

Fachartikel

Zinkversorgung im Fokus: Ernährungsempfehlungen für pflanzenzentriert lebende Sportler*innen

Janina Dapprich ^{1*}, Anja Markant ¹ und Tobias Fischer ¹

¹FH Muenster - University of Applied Sciences, Department of Food, Nutrition, and Facilities, Center for Nutrition Therapy (NuT), Corrensstraße 25, Muenster 48149, Germany

* Correspondence: janina.dapprich@fh-muenster.de

Das Interesse an einer gesundheitsbewussten Ernährung und einem aktiven Lebensstil nimmt in der deutschsprachigen Bevölkerung laut einer aktuellen Umfrage eines Meinungsforschungsinstitutes kontinuierlich zu. Bereits im Jahr 2024 bekundeten rund 29 % der Befragten ab einem Alter von 14 Jahren ein deutliches Interesse an ernährungsbewusstem und gesundheitsförderlichem Verhalten [1]. Gleichzeitig stieg in Deutschland die Zahl der Menschen, die sich vegetarisch ernähren, auf etwa 8,43 Millionen (ca. 10 %), was einen geschätzten Zuwachs von etwa 310.000 Personen gegenüber dem Vorjahr bedeutet [2]. Auch die Gruppe der Veganer*innen wächst kontinuierlich und umfasste 2024 bereits etwa 1,47 Millionen Personen in Deutschland, rund 2 % der Gesamtbevölkerung [3]. Für das Jahr 2025 prognostizieren Fachleute einen weiteren starken Anstieg insbesondere bei pflanzenzentrierten und flexitarischen Ernährungsformen, die als wesentlicher Ernährungstrend eingestuft werden [4].

Parallel dazu bleibt der organisierte Breitensport ein zentraler Bestandteil gesellschaftlicher Aktivitäten. Im Jahr 2024 waren bundesweit rund 25,2 Millionen Menschen (ca. 30 %) in Sportvereinen der Landessportbünde aktiv [5]. Unter Breitensport werden sportliche Aktivitäten verstanden, die hauptsächlich der Erholung, Gesundheitsförderung und sozialen Interaktion dienen. Im Mittelpunkt stehen Freude an der Bewegung, allgemeine gesellschaftliche Teilhabe und persönliches Wohlbefinden, unabhängig von Alter, Geschlecht oder Leistungsniveau. Der Wettbewerbs- oder Leistungsgedanke spielt hierbei eine untergeordnete Rolle [6,7]. Breitensportler*innen absolvieren in der Regel ein Training von maximal einer Stunde pro Tag, wodurch der zusätzliche tägliche Energieverbrauch infolge sportlicher Aktivität meist 1.000 kcal nicht überschreitet bzw. in den meisten Fällen darunter liegt [8].

Im Gegensatz dazu ist der leistungsorientierte Sport durch deutlich intensivere Trainingsumfänge (1-3 Stunden pro Tag) und einen entsprechend höheren Energieverbrauch von etwa 1.000 bis 3.000 kcal pro Tag gekennzeichnet; im Hochleistungssport kann dieser sogar 5.000 kcal pro Tag und mehr betragen [8]. Dieser Bereich ist typischerweise durch eine professionelle Trainingsbetreuung sowie die regelmäßige Teilnahme an organisierten Wettkämpfen geprägt [6,8,9]. Leistungsorientierter Breitensport unterliegt keiner Definition und lässt sich laut der Autor*innen als Zwischenstufe verstehen. Somit beschreibt leistungsorientierter Breitensport Sportaktivitäten mit erhöhtem Leistungsanspruch, jedoch ohne die extreme Intensität und professionelle Infrastruktur des Spitzensports. Zu diesem Segment zählen regelmäßiges, strukturiertes Training und die Teilnahme an regionalen oder nationalen Wettbewerben, jedoch mit geringerem zeitlichem und infrastrukturellem Aufwand [10].

Vor dem Hintergrund dieser Entwicklungen gewinnt die ausreichende Versorgung mit kritischen Mikronährstoffen, insbesondere Zink, zunehmend an Bedeutung. Aktuelle Forschungsergebnisse zeigen geschlechtsspezifische Unterschiede im Zinkstatus bei Athlet*innen, die möglicherweise durch Variationen in der Muskelmasse und spezifische Anforderungen der jeweiligen Sportarten bedingt sind [11]. Schon geringfügige Zinkdefizite können erhebliche gesundheitliche Konsequenzen haben, wie beispielsweise eine verminderte Immunfunktion, erhöhten oxidativen Stress sowie reduzierte Muskelkraft und Ausdauer [12,13]. Schwerwiegendere Mangelzustände - die allerdings selten sind - äußern sich unter anderem in Wachstumsverzögerungen, Hypogonadismus, Hauterkrankungen, chronischen Diarrhöen, verzögerter Wundheilung und kognitiven Beeinträchtigungen [12,14]. Da ein Zinkmangel die sportliche Leistungs-

fähigkeit maßgeblich beeinträchtigen kann, ist eine adäquate Zinkversorgung entscheidend, um die körperliche Leistungsfähigkeit sowie die allgemeine Gesundheit von sportlich aktiven Personen nachhaltig zu gewährleisten [15–17].

