AUFBAUKURS ERNÄHRUNG FÜR LEISTUNGSSPORTLER · MODUL 1 ENERGIE

Lektion 2
Kohlenhydrate im Training und Wettkampf

Speicher, Tagesmengen, Zeitpunkt, Aufnahme während der Belastung, Erholung und gezielte Periodisierung.



NutriCampus
Lektionsmaterial für Ernährungsberaterinnen und Ernährungsberater

Fassung 1.0 · Oktober 2026
Quellenstand: PubMed / Consensus

Worum es in dieser Lektion geht

Kohlenhydrate sind im Sport der Brennstoff, an dem sich die meisten Strategien entscheiden: wie viel, wann, in welcher Form und für welche Einheit.

In Lektion 1 hast du die Richtwerte kennengelernt. Hier geht es um die Begründung dahinter und um die Umsetzung. Du lernst, aus Trainingsplan und Wettkampfkalender einen Kohlenhydratplan abzuleiten und zu erklären, warum er so aussieht.

Lernziele

- Du erklärst, wie groß die Kohlenhydratspeicher sind und was bei Belastung und Erholung mit ihnen passiert.
- Du leitest die Tagesmenge aus der Belastung ab und kennst die Spannen, die Studien zeigen.
- Du planst Mahlzeiten vor der Belastung und weißt, wo ihr Nutzen belegt ist und wo nicht.
- Du gestaltest die Zufuhr während der Belastung nach Dauer, Mischung der Zucker und Verträglichkeit.
- Du planst die Erholung, je nachdem, wie schnell die Speicher wieder voll sein müssen.
- Du beurteilst „Train low“, „Sleep low“ und ketogene Ernährung anhand der Studienlage.
- Du schreibst einen Kohlenhydratplan für eine Trainingswoche und führst dazu ein Beratungsgespräch.

Aufbau der Lektion

Kap.	Inhalt	Seite
1	Speicher und Verbrauch: Wie viel Glykogen der Körper hat	3
2	Die Tagesmenge richtet sich nach der Belastung	5
3	Vor der Belastung	7
4	Während der Belastung	9
5	Erholung und Wiederauffüllen	12
6	Periodisierung: Train low, Sleep low und ketogene Ernährung	14
7	Unterschiede nach Sportart	17
8	Praxis: Plan, Lebensmittel, Formular, Übungsfälle, Quellen	19

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. Sie ersetzen keine individuelle Beratung. Bei Zucker- oder Magen-Darm-Erkrankungen und bei Diabetes stimmst du dich ärztlich ab.

1 Speicher und Verbrauch: Wie viel Glykogen der Körper hat

Kohlenhydrate liegen im Körper als Glykogen vor, vor allem in der Muskulatur und in der Leber. Bei mittlerer und hoher Intensität sind sie der wichtigste Brennstoff. Weil die Speicher vergleichsweise klein sind, wird die Leistung bei langen Belastungen oft von den Kohlenhydraten begrenzt, die der Körper selbst hat.[6]

Was bei einer erschöpfenden Belastung passiert

Studie In einer Untersuchung mit zwölf gut trainierten Radfahrern machte man die Speicher mit Magnetresonanzspektroskopie sichtbar. Eine glykogenzehrende Belastung senkte den Muskelglykogengehalt von 159 auf 56 mmol/l (minus 64 %) und den Leberglykogengehalt von 166 auf 110 mmol/l (minus 34 %).[8]

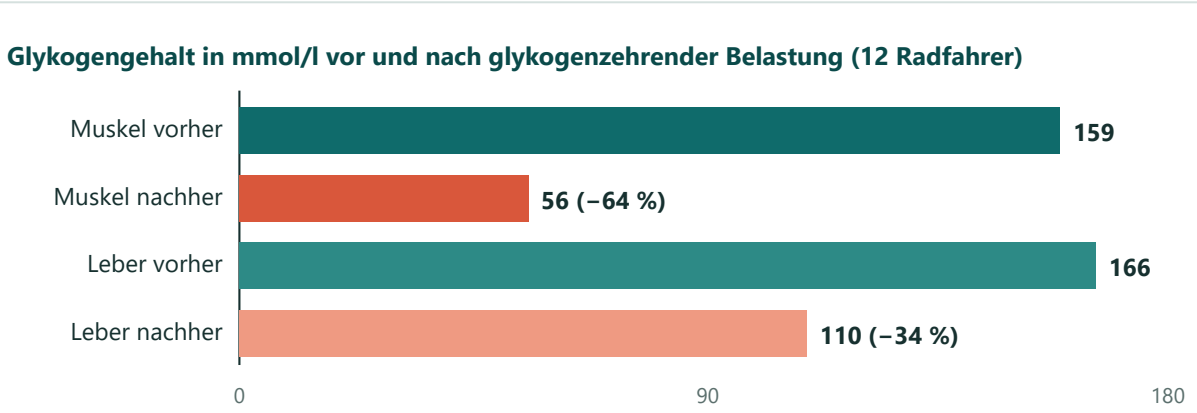


Abb. 1: Die Muskulatur entleert sich stärker als die Leber.[8] Die Leber speichert zusätzlich Zucker für das Blut und das Gehirn, ihre Entleerung zeigt sich im Blutzucker.

Größenordnungen

Bei Trainierten liegen die Muskelglykogenspeicher zwischen 300 und 700 g. Hochvolumiges Krafttraining kann sie um 24 bis 40 % absenken.[9] Ausdauertrainierte haben keine erhöhten Leberglykogenwerte im Ruhezustand. Bei mittlerer bis hoher Intensität bauen sie das Leberglykogen aber offenbar langsamer ab als Untrainierte.[6]

Wann der Brennstoff knapp wird

Bei kurzen, intensiven Belastungen entleert sich das Muskelglykogen schon nach relativ kurzer Dauer deutlich. Dabei verteilt sich die Entleerung ungleich: Schnelle und langsame Muskelfasern nutzen ihr Glykogen unterschiedlich stark, und einzelne Fasern können leer sein, obwohl der Gesamtmuskel nur mäßig abgesenkt ist. Dazu kommt, dass Glykogen in bestimmten Zellbereichen liegt und dort direkt die Erregbarkeit und den Kalziumhaushalt der Faser beeinflusst.[7] Müdigkeit bei hoher Intensität hat damit mehr als eine Ursache.

