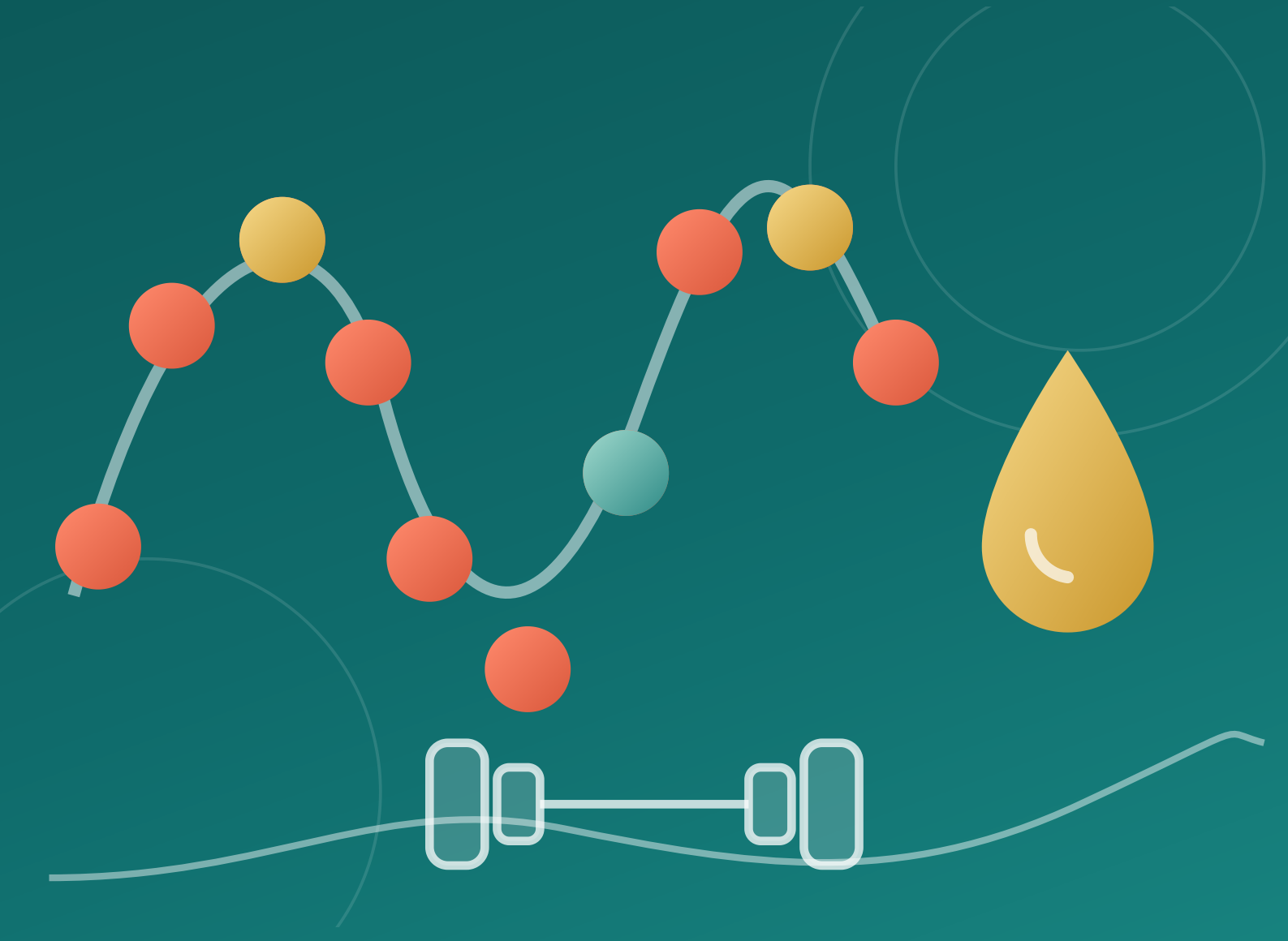
AUFBAUKURS ERNÄHRUNG FÜR LEISTUNGSSPORTLER · MODUL 2
MAKRONÄHRSTOFFE

Lektion 3
Protein und Fett im Leistungssport

Bedarf, Verteilung über den Tag, Proteinquellen, besondere Situationen, Fettstoffwechsel und die Rolle der Fette in der Ernährung.



NutriCampus
Lektionsmaterial für Ernährungsberaterinnen und Ernährungsberater

Fassung 1.0 · Oktober 2026
Quellenstand: PubMed / Consensus

Worum es in dieser Lektion geht

Nach den Kohlenhydraten folgen die beiden anderen Energielieferanten. Protein baut Gewebe um und hält es instand, Fett liefert Energie und Bausteine. Beide Themen sind voll von Faustregeln, die sich in der Literatur nur teilweise bestätigen.

Du lernst, den Proteinbedarf einzuordnen, die Aufteilung über den Tag zu planen, Proteinquellen zu vergleichen und in besonderen Situationen (Energiedefizit, Frauen, ältere Athleten) zu beraten. Beim Fett geht es um Fettverbrennung, Hormone, Omega-3 und die Frage, was vor und während der Belastung zu beachten ist.

Lernziele

- Du erklärst, wofür Sportler Protein brauchen, und ordnest Bedarfszahlen für Kraft, Ausdauer und Spiel ein.
- Du verteilst die Tagesmenge sinnvoll und beurteilst Zeitpunkt und Abendprotein nach der Studienlage.
- Du vergleichst tierische und pflanzliche Proteinquellen und weißt, wann Leucin und Menge zählen.
- Du berätst bei Energiedefizit, bei Athletinnen, bei Masters und bei Fragen zur Nierengesundheit.
- Du erklärst Fettverbrennung und ihre Grenzen und beurteilst, wie viel Fett und welche Fette ein Sportler braucht.
- Du bewertest Omega-3-Supplemente realistisch und bringst Fett in Mahlzeiten vor der Belastung unter.
- Du erstellst einen Protein- und Fettplan für einen Trainingstag.

Aufbau der Lektion

Kap.	Inhalt	Seite
1	Protein: Aufgaben und Bedarf	3
2	Verteilung und Zeitpunkt	6
3	Proteinquellen und Proteinqualität	8
4	Protein in besonderen Situationen	11
5	Fett: Fettverbrennung, Hormone, Omega-3	13
6	Fett vor und während der Belastung	17
7	Praxis: Tagesplan, Lebensmittel, Formular	19
8	Übungsfälle, Zusammenfassung, Quellen	22

SO LIEST DU DIE EVIDENZ-MARKEN

Leitlinie Positionspapier einer Fachgesellschaft Review zusammenfassende Arbeit Studie kontrollierte Studie oder Kohorte Klein kleine Stichprobe, vorsichtig lesen

EINORDNUNG

Die Mengen sind Richtwerte aus Positionspapieren und Studien. Bei Nierenerkrankungen, Stoffwechselstörungen und Diabetes stimmst du dich ärztlich ab, bevor du den Proteinanteil änderst.

1 Protein: Aufgaben und Bedarf

Protein dient dem Umbau und der Instandhaltung von Muskelgewebe. Training und Proteinzufuhr regen beide die Muskelproteinsynthese an, und sie verstärken sich gegenseitig, besonders bei Krafttraining.[1] Bei Ausdauerbelastung kommt dazu, dass während der Belastung Aminosäuren oxidiert werden, was den Bedarf erhöht.[5]

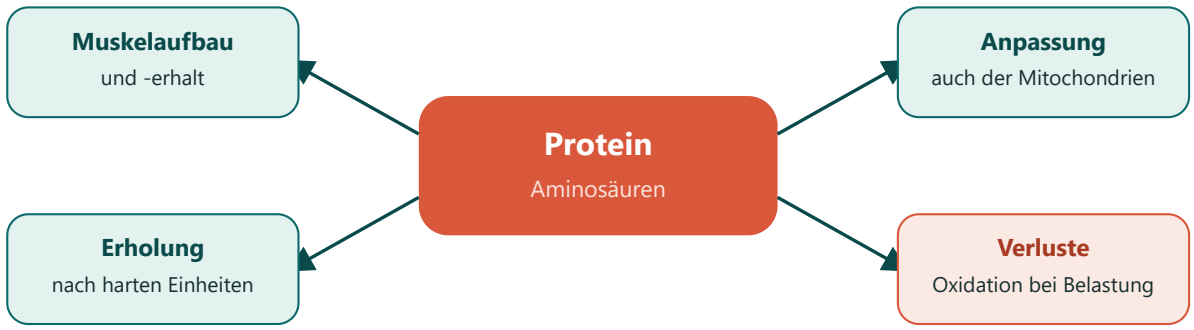


Abb. 1: Aufgaben von Protein im Sport. Der Anteil für Mitochondrien zeigt sich in Studien zur Proteinsynthese nach Ausdauerbelastung.[19]

Wie viel Protein ist genug?