Abgrenzung Breitensport vs. Leistungssport

Merkmale des Breitensports:

- **Inklusivität:** Offen für alle Bevölkerungsgruppen, unabhängig von Fähigkeiten oder Vorerfahrung.
- **Teilnahmeorientierung:** Der Fokus liegt auf Mitmachen statt Gewinnen.
- **Gesundheit & Gemeinschaft:** Förderung von körperlicher Fitness, mentalem Wohlbefinden und sozialem Zusammenhalt.

Merkmale des Leistungssports:

- **Wettkampforientierung:** Ziel ist das Erzielen von Spitzenleistungen und sportlichem Erfolg.
- **Professionalität:** Beteiligung von professionellen Athlet*innen, häufig mit finanzieller Unterstützung.
- **Strukturiertes Training:** Systematische und leistungsoptimierte Trainingsmethoden.

Einfluss einer pflanzlichen Ernährung auf den Zinkstatus

Eine ausgewogene rein oder überwiegend pflanzliche Ernährungsweise zeichnet sich grundsätzlich durch eine hohe Mikronährstoffdichte aus. Allerdings birgt sie im Vergleich zu omnivoren Ernährungsformen auch ein erhöhtes Risiko für eine reduzierte Zinkaufnahme [18–20]. Laut einer Metaanalyse lag die tägliche Zinkaufnahme bei vegetarisch lebenden Personen im Vergleich zu Omnivoren im Durchschnitt um $0,88 \pm 0,15$ mg pro Tag ($p < 0,001$) niedriger. Dementsprechend waren auch die Plasmazinkkonzentrationen um $0,93 \pm 0,27$ $\mu\text{mol/l}$ ($p = 0,001$) reduziert [18] – ein Effekt, der insbesondere bei Frauen deutlich ausgeprägt war [18–20].

Ein entscheidender Einflussfaktor auf die Absorption von Zink ist der Phytatgehalt der Nahrung [21–25]. Pflanzliche Lebensmittel, wie Vollkornprodukte, Hülsenfrüchte und Samen enthalten hohe Mengen an Phytaten, während tierische Produkte phytatfrei sind. Beispielsweise weisen raffiniertes Getreide und Hülsenfrüchte etwa 600 mg Phytate pro 100 g auf [25,26]; Erdnussproteinhaltige Produkte können sogar bis zu 1.713,5 mg

Phytate pro 100 g enthalten [27]. Phytate binden Zink im Verdauungstrakt und verringern dessen Bioverfügbarkeit erheblich [19,21–24,28]. Aufgrund dieser Erkenntnisse passten die Deutsche Gesellschaft für Ernährung (DGE) und die Österreichische Gesellschaft für Ernährung (ÖGE) im Jahr 2019 ihre Empfehlungen zur täglichen Zinkaufnahme an und orientierten diese stärker an der jeweiligen Phytataufnahme. Die empfohlenen Referenzwerte liegen für Frauen im Alter von 19 bis ≥ 65 Jahren zwischen 7 und 10 mg pro Tag, während sie für Männer derselben Altersgruppe zwischen 11 und 16 mg täglich betragen [29].

Trotz umfangreicher Forschung existiert bislang kein zuverlässiger Indikator für einen Zinkmangel, insbesondere für marginale Defizite, die am ehesten durch eine Ernährungsanalyse erkannt werden können [30]. Etwa 60% des Zinks befinden sich in den Muskeln, 30% in den Knochen und die restlichen 10% in Haut, Haaren, Bauchspeicheldrüse, Nieren und Plasma [31]. Die Zinkkonzentration im Blut wird homöostatisch reguliert und bleibt daher bis zu einem schweren Mangel stabil, sodass sie keine verlässliche Aussage über den tatsächlichen Zinkstatus ermöglicht. In Kombination mit einer Ernährungsanalyse kann ein Plasmawert unterhalb von 65 $\mu\text{g/dl}$ jedoch ein Hinweis auf einen Zinkmangel sein, insbesondere bei niedriger Zinkzufuhr oder einer stark phytatreichen Ernährung [30].

Es existieren Hinweise auf Anpassungsmechanismen, durch welche stark pflanzliche Ernährungsformen möglicherweise zu einer erhöhten Zinkabsorption und -speicherung führen. Diese Mechanismen reichen jedoch nicht in allen Fällen aus, um einen potenziellen Zinkmangel vollständig zu kompensieren [19,32].