Anteil der Brennstoffe nach Belastungsintensität (schematisch)

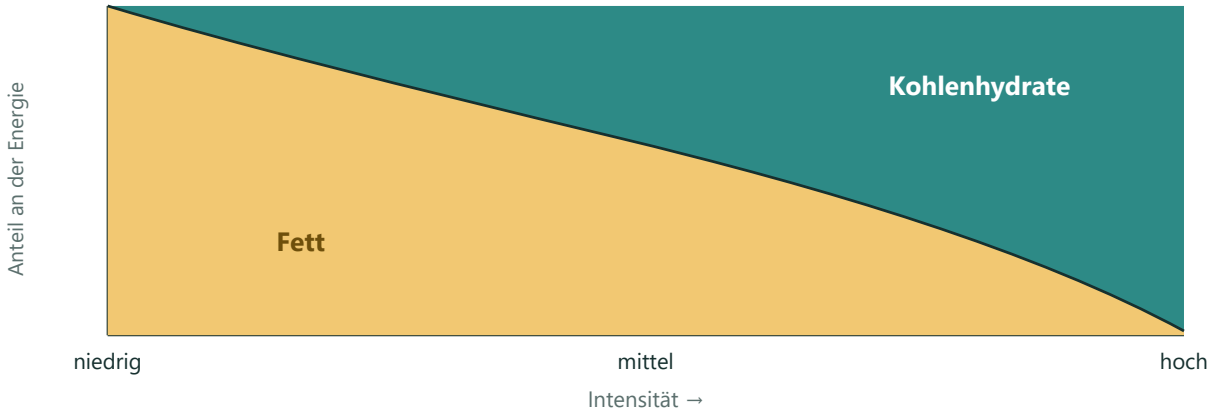


Abb. 2: Mit steigender Intensität steigt der Kohlenhydratanteil und sinkt der Fettanteil. Das Schema zeigt den Verlauf, keine Messwerte. Die genaue Verteilung hängt von Dauer, Training und Ernährungsstatus ab.[6]

Kohlenhydrate während der Belastung schützen die Leber

Review Wer bei mittlerer Intensität mehr als 1,5 g Kohlenhydrate pro Minute (etwa 90 g pro Stunde) aufnimmt, kann den Abbau des Leberglykogens verhindern, unabhängig davon, ob Glukose oder Saccharose zugeführt wird. Für die Verträglichkeit empfehlen sich Kombinationen aus Glukose mit Fruktose oder Saccharose.[6]

> **MERKE**
> Die Speicher sind begrenzt, und die Belastung bestimmt, wie schnell sie sich leeren. Alle Strategien dieser Lektion beantworten dieselbe Frage: Wie stellen wir sicher, dass für die geplante Einheit genug Brennstoff bereitsteht, ohne mehr zu essen als nötig?

Eine Spur zur Energieverfügbarkeit

Niedrige Kohlenhydratverfügbarkeit gilt in der aktuellen IOC-Stellungnahme zu RED-S als ein Faktor, dem mehr Gewicht zukommt als früher.[39] Wer in der Praxis Kohlenhydrate kürzt, um Gewicht zu verlieren, riskiert deshalb mehr als nur eine schlechtere Einheit (Lektion 1, Kapitel 2).

2 Die Tagesmenge richtet sich nach der Belastung

Eine feste Kohlenhydratmenge für „den Sportler" gibt es nicht. Die Fachliteratur arbeitet mit dem Prinzip „Fuel for the work required": Die Verfügbarkeit wird an das angepasst, was die nächsten Einheiten verlangen.[29][38] An harten Tagen steht mehr bereit, an leichten Tagen weniger.

Was Studien an Zielwerten und realen Mengen zeigen

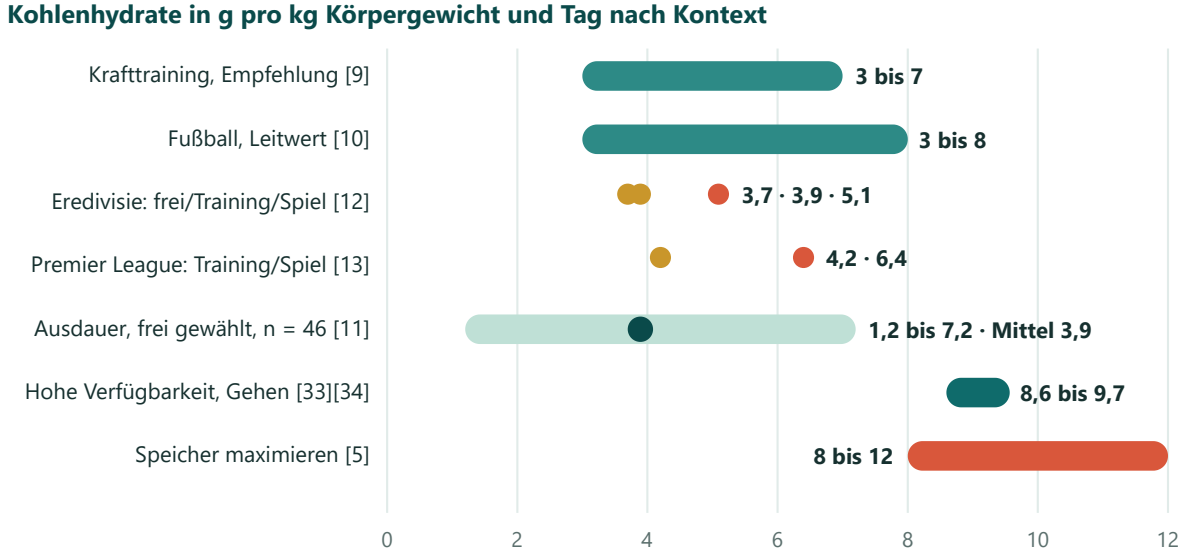


Abb. 3: Studienspannen und beobachtete Mittelwerte. Zielwerte (Balken) gelten für bestimmte Gruppen und Situationen, Punkte sind gemessene Mittel. Die Fußball-Leitwerte beruhen vor allem auf Praxiserfahrung, weil kontrollierte Studien mit Profis fehlen.[10]