Leitlinie Die ISSN hält für Aufbau und Erhalt von Muskelmasse 1,4 bis 2,0 g pro kg Körpergewicht und Tag für ausreichend. Bei Kalorienmangel können 2,3 bis 3,1 g/kg sinnvoll sein, um die fettfreie Masse zu erhalten.[1] Für den Elitesport nennt ein Beitrag mindestens 1,6 bis 2,1 g/kg.[5]

Review Eine Metaanalyse über 49 Studien mit 1.863 Teilnehmenden fand, dass Proteinsupplemente Kraft (+2,49 kg im 1RM), fettfreie Masse (+0,30 kg) und Muskelquerschnitt beim Krafttraining steigern. Der Effekt war bei Älteren kleiner und bei Krafttraining-Erfahrenen größer (+0,75 kg). Über eine Gesamtzufuhr von etwa 1,62 g/kg und Tag hinaus gab es keinen weiteren Zugewinn an fettfreier Masse.[2] Eine zweite Metaanalyse mit 74 Studien bestätigt kleine, aber klare Effekte auf die Magermasse bei Jüngeren ab 1,6 g/kg und bei Älteren ab 1,2 bis 1,59 g/kg.[3]

Bedarfswerte im Vergleich

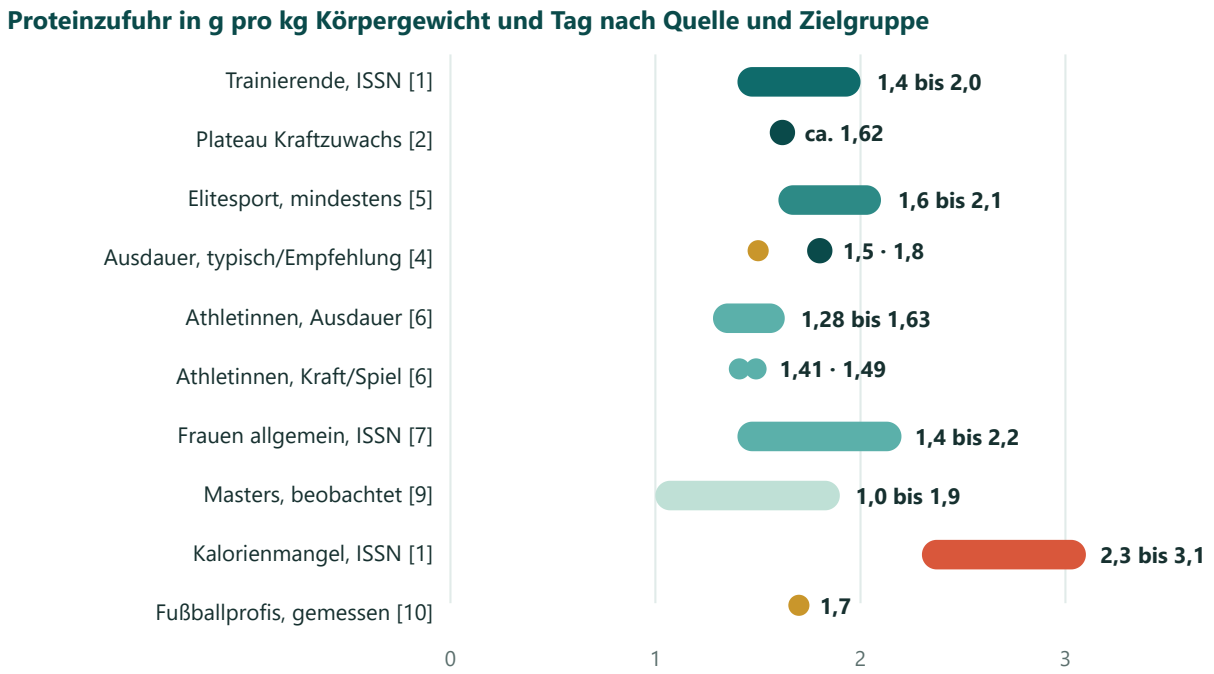


Abb. 2: Balken zeigen Zielspannen, Punkte gemessene oder berechnete Werte. Die Werte für Athletinnen sind geschätzte durchschnittliche Bedarfe (EAR) und gelten für Einheiten von 60 bis 90 Minuten.[6]

- Die Bandbreiten überlappen stark. Für die meisten Sportler liegt eine sinnvolle Zufuhr zwischen etwa 1,4 und 2,0 g/kg, und die Spanne darüber ist Spezialfällen vorbehalten.
- Ausdauersportler nehmen typischerweise etwa 1,5 g/kg zu sich. Für sie spricht die Datenlage für rund 1,8 g/kg, mit einem möglicherweise höheren Bedarf bei kohlenhydratarmem Training und an Ruhetagen.[4]
- Masters (ältere Athleten) erreichen in Studien sehr unterschiedliche Mengen, die Datenlage ist dünn.[9]

Was Sportler tatsächlich essen

Studie Bei 41 Profifußballern lag die Zufuhr bei 1,7 g/kg und damit über dem Bedarf, aber die Verteilung war schief: wenig am Frühstück, viel am Abend.[10] In einer Untersuchung an 95 Ausdauersportlern erreichten die Bedarfswerte beim Protein deutlich mehr Männer als Frauen: Die Referenz wurde bei 70,2 % der Frauen, aber nur bei 25 % der Männer nicht erreicht.[11] Bei 44 nicht-elitären Ausdauersportlern mittleren Alters erfüllten dagegen alle die Protein-Empfehlung.[12] Die Befunde zeigen: Nicht jeder Sportler isst zu viel Protein. Frauen und Ausdauersportler liegen häufiger darunter.

Wie du den Bedarf in der Praxis festlegst

1. **Sportart und Ziel bestimmen.** Muskelaufbau, Erhalt, Gewichtsabnahme oder reine Erholung ergeben verschiedene Ausgangspunkte.
2. **Mit der Spanne 1,4 bis 2,0 g/kg beginnen** und Trainingsumfang, Energiebilanz, Alter und Geschlecht berücksichtigen.[1][7]
3. **Ist die Energiezufuhr knapp,** den Wert in den oberen Bereich verschieben (siehe Kapitel 4).
4. **Aus dem Gesamtwert die Mahlzeitenmenge ableiten** (siehe Kapitel 2) und dabei Lebensmittel nutzen, die der Sportler tatsächlich isst.

Rechenbeispiel: Handballer, 85 kg, Aufbauphase

Zielwert 1,8 g/kg	× 85 kg = 153 g Protein pro Tag
Pro Mahlzeit 0,4 g/kg	= 34 g bei vier Mahlzeiten (136 g) plus ein kleiner Snack (17 g)
Obergrenze pro Mahlzeit 0,55 g/kg	= 47 g bei hohem Gesamtbedarf von 2,2 g/kg

Abb. 3: Der Pro-Mahlzeit-Wert folgt aus Kapitel 2 (0,4 g/kg pro Mahlzeit bei mindestens vier Mahlzeiten, bis 0,55 g/kg bei 2,2 g/kg Tagesziel).[13]

MERKE

Protein ist eine Menge mit einem Plateau. Wer 1,6 g/kg erreicht, gewinnt durch mehr kaum noch Muskelmasse.[2] Der größere Hebel ist oft nicht die Zahl, sondern ob die Menge tatsächlich auf dem Teller landet und gut verteilt ist.

2 Verteilung und Zeitpunkt

Die Muskelproteinsynthese lässt sich pro Mahlzeit nur bis zu einer Grenze steigern. Was darüber hinausgeht, wird zum größeren Teil oxidiert. Deshalb gilt die Verteilung der Tagesmenge als zweite Stellschraube neben der Gesamtmenge.[13][15]

Wie viel pro Mahlzeit?

Leitlinie Die ISSN nennt 0,25 g hochwertiges Protein pro kg oder 20 bis 40 g pro Mahlzeit, verteilt etwa alle drei bis vier Stunden, mit 700 bis 3.000 mg Leucin pro Gabe.[1] Ein Review kommt zu 0,4 g/kg pro Mahlzeit bei mindestens vier Mahlzeiten, damit 1,6 g/kg erreicht werden. Bei 2,2 g/kg liegt die Obergrenze bei 0,55 g/kg pro Mahlzeit.[13] Höhere Dosen (über 20 g) führen zu mehr Aminosäureoxidation, aber nicht alles zusätzliche Protein geht verloren.[13]

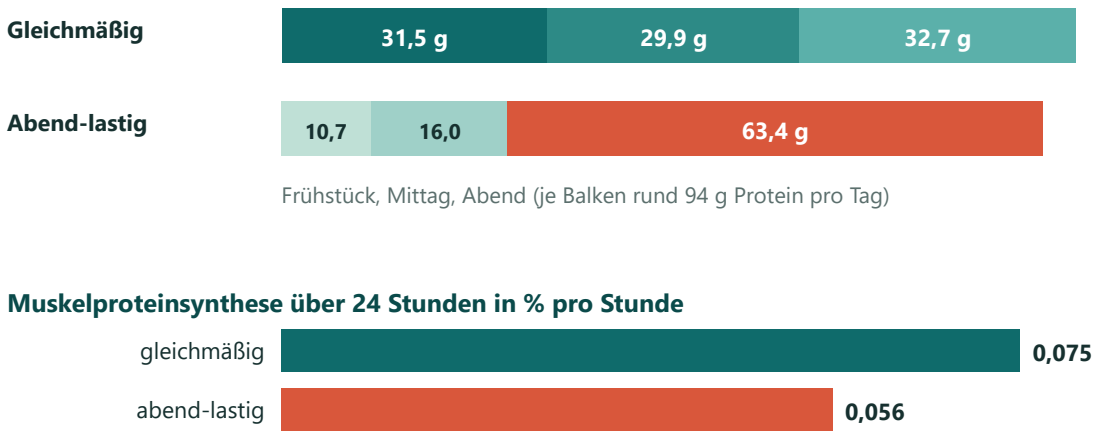


Abb. 4: Verteilung und 24-h-Syntheserate. Die gleichmäßige Aufteilung (31,5 / 29,9 / 32,7 g) lag 25 % über der schiefen (10,7 / 16,0 / 63,4 g). Studie mit nur acht Personen.[14]

Der Befund wirkt eindeutig, die Gesamtlage ist es nicht. Ein Review zur Protein-Verteilung hält die Evidenz für „begrenzt und uneinheitlich". Die Wirkung der Verteilung lässt sich von der Wirkung der Gesamtmenge nicht sauber trennen. Für Menschen, die 0,8 bis 1,3 g/kg essen, spricht mehr dafür, mindestens eine Mahlzeit mit ausreichend Protein zu haben, unabhängig vom Rest des Tages.[15]