Die Bedeutung von Zink im sportlichen Kontext

Zink ist ein essenzielles Spurenelement, das eine zentrale Rolle in zahlreichen physiologischen Prozessen spielt, die insbesondere im Kontext sportlicher Aktivität von hoher Relevanz sind (Abb. 1). Eine seiner Hauptfunktionen liegt in der Aktivierung, Proliferation und Differenzierung von Muskelzellen, wodurch es für das Muskelwachstum sowie für Regenerationsprozesse unverzichtbar ist [16]. Darüber hinaus wirkt Zink als Kofaktor antioxidativer Enzyme, insbesondere der Superoxiddismutase, die Zellen während intensiver körperlicher Belastung vor oxidativem



Abbildung 1: Zink im Sport – Funktionen, Einflussfaktoren und Folgen (eigene Darstellung)

Stress schützt [33,34]. Dieser antioxidative Schutz ist entscheidend, um trainingsinduzierte Muskelschäden und Leistungseinbußen zu vermeiden und entzündliche Reaktionen zu reduzieren [15,35]. Zink ist zudem an einer Vielzahl enzymatischer Prozesse beteiligt, die für die Energieproduktion und den Stoffwechsel essenziell sind und trägt somit maßgeblich zur körperlichen Leistungsfähigkeit bei [36,37]. Auch das Immunsystem ist auf eine ausreichende Zinkverfügbarkeit angewiesen – ein Aspekt, der insbesondere bei Sportler*innen von Bedeutung ist, da intensives Training häufig mit einem erhöhten Infektionsrisiko einhergeht [15,38]. Ein Zinkmangel kann daher zu verringerter Muskelkraft, erhöhter Ermüdbarkeit und verzögerter Regeneration führen [15,36].

Darüber hinaus legen aktuelle Studien geschlechtsspezifische Unterschiede im Zinkstatus von Athlet*innen nahe (Abb. 1). Diese könnten durch Unterschiede in Muskelmasse und sportartspezifischer Belastungen erklärt werden. So zeigen männliche Fußballspieler höhere Plasma- und Urinzinkkonzentrationen, während weibliche Spielerinnen erhöhte Werte in Erythrozyten und Thrombozyten aufweisen [11]. Männer verfügen im Allgemeinen über eine größere Muskelmasse, was eine höhere Kapazität für Glykogenolyse und möglicherweise einen gesteigerten Zinkbedarf bedingt [39,40]. Ent-

sprechend weisen sie häufig höhere extrazelluläre Zinkkonzentrationen auf. Auch die Art der Sportart beeinflusst den Zinkstatus: Disziplinen mit hoher mechanischer Belastung, wie Ringen oder moderner Fünfkampf, fördern eine stärkere Skelettmuskulatur und höhere Knochendichte bei männlichen Athleten, während gering belastende Sportarten, wie rhythmische Sportgymnastik, bei weiblichen Athletinnen mit niedrigeren Knochendichtewerten einhergehen [41]. Da Zink eine wichtige Rolle im Knochenstoffwechsel spielt, könnten auch diese Unterschiede zur geschlechtsspezifischen Variation im Zinkstatus beitragen.

Sportliche Aktivität beeinflusst den Zinkstatus sowohl akut als auch langfristig. Intensive körperliche Belastungen führen zu einem erhöhten Zinkbedarf, unter anderem aufgrund gesteigerter Zinkverluste über Schweiß und Urin [15,42,43]. Unmittelbar nach aeroben Belastungen steigt die Plasmazinkkonzentration zunächst an, bevor sie unter das Ausgangsniveau absinkt – ein Hinweis auf eine Umverteilung innerhalb des Körpers [15,42,44]. Langfristig intensiv trainierende Sportler*innen zeigen trotz erhöhter Zufuhr häufig niedrigere Plasmazinkwerte als weniger aktive Personen, was den erhöhten Bedarf unterstreicht [15–17,36,43]. Zusätzliche Belastungsfaktoren wie hohe Trainingsumfänge, Hitze und psychischer Stress – etwa in

Wettkampfphasen – begünstigen eine Zinkverarmung und erhöhen im Leistungssport das Risiko einer negativen Zinkbilanz [45,46]. Je nach Intensität können Sportler*innen pro Liter Schweiß 0,5-1,0 mg Zink verlieren. Ausdauerathlet*innen mit hohem Trainingsvolumen (ca. 18 Stunden/Woche) zeigen innerhalb eines halben Tages renale Zinkverluste von bis zu 2 mg. Der tägliche Gesamtverlust an Zink kann im Sport demnach auf etwa 3,5 mg geschätzt werden – ein Wert, der deutlich über dem Verlustniveau körperlich inaktiver Personen liegt [46]. Insgesamt wird der Zinkbestand im menschlichen Körper auf etwa 2-3 g geschätzt [47-49]. Diese vergleichsweise geringen Speicher in Kombination mit erhöhten Verlusten durch Schweiß und Urin machen deutlich, wie wichtig eine ausreichende Zinkzufuhr für Sportler*innen ist – insbesondere im Hochleistungssport.