- Der Leitwert im Fußball (3 bis 8 g/kg) stützt sich hauptsächlich auf Dateninterpretation und Praxis. Bei 258 ausgewerteten Studien waren nur rund 12 % der Originalarbeiten ausschließlich an Frauen durchgeführt worden.[10]
- Wer die Speicher maximal füllen will, strebt 8 bis 12 g/kg und Tag an. Solche Mengen brauchen Zeit und Planung.[5]

Was Sportler tatsächlich tun

Studie 46 Ausdauersportler dokumentierten zwölf Wochen lang Training und Ernährung in einer App (3.718 Tage). Die mittlere Kohlenhydratzufuhr lag je Person zwischen 1,2 und 7,2 g/kg, im Mittel bei 3,9 g/kg. Zwei Drittel (65 %) trainierten regelmäßig nüchtern. Im Gruppenvergleich aßen Athleten mit mehr Trainingsumfang mehr Kohlenhydrate (r = 0,42), und wer häufiger nüchtern trainierte, aß weniger (r = −0,39).[11]

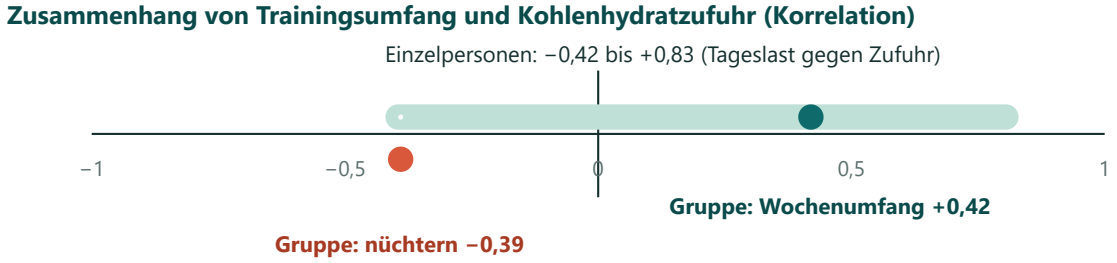


Abb. 4: Viele Athleten passen die Zufuhr nur wenig an die Tageslast an.[11] Die Spanne bei Einzelpersonen reicht von negativen bis stark positiven Zusammenhängen.

Die Autoren schließen, dass Athleten die Zufuhr an der Dauer der Einheit ausrichten, aber individuell oft kaum an die Belastung anpassen.[11] Das ist ein klarer Ansatz für deine Beratung: nicht die Menge allein, sondern ihre Verteilung auf die Tage.

Die Kernidee: Tagestypen statt Durchschnitt

Tagestyp	Kennzeichen	Folge für die Kohlenhydrate
Ruhetag	keine oder sehr leichte Einheit	niedrigere Verfügbarkeit, Qualität der Lebensmittel zählt
Leichter Tag	kurze Einheit, niedrige Intensität	moderate Menge, Verteilung auf Mahlzeiten
Harter Tag	Intervalle, lange Einheit, zwei Einheiten	hohe Verfügbarkeit vor, während und nach der Einheit
Wettkampftag	Wettkampf mit festen Anforderungen	geplante Vorbereitung, Zufuhr, Erholung

Die konkreten Mengen für die vier Tagestypen hängen von Sportart, Körpergewicht und Umfang ab. In Kapitel 8 rechnen wir ein Beispiel durch. Das Prinzip der Anpassung an die Arbeit stammt aus [29] und [38].

3 Vor der Belastung

Die Mahlzeit vor dem Training oder Wettkampf füllt vor allem die Leberspeicher nach der Nacht und liefert Energie, die der Magen-Darm-Trakt bis zum Start aufnehmen kann. Wie viel das bringt, hängt von der Belastung ab.

Ausdauer: Eine kohlenhydratreiche Mahlzeit verlängert die Belastungsdauer

Studie In einem randomisierten Crossover-Versuch absolvierten elf gut trainierte und zehn freizeitaktive Männer einen Belastungstest bis zur Erschöpfung nach einer kohlenhydratreichen Mahlzeit (3 g/kg), einer kohlenhydratarmen Mahlzeit (0,5 g/kg) oder nüchtern. Die Zeit bis zur Erschöpfung war nach der kohlenhydratreichen Mahlzeit 8,0 % länger als nüchtern und 7,2 % länger als nach der kohlenhydratarmen Mahlzeit. VO2peak, Laktatschwelle und Ökonomie unterschieden sich nicht, der Grund für den Vorteil blieb offen. Gut Trainierte und Freizeitsportler reagierten gleich.[15]

