer 2015). Es sollten nur solche Meeresalgenprodukte gekauft werden, die eindeutige Angaben zum Jodgehalt und zur maximalen Verzehrmenge enthalten (Verbraucherzentrale 2018).

Bei der Fütterung von Nutztieren wird zunehmend jodiertes Futter eingesetzt, sodass der Jodgehalt von Milch und Milchprodukten gestiegen ist (BfR 2012). Die Jodgehalte in der Milch schwanken zwischen minimal 20 bis 50 Mikrogramm je Liter in Biomilch und 200 bis 250 Mikrogramm je Liter in konventionell erzeugter Milch. Zwar ist die Anreicherung von Jod auch in der ökologischen Milchviehhaltung erlaubt, die Kühe erhalten laut EG-Öko-Verordnung jedoch einen mindestens 60-prozentigen Anteil an Raufutter sowie die Möglichkeit zu Weidegängen (DGE 2013; Gärtner 2015). Wer Fisch oder Milch nicht mag oder verträgt oder sich ausschließlich vegan ernährt, sollte konsequent Jodsalz verwenden und seine Jodversorgung in gewissen Zeitabständen überprüfen lassen (Flemmer 2015). Sogenannte „Reformsalze“ und Meersalze“ enthalten, sofern sie nicht jodiert sind, nur unzureichende Jodmengen (DGE 2015). Eine niedrige Selenzufuhr verhindert eine ausreichende Umwandlung von T_4 in T_3 . Zudem verhindern selenabhängige Glutathionperoxidasen die oxidative Schädigung der Thyreozyten durch überschüssiges H_2O_2 (Gärtner 2015). Selenreich sind tierische Produkte wie Fleisch, Fisch und Eier, denn Tierfutter darf in der EU mit Selen angereichert werden. Selenreiche Pflanzen sind zum Beispiel Paranüsse, Kohl, Zwiebelgemüse, Pilze, Spargel und Hülsenfrüchte (DGE 2015).

Empfehlungen für die Jodzufuhr

Wegen der nach wie vor in bestimmten Regionen und Lebensphasen häufig nicht ausreichenden Jodversorgung in Deutschland empfiehlt die DGE nach wie vor ab dem Alter von 13 Jahren 200 Mikrogramm Jod pro Tag (DGE 2015). Zwar hat sich die Jodversorgung seit den 1980er-Jahren verbessert, es nehmen aber immer noch 30 Prozent der Bevölkerung unzureichende Mengen an Jod auf. Sie tragen das Risiko für jodmangelbedingte Schilddrüsenerkrankungen. Eine Überversorgung ist aufgrund der aktuellen Datenlage nicht zu erwarten (Gärtner 2016; Ernährungsbericht 2016). Die Jodversorgung hat sich der DONALD-Studie zufolge sogar wieder verschlechtert: Mehr als die Hälfte der Sechsbis Zwölfjährigen erreicht demnach die empfohlene Jodzufuhr nicht. Das bedeutet nicht automatisch einen

Jodmangel. Allerdings kann ein mildes Joddefizit auch ohne erkennbaren Kropf schon die geistige Leistungsfähigkeit einschränken. Gründe für die Verschlechterung der Jodversorgung sind Handelshemmnisse, Billigimporte von nicht jodiertem Speisesalz und nicht jodierten Fertigprodukten sowie Preisunterschiede zwischen herkömmlichem und jodiertem Speisesalz (*DGE 2013*).

Um den Jodmangel in Deutschland gänzlich zu beseitigen, müssten alle Lebensmittel mit Jodsalz hergestellt werden. Dazu gehört die ausschließliche Verwendung von Jodsalz im Haushalt und in der Gemeinschaftsverpflegung, der bewusste Einkauf von Lebensmitteln und Fertigprodukten mit Jodsalz. Oft hilft es, die Deklaration auf Lebensmittelverpackungen wie Konserven, Tiefkühlwaren und Fertigprodukten zu beachten.