Wann Protein essen? Das „anabole Fenster“

Review Eine Metaanalyse mit 20 Studien zur Kraft und 23 Studien zum Muskelaufbau fand nach Kontrolle der Begleitfaktoren keinen Unterschied durch die Zeit der Proteinzufuhr rund um das Training. Die Gesamtmenge an Protein war der stärkste Prädiktor für den Zuwachs.[16] Eine Netzwerkanalyse aus 116 Studien sah dagegen Vorteile für Zufuhr nach dem Training (fettfreie Masse +0,54 kg) und am Abend (Kraft), mit moderater Sicherheit.[17]

- Die Gesamtmenge hat Vorrang. Der Zeitpunkt feilt am Ergebnis, ersetzt aber kein ausreichendes Tagesprotein.[16]
- Nach dem Training ist Protein praktisch sinnvoll, aber ein enges 30-Minuten-Fenster ist nicht nötig. Die anabole Wirkung hält mindestens 24 Stunden an, wird aber mit der Zeit schwächer.[1]

Protein vor dem Schlafen

Studie 16 Männer erhielten nach abendlichem Krafttraining 40 g Casein 30 Minuten vor dem Schlafen. Die Muskelproteinsynthese in der Nacht lag um etwa 22 % höher (0,059 gegenüber 0,048 %/h), mit grenzwertiger Signifikanz (p = 0,05). Die Eiweißbilanz verbesserte sich deutlich.[18]

Studie Nach einer abendlichen Ausdauereinheit erhielten 36 junge Männer 45 g Casein, 45 g Molkenprotein oder Placebo. Die mitochondriale Proteinsynthese lag mit Protein höher (0,087 gegenüber 0,067 %/h), ebenso die myofibrilläre (0,060 gegenüber 0,047 %/h). Casein und Molkenprotein unterschieden sich nicht.[19]

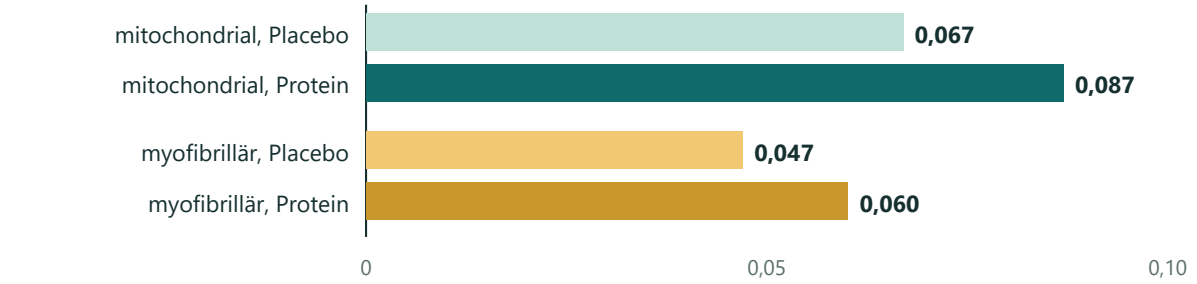


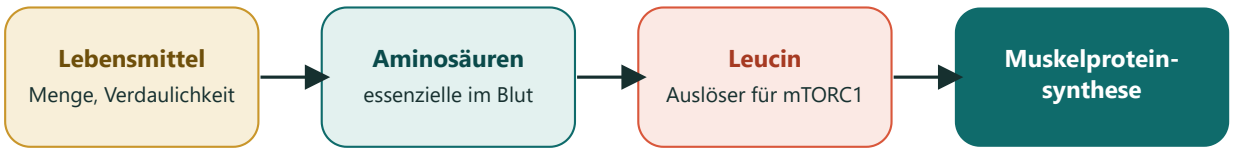
Abb. 5: Protein vor dem Schlafen erhöhte beide Syntheseraten. Die Ergebnisse stammen aus akuten Messungen, nicht aus Leistungsdaten.[19]

PRAXISREGEL

Die ISSN nennt für Protein vor dem Schlafen 30 bis 40 g Casein.[1][20] Das ist sinnvoll, wenn abends trainiert wurde oder der Tagesbedarf sonst knapp erreicht wird. Es ist keine Pflicht für jeden Sportler.

3 Proteinquellen und Proteinqualität

Nicht jedes Protein wirkt gleich. Entscheidend sind die essenziellen Aminosäuren, die ein Lebensmittel liefert, und vor allem das Leucin. Leucin aktiviert den Signalweg mTORC1, der die Muskelproteinsynthese anstößt.[21] Proteine mit hohem Leucingehalt und guter Verdaulichkeit sind deshalb im Vorteil.



nach [21]; Qualität bemisst sich am DIAAS, der die Verdaulichkeit im Dünndarm einrechnet [21][22]

Abb. 6: Warum Proteinqualität zählt: Leucin und essenzielle Aminosäuren steuern die Muskelproteinsynthese.[21]

Qualitätsmaß DIAAS

Früher bewertete man Proteine mit dem PDCAAS. Als genauer gilt der DIAAS, weil er die tatsächliche Verdaulichkeit der essenziellen Aminosäuren im Dünndarm einrechnet.[21][22] Proteine von sehr hoher Qualität verbessern gegenüber schwächeren die Verdaulichkeit und die Verfügbarkeit der Aminosäuren und sind für Erhalt und Aufbau von Muskulatur besonders bei Älteren von Vorteil.[22]

GRENZE DER AUSSAGE

Qualität zählt vor allem, wenn die Gesamtmenge knapp ist. Bei ausreichender Zufuhr und gleicher Leucinmenge gleichen sich die Unterschiede in der langfristigen Anpassung weitgehend aus.[27]

Tierisch oder pflanzlich?

Review Eine Metaanalyse mit 16 Studien fand keinen Unterschied der Proteinquelle für absolute Magermasse oder Muskelkraft. Tierisches Protein zeigte einen kleinen Vorteil beim prozentualen Magermassenanteil, vor allem bei unter 50-Jährigen (+0,41 kg).[23]

Studie 19 Veganer und 19 Mischköstler absolvierten zwölf Wochen Krafttraining bei jeweils 1,6 g/kg Protein, ergänzt mit Soja (Veganer) oder Molke (Mischköstler). Beide Gruppen gewannen vergleichbar Magermasse und Muskelquerschnitt, ohne Unterschiede zwischen den Gruppen.[24]

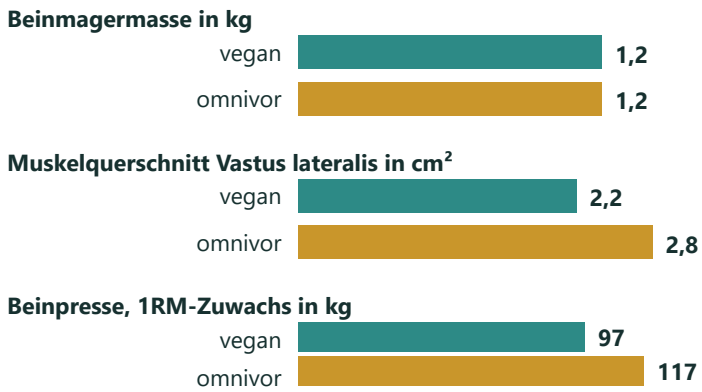


Abb. 7: Zuwächse gegenüber dem Ausgangswert. Unterschiede zwischen den Gruppen waren statistisch nicht signifikant (alle p > 0,05). Jede Zeile hat eine eigene Skala.[24]

- Einzelne pflanzliche Proteine liefern in akuten Erholungsstudien weniger als Molke. Gut zusammengesetzte pflanzliche Mischungen (etwa Erbse, Reis, Canola) stimulierten die Proteinsynthese ähnlich wie Molke, wenn sie ausreichend dosiert waren: mindestens 30 g mit etwa 2,5 g Leucin.[25]
- Bei gleicher Gesamtzufuhr und gleichem Leucinanteil können Pflanzenproteine und Mischungen langfristig ähnliche Anpassungen bewirken.[27]
- Die Datenlage zu veganen Sportlern ist klein, vor allem aus kurzen Studien mit jungen Männern.[24][25]

Welche Proteinpräparate wirken?

Review Eine Netzwerk-Metaanalyse aus 78 Studien mit 4.755 Teilnehmenden verglich 13 Proteinpräparate in Kombination mit Krafttraining. Nur Kollagen und Molkenprotein verbesserten Kraft und fettfreie Masse gegenüber Placebo. Kollagen schnitt in der Rangfolge am besten ab, die Effektstärken waren unterschiedlich groß.[26]

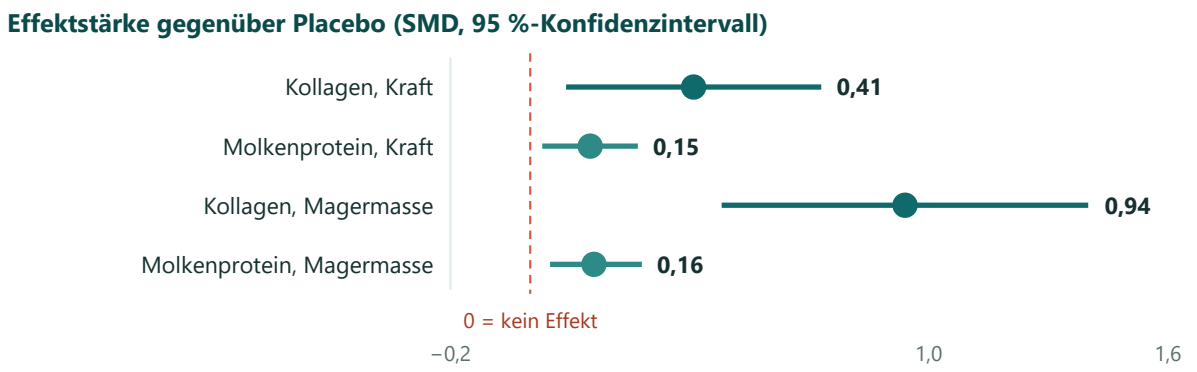


Abb. 8: Netzwerk-Metaanalyse: Der Kollagenbefund ist auffällig groß und beruht auf einer kleinen Zahl von Studien. Behandle ihn als Hinweis, nicht als Empfehlung.[26]

- Molkenprotein ist die Standardwahl, wenn ein Präparat nötig ist: schnell verdaulich und reich an Leucin.[1][27]
- Casein liefert langanhaltend Aminosäuren und passt zum Abend.[27]
- Wer vegan isst, wählt Mischungen und prüft die Dosis (siehe oben).[25]
- Supplemente braucht, wer die Zielmenge mit Lebensmitteln nicht erreicht. Sie ersetzen kein ausgewogenes Essen. Für das Dopingrisiko bei Präparaten gilt Lektion 8.