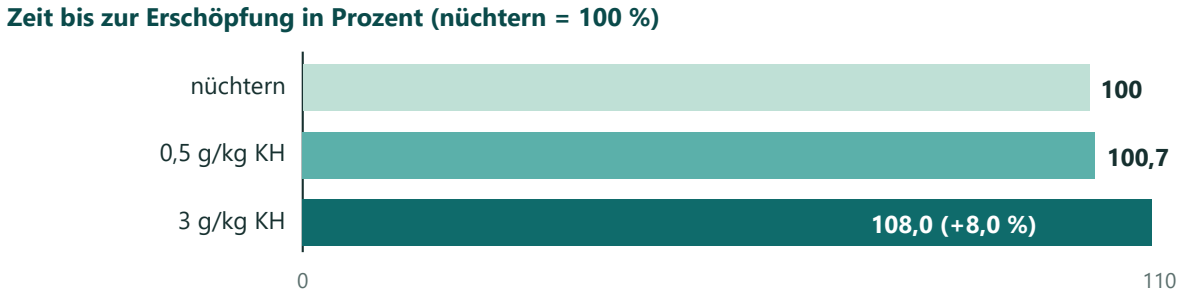


Abb. 5: Berechnet aus den Angaben von [15] (+8,0 % gegenüber nüchtern, +7,2 % gegenüber der kohlenhydratarmen Mahlzeit). KH = Kohlenhydrate.

Krafttraining: Die Mahlzeit vor dem Training machte wenig Unterschied

Studie 16 Krafttrainierende absolvierten ein Training bis zur Ermüdung nach einem Frühstück mit 1,2 g/kg Kohlenhydraten, mit 0,3 g/kg oder einem kalorienarmen Placebo. Die Wiederholungen pro Einheit unterschieden sich nicht.[16] Für ein oberkörperdominantes Krafttraining von etwa 90 Minuten änderte Zusammensetzung und Energiegehalt der Mahlzeit nichts.

Fruktose im Frühstück

Klein Acht Radfahrer erhielten zwei Stunden vor der Fahrt ein Frühstück mit 2 g/kg Kohlenhydraten als Glukose mit Reis oder als Fruktose mit Reis (Verhältnis 1:2). Die Belastungsdauer bis zum Abbruch war mit Fruktose länger (137,0 gegenüber 130,1 Minuten, p = 0,046). Die Autoren halten weitere Studien zu Dosis und Verhältnis für nötig.[17]

Praxis: Welche Mahlzeit passt wann?

Situation	Vorgehen	Beleg
Lange, intensive Ausdauereinheit oder Wettkampf	Kohlenhydratreiche Mahlzeit einplanen, bewährte Lebensmittel, ausreichend Zeit zur Verdauung.	Studie [15]
Morgen nach der Nacht, Leber leer	Frühstück mit Kohlenhydraten, bei Bedarf mit einem Anteil Fruktose.	Klein [17]
Krafttraining, oberkörperdominant	Mahlzeit nach Appetit und Verträglichkeit. Zusammensetzung beeinflusste die Wiederholungen nicht.	Studie [16]
Fußballspiel	1 bis 3 g/kg drei bis vier Stunden vorher, 6 bis 8 g/kg am Vortag.	Review [14]
Leichte Einheit, kurz	Keine feste Vorgabe. Der Plan folgt dem Tagestyp aus Kapitel 2.	didaktisch

HINWEIS ZUR EVIDENZ

Die Studien zur Mahlzeit vor der Belastung sind kurz und betreffen meist Männer. Frauen sind in der Forschung zur Kohlenhydrataufnahme im Fußball deutlich unterrepräsentiert (rund 16 % der Teilnehmenden).[10] Deine Empfehlungen sind deshalb nur dann gut, wenn du sie im Training erprobst und überprüfst.

Vorbereitungsmahlzeit im Beratungsgespräch

- Frage nach dem Zeitpunkt der letzten Mahlzeit vor typischen Einheiten, nicht nach dem Speiseplan allgemein.
- Prüfe, ob der Athlet nüchtern trainiert, und warum (Gewohnheit, Zeitmangel, Gewichtsziel, bewusste Strategie).
- Besprich Verträglichkeit: Fettreiche und ballaststoffreiche Mahlzeiten kurz vor der Belastung führen bei manchen zu Beschwerden. Das ist individuell.
- Plane Erprobung im Training ein, nie die erste Anwendung im Wettkampf.

Mahlzeitenbeispiele und Rechenwege folgen in Kapitel 8. Das Carbo-Loading vor dem Wettkampf behandeln wir ausführlich in Lektion 6.

4 Während der Belastung

Die Mengen kennst du aus Lektion 1: bis etwa eine Stunde Mundspülung oder kleine Mengen, bei längerer Belastung 30 bis 60 g pro Stunde, bei über 2,5 Stunden bis 90 g, nach neuerer Forschung bei Trainierten bis 120 g.[1][2][3] Hier geht es darum, warum die Mischung der Zucker zählt und wo die Grenzen liegen.

Warum mehrere Zuckerarten besser sind

Im Dünndarm teilen sich Glukose und Fruktose verschiedene Transporter: Glukose wird über SGLT1 (und GLUT2) aufgenommen, Fruktose über GLUT5. Die Aufnahme über SGLT1 ist begrenzt.[18][19] Gibt man beides zusammen, steigt die verfügbare Gesamtmenge, und die Oxidation von zugeführten Kohlenhydraten kann höher ausfallen.[18]