Studien belegen zudem, dass eine gezielte Zinksupplementierung leistungsfördernde Effekte haben kann, etwa durch eine Reduktion der Laktatkonzentration oder eine verzögerte Ermüdung [50-52]. Um sowohl die sportliche Leistungsfähigkeit als auch die Gesundheit langfristig aufrechtzuerhalten, ist eine adäquate Zinkversorgung für Athlet*innen daher von zentraler Bedeutung [15,17].

Maßnahmen zur Sicherstellung eines optimalen Zinkstatus bei pflanzlicher Ernährung und sportlicher Aktivität

Die Mehrzahl wissenschaftlicher Studien zum Zinkstatus im Sport bezieht sich auf den Leistungssport, weshalb sich die Erkenntnisse nicht uneingeschränkt auf den Breitensport übertragen lassen. Trainingsintensität, -umfang und individuelle Belastungssituationen sind entscheidende Einflussgrößen für den Zinkbedarf. Da jedoch auch Breitensport phasenweise leistungsorientiert ausgeübt wird, können Ernährungsempfehlungen aus dem Leistungssport in modifizierter Form auch hier Anwendung finden. Ziel ist es, die sportliche Leistungsfähigkeit zu erhalten und potenziellen negativen Auswirkungen wie Übertraining, verzögerter Regeneration, Immunsuppression oder erhöhter Infektanfälligkeit vorzubeugen [53].

Internationale Fachgesellschaften, wie das *American College of Sports Medicine* oder die *Academy of Nutrition and Dietetics* formulieren bislang keine spezifischen Empfehlungen zur Zinkzufuhr im Sport. Dagegen empfiehlt Konopka

(2009) für Ausdauersportler*innen eine tägliche Zinkaufnahme von 15-20 mg, für (Schnell-)Kraftsportler*innen sogar 20-30 mg pro Tag, um potenziellen Verlusten durch Schweiß und Urin entgegenzuwirken [54]. Ähnliche Empfehlungen geben auch Berg und König (2008), weisen jedoch darauf hin, dass es an sportphysiologischen Daten zur praktischen Validierung dieser Zufuhrmengen mangelt [55]. Von hochdosierten Präparaten (>150 mg/Tag) wird ausdrücklich abgeraten [56].

Grundsätzlich kann ein erhöhter Zinkbedarf durch gezielte Lebensmittelauswahl, phytatarne Ernährung und ggf. durch Supplemente gedeckt werden. Voraussetzung dafür ist ein fundiertes Ernährungswissen, insbesondere bei vegetarischer oder veganer Lebensweise. Nur eine ausgewogene, gut geplante Ernährung gewährleistet die bedarfsgerechte Versorgung mit potenziell kritischen Mikronährstoffen wie Zink [57].

Die Zinkdiagnostik im Sport stellt eine Herausforderung dar, da gängige Messgrößen wie Plasmaplasma-zinkspiegel durch zahlreiche Einflussfaktoren (z. B. Infektionen, Stress, zirkadianer Rhythmus, hormonelle Schwankungen) erheblich variieren können. Auch andere Methoden wie Haaranalysen gelten als unzuverlässig [58]. Bei Verdacht auf einen Zinkmangel sollten daher zusätzliche Parameter wie die Aktivität der alkalischen Phosphatase, das Retinol-bindende Protein oder die Zinkkonzentration im Urin oder Speichel, je nach Messmöglichkeit, herangezogen werden. Zudem sollten klinische Symptome wie Appetitmangel, depressive Verstimmungen, eingeschränktes Geschmacks-/Geruchsempfinden oder Infektanfälligkeit in die Beurteilung einbezogen werden [45]. Wie immer gilt, dass ein Gesamtbild im Rahmen der Ernährungsanamnese erzeugt werden muss und ein einzelner Parameter nicht ausreichend ist.