MERKE

Bei ausreichender Menge und Leucinzufuhr ist die Quelle eher eine Frage der Vorliebe, Verträglichkeit und Praktikabilität als der Wirksamkeit.[23][24][27]

4 Protein in besonderen Situationen

Energiedefizit und Gewichtsabnahme

Wenn Energie fehlt, erhöht sich die Gefahr, Magermasse zu verlieren. Mehr Protein soll das abfedern. Die Studien zeigen unterschiedliche Ergebnisse.

- Studie Bei 40 jungen Männern mit 4 Wochen hartem Training und einem Energiedefizit von rund 40 % lag die Magermasse in der Gruppe mit 2,4 g/kg Protein um 1,2 kg höher, in der Gruppe mit 1,2 g/kg nur um 0,1 kg. Der Fettverlust war mit mehr Protein größer (−4,8 gegenüber −3,5 kg).[28]
- Studie Bei 20 Kraftsportlern verloren zwei Wochen lang mit 60 % der gewohnten Energie die Teilnehmer bei 1,0 g/kg Protein 1,6 kg Magermasse, bei 2,3 g/kg nur 0,3 kg.[29]
- Klein Bei 21 Athleten mit 6 Wochen Energiedefizit von 25 % und je ~1,2, ~1,6 oder ~2,2 g/kg Protein verbesserten sich alle Gruppen ähnlich, ohne Unterschied nach Protein. Die Autoren halten 1,2 bis 1,7 g/kg für ausreichend.[30]

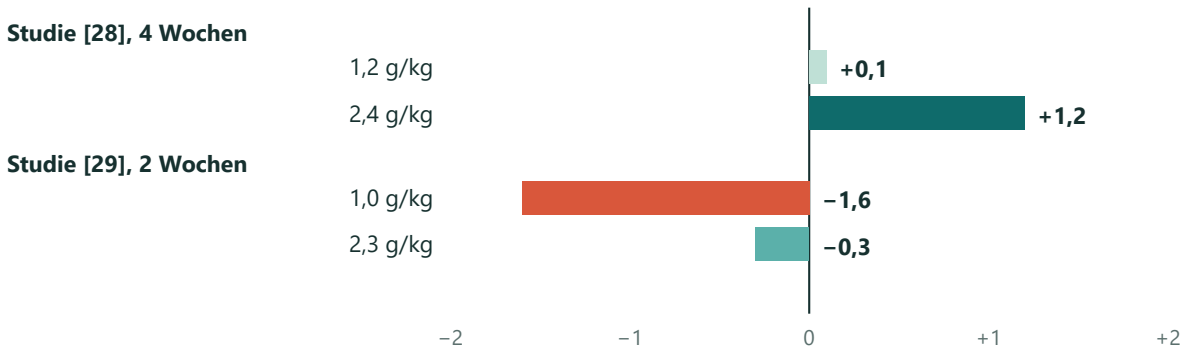


Abb. 9: Zwei Studien mit kurzem, deutlichem Energiedefizit. Bei [30] gab es keinen Unterschied zwischen den Proteingruppen und ist deshalb nicht dargestellt.

Das Gesamtbild: Bei hartem Training, kurzem und deutlichem Defizit kann mehr Protein Magermasse retten. Bei moderatem Defizit und ausreichender Basis reichen 1,2 bis 1,7 g/kg.[1][28][29][30] Ein Defizit ist außerdem kein Dauerzustand: Lektion 1 (Energieverfügbarkeit) und Lektion 10 (Gewichtsmanagement) setzen die Grenzen.

Athletinnen

Leitlinie Die ISSN empfiehlt Athletinnen vor der Menopause, ein hochwertiges Protein möglichst nahe am Trainingsbeginn oder nach dem Training zu essen, in einer Dosis von 0,32 bis 0,38 g/kg. In der Lutealphase soll die Dosis am oberen Ende liegen. Die Tagesmenge liegt im mittleren bis oberen Bereich der Sportnährung (1,4 bis 2,2 g/kg), gleichmäßig verteilt alle drei bis vier Stunden. Peri- und postmenopausale Athletinnen sollten einen Bolus mit etwa 10 g essenziellen Aminosäuren aus ganzem Protein einplanen, um die anabole Resistenz zu überwinden.[7]

Review Ein weiteres Review hält es für verfrüht, getrennte Leitlinien für Frauen zu fordern, solange der Energiebedarf gedeckt ist. Es empfiehlt, die gängigen Werte als Basis zu nehmen und individuell an Training und Zyklusbeschwerden anzupassen.[8] Eine systematische Auswertung bestätigt die ähnlichen durchschnittlichen Bedarfe wie in Abb. 2.[6]

Ältere Athleten (Masters)

Mit dem Alter sinkt die Reaktion der Muskulatur auf Protein („anabole Resistenz"). Das spricht für höhere Einzeldosen und eine gute Verteilung, auch mit Gabe nach dem Training und vor dem Schlafen.[27] Die Datenlage zu Masters ist jedoch dünn: In einem Scoping Review von zwölf Studien reichte die Zufuhr von 1,0 bis 1,9 g/kg, und Empfehlungen sind teils spekulativ.[9] Der Zuwachs an fettfreier Masse durch Proteinsupplemente sinkt mit dem Alter.[2]

Ausdauersportler

Für Ausdauersportler gelten rund 1,8 g/kg, bei kohlenhydratreduziertem Training und an Ruhetagen eher mehr. Protein zusammen mit Kohlenhydraten vor oder während der Belastung brachte keinen belegten Leistungsvorteil. Bei Kohlenhydrat- oder Energiemangel hat Protein eine Rolle für die Anpassung.[4]

Ist viel Protein sicher?

Review Eine hohe Proteinzufuhr (über 1,5 g/kg) führt zu einer Hyperfiltration der Niere. Bei gesunden Erwachsenen ist diese Anpassung reversibel und ohne bekannte Langzeitschäden, bei Athleten gilt kurzfristig dasselbe. Es gibt aber Hinweise, dass eine langanhaltende hohe Zufuhr, vor allem aus tierischen Quellen, den Rückgang der Nierenfunktion beschleunigen könnte.[32] Die Studien zu Sportlern waren meist nicht auf Nierenendpunkte angelegt.[31]

KONSEQUENZ FÜR DIE BERATUNG

Bei gesunden Sportlern im üblichen Bereich bis etwa 2,0 g/kg gibt es keinen Grund zur Warnung. Bei Vorerkrankungen der Niere, Diabetes oder auffälligen Laborwerten stimmst du Mengen mit der Ärztin oder dem Arzt ab. Höhere Mengen über viele Jahre sind nicht abschließend untersucht.[31][32]

5 Fett: Fettverbrennung, Hormone, Omega-3

Fett liefert Energie, essenzielle Fettsäuren und die Voraussetzung für die Aufnahme fettlöslicher Vitamine. Die ACSM-Position nennt dafür als Maßstab, dass die Fettzufuhr ausreichen muss, um essenzielle Fettsäuren und fettlösliche Vitamine zu liefern und zur Energie für das Körpergewicht beizutragen.[33] Die Fettbedarfe von Athleten liegen ähnlich oder etwas höher als in der Bevölkerung.[34]

Wie viel Fett verbrennt der Körper?

Studie Die Fettverbrennung steigt von niedriger zu mittlerer Intensität und fällt dann wieder ab. Die Intensität mit der höchsten Fettverbrennung („Fat max") lag bei 55 bis 72 % der VO2max, im Mittel bei etwa 64 %. Oberhalb von etwa 89 % der VO2max ist der Anteil der Fettverbrennung an der Energie verschwindend gering.[35] In einer größeren Gruppe von 55 ausdauertrainierten Männern lag die maximale Fettoxidation bei 0,52 g pro Minute bei 62,5 % der VO2max.[36]