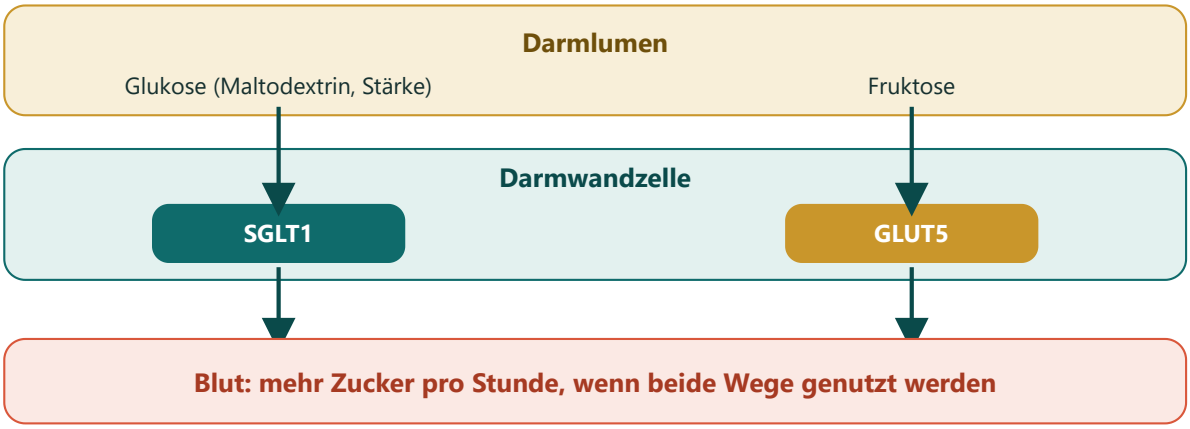


Abb. 6: Vereinfachtes Schema. Glukose nutzt den begrenzten SGLT1-Weg, Fruktose den GLUT5-Weg. Die Mischung erhöht die Gesamtaufnahme.[18][19]

- Fruktose zusammen mit Glukose kann die Ausdauerleistung gegenüber der gleichen Menge Glukose steigern und die Erholung der Leber beschleunigen.[18]
- Bei hohen Kohlenhydratmengen (über 1,2 g/kg/h in der Erholung) senkt die Fruktosemischung Magen-Darm-Beschwerden.[18]
- Die Form (Flüssigkeit, Gel, feste Nahrung) spielt eine Nebenrolle, bei niedriger Intensität sind die Mengen nach unten anzupassen.[2]

Wie viel ist zu viel? 90 oder 120 g pro Stunde

Studie Elf gut trainierte Radfahrer fuhren drei Stunden und nahmen 120 g pro Stunde mit einem Verhältnis von 0,8 Fruktose zu 1 Maltodextrin auf oder 90 g pro Stunde im Verhältnis 1:2. Die Oxidation der zugeführten Kohlenhydrate war mit 120 g höher (1,51 gegenüber 1,29 g/min). Die Oxidation der körpereigenen Kohlenhydrate blieb gleich (2,15 gegenüber 2,20 g/min), die höhere Menge sparte also kein Glykogen.[20]

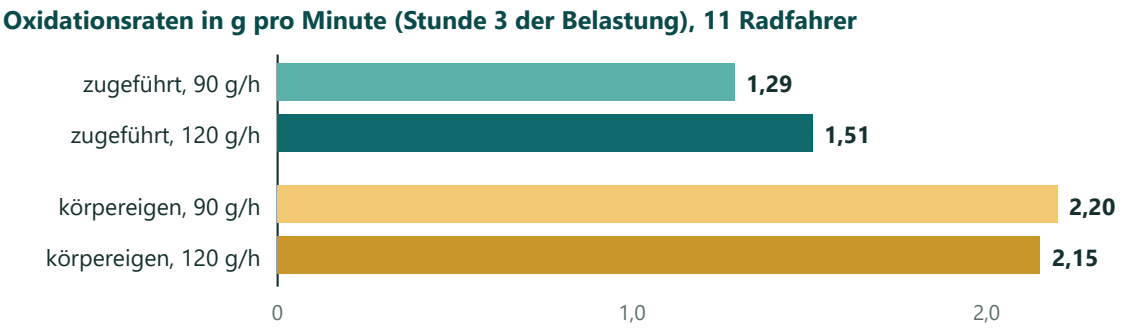


Abb. 7: Mehr Zufuhr erhöhte die Oxidation der Zufuhr, ohne das körpereigene Glykogen zu schonen.[20] Leistungsdaten fehlen in dieser Studie.

Klein Eine zweite Studie mit elf trainierten Männern verglich 80, 90 und 100 g pro Stunde Glukose-Fruktose (2:1) über drei Stunden mit anschließendem Zeitfahren. Die Leistung war mit 90 g pro Stunde „wahrscheinlich" besser als mit 80 oder 100 g. Mit 100 g stieg der Verbrauch von Muskelglykogen (um etwa 102 g gegenüber 90 g). Die Autoren sprechen von „Überdosierung" der Darmkapazität, die sich negativ auswirken kann.[21]

KONSEQUENZ

Höhere Mengen sind kein Selbstläufer. 120 g pro Stunde erhöhen die Aufnahme, aber ein Leistungsvorteil ist bisher nicht belegt. Wähle die Menge nach Dauer, Verträglichkeit und Erprobung, und starte im Zweifel mit 60 bis 90 g.[3][20][21]

Mundspülung: Wirkung ohne Schlucken

Bei Belastungen von rund 30 bis 75 Minuten lässt sich die Leistung auch durch Spülen und Ausspucken eines Kohlenhydratgetränks verbessern, weil Rezeptoren im Mund das Gehirn beeinflussen.[1][22][23] Die Effekte sind klein, aber nutzbar, wenn Schlucken Beschwerden macht.

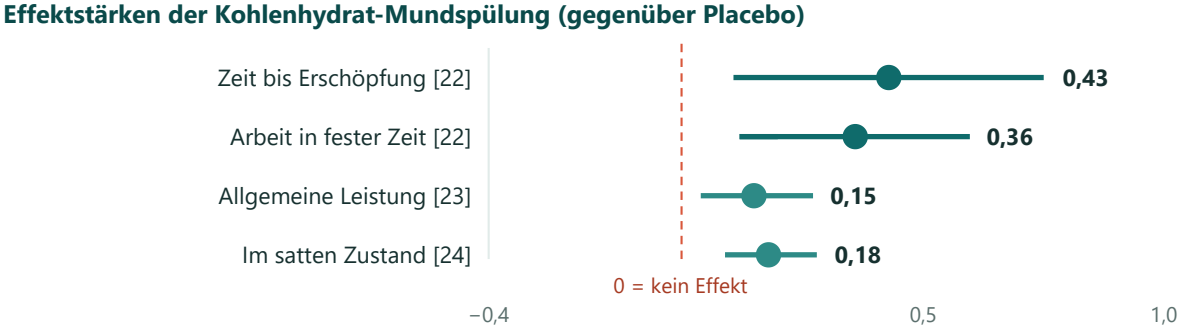


Abb. 8: Mittelwert und 95 %-Konfidenzintervall (SMD bzw. Hedges g). Bei den Studien [22] und [24] liegt das Intervall über null, bei [23] reichte die robuste Auswertung knapp nicht aus (0,17; −0,01 bis 0,34).