Die Verwendung von Jodsalz in Deutschland liegt bei 80 Prozent in den Haushalten und bei rund 25 Prozent in der Lebensmittelindustrie. Die Jodverwendung im Haushalt ist nicht ausreichend: Zehn Gramm Jodsalz enthalten 200 Mikrogramm Jod, wobei nur das unmittelbar den Speisen zugefügte Jod quantitativ aufgenommen wird. Der größte Teil des Jods geht im Kochwasser verloren. Das im Haushalt verwendete Speisesalz macht laut Ernährungsbericht 2016 (*DGE 2016*) nur zehn Prozent der Salzzufuhr aus. Die Menschen konsumieren immer häufiger Fertiglernmittel (*Gärtner 2015; 2016*).

Frauen mit Kinderwunsch sollten schon vor der Schwangerschaft zur Bedeutung von Jod beraten werden und auf eine ausreichende Jodzufuhr achten. Zusätzlich zu einer ausgewogenen Ernährung wird Schwangeren ein Supplement mit 100 bis 150 Mikrogramm Jod täglich empfohlen, bei Schilddrüsenerkrankungen immer nach Rücksprache mit dem behandelnden Arzt. Epidemiologische Studien deuten darauf hin, dass sich selbst eine moderate Jodunterversorgung, insbesondere in der frühen Schwangerschaft, ungünstig auf die kognitive und psychomotorische Entwicklung des Kindes auswirken kann (*Koletzko et al. 2018*).

Interaktionen mit Medikamenten und Lebensmitteln

Amiodaron, ein jodhaltiges Antiarrhythmikum (hauptsächlich gegen Vorhofflimmern), kann zur Thyreotoxikose führen. Hier ist eine TSH-Kontrolle erforderlich. Die Kombination von Jodsupplementen mit ACE-Hemmern kann eine Hyperkaliämie bewirken. Die Kombination von Lithium mit Kaliumjodid kann zur Entwicklung einer Hypothyreose führen. Jodmangel bei Frauen wird durch die jahrelange Verwendung von oralen Kontrazeptiva verstärkt. Pharmakologische Dosen von Kaliumjodid können die gerinnungshemmende Wirkung von Warfarin verringern.

Sojaprodukte beeinträchtigen die Bioverfügbarkeit von Jod, Ursache ist das in Soja enthaltene Isoflavon Genistein. Weitere goitrogene Substanzen sind Thiocyanate, etwa in Cassava (Maniok), Kohl, Brokkoli und

Rettich. Sie hemmen die Jodaufnahme in die Schilddrüse. Hirse enthält Huminsäure, die die Jodierung des Proteins hemmt (*BfR 2015; Biesalski 2016*). Umweltbelastungen (Rauchen, Nitrat) sowie ein hoher Verzehr an pflanzlichen Lebensmitteln mit strumigenen Substanzen erhöhen den Jodbedarf. Thiocyanat aus Rauch hemmt den Jodtransport in die Zelle kompetitiv und erhöht damit indirekt den Jodbedarf (*BfR 2015*).

Erkrankungen und Jod

Autoimmunerkrankungen

16 Prozent aller Frauen und zwei Prozent aller Männer entwickeln im Laufe ihres Lebens eine Autoimmunerkrankung der Schilddrüse. Geht sie mit einer Überfunktion einher, spricht man von Morbus Basedow, bei Unterfunktion von Hashimoto-Thyreoiditis. Am häufigsten sind schilddrüsenspezifische Antikörper bei normaler Schilddrüsenfunktion nachweisbar. Hier ist das Risiko erhöht, im langjährigen Verlauf eine Funktionsstörung zu entwickeln (*Gärtner 2015*). Ursache ist eine genetische Disposition. Jodexzess kann als Auslöser eine Rolle spielen.

Bei der Hashimoto-Thyreoiditis entwickeln sich Antikörper gegen das eigene Schilddrüsengewebe mit Entzündung und anschließender Vernarbung und Schilddrüsenunterfunktion. Medizinische Fachgesellschaften empfehlen weder Jodverzicht noch jodarme Ernährung oder Verzicht auf jodiertes Speisesalz. Lediglich von zusätzlichen Jodpräparaten oder sehr jodreichen Lebensmitteln wie Algen und Seetang raten sie ab (*BfR 2012*). Antikörper gegen die Schilddrüse unter Jodmangel liegen häufiger vor, wenn parallel ein Selenmangel besteht (*Gärtner 2016*). Auch Morbus-Basedow-Patienten dürfen jodiertes Speisesalz und damit gewürzte Produkte verzehren (*DGE 2015*).