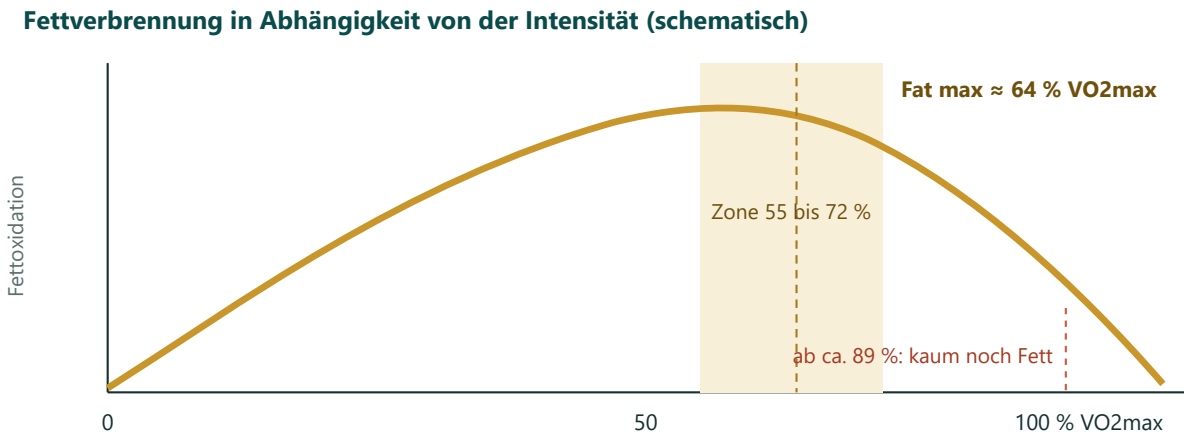
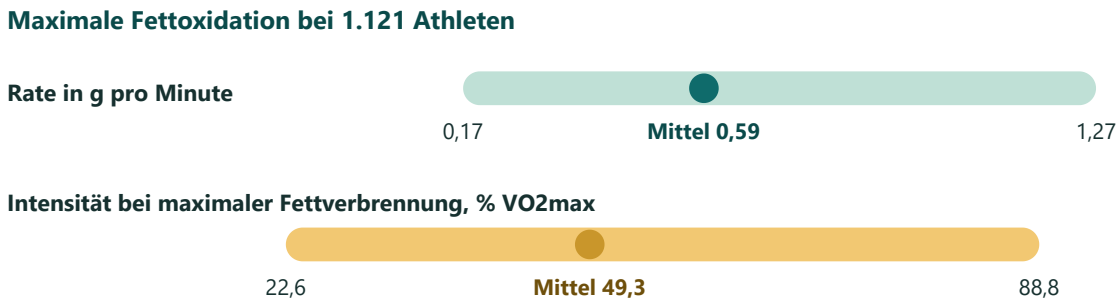


Abb. 10: Der Verlauf stammt aus Messungen an Radfahrern, die Kurvenform ist schematisch. Die Zone um 55 bis 72 % der VO2max hat die höchsten Raten.[35]

Hinweis: Die Fettverbrennung hängt von der Ernährung ab. Wie stark die ketogene Ernährung sie steigert und welche Folgen das für die Leistung hat, steht in Lektion 2, Kapitel 6.[46]

Die Streuung ist groß

Studie Bei 1.121 Athleten (933 Männer, 188 Frauen) aus verschiedenen Sportarten lag die maximale Fettverbrennung nüchtern im Mittel bei 0,59 g pro Minute, mit einer Spanne von 0,17 bis 1,27 g. Sie trat bei durchschnittlich 49,3 % der VO2max auf (22,6 bis 88,8 %). Männer lagen absolut höher (0,61 gegenüber 0,50 g/min), bezogen auf die fettfreie Masse aber die Frauen (11,0 gegenüber 10,0 mg/kg FFM/min). Körperzusammensetzung und Fitness erklärten nur 47 % der Unterschiede.[37]



Männer absolut 0,61 g/min, Frauen 0,50 g/min. Pro kg fettfreier Masse: Frauen 11,0, Männer 10,0 mg/min. Fußball am höchsten (10,8 mg/kg FFM/min), American Football am niedrigsten (9,2). [37]

Abb. 11: Spannen und Mittelwerte. Skala für beide Zeilen: eigene Skalen, nicht vergleichbar.[37]

MERKE

Es gibt keinen „richtigen" Pulsbereich für Fettverbrennung. Zwei Sportler mit demselben Alter und derselben Fitness können sehr unterschiedlich Fett verbrennen. Aussagen wie „Trainiere im Fettverbrennungsbereich" sind für Leistungssport nicht tragfähig.[37]

Was Fett für den Hormonhaushalt bedeutet

Fett ist Ausgangsstoff für Steroidhormone. Ob eine fettarme Ernährung den Testosteronspiegel senkt, ist umstritten.

- Review Eine Metaanalyse von sechs Interventionsstudien (206 Männer) fand unter fettarmer gegenüber fettreicher Ernährung niedrigere Werte für Gesamttestosteron (SMD −0,38), freies Testosteron (−0,37) und Dihydrotestosteron (−0,30).[38]
- Review Eine neuere Metaanalyse aus 11 randomisierten Studien mit 888 Personen fand zwischen fettarmer (bis 30 % der Energie) und fettreicher Ernährung keinen signifikanten Unterschied bei Sexualhormonen, bei geringer Sicherheit der Evidenz.[39]
- Beobachtung In der US-Gesundheitsbefragung hatten Männer mit fettarmer Ernährung niedrigere Testosteronwerte (410,8 gegenüber 443,5 ng/dl), auch nach Kontrolle von Alter und Körpergewicht. Der Unterschied war gering.[40]

Testosteron und Fettzufuhr im Überblick

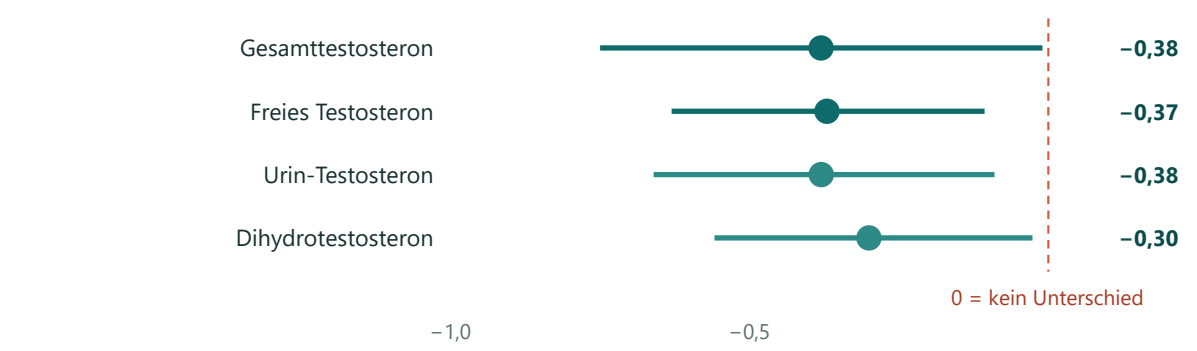


Abb. 12: Kleine bis mittlere Effekte in kleinen Studien. Eine spätere Metaanalyse fand keinen Unterschied.[38][39] Die Befundlage ist uneinheitlich.

KONSEQUENZ

Eine sehr fettarme Ernährung (etwa um Gewicht zu verlieren) bringt für Sportler kein Plus und kann das Hormonsystem zusätzlich belasten. Als Beratungsgrundsatz gilt: Fett nicht unter das notwendige Maß senken, besonders bei Männern mit Zeichen von zu wenig Energie und bei Frauen mit Zyklusstörungen (Lektion 1, RED-S).[47]

Omega-3-Fettsäuren

Review Ein Review von 13 randomisierten Studien (gesunde Erwachsene) fand, dass Omega-3 die Marker für Muskelschädigung (Creatinkinase, Laktatdehydrogenase) in drei von vier Studien senken kann, die Entzündungsmarker CRP in zwei von 13, IL-6 verbesserte sich, TNF-α nicht. Das verzögerte Muskelkater-Empfinden (DOMS) zeigte gemischte Ergebnisse. Die Studien erfassten den Omega-3-Status nicht, die Dosierungen waren uneinheitlich.[41]

Review Eine Metaanalyse aus 12 Studien mit 301 Personen fand eine Verringerung des Muskelkaters nach exzentrischer Belastung (−0,93 auf einer 10-Punkte-Skala). Der Effekt lag unter der klinisch relevanten Grenze von 1,4, die Sicherheit der Evidenz war niedrig.[42] Ein neuerer Review berichtet unter 2 bis 4 g EPA und DHA täglich vorsichtige Vorteile nach vier bis zwölf Wochen.[43]

Muskelkater und Omega-3: klinisch relevant oder nicht?

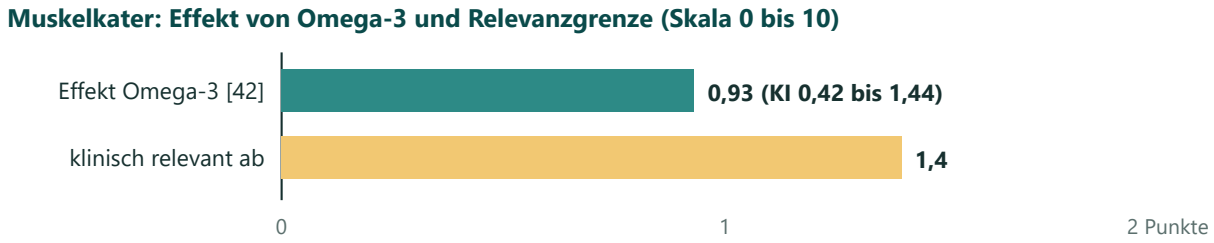


Abb. 13: Der Effekt ist statistisch nachweisbar, liegt aber unter der Relevanzschwelle von 1,4 Punkten.[42]

Wie viel Fett und welche Fette essen Sportler?