Ob eine Zinksupplementation im sportlichen Kontext tatsächlich leistungssteigernde oder muskelschützende Effekte erzielt, ist derzeit wissenschaftlich nicht abschließend geklärt. Der vom früheren Wissenschaftlichen Lebensmittelausschuss der EU-Kommission (Scientific Committee on Food, SCF) im Jahr 2003 abgeleitete Tolerable Upper Intake Level (UL) liegt für Erwachsene bei 25 mg Zink pro Tag, für Jugendliche im Alter von 15 bis 17 Jahren bei 22 mg pro Tag. Das Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) empfiehlt hingegen, dass Nahrungsergänzungsmittel eine tägliche Höchstmenge von 6,5 mg Zink nicht

überschreiten sollten. Diese Empfehlung basiert auf den Daten der Nationalen Verzehrsstudie II (NVS II), die sich primär an der durchschnittlichen Zinkzufuhr in der Allgemeinbevölkerung orientiert [59]. Dabei bleibt jedoch unberücksichtigt, dass pflanzenbetont lebende sowie sportlich besonders aktive Personen – etwa durch eine geringere Bioverfügbarkeit pflanzlicher Zinkquellen und erhöhte Verlustraten – potenziell einen höheren Zinkbedarf aufweisen könnten.

Fazit

Zink übernimmt im menschlichen Körper vielfältige physiologische Funktionen, insbesondere im Bereich der Muskelfunktion, des Immunsystems sowie des Energiestoffwechsels. Für sportlich aktive Personen ist eine bedarfsgerechte Zinkversorgung essenziell, da sie zur Aufrechterhaltung der Leistungsfähigkeit, zur Unterstützung der Regeneration und zur Prävention trainingsbedingter Funktionsbeeinträchtigungen beiträgt.

Intensive körperliche Belastungen sowie eine rein oder überwiegend pflanzliche Ernährung können den Zinkstatus negativ beeinflussen – insbesondere durch reduzierte Zinkbioverfügbarkeit, erhöhte Verluste über Schweiß und Urin sowie akute Umverteilungen im Rahmen des Zinkmetabolismus. Vegetarisch oder vegan lebende Sportler*innen – vor allem bei leistungsorientierter Ausübung des Breitensports – sind daher doppelt gefährdet: Zum einen aufgrund einer verringerten Zinkabsorption, zum anderen durch ein potenziell unausgeglichenes Zinkgleichgewicht unter Belastung.

Zur Sicherstellung einer adäquaten Zinkversorgung sollte die Aufnahme idealerweise über gezielt ausgewählte, zinkreiche Lebensmittel erfolgen. Eine fundierte Ernährungsplanung sowie gegebenenfalls eine moderate Supplementierung, im Rahmen der empfohlenen Tageszufuhr, sind zentrale Maßnahmen zur Vorbeugung eines Zinkmangels. Obwohl körpereigene Adaptionsmechanismen bei langfristiger vegetarischer Ernährung vermutet werden, bleibt unklar, ob diese auch vor sportbedingten Zinkverlusten schützen. Umso wichtiger ist eine individuelle, bedarfsorientierte Herangehensweise, um sowohl die Gesundheit als auch die sportliche Leistungsfähigkeit langfristig zu fördern [15,18,60].

Finanzierung: Der vorliegende Artikel wurde im Rahmen des Projektes „Nährstoffkompass“ erstellt, welches durch eine Spende der Sanotact GmbH, Münster finanziert wird.

Literatur

1. IfD Allensbach. Interesse der Bevölkerung in Deutschland an gesunder Ernährung und gesunder Lebensweise von 2019 bis 2024 (Personen in Millionen). Available online: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/170913/umfrage/interesse-an-gesunder-ernaehrung-und-lebensweise/> (accessed on 26 March 2025).
2. IfD Allensbach. Anzahl der Personen in Deutschland, die sich selbst als Vegetarier einordnen oder als Leute, die weitgehend auf Fleisch verzichten¹, von 2015 bis 2024 (in Millionen). Available online: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/173636/umfrage/lebenseinstellung-anzahl-vegetarier/> (accessed on 26 March 2025).
3. IfD Allensbach. Personen in Deutschland, die sich selbst als Veganer einordnen oder als Leute, die weitgehend auf tierische Produkte verzichten, in den Jahren 2015 bis 2024. Available online: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/445155/umfrage/umfrage-in-deutschland-zur-anzahl-der-veganer/> (accessed on 26 March 2025).
4. Nutrition Hub. Die 10 wichtigsten Ernährungstrends - TRENDREPORT ERNÄHRUNG 2025: Prognosen von 199 Expertinnen und Experten aus dem Ernährungssektor. Available online: <https://www.nutrition-hub.de/post/trendreport-ernaehrung-trends-2025> (accessed on 26 March 2025).
5. Deutscher Olympischer Sportbund. Gesamtzahl der Mitglieder in Sportvereinen in Deutschland von 1999 bis 2024 (in Millionen). Available online: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/215297/umfrage/bevoelkerungsanteil-mit-einer-mitgliedschaft-im-sportverein-nach-alter/> (accessed on 26 March 2025).
6. Faulkner, P. What Are We Doing When We Are Training? *Sport, Ethics and Philosophy*