Brustkrebs

Auch Brust- und Eierstockzellen können Jod aufnehmen. Jod schützt vor freien Radikalen, stärkt das Immunsystem, dient der Keimabwehr und der Regulation von Zellwachstum und -teilung (*GfBK-Kurz-Info 2016*). Jod kann nicht nur eine Apoptose (natürlicher Zelltod kranker oder bösartiger Zellen) von Thyreozyten, sondern auch von humanen Brustkrebszellen herbeiführen. Tierexperimentelle und epidemiologische Studien untermauern die Bedeutung einer optimalen Jodversorgung zur Vorbeugung von Neoplasien der Schilddrüse und Gewebeveränderungen der Brustdrüse (*Gärtner 2015*).

Diabetes und Fettstoffwechselstörungen

Bei schlecht eingestelltem Blutzuckerspiegel oder eingeschränkter Nierenfunktion scheiden die Nieren verstärkt Jod mit dem Urin aus. Funktionsstörungen

der Schilddrüse in Folge eines Jodmangels beeinflussen wiederum den Blutzuckerspiegel und können die Diabetestherapie erschweren. Sowohl eine Über- als auch eine Unterfunktion der Schilddrüse beeinträchtigen die Blutzuckerstoffwechsellage (AK Jodmangel 2014). Schilddrüsenhormone beeinflussen auch den Stoffwechsel der Blutfette. So trägt eine ausreichende Jodprophylaxe zu einem beschleunigten Abbau erhöhter Blutfette bei, was das kardiovaskuläre Risiko absenkt. Eine verbesserte Jodversorgung senkt die Cholesterinwerte übergewichtiger Frauen (AK-Jodmangel 2016).

ZINK

Funktion und Stoffwechsel

Zink ist an der Regulation von über 300 Enzymen des Protein-, Kohlenhydrat-, Fett- und Nukleinsäurestoffwechsels beteiligt. Es spielt eine besonders wichtige Rolle bei der Genexpression, antioxidativ wirksamen Enzymen sowie der Immunfunktion (Biesalski 2016). Außerdem ist es Bestandteil oder Aktivator von Hormonen und Rezeptoren sowie der Insulinspeicherung (DGE 2015). Darüber hinaus ist Zink beteiligt an

- Entwicklungs-, Wachstums- und Regenerationsprozessen (z. B. Wundheilung)
- Zellproliferation und -differenzierung
- Sinnesfunktionen (Hören, Sehen, Riechen, Schmecken)
- Neurotransmitter-, Prostaglandin- und Hormonstoffwechsel
- Entwicklung und Reifung männlicher Geschlechtsorgane
- Bildung von Haut, Haaren und Nägeln
- Vitamin-A-Stoffwechsel und Sehprozess
- Regulation des Säuren-Basen-Haushalts (Hahn, Schuchardt 2010).

Die Bioverfügbarkeit von Zink ist variabel. In Zeiten hohen Bedarfs wie in Wachstumsphasen oder während Schwangerschaft und Stillzeit steigt sie bis auf 60 Prozent, Regulator ist die Expression des Zinktransporters (Biesalski 2016). Zink wird über verschiedene zinkspezifische Transportwege in die Darmzellen aufgenommen. Bei Aufnahme hoher Dosen erfolgt ein passiver parazellulärer Transport (durch die Zellzwischenräume). In den Darmepithelzellen wird Zink an Proteine gebunden zwischengespeichert und bei Bedarf an das Blut abgegeben. Nicht benötigtes Zink gelangt durch die physiologische Abschlüpfung der Darmzellen in das Darmlumen zurück und wird dann entweder erneut resorbiert oder mit dem Stuhl ausgeschieden. Sinkende intrazelluläre Konzentrationen an Zink steigern die Absorption und senken die Ausscheidung von Zink in das intestinale Lumen. Der Zinkstatus regelt auch den Ausgleich von Verlusten. Allerdings lässt sich eine unzureichende Versorgung nur geringfügig ausgleichen. Verschiedene Gewebe reichern Zink in

unterschiedlichem Ausmaß an. Die Zinkspeicher sind im Vergleich zu den Eisenspeichern recht klein (Hahn et al. 2016; Elmadfa, Leitzmann 2015)