Beobachtung Bei 95 Ausdauersportlern lag die Zufuhr bei vielen unter den Referenzwerten: Linolsäure bei 75,8 %, α-Linolensäure bei 77,9 % und EPA/DHA bei 96,8 % der Athleten. Gleichzeitig nahmen 50,5 % zu viel gesättigtes Fett zu sich.[11] Bei 44 Ausdauersportlern mittleren Alters überschritten 54,5 % den empfohlenen Fettanteil.[12]

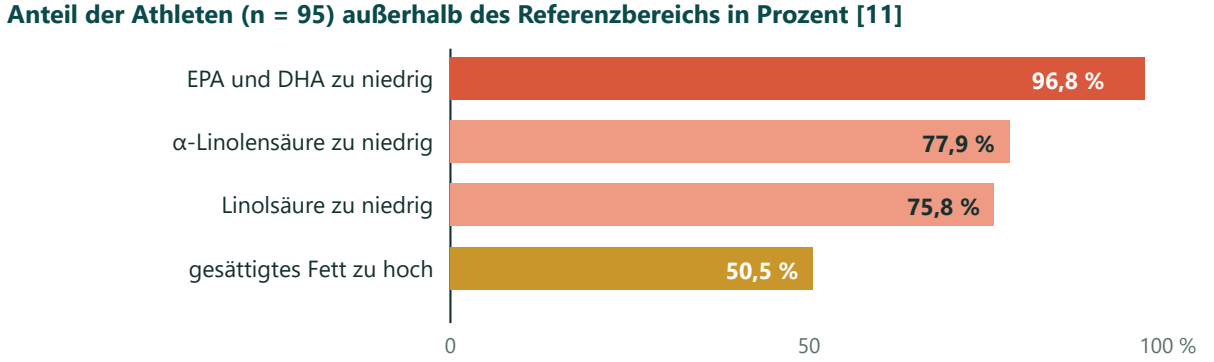


Abb. 14: Befunde aus 24-Stunden-Erinnerungsprotokollen einer kleinen Stichprobe, die Autoren raten zur Bestätigung in größeren Studien.[11]

MERKE

Beim Fett ist die Qualität das Thema, nicht die Menge allein: genug Omega-3 (Fisch, Leinöl, Walnüsse), weniger gesättigte Fette, ausreichend Linolsäure. Ein Omega-3-Präparat kommt in Frage, wenn die Ernährung dies nicht abdeckt. Eine Leistungswirkung ist nicht belegt.[41][42]

6 Fett vor und während der Belastung

Fett verlangsamt die Verdauung. Deshalb meiden viele Athleten fettreiche Mahlzeiten kurz vor der Belastung. Das ist plausibel und in der Praxis üblich, in den hier ausgewerteten Quellen aber nicht direkt untersucht. Behandle es als Ausgangspunkt und prüfe die Verträglichkeit beim einzelnen Athleten.

Fett als Teil des Darmtrainings

Studie 44 Ausdauersportler absolvierten eine Woche lang täglich eine Stunde Training mit einem Snack alle 20 Minuten, entweder 20 g Nussmus (11 g Fett) oder ein Kohlenhydrat-Gel (29 g Kohlenhydrate). Danach liefen alle zwei Stunden mit 87 g Kohlenhydraten pro Stunde. Die Magen-Darm-Beschwerden sanken in beiden Gruppen deutlich: gesamt um 27 % (Fett) und 38 % (Kohlenhydrate), obere Beschwerden um 26 % und 40 %. Die Fettgruppe lief im Test mit 11,51 km etwas weiter als die Kohlenhydratgruppe (11,08 km), der Unterschied war nicht signifikant.[44]

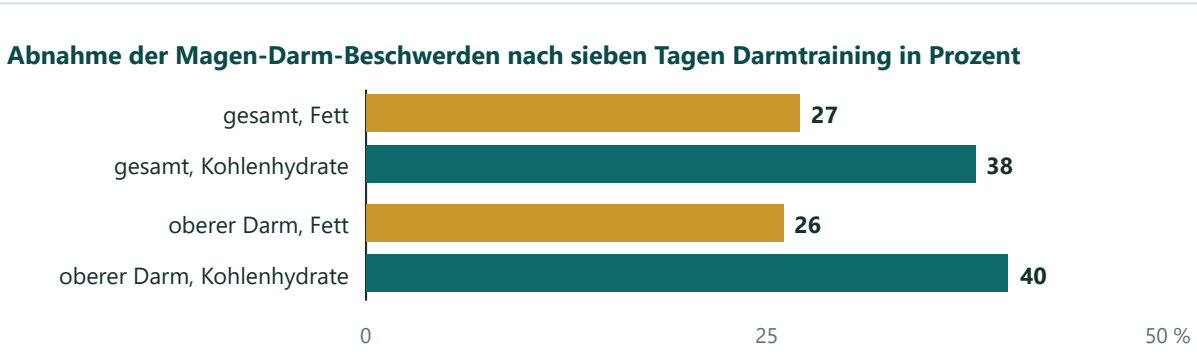


Abb. 15: Beide Methoden senkten die Beschwerden. Ein Unterschied zwischen Fett und Kohlenhydraten war in der Auswertung nicht signifikant.[44]

- Wiederholte Fettgabe erhöhte in einer Folgeauswertung (36 Athleten) die Marker für Darmschädigung und Entzündung nicht.[48]
- Das Positionspapier der australischen Sportdiätassistenten nennt Kohlenhydrat- und Proteinzufuhr, gute Hydration, FODMAP-Anpassung und Darmtraining als meist wirksame Maßnahmen. Kohlenhydratarme, fettreiche Diäten führten zu negativen Ergebnissen.[45]

Regeln für die Praxis

Situation	Vorschlag	Beleg
Letzte Mahlzeit vor Wettkampf	Fett und Ballaststoffe gering halten, bewährte Lebensmittel, Beschwerden individuell auswerten und Strategien im Training erproben.	didaktisch, vgl. [45]
Während langer Belastung	Kohlenhydrate stehen im Vordergrund (Lektion 2). Fettreiche Nahrung ist keine Hauptquelle.	Leitlinie [45]
Nach dem Training	Fett stört die Erholung nicht, solange Kohlenhydrate und Protein reichen. Bei kurzer Pause Fett begrenzen, weil die Verdauung bremst.	didaktisch
Darmtraining	Kleine Mengen zur Verträglichkeit sind möglich, Kohlenhydrate bleiben Standard.	Studie [44]
Dauerhaft ketogene Ernährung	Für hochintensive Leistung ungünstige Datenlage, nach Lektion 2.	Studie [46][45]

Rolle der Fette im Tagesplan

- Fett deckt den Rest der Energie, der nach Kohlenhydraten und Protein übrig bleibt (Beispiel in Kapitel 7).
- Die Qualität gewinnt: Olivenöl, Rapsöl, Nüsse, Fisch, Avocado.
- An Tagen mit hohem Kohlenhydratziel fällt das Fett automatisch niedriger aus. Das ist gewollt.
- Zu wenig Gesamtenergie ist das häufigere Problem. Wer Fett stark kürzt, kürzt oft zugleich Energie und Mikronährstoffe (Lektion 7).

WICHTIG BEI GEWICHTSKLASSEN UND ÄSTHETIK

Fettarme Diäten zur Gewichtskontrolle sind ein typisches Muster bei zu niedriger Energieverfügbarkeit. Prüfe Energiezufuhr, Zyklus und Stimmung, bevor du Fett weiter senkst.[47]

7 Praxis: Vom Energiebedarf zu Protein und Fett

Die Reihenfolge der Rechnung ist feststehend: Zuerst legst du die Energie fest, dann das Protein pro kg, dann die Kohlenhydrate nach Tagestyp (Lektion 2). Das Fett füllt den Rest. So bleibt Fett kein Rätsel, sondern ergibt sich aus den anderen Zielen.

Schritt für Schritt: Läufer, 70 kg, harter Tag und Ruhetag

Fiktiver Athlet. Die Zielwerte sind Annahmen innerhalb der Spannen aus den Lektionen 2 und 3. Rechenwerte: Protein und Kohlenhydrate 4 kcal pro g, Fett 9 kcal pro g.

Schritt	Harter Tag	Ruhetag
1 Energie	3.000 kcal	2.400 kcal
2 Protein (1,6 g/kg)	112 g = 448 kcal	112 g = 448 kcal
3 Kohlenhydrate	6 g/kg = 420 g = 1.680 kcal	4 g/kg = 280 g = 1.120 kcal
4 Rest für Fett	872 kcal = 97 g	832 kcal = 92 g
Anteil Fett	29 % der Energie	35 % der Energie

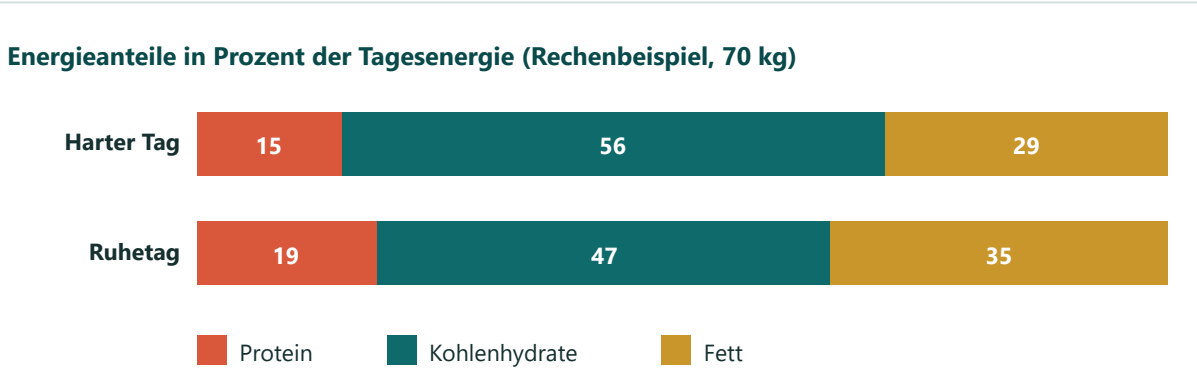


Abb. 16: Prozentwerte gerundet. Am Ruhetag sinkt der Kohlenhydratanteil, der Fettanteil steigt, ohne dass das Ziel „mehr Fett" lautet.

MERKE

Fett ist kein eigenes Ziel, sondern der Rest nach Protein und Kohlenhydraten. Dafür prüfst du die Qualität der Fette und ob der Rest genug Energie liefert. Fällt er sehr klein aus, stimmt oft die Gesamtenergie nicht.