- 2019, 13, 348–362, doi:10.1080/17511321.2019.1572215.
7. Sterchele, D. De-sportizing physical activity: From sport-for-development to play-for-development. *European Journal for Sport and Society* **2015**, 12, 97–120, doi:10.1080/16138171.2015.11687958.
 8. Schek, A. Die Ernährung des Sportlers: Empfehlungen für die leistungsorientierte Trainingspraxis. *Ernährungsumschau* **2008**, 55, 362–369.
 9. Borchert, T.; Hummel, A. Entgrenzung von Bildung und Training im Nachwuchssport. *Sportwiss* **2016**, 46, 259–267, doi:10.1007/s12662-016-0420-5.
 10. Wormer, B. Leistungssport und Breitensport –Widerspruch und Abhängigkeit. Available online: <https://dpjugend.de/wp-content/uploads/2016/09/Leistungssport-und-Breitensport.pdf>.
 11. Toro-Román, V.; Siquier-Coll, J.; Grijota Pérez, F.J.; Maynar-Mariño, M.; Bartolomé-Sánchez, I.; Robles-Gil, M.C. Plasma, Urinary, Erythrocyte and Platelet Zinc Concentrations in Soccer Players. *Nutrients* **2024**, 16, doi:10.3390/nu16162789.
 12. Galetti, V. Zinc Deficiency and Stunting. In *Handbook of Famine, Starvation, and Nutrient Deprivation*; Preedy, V.R., Patel, V.B., Eds.; Springer International Publishing: Cham, 2019; pp 1969–1991, ISBN 978-3-319-55386-3.
 13. Bruno, R.S.; Song, Y.; Leonard, S.W.; Mustacich, D.J.; Taylor, A.W.; Traber, M.G.; Ho, E. Dietary zinc restriction in rats alters antioxidant status and increases plasma F2 isoprostanes. *J. Nutr. Biochem.* **2007**, 18, 509–518, doi:10.1016/j.jnutbio.2006.09.001.
 14. Deutsche Gesellschaft für Ernährung. Zink: Ausgewählte Fragen und Antworten zu Zink. Available online: <https://www.dge.de/gesunde-ernaehrung/faq/ausgewaehlte-fragen-und-antworten-zu-zink/#c3476> (accessed on 27 March 2025).
 15. Chu, A.; Samman, S. *ZINC METABOLISM IN EXERCISE: TRANSLATING RESEARCH FINDINGS TO MAXIMISE PHYSICAL PERFORMANCE*, Translational Research: Recent Progress and Future Directions; Nova Science Publishers Incorporated: New York, 2018, ISBN 978-153614599-1.
 16. Hernández-Camacho, J.D.; Vicente-García, C.; Parsons, D.S.; Navas-Enamorado, I. Zinc at the crossroads of exercise and proteostasis. *Redox Biol.* **2020**, 35, 101529, doi:10.1016/j.redox.2020.101529.
 17. Chu, A.; Varma, T.; Petocz, P.; Samman, S. Quantifiable effects of regular exercise on zinc status in a healthy population-A systematic review. *PLoS One* **2017**, 12, e0184827, doi:10.1371/journal.pone.0184827.
 18. Foster, M.; Chu, A.; Petocz, P.; Samman, S. Effect of vegetarian diets on zinc status: a systematic review and meta-analysis of studies in humans. *J. Sci. Food Agric.* **2013**, 93, 2362–2371, doi:10.1002/jsfa.6179.
 19. Foster, M.; Samman, S. Implications of a Plant-Based Diet on Zinc Requirements and Nutritional Status. *Vegetarian and Plant-Based Diets in Health and Disease Prevention*; Elsevier, 2017; pp 683–713, ISBN 9780128039687.
 20. Klein, L.; Dawczynski, C.; Schwarz, M.; Maares, M.; Kipp, K.; Haase, H.; Kipp, A.P. Selenium, Zinc, and Copper Status of Vegetarians and Vegans in Comparison to Omnivores in the Nutritional Evaluation (NuEva) Study. *Nutrients* **2023**, 15, doi:10.3390/nu15163538.
 21. Lacey, J.M. Zinc Nutrition and Plant-Based Diets. *Topics in Clinical Nutrition* **2013**, 28, 163–170, doi:10.1097/TIN.0b013e31828d7a04.
 22. Lazarte, C.E.; Vargas, M.; Granfeldt, Y. Zinc bioavailability in rats fed a plant-based diet: a study of fermentation and zinc supplementation. *Food Nutr. Res.* **2015**, 59, 27796, doi:10.3402/fnr.v59.27796.
 23. Kim, J.; Paik, H.Y.; Joung, H.; Woodhouse, L.R.; Li, S.; King, J.C. Effect of dietary phytate on zinc homeostasis in young and elderly Korean women. *J. Am. Coll. Nutr.* **2007**, 26, 1–9, doi:10.1080/07315724.2007.10719579.
 24. Gibson, R.S.; Raboy, V.; King, J.C. Implications of phytate in plant-based foods for iron and zinc bioavailability, setting dietary requirements, and formulating programs and policies. *Nutr. Rev.* **2018**, 76, 793–804, doi:10.1093/nutrit/nuy028.