Zinkmangel

Die Vielfalt seiner Wirkungen erklärt die mangelnde Spezifität der Symptome bei Zinkmangel (Biesalski 2016). Bei schwerem Zinkmangel treten Verminderung der Geschmacksempfindung, Appetitlosigkeit, Dermatitis, Haarausfall, Durchfall und neuropsychologische Störungen auf. Darüber hinaus sind Wachstumsverzögerungen, Störungen der männlichen Sexualentwicklung und Reproduktionsfunktion, Verzögerung der Wundheilung und erhöhte Infektanfälligkeit möglich (DGE 2015). Leichte Unterversorgungen äußern sich in einer erhöhten Infektanfälligkeit, Dermatitis, verzögerter Wundheilung, Immunschwäche und Haarausfall (Hahn et al. 2016). Während ausgeprägte Mangelzustände in westlichen Ländern selten sind, zeigen sich bei Senioren (altersbedingte verminderte Resorption), Schwangeren und Stillenden, Kindern und Jugendlichen, Vegetariern und Leistungssportlern häufiger leichte Defizite (Hahn, Schuchardt 2010). Ausgeprägter Zinkmangel ist bei Malabsorptionssyndromen, parenteraler Ernährung und großflächigen Verbrennungen möglich. Beim Säugling ist das Risiko für Zinkmangel gegen Ende der schnellen Wachstumsphase erhöht (DGE 2015). Schon bei marginalen Defiziten können bei Kindern Wachstumsstörungen (intrauterin und frühkindlich), wiederholte Durchfälle und gesteigerte Infektibilität auftreten. Chronischer Alkoholkonsum reduziert die Bioverfügbarkeit und steigert die renale Elimination von Zink. Bei chronisch entzündlichen Darmerkrankungen, bakterieller Fehlbesiedlung und nach bariatrischen Operationen werden Zinkdefizite beschrieben (Biesalski 2016). Insbesondere bei Senioren und Anorektikern kann ein Zinkmangel durch abgeschwächte Geruchs- und Geschmacksempfindungen zu Appetitverlust führen und eine Malnutrition verstärken (Hahn, Schuchardt 2010). In einer Studie der Berliner Charité waren hohe Zinkspiegel bei Seniorinnen mit einem geringeren Risiko für Depressionen verbunden. Insbesondere bei depressiven älteren Menschen empfiehlt sich eine Untersuchung der Zinkspiegel und entsprechend eine erhöhte alimenter Zufuhr (Jung et al. 2016). Zinkmangel kann sich störend auf den Vitamin-A-Metabolismus auswirken (Biesalski 2016).

Zinküberschuss

Zinkvergiftungen sind nach dem Verzehr von säurehaltigen Lebensmitteln oder Wasser aus verzinkten Gefäßen möglich. Akute Vergiftungen verursachen Magen-Darm-Störungen und Fieber, chronische führen zu hypochromer Anämie und Neutropenie aufgrund der

Wechselwirkung mit Kupfer (DGE 2015). Hoch dosierte Zinksupplemente können auch die Magnesiumaufnahme verringern (Biesalski 2016).

Wechselwirkungen mit Kupfer

Schon kurzfristig können hoch dosierte Zinksupplemente von 50 Milligramm pro Tag durch Verringerung der intestinalen Kupferaufnahme einen Kupfermangel verursachen, wobei ein Kupfermangel wiederum den Eisentransport behindern kann (Biesalski 2016). Chronische Einnahmen von 25 bis 50 Milligramm Zink pro Tag können eine Abnahme der Kupferresorption, einen LDL-Anstieg, HDL-Abfall und eingeschränkten Immunstatus bewirken (Imobersdorf et al. 2010). Ein Kupfermangel kann zu Anämie bei gleichzeitig hohen Eisenkonzentrationen in der Leber, Leukozytopenie, Knochenfrakturen durch Osteoporose, Gefäßrupturen und Aneurysmen durch gestörte Kollagen- und Elastinbildung führen. Bei schwerem durch Zinküberschuss verursachtem Kupfermangel treten neurologische Störungen auf (DGE 2015).