Der Darm trainiert mit

Magen-Darm-Beschwerden sind bei Ausdauersportlern häufig und mindern die Leistung. Ein systematisches Review nennt als wichtigste Ansatzpunkte Darmtraining, die Wahl der Kohlenhydratlösungen und -mischungen, eine FODMAP-arme Ernährung, Hydrogel-Kohlenhydrate und Probiotika.[25]

- Darmtraining (Gut Training) wirkt vielversprechend, und eine Zufuhr nach den aktuellen Empfehlungen ist mit weniger und leichteren Beschwerden verbunden.[25]
- Die FODMAP-arme Ernährung kann Symptome mindern, ist aber restriktiv und kann Nachteile bringen.[25]
- Hydrogel-Produkte zeigten bisher keinen Vorteil gegenüber üblichen Produkten, Probiotika nur uneinheitliche Ergebnisse.[25]

Was zwei Wochen Training bewirken können

Review Eine systematische Übersicht fand acht Studien zu Darmtraining oder „Feeding Challenge“ über 4 bis 28 Tage. Magen-Darm-Beschwerden sanken nach einem zweiwöchigen Programm mit wiederholter Kohlenhydratzufuhr im Mittel um 47 %, nach wiederholter Flüssigkeitsaufnahme um 26 %. Die Malabsorption von Kohlenhydraten nahm in zwei Studien um 45 bis 54 % ab, in einer blieb sie unverändert. Die Ergebnisse zu Symptomen waren in vier Studien unklar.[26]

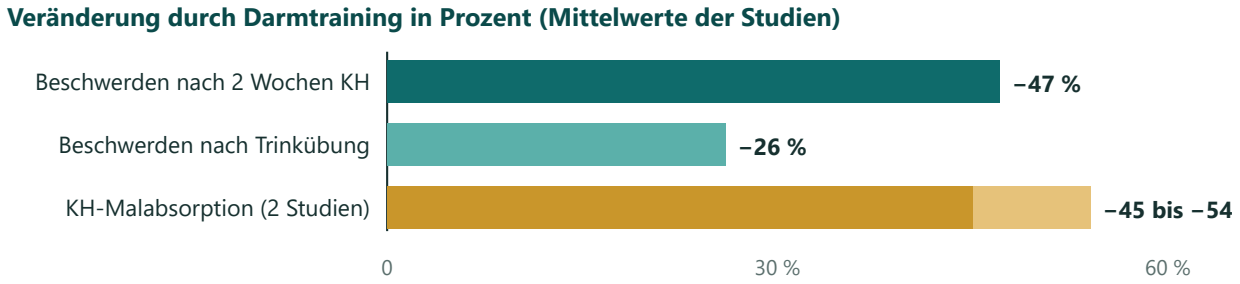


Abb. 9: Reduktion gegenüber dem Ausgangswert. Bei der Malabsorption zeigt der dunkle Teil die Untergrenze (45 %), der helle die Spanne bis 54 %.[26]

ABER: MEHR IST NICHT IMMER BESSER

Bei hoch trainierten Läufern und Gehern führte ein zweiwöchiges Programm mit sehr hoher Kohlenhydratzufuhr, Darmtraining und 90 g pro Stunde im Wettkampf zu keinem zusätzlichen Leistungsgewinn gegenüber den unteren Bereichen der Empfehlung. Bei den Gehern traten in der zweiten Hälfte mehr obere Magen-Darm-Beschwerden auf. Die Autoren raten, die Mindestempfehlungen zu erreichen und höhere Mengen nur bei guter Verträglichkeit zu nutzen.[27]

5 Erholung und Wiederauffüllen

Nach der Belastung entscheidet die Zufuhr darüber, wie schnell Muskel- und Leberspeicher wieder gefüllt sind. Ohne Kohlenhydrate bleiben beide leer: In einer Kontrollbedingung ohne Zufuhr änderten sich Muskel- und Leberglykogen in 12 Stunden nicht.[8]

Wie schnell die Speicher zurückkehren

Studie Zwölf gut trainierte Radfahrer erhielten nach glykogenzehrender Belastung 12 Stunden lang insgesamt 10 g/kg Kohlenhydrate: 1,2 g/kg pro Stunde in den ersten sechs Stunden als Saccharose-Getränke, danach kohlenhydratreiche Mahlzeiten. Das Leberglykogen lag nach sechs Stunden mit 236 mmol/l bei 142 % des Ausgangswerts. Das Muskelglykogen stieg von 56 auf 88 (nach 6 h) und 110 mmol/l (nach 12 h), also auf 55 und 69 % des Ausgangswerts von 159 mmol/l.[8]