25. Gibson, R.S.; Bailey, K.B.; Gibbs, M.; Ferguson, E.L. A review of phytate, iron, zinc, and calcium concentrations in plant-based complementary foods used in low-income countries and implications for bioavailability. *Food Nutr. Bull.* **2010**, *31*, S134-46, doi:10.1177/15648265100312s206.
26. Joshi, S.; Satyanarayana, T. Phytase of the Unconventional Yeast *Pichia anomala*: Production and Applications. In *Yeast Diversity in Human Welfare*; Satyanarayana, T., Kunze, G., Eds.; Springer Singapore: Singapore, 2017; pp 371–383, ISBN 978-981-10-2620-1.
27. Zhu, L.; Wu, Q.; Malakar, P.K.; Zhu, Y.; Zhao, Y.; Tang, X.; Zhang, Z. Distribution of phytic acid in plant-based meat products on the Chinese market and its impact on the bioavailability of mineral elements. *Journal of Food Composition and Analysis* **2025**, *142*, 107507, doi:10.1016/j.jfca.2025.107507.
28. Shaw, K.A.; Zello, G.A.; Rodgers, C.D.; Warrentin, T.D.; Baerwald, A.R.; Chilibeck, P.D. Benefits of a plant-based diet and considerations for the athlete. *Eur. J. Appl. Physiol.* **2022**, *122*, 1163–1178, doi:10.1007/s00421-022-04902-w.
29. Deutsche Gesellschaft für Ernährung. Zink: Referenzwert. Available online: <https://www.dge.de/wissenschaft/referenzwerte/zink/> (accessed on 27 March 2025).
30. Biesalski, H.-K. *Vitamine, Spurenelemente und Minerale: Indikation, Diagnostik, Therapie, 2.*, aktualisierte und erweiterte Auflage; Georg Thieme Verlag: Stuttgart, New York, 2019, ISBN 978-3-13-242735-8.
31. Uwitonze, A.M.; Ojeh, N.; Murererehe, J.; Atfi, A.; Razzaque, M.S. Zinc Adequacy Is Essential for the Maintenance of Optimal Oral Health. *Nutrients* **2020**, *12*, doi:10.3390/nu12040949.
32. Saunders, A.V.; Craig, W.J.; Baines, S.K. Zinc and vegetarian diets. *Med. J. Aust.* **2013**, *199*, S17-21, doi:10.5694/mja11.11493.
33. Sahin, K.; Sahin, N.; Kucuk, O.; Hayirli, A.; Prasad, A.S. Role of dietary zinc in heat-stressed poultry: a review. *Poult. Sci.* **2009**, *88*, 2176–2183, doi:10.3382/ps.2008-00560.
34. Petrov, L.; Alexandrova, A.; Makaveev, R.; Penov, R.; Bonova, I.; Kolimechkov, S. Copper, selenium, zinc, and iron deficiencies in male athletes. *JPEs* **2022**, *22*, 423–429, doi:10.7752/jpes.2022.02053.
35. Ostojic, S.M. *Human Health and Nutrition: New Research*; Nova Biomedical: New York New York, 2015, ISBN 978-163482853-6.
36. Chu, A.; Holdaway, C.; Varma, T.; Petocz, P.; Samman, S. Lower Serum Zinc Concentration Despite Higher Dietary Zinc Intake in Athletes: A Systematic Review and Meta-analysis. *Sports Med.* **2018**, *48*, 327–336, doi:10.1007/s40279-017-0818-8.
37. Beals, K.A. *Nutrition and the Female Athlete*; CRC Press, 2013, ISBN 9781439849392.
38. Gleeson, M. Immunological aspects of sport nutrition. *Immunol. Cell Biol.* **2016**, *94*, 117–123, doi:10.1038/icb.2015.109.
39. Smith, G.I.; Mittendorfer, B. Sexual dimorphism in skeletal muscle protein turnover. *J. Appl. Physiol. (1985)* **2016**, *120*, 674–682, doi:10.1152/jappphysiol.00625.2015.
40. Landen, S.; Hiam, D.; Voisin, S.; Jacques, M.; Lamon, S.; Eynon, N. Physiological and molecular sex differences in human skeletal muscle in response to exercise training. *J. Physiol.* **2023**, *601*, 419–434, doi:10.1113/JP279499.
41. Kalabiska, I.; Zsakai, A.; Annar, D.; Malina, R.M.; Szabo, T. Sport Activity Load and Skeletomuscular Robustness in Elite Youth Athletes. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2022**, *19*, doi:10.3390/ijerph19095083.
42. Chu, A.; Petocz, P.; Samman, S. Immediate Effects of Aerobic Exercise on Plasma/Serum Zinc Levels: A Meta-analysis. *Med. Sci. Sports Exerc.* **2016**, *48*, 726–733, doi:10.1249/MSS.0000000000000805.
43. Chu, A.; Petocz, P.; Samman, S. Zinc status at baseline is not related to acute changes in serum zinc concentration following bouts of running or cycling. *J. Trace Elem. Med. Biol.* **2018**, *50*, 105–110, doi:10.1016/j.jtemb.2018.06.004.
44. Chu, A.; Petocz, P.; Samman, S. Plasma/Serum Zinc Status During Aerobic Exercise Recovery: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med.* **2017**, *47*, 127–134, doi:10.1007/s40279-016-0567-0.