Kupferreich sind Getreideprodukte, Innereien (Leber), Fisch, Schalentiere, Nüsse, Kakao, Schokolade, Kaffee, Tee und einige grüne Gemüse (DGE 2015).

Der Dosierungsbereich für eine sichere Zinkaufnahme ist schmal, die Beurteilung des Zinkstatus aufwändig, eingeschränkt sensitiv und spezifisch. Es ist schwierig, Überschuss oder Mangel zu erkennen (Mared, Sandstead 2014). Die DGE rät von einer Zinkeinnahme über 25 Milligramm pro Tag ab. Weißenborn und Mitarbeiter (2018) empfehlen, dass Nahrungsergänzungen maximal 6,5 Milligramm Zink enthalten und bei mehr als 3,5 Milligramm mit dem Hinweis versehen sein sollten, auf weitere zinkhaltige Nahrungsergänzungen zu verzichten. Bei Supplementierung von Zink sollte die Kupferzufuhr ausreichend sein.

Pharmakologische Dosen an Zink werden nur bei Morbus Wilson (Kupferspeicherkrankheit) verabreicht, um die Akkumulation von Kupfer in Geweben zu verhindern sowie bei Akrodermatitis enteropathica. Diese angeborene Stoffwechselerkrankung mit eingeschränkter Zinkabsorption durch Mutation des Zinktransporters verläuft unbehandelt tödlich (Maret, Sandstead 2014).

Zinkquellen

Gute Zinkquellen sind Rindfleisch, Schweinefleisch, Geflügel, Eier, Milch und Käse. Aber auch Getreideprodukte (v. a. aus Vollkorn), Hülsenfrüchte, Nüsse und Samen weisen hohe Werte auf. Für die Bedarfsdeckung spielt die Verwertung des Zinks aus der Nahrung eine wichtige Rolle. Sie ist neben dem Versorgungsstatus vom Zinkbedarf, der Art der chemischen

Übersicht 6: Beeinflussende Faktoren der Zinkabsorption (Elmadfa, Leitzmann 2015; Hahn, Schuchardt 2010)

Hemmende Faktoren

- Komplexbildner (z. B. Phosphate, Phytat)
- Kasein
- Einige Ballaststoffkomponenten (Zellulosen, Hemizellulosen, Lignin)
- Tannine in Kaffee und Tee
- Unphysiologische Dosen an Eisen, Kupfer, Calcium und Cadmium (kompetitive Wirkung)
- Alkohol (insbesondere chronischer Alkoholabusus)

Fördernde Faktoren

- Tierisches Protein, vor allem Aminosäuren wie Methionin, Cystein und Histidin
- Organische Säuren (z. B. Citrat)
- Inulin
- Komplexbildner wie Aminosäuren (Histidin, Cystein)
- Peptide

Bindung des Zinks und den Wechselbeziehungen zu anderen Nahrungsbestandteilen abhängig (**Übersicht 6**). Vegetarier verzehren zwar mehr Zink als Mischköstler, die Bioverfügbarkeit aus pflanzlicher Nahrung ist aber wesentlich geringer. Weitere beeinflussbare Faktoren sind Stress, chirurgische Eingriffe, parasitäre Erkrankungen und Infektionen. Bei gemischter Kost geht man von einer Absorptionsrate von 30 Prozent aus. Kuhmilch enthält hemmende Faktoren wie Calcium und Kasein (DGE 2015).

Bei Vegetariern liegt der Bedarf um mindestens 50 Prozent höher (Maret, Sandstead 2014). Diskutiert wird eine Adaptation der intestinalen Zinkabsorption an die von Vegetariern häufig verzehrten hohen Phytatmengen mit der Nahrung über einen längeren Zeitraum, zumindest bei Erwachsenen (Hahn et al. 2016).