Ein Tag Protein, verteilt (126 g)

Beispiel für einen Sportler mit 70 kg und 1,8 g/kg. Pro Mahlzeit etwa 0,3 bis 0,4 g/kg, abends vor dem Schlafen eine kleine Gabe.

Zeitpunkt	Protein	Beispiel
Frühstück	28 g	Skyr (200 g), Haferflocken, Nüsse
Mittag	28 g	Hähnchen oder Tofu (120 g), Reis, Gemüse
Nachmittag, nach dem Training	15 g	Milch (250 ml) mit Banane, Quarkdrink
Abend	25 g	Fisch oder Linsen, Kartoffeln
Vor dem Schlafen	30 g	Magerquark oder Casein-Shake
Summe	**126 g**	1,8 g/kg

Proteinhaltige Lebensmittel (Richtwerte)

Aus üblichen Nährwerttabellen, keine Studienwerte. Bei Fertigprodukten gilt die Herstellerangabe.

Lebensmittel	Portion	Protein	Lebensmittel	Portion	Protein
Hähnchenbrust	120 g	ca. 28 g	Skyr	200 g	ca. 22 g
Lachs	120 g	ca. 24 g	Magerquark	250 g	ca. 30 g
Thunfisch (Dose)	100 g	ca. 25 g	Milch	250 ml	ca. 8 g
Ei	1 Stück	ca. 7 g	Linsen, gekocht	200 g	ca. 18 g
Tofu	120 g	ca. 15 g	Haferflocken	60 g	ca. 8 g
Molkenprotein-Pulver	30 g	ca. 24 g	Erbsen-/Reisprotein	30 g	ca. 22 g

Fettquellen (Richtwerte)

Lebensmittel	Portion	Fett	Lebensmittel	Portion	Fett
Olivenöl, Rapsöl	1 EL (10 g)	ca. 10 g	Nussmus	20 g	ca. 11 g[44]
Mandeln, Walnüsse	30 g	ca. 15 bis 20 g	Avocado	100 g	ca. 15 g
Lachs	120 g	ca. 15 g	Leinsamen, geschrotet	1 EL (10 g)	ca. 4 g

Formular: Protein- und Fettplan für einen Tag

Athlet/in (Kürzel): _____ Gewicht: _____ kg Sportart: _____ Tagestyp: ☐ hart ☐ mittel ☐ leicht ☐ Ruhe

Rechenschritt	Zielwert	Rechnung und Notiz
Energie	_____ kcal	
Protein	_____ g/kg · _____ g	
Kohlenhydrate	_____ g/kg · _____ g	
Rest für Fett	_____ kcal · _____ g	
Fettanteil	_____ % der Energie	

Mahlzeit	Protein, g	Fett, g	Lebensmittel
Frühstück			
Mittag			
Nachmittag			
Abend			
vor dem Schlafen			
Summe			

Kontrollfragen

- Liegt jede Hauptmahlzeit im Bereich 0,3 bis 0,4 g Protein pro kg?
- Kommen Omega-3-Quellen vor (Fisch, Leinöl, Walnüsse), und wie viel gesättigtes Fett steckt im Tag?
- Ist das Fett vor der Einheit gering genug, damit die Verdauung kein Problem wird?
- Reicht die Gesamtenergie, oder kommt der „Rest für Fett" unplausibel klein heraus?

Zwei Fälle zum Anwenden

Beide Fälle sind erfunden. Überlege zuerst allein, bevor du den Lösungsweg liest.

Fall A: Gewichtheber im Energiedefizit

Gewichtheber, 90 kg, trainiert fünfmal pro Woche. Er möchte in acht Wochen 3 kg abnehmen und isst derzeit etwa 117 g Protein pro Tag. Wie viel Protein planst du, und wie verteilst du es?

LÖSUNGSWEG

Tempo: 3 kg in acht Wochen sind etwa 0,4 kg pro Woche, also ein moderates Defizit. **Menge:** 117 g sind nur 1,3 g/kg. Für Kraftsportler im Defizit nennt die ISSN 2,3 bis 3,1 g/kg.[1] Kurze, harte Defizite zeigten Vorteile bei 2,3 bis 2,4 g/kg,[28][29] bei moderatem Defizit reichten in einer Studie 1,2 bis 1,7 g/kg.[30] Sinnvoller Zielbereich daher etwa 1,8 bis 2,2 g/kg, also 162 bis 198 g. **Verteilung:** 0,4 g/kg pro Mahlzeit sind 36 g, fünf Mahlzeiten ergeben 180 g.[13] **Kontrolle:** Gewicht, Kraft und Energieverfügbarkeit im Verlauf prüfen, damit das Defizit nicht zu stark wird.[47] Nieren und Laborwerte nur bei Vorerkrankung abklären lassen.[31]

Fall B: Vegane Läuferin mit Müdigkeit

Läuferin, 28 Jahre, 58 kg, 60 km pro Woche, isst vegan und kommt auf etwa 58 g Protein pro Tag (1,0 g/kg). Sie ist oft müde. Was rätst du?

LÖSUNGSWEG

Menge: Für Ausdauer sind rund 1,8 g/kg günstig,[4] für Athletinnen liegen die geschätzten Bedarfe bei 1,28 bis 1,63 g/kg.[6] Ziel: 1,6 bis 1,8 g/kg, also 93 bis 104 g. **Verteilung:** Vier Mahlzeiten mit je 23 bis 26 g, in der Lutealphase eher am oberen Ende.[7] **Quelle:** Vegane Ernährung unterstützt Muskelaufbau bei ausreichender Menge vergleichbar.[24] Einzelne pflanzliche Proteine liefern weniger, Mischungen aus Soja, Hülsenfrüchten, Getreide und Erbsenprotein mit mindestens 30 g und etwa 2,5 g Leucin pro Gabe gleichen das aus.[25] **Weitere Ursachen:** Müdigkeit ist kein Proteinthema allein. Energieverfügbarkeit, Eisen und B12 gehören geprüft (Lektion 1 und 7).[47]

Das Wichtigste auf einer Seite

GRUNDSATZ

Erst die Gesamtmenge Protein (etwa 1,4 bis 2,0 g/kg), dann die Verteilung, dann der Zeitpunkt. Fett füllt den Rest und zählt in der Qualität.[1][16]

WICHTIGSTE GRENZE

Über etwa 1,6 g/kg gewinnt man kaum noch Muskelmasse, und Fett nie unter das nötige Maß kürzen, besonders bei Zeichen von Energiemangel.[2][47]

Thema	Kernaussage
Bedarf	1,4 bis 2,0 g/kg für die meisten, 2,3 bis 3,1 im ausgeprägten Defizit, Ausdauer um 1,8, Athletinnen 1,3 bis 1,6 als durchschnittlicher Bedarf.[1][4][6]
Verteilung	0,25 bis 0,4 g/kg pro Mahlzeit, mindestens vier Mahlzeiten. Evidenz für den Vorteil ist uneinheitlich.[1][13][15]
Zeitpunkt	Das „anabole Fenster“ ist weit. 30 bis 40 g vor dem Schlafen können Synthese und Erholung fördern.[16][19][20]
Quelle	Menge und Leucin zählen mehr als die Herkunft. Vegane Mischungen mit mindestens 30 g und etwa 2,5 g Leucin gleichen aus.[23][24][25]
Besondere Gruppen	Athletinnen 0,32 bis 0,38 g/kg pro Dosis, Masters höhere Einzeldosen, Defizit höher.[7][27][28]
Sicherheit	Bei Gesunden bis etwa 2,0 g/kg unbedenklich, bei Nierenerkrankung ärztlich abklären.[31][32]
Fettverbrennung	Fat max im Mittel bei etwa 64 % VO2max, aber große individuelle Streuung.[35][37]
Fett und Hormone	Sehr fettarm kann Testosteron senken, die Befunde sind uneinheitlich.[38][39]
Omega-3	Effekt auf Muskelkater klein, unter der klinischen Relevanzschwelle. Zufuhr über Lebensmittel zuerst.[42]

Ausblick: Lektion 4

In der nächsten Lektion folgen Flüssigkeit, Elektrolyte und Hitze: Schweißverluste, Natrium, Trinkplan, Hitzeanpassung und Warnzeichen.

HINWEIS

Dieses Material dient der Fortbildung und stellt keine Diagnose oder Behandlungsempfehlung dar. Die Lebensmittelwerte und die Rechenbeispiele sind didaktische Richtwerte.

Quellenverzeichnis

Recherche über Consensus und PubMed, Stand Oktober 2026. Pfad jeweils unter consensus.app/papers/details/.