45. Berg, A.; König, D.; Keul, J. Zur Zinkversorgung und Regulation des Zinkhaushalts beim Sportler - eine Übersicht. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* **1997**, *48*, 3–13.
46. Raschka, C.; Ruf, S. *Sport und Ernährung: Wissenschaftlich basierte Empfehlungen, Tipps und Ernährungspläne für die Praxis*, 5., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage; Georg Thieme Verlag: Stuttgart, New York, 2022, ISBN 9783132429178.
47. Maret, W.; Sandstead, H.H. Zinc requirements and the risks and benefits of zinc supplementation. *J. Trace Elem. Med. Biol.* **2006**, *20*, 3–18, doi:10.1016/j.jtemb.2006.01.006.
48. Kaur, K.; Gupta, R.; Saraf, S.A.; Saraf, S.K. Zinc: The Metal of Life. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* **2014**, *13*, 358–376, doi:10.1111/1541-4337.12067.
49. Haase, H.; Rink, L. Das essenzielle Spurenelement Zink. Ein Metall in Biologie und Medizin. *Biologie in unserer Zeit* **2010**, *40*, 314–321, doi:10.1002/biuz.201010430.
50. Eskici, G.; Gunay, M.; Baltaci, A.K.; Moggulok, R. The effect of different doses of zinc supplementation on serum element and lactate levels in elite volleyball athletes. *J Appl Biomed* **2017**, *15*, 133–138, doi:10.1016/j.jab.2016.11.001.
51. Kaya, O.; Gokdemir, K.; Kilic, M.; Baltaci, A.K. Zinc supplementation in rats subjected to acute swimming exercise: Its effect on testosterone levels and relation with lactate. *Neuro Endocrinol. Lett.* **2006**, *27*, 267–270.
52. Kilic, M.; Baltaci, A.K.; Gunay, M. Effect of zinc supplementation on hematological parameters in athletes. *Biol. Trace Elem. Res.* **2004**, *100*, 31–38, doi:10.1385/BTER:100:1:031.
53. Hamm, M.; König D. Ernährungsempfehlungen im Leistungssport. *Ernährungsumschau* **2012**, 22–29.
54. Konopka, P. *Sporternährung: Leistungsförderung durch bedarfsangepasste und vollwertige Ernährung*, 12. Aufl.; BLV Buchverl.: München, 2009, ISBN 9783835406360.
55. Berg, A.; König, D.; Baron, D.K. *Optimale Ernährung des Sportlers*, 4. überarbeitete und erweiterte Auflage; S. Hirzel Verlag: Stuttgart, 2008, ISBN 978-3-7776-1698-8.
56. Gleeson, M.; Bishop, N.C. Elite athlete immunology: importance of nutrition. *Int. J. Sports Med.* **2000**, *21 Suppl 1*, S44-50, doi:10.1055/s-2000-1451.
57. Leitzmann, C.; Keller, M. *Vegetarische Ernährung: 74 Tabellen*, 3., aktualisierte Aufl.; Ulmer: Stuttgart, 2013, ISBN 978-3-8252-3873-5.
58. Rimbach, G.; Markant, A.; Pallauf, J.; Krämer, K. Zink-Update eines essentiellen Spurenelements. *Z. Ernährungswiss.* **1996**, *35*, 123–142, doi:10.1007/bf01622861.
59. Bundesinstitut für Risikobewertung. Höchstmengenvorschläge für Zink in Lebensmitteln inklusive Nahrungsergänzungsmitteln. Available online: https://www.bfr.bund.de/cm/343/hoechst_mengenvorschlaege-fuer-zink-in-lebensmitteln-inklusive-nahrungsergaenzungsmitteln.pdf (accessed on 30 April 2025).
60. *Nutrition and the female athlete: From research to practice*; CRC Press: Boca Raton, Fla., 2013, ISBN 978-143984938-5.