Empfehlungen für die Zinkzufuhr

Die empfohlene Zufuhr beträgt für Jugendliche ab 15 Jahren und Männer zehn Milligramm pro Tag, für Mädchen/Frauen ab sieben Jahren sieben Milligramm pro Tag. Schwangere sollten ab dem vierten Monat zehn Milligramm und Stillende elf Milligramm Zink pro Tag aufnehmen (DGE 2015).

Laut Nationaler Verzehrstudie II liegt die Zinkzufuhr in allen Altersgruppen über den Empfehlungen, dennoch erreichen 32 Prozent der Männer und 21 Prozent der Frauen die empfohlene tägliche Aufnahme nicht, vor allem Seniorinnen und Senioren, aber auch junge Frauen im Alter von 14 bis 18 Jahren (Biesalski 2016).

Interaktionen mit Medikamenten und Supplementen

Einige Chemotherapeutika und Aspirin bilden Chelatkomplexe mit Zink und mindern damit die Absorption. Antibiotika wie Penicillamin, Qinolen-Antibiotika und Tetracykline reduzieren die Bioverfügbarkeit von Zink. Das lässt sich verhindern, indem die Antibiotika zwei Stunden vor oder sechs Stunden nach Zinksup-

plementen eingenommen werden. Antiepileptika, insbesondere Valproinsäure, können Zinkmangel verursachen. Diuretika können die Ausscheidung von Zink über den Urin fördern. Auch Bisphosphonate sollten nicht gleichzeitig mit Zinksupplementen genommen werden, weil sie sich gegenseitig in ihrer Resorption reduzieren. Bei Supplementierung großer Mengen Eisen in der Schwangerschaft kann es zur Unterversorgung mit Zink kommen. Der Effekt auf die Zinkabsorption ist geringer, wenn die Eisensupplemente zwischen den Mahlzeiten genommen werden. Hochdosierte Zinksupplemente können die Kupferabsorption hemmen. Daher sind Zinksupplementen oft geringe Mengen an Kupfer zugesetzt (*Biesalski 2016*).

Gesundheit und Prävention

Zink kann sowohl pro- als auch antioxidativ wirken, sowohl Zinkmangel als auch Zinküberschuss verursachen oxidativen Stress mit Veränderungen in der normalen Struktur und Funktion von DNA, Lipiden und Proteinen. Dies kann mit Krebs, Neurodegeneration, kardiovaskulären Erkrankungen, Diabetes und Nierenerkrankungen einhergehen (*Lee 2018; Choi et al. 2018*). Interventionsstudien in Entwicklungsländern zeigten, dass eine Zinksupplementierung mit Dosen zwischen 14 und 40 Milligramm pro Tag bei Kindern zu einer signifikanten Reduktion der Dauer und Schwere von akuten und chronischen Durchfällen sowie der dadurch bedingten Mortalität führte. Auch die Inzidenz von Lungeninfektionen und -entzündungen sowie Malariainfektionen gingen zurück (*Hahn et al. 2016*).

Aufgrund seiner Rolle im Immunsystem wird Zink als Supplement – oft zusammen mit Vitamin C – zur Vorbeugung von Erkältungskrankheiten empfohlen. Das Ergebnis einer Metaanalyse besagt, dass Zinksupplemente als Hustenbonbon oder Sirup Dauer und Schweregrad von Erkältungen signifikant reduzieren, wenn die Einnahme bis 24 Stunden nach Auftreten der ersten Symptome erfolgt.

Zink zusammen mit Antioxidanzien hat protektive Effekte auf die Progression der altersabhängigen Makuladegeneration (*Biesalski 2016*). Zink wird in hohen Konzentrationen in den Bereichen der Retina gemessen, die von AMD betroffen sind, im Alter geht die Konzentration dort zurück. Auch sinkt die Aktivität zinkabhängiger Enzyme in der Retina. Zwar lässt sich möglicherweise das Voranschreiten der Erkrankung durch hohe Zinkdosen aufhalten, primärpräventiv ist Zink wirkungslos (*Hahn, Schuchardt 2010*).