1. Jäger R et al. (2017). International Society of Sports Nutrition Position Stand: protein and exercise. *J Int Soc Sports Nutr.* …/d37a061294705590aca659c3d19807c3/
2. Morton RW et al. (2018). A systematic review, meta-analysis and meta-regression of the effect of protein supplementation on resistance training-induced gains in muscle mass and strength in healthy adults. *Br J Sports Med.* …/a316b8ccba1a5f87a5dcb6db0c6e3676/
3. Nunes EA et al. (2022). Systematic review and meta-analysis of protein intake to support muscle mass and function in healthy adults. *J Cachexia Sarcopenia Muscle.* …/005a4aa8746d5323bc1d623cb7279c0b/
4. Witard OC et al. (2025). Protein Nutrition for Endurance Athletes: A Metabolic Focus on Promoting Recovery and Training Adaptation. *Sports Med.* …/3c9e5867fedd576181f97557c4a13ad6/
5. Morton JP et al. (2025). UCI Sports Nutrition Project: Nutritional Periodization. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* …/8ceaf8c637dc501ca6ffb74ed09621f7/
6. Mercer D et al. (2020). Protein Requirements of Pre-Menopausal Female Athletes: Systematic Literature Review. *Nutrients.* …/ec3b67097e9953e1abc44fe79c1f388f/
7. Sims ST et al. (2023). International society of sports nutrition position stand: nutritional concerns of the female athlete. *J Int Soc Sports Nutr.* …/5a4170d765345e839a08968b025743b5/
8. Moore DR et al. (2021). Fuelling the female athlete: Carbohydrate and protein recommendations. *Eur J Sport Sci.* …/b8c89ad247265044bb97cc3413038c6e/
9. Franzke B et al. (2025). Protein Intake, Physical Performance and Body Composition in Master Athletes: A Short Scoping Review. *Nutrients.* …/7a0b3dd8ed8f511a84f274c7868b4cb1/
10. Brinkmans NYJ et al. (2019). Energy expenditure and dietary intake in professional football players in the Dutch Premier League. *J Sports Sci.* …/f0acf837ac5b524abf5b7d8d5ca4c357/
11. Moss K et al. (2023). Nutrient Adequacy in Endurance Athletes. *Int J Environ Res Public Health.* …/1949c9d9a2ec58cf82ca10a90a60f156/
12. Ghomeshi B et al. (2025). Dietary Intake of Canadian Middle-Aged Endurance Athletes. *J Hum Nutr Diet.* …/1d7426da0997511a89480b3c11787913/
13. Schoenfeld BJ, Aragon AA (2018). How much protein can the body use in a single meal for muscle-building? Implications for daily protein distribution. *J Int Soc Sports Nutr.* …/dbc423072fa85f5e99b82d54cf45967e/
14. Mamerow MM et al. (2014). Dietary Protein Distribution Positively Influences 24-h Muscle Protein Synthesis in Healthy Adults. *J Nutr.* …/16a078bc15e05f5ab7ff3997d1636200/
15. Hudson JL et al. (2020). Protein Distribution and Muscle-Related Outcomes: Does the Evidence Support the Concept? *Nutrients.* …/9805e972838f5ba48f927b444dea3322/
16. Schoenfeld BJ et al. (2013). The effect of protein timing on muscle strength and hypertrophy: a meta-analysis. *J Int Soc Sports Nutr.* …/37c22c79ee875823b12c85b6a365ffa0/
17. Zhou H et al. (2023). Effects of Timing and Types of Protein Supplementation on Improving Muscle Mass, Strength, and Physical Performance in Adults Undergoing Resistance Training: A Network Meta-Analysis. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* …/3b708defa5695a789f98ab8765173295/
18. Res PT et al. (2012). Protein ingestion before sleep improves postexercise overnight recovery. *Med Sci Sports Exerc.* …/fa84fdaf0e6d5d6b98c01f6d081add02/
19. Trommelen J et al. (2023). Pre-sleep Protein Ingestion Increases Mitochondrial Protein Synthesis Rates During Overnight Recovery from Endurance Exercise. *Sports Med.* …/9d1ba25971d4587aa9c8ece4744fc29d/
20. Kerksick CM et al. (2017). International society of sports nutrition position stand: nutrient timing. *J Int Soc Sports Nutr.* …/c72d1a61d3915538a35546a5f9e9a7cb/
21. Phillips SM (2016). The impact of protein quality on the promotion of resistance exercise-induced changes in muscle mass. *Nutr Metab.* …/9aa554adc61c5a3fa17d0b76da533bc8/
22. Nielsen RD et al. (2026). Dietary Protein, DIAAS, Anabolism, and Cardiometabolic Health: A Review and Future Perspectives. *Nutr Rev.* …/6fa877a729c15fa6b1c9bb21e869cb7e/
23. Lim MT et al. (2021). Animal Protein versus Plant Protein in Supporting Lean Mass and Muscle Strength: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Nutrients.* …/dbe1f633bcec5aada2132e3300649c5f/
24. Hevia-Larraín V et al. (2021). High-Protein Plant-Based Diet Versus a Protein-Matched Omnivorous Diet to Support Resistance Training Adaptations. *Sports Med.* …/fc00478b4bc0532cb2073636115a5ce0/

25. Govindasamy K et al. (2025). Effect of Plant-Based Proteins on Recovery from Resistance Exercise-Induced Muscle Damage in Healthy Young Adults, A Systematic Review. *Nutrients.* …/def740ccf2b75f058f4d7ea6b3a3d8c0/
26. Drummond MDM et al. (2026). Which Protein-Based Dietary Supplements Most Effectively Enhance Fat-Free Mass and Strength Gains in Healthy Adults Undergoing Resistance Training? A Network Meta-Analysis. *Transl Sports Med.* …/2e14335819595e3c83b1589f95fdc04d/
27. Jahan-mihan A et al. (2025). Current Perspectives on Protein Supplementation in Athletes: General Guidance and Special Considerations for Diabetes. *Nutrients.* …/2827e23ad05c58d7a1bc84c748766772/
28. Longland TM et al. (2016). Higher compared with lower dietary protein during an energy deficit combined with intense exercise promotes greater lean mass gain and fat mass loss: a randomized trial. *Am J Clin Nutr.* …/b946722285155980a481a7c3bd2eecba/
29. Mettler S et al. (2010). Increased protein intake reduces lean body mass loss during weight loss in athletes. *Med Sci Sports Exerc.* …/5d2d0dc542345cefa8eb8e8352d037ab/
30. Kanaan MF et al. (2025). The effects of high protein intakes during energy restriction on body composition, energy metabolism and physical performance in recreational athletes. *Eur J Clin Nutr.* …/6f364fb29f125a9fa9865e8828f8fe10/
31. de Lorenzo A et al. (2024). High Protein Diets and Glomerular Hyperfiltration in Athletes and Bodybuilders: Is Chronic Kidney Disease the Real Finish Line? *Sports Med.* …/ce908747575853aab7622d9e052592ff/
32. Skibicka K et al. (2025). Protein Intake and Kidney Health: A Literature Review of Healthy Individuals, Athletes and CKD Patients. *J Educ Health Sport.* …/a7acbd2b2ed658c6afba543c7a7ec551/
33. Rodriguez NR et al. (2009). American College of Sports Medicine position stand. Nutrition and athletic performance. *Med Sci Sports Exerc.* …/ee061c36dbcc5433a7b61a258e3f9ab2/
34. Potgieter S (2013). Sport nutrition: A review of the latest guidelines for exercise and sport nutrition from the American College of Sport Nutrition, the International Olympic Committee and the International Society for Sports Nutrition. *S Afr J Clin Nutr.* …/ac27e30620ba562ab0192c65ca969d3d/
35. Achten J et al. (2002). Determination of the exercise intensity that elicits maximal fat oxidation. *Med Sci Sports Exerc.* …/00acea0cb92c552eaf2ce179473c62e0/
36. Achten J, Jeukendrup AE (2003). Maximal Fat Oxidation During Exercise in Trained Men. *Int J Sports Med.* …/bb2ff14f24a456bd8fec823c0bc660a5/
37. Randell RK et al. (2016). Maximal Fat Oxidation Rates in an Athletic Population. *Med Sci Sports Exerc.* …/86278b818a9c52a198efffcb960c68b7/
38. Whittaker J, Harris M (2021). Low-fat diets and testosterone in men: systematic review and meta-analysis of intervention studies. *J Steroid Biochem Mol Biol.* …/33bfb45db4ba520bb833fff91ebf361a/
39. Soltani S et al. (2025). The Effect of Low-Fat Diets Versus High-Fat Diet on Sex Hormones: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *J Food Sci.* …/65fbe30899015d4f9c248fbdb71347a2/
40. Fantus RJ et al. (2019). The Association Between Popular Diets and Serum Testosterone Among Men in the United States. *J Urol.* …/fdcd55e2e8e35e12ade72c21ec2be5bf/
41. Fernández-Lázaro D et al. (2024). Omega-3 Fatty Acid Supplementation on Post-Exercise Inflammation, Muscle Damage, Oxidative Response, and Sports Performance in Physically Healthy Adults. *Nutrients.* …/6969e1f2408e503bbaa1ba3d92d317f6/
42. Lv ZT et al. (2020). Omega-3 Polyunsaturated Fatty Acid Supplementation for Reducing Muscle Soreness after Eccentric Exercise. *Biomed Res Int.* …/ca0a9688c734585999890eeca40a451a/
43. Sadowska A et al. (2026). Omega-3 Supplementation in Athletes: Impact on Performance, Recovery After Physical Exercise and Effects on Injury Recovery. *Quality in Sport.* …/5be285a31a945fc69cd52b80d1994a66/
44. Martinez IG et al. (2025). Repetitive Feeding-Challenge With Different Nutritional Densities on Markers of Gastrointestinal Function, Substrate Oxidation, and Endurance Exercise Performance. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* …/2e08d129490e5271b7f4f2ee43001b88/
45. Costa RJS et al. (2025). Sports Dietitians Australia and Ultra Sports Science Foundation Joint Position Statement: Exercise-Associated Gastrointestinal Perturbations and Symptoms. *Sports Med.* …/c20a3730571352d69e763f151e38ea98/
46. Burke LM et al. (2017). Low carbohydrate, high fat diet impairs exercise economy and negates the performance benefit from intensified training in elite race walkers. *J Physiol.* …/ce5147dacae25d21a749a8f1a6e4aaad/
47. Mountjoy M et al. (2023). 2023 IOC consensus statement on Relative Energy Deficiency in Sport (REDs). *Br J Sports Med.* …/45a4fbb086fb5680ad268fe1b40bf674/
48. Martinez IG et al. (2026). The Effect of a Repetitive Feeding Challenge With Carbohydrate Versus Fat on Markers of Gastrointestinal Integrity and Systemic Outcomes in Response to Endurance Exercise. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* …/43e2f4967926595b87c8cc24f688a09b/