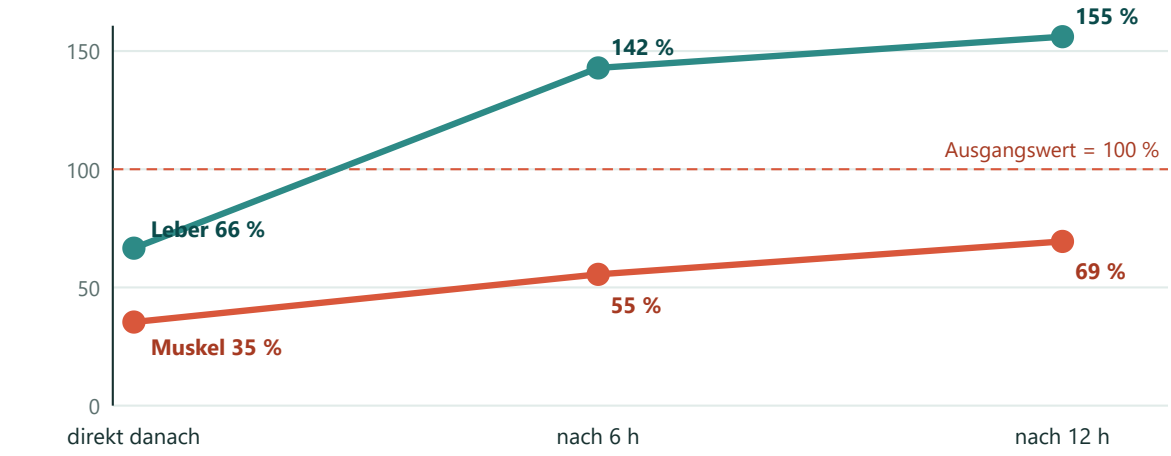


Abb. 10: Berechnet aus den Mittelwerten von [8]. Die Leber ist in sechs Stunden wieder voll, der Muskel nach zwölf Stunden noch nicht.

MERKE

Selbst 10 g/kg füllen die Muskelspeicher in zwölf Stunden nicht vollständig.[8] Wer zwei Einheiten pro Tag mit wenig Pause trainiert oder an aufeinanderfolgenden Tagen Wettkämpfe hat, startet die nächste Einheit mit teils leerem Muskel. Das muss in den Plan.

Strategien für schnelle Erholung

Leitlinie Die ISSN nennt für eine Erholungszeit von unter vier Stunden: Kohlenhydrate mit 1,2 g/kg pro Stunde, bevorzugt aus Quellen mit hohem glykämischem Index (über 70), optional Koffein (3 bis 8 mg/kg) oder die Kombination von Kohlenhydraten (0,8 g/kg/h) mit Protein (0,2 bis 0,4 g/kg/h).[5] Ein Review bestätigt, dass Kohlenhydrate in den ersten Stunden entscheidend sind und dass die Zugabe von Protein bei zu geringer Kohlenhydratmenge die Erholung verbessert.[28]

Erholungszeit bis zur nächsten Belastung	Vorgehen	Beleg
unter 4 Stunden	Aggressive Strategie: 1,2 g/kg/h, hoher glykämischer Index, Protein dazu. Zum Teil Koffein.	Leitlinie [5]
4 bis 12 Stunden	Hohe Zufuhr in den ersten Stunden, dann Mahlzeiten mit Kohlenhydraten. Leber ist bereit, Muskel nicht ganz.	Studie [8]
24 Stunden und mehr	Das Tagesziel zählt (8 bis 12 g/kg für maximale Speicher), Zeitpunkt ist weniger kritisch.	Leitlinie [5]
Magen-Darm-Beschwerden bei hoher Zufuhr	Fruktose zur Glukose kann Beschwerden senken, sobald mehr als 1,2 g/kg/h gegeben werden.	Review [18]

Glukose allein oder mit Fruktose?

Fruktose zusammen mit Glukose beschleunigt die Wiederauffüllung des Leberglykogens und ist in Situationen mit weniger als 24 Stunden Erholungszeit sinnvoll.[18] Glukose mit Galaktose oder Fruktose kann die Rate der Leberglykogenspeicherung nach der Belastung verdoppeln.[6] Bei Muskelglykogen gilt: Eine Studie nach Belastung ergab eine Resyntheserate von etwa 40 mmol/kg Trockengewicht pro Stunde unter kohlenhydratreicher Zufuhr.[30]

Praxis in drei Schritten

1. Erkläre, wie lange bis zur nächsten Belastung bleibt, und wähle die Strategie aus der Tabelle.
2. Plane bewusst flüssige oder leicht verdauliche Formen, wenn nach der Einheit Appetit fehlt.
3. Rechne die Mengen aus dem Körpergewicht aus: 1,2 g/kg/h bei 70 kg sind 84 g Kohlenhydrate pro Stunde. In vier Stunden sind das rund 336 g.

EINORDNUNG FÜR DEN ALLTAG

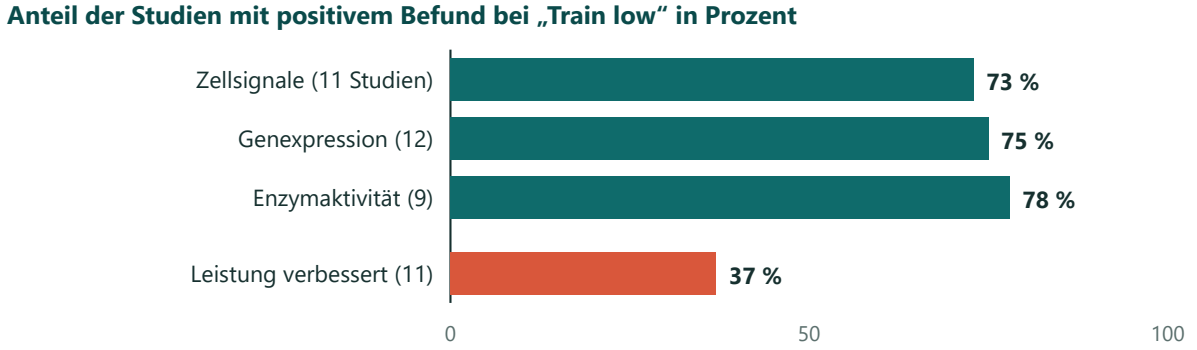
Die genannten Maximalmengen gelten für Sportler mit mehreren Belastungen in kurzer Folge. Wer nur einmal pro Tag trainiert und danach 24 Stunden Zeit hat, braucht diese Strategie nicht.