Diabetiker weisen häufig eine Zinkurie auf. Zink unterstützt die Insulinwirkung, hat einen positiven Einfluss auf die Blutzuckerregulation, ist notwendig für die Insulinspeicherung, wirkt antientzündlich und schützt zusammen mit anderen Antioxidanzien vor oxidativen Schäden (*Maret, Sandstead 2014; www.diabetes-news.de*). Außerdem wirkt eine ausgeglichene Zinkversorgung über Spermatogenese und Spermienqualität positiv auf die männliche Fruchtbarkeit (*Fallah et al. 2018*).

Zink gilt als Therapieoption bei Akne vulgaris, einer weit verbreiteten Hautkrankheit in der Adoleszenz mit je nach Schwere hohem Leidensdruck. Aknepatienten weisen häufig niedrigere Zinkspiegel auf als Gesunde. Offenbar besteht eine inverse Korrelation zwischen Zinkstatus und Ausmaß der Akneläsionen, möglicherweise aufgrund des Einflusses auf Entzündungszellen (z. B. Granulozyten). Dabei ist Zink verträglicher als Antibiotika, Antiandrogene und Retinoide, etwa 30 Milligramm Zink in Form von Zinkgluconat über einen Zeitraum von mindestens drei Monaten (*Nork 2016*).

Fazit

Je nach verfügbarer Eisenmenge schützt oder schädigt das Spurenelement, zu viel Eisen wirkt prooxidativ. In der Praxis sind die negativen Auswirkungen einer Eisenüberladung weniger bekannt. Insbesondere junge Frauen im gebärfähigen Alter sind für einen Eisenmangel prädestiniert. Durch richtige Kombinationen von Lebensmitteln, zum Beispiel eisenreiche Getreideprodukte mit Vitamin-C-reichen Säften, lässt sich die Eisenaufnahme im Körper vervielfachen und einem Mangel vorbeugen. Eisenpräparate, auch in der Schwangerschaft, sollten nur kontrolliert eingenommen werden.

Die Jodversorgung in Deutschland ist noch verbesserungsfähig. Das ist unabdingbar aufgrund der möglichen Auswirkungen auf die mentale Entwicklung von Kindern und aufgrund von Schilddrüsenerkrankungen, die sich aus einem Jodmangel ergeben. Auch bei den meisten Schilddrüsenerkrankungen wird eine ausreichende Jodzufuhr gemäß den Empfehlungen der DGE über jodiertes Speisesalz, Milch, Milchprodukte und Seefische empfohlen. Zu hohe Jodzufuhren von über 500 Mikrogramm, etwa über eine unkontrollierte Supplementeneinnahme oder über Algenprodukte, sind allerdings zu vermeiden, insbesondere bei Erkrankungen der Schilddrüse.

Auch Zink sollte nicht nach dem Gießkannenprinzip aufgenommen werden. Im Wesentlichen sind die Deutschen bei ausgewogener Ernährung gut versorgt, dennoch gibt es Risikogruppen (z. B. Senioren und Vegetarier).

Bei allen Spurenelementen ist eine zu hohe Aufnahme über Supplemente kritisch, zumal die Nährstoffe miteinander in Wechselwirkung treten. Auch lohnt es sich, auf die Wechselwirkungen mit Medikamenten sowie auf mögliche Mangelerscheinungen in Verbindung mit verschiedenen Erkrankungen zu achten, deren Outcome sich durch einen Ausgleich des Mangels verbessern lässt. Den Spurenelementen gemeinsam ist, dass ein Überschuss über den Bedarf hinaus keine bisher wissenschaftlich erwiesenen Vorteile bringt. ■

>> Die Literaturliste finden Sie im Internet unter „Literaturverzeichnisse“ als kostenfreie pdf-Datei. <<



DIE AUTORIN

Dr. Lioba Hofmann absolvierte 1988 das Studium der Ernährungswissenschaft an der Universität Bonn. 1993 promovierte sie an der Medizinischen Universitäts-Poliklinik Bonn. Sie arbeitet als freie Fachjournalistin in Troisdorf.

Dr. Lioba Hofmann
Theodor-Heuss-Ring 15
53840 Troisdorf
LiobaHofmann@hotmail.de