6 Periodisierung: Train low, Sleep low und ketogene Ernährung

Manche Einheiten bewusst mit wenig Kohlenhydraten zu absolvieren, soll Anpassungen im Muskel verstärken, während wichtige Einheiten und der Wettkampf mit vollen Speichern stattfinden. Das ist das Prinzip „Train low, compete high“.[32] Die Begriffe werden uneinheitlich benutzt, deshalb gibt es Vorschläge für gemeinsame Definitionen.[37]

Was die Zellsignale zeigen und was die Leistung

Review In einer Übersicht zeigten 73 % von 11 Studien verstärkte Zellsignale, 75 % von 12 Studien veränderte Genexpression und 78 % von 9 Studien höhere Aktivität oxidativer Enzyme, wenn mit wenig Kohlenhydraten trainiert wurde und die Einheit in einem bestimmten Glykogenbereich begann. Bei der Leistung sah es anders aus: Nur 37 % von 11 Studien fanden eine Verbesserung, 63 % keine Veränderung. [29]



Quelle: [29]. Ein Zellbefund ist noch keine Leistungsverbesserung.

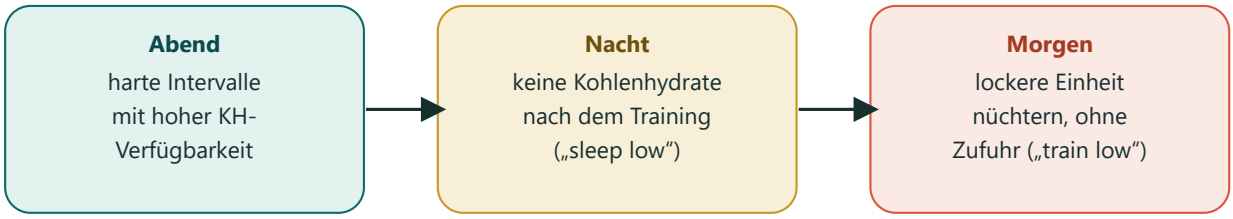
Abb. 11: Das Muster erklärt, warum die Methode in der Forschung so wichtig, in der Praxis aber umstritten ist.

Ein Überblick zur Kohlenhydratforschung kommt deshalb zu dem Schluss, dass „Train low“ nach der Gesamtlage nur begrenzten Nutzen für die Leistung hat, die Periodisierung nach Ziel und Anforderung aber wichtig bleibt.[4] Wer es nutzt, übt dazu auch Einheiten mit normaler oder hoher Verfügbarkeit, damit die Fähigkeit, Kohlenhydrate zu verbrennen, am Wettkampftag nicht abgestumpft ist.[32]

„Sleep low“: ein Protokoll

Studie 21 Triathleten erhielten über drei Wochen dieselbe Tagesmenge (6 g/kg), aber zeitlich verschoben. Die „Sleep-low“-Gruppe trainierte abends hart mit hoher Verfügbarkeit, hielt über Nacht die Kohlenhydrate niedrig und trainierte am nächsten Morgen mit wenig Kohlenhydraten. Gegenüber der Kontrolle verbesserte sich die Effizienz bei submaximaler Belastung (Delta-Effizienz +11 % gegenüber +1,4 %), die 10-km-Zeit sank um 2,9 % (Kontrolle 0,1 %), und die Fettmasse nahm ab, ohne dass Magermasse verloren ging.[31]

Ablauf eines Sleep-low-Blocks nach Marquet et al.



Dieselbe Tagesmenge (6 g/kg) wie in der Kontrollgruppe, nur anders verteilt. [31]

Abb. 12: Ein dreiwöchiger Block bestand aus mehreren solcher Zyklen. Die Studie ist klein, Wiederholungen mit anderen Gruppen sind nötig.

Fuel for the work required: die praktische Fassung

Die Idee, Kohlenhydrate an die geplante Arbeit anzupassen, ersetzt die starre Unterteilung in „low“ und „high“.[29] In einer Studie mit elf Männern ging die Einheit mit wenig Kohlenhydrate und viel Leucin mit geringerer Belastungsdauer einher (100 gegenüber 158 Minuten). Die Aktivierung der Signalwege für Mitochondrien war aber ähnlich. Nach der Einheit hielt die Kombination aus Kohlenhydrat- und Energiemangel die Aktivität des Wachstumssignals p70S6K auf Basisniveau, trotz Leucin.[30]

RISIKO: QUALITÄT DER EINHEIT

Wer low trainiert, verliert oft Intensität. Das Ziel „Anpassung“ rechtfertigt keine schlechteren Schlüsseleinheiten. Koffein, Protein und Mundspülung können helfen, die Intensität zu halten.[32]

Ketogene Ernährung bei Leistungssportlern

Eine ketogene, kohlenhydratarme, fettreiche Ernährung (LCHF, unter 50 g Kohlenhydrate pro Tag) steigert die Fettverbrennung stark. Für Leistungssportler zeigt die Forschung aus Australien bei hochintensiven Disziplinen jedoch ein anderes Bild als bei längeren Belastungen mit moderater Intensität.

Studie Bei Weltklasse-Gehern erhöhte die LCHF-Ernährung die Fettverbrennung auf etwa 1,57 g pro Minute (bei etwa 80 % VO2peak). Gleichzeitig stieg der Sauerstoffbedarf bei rennrelevanten Geschwindigkeiten. Die 10-km-Zeiten verbesserten sich mit hoher Kohlenhydratverfügbarkeit um 6,6 % und mit periodisierter Zufuhr um 5,3 %. In der LCHF-Gruppe gab es keine Verbesserung (−1,6 %), obwohl die VO2peak in allen Gruppen stieg.[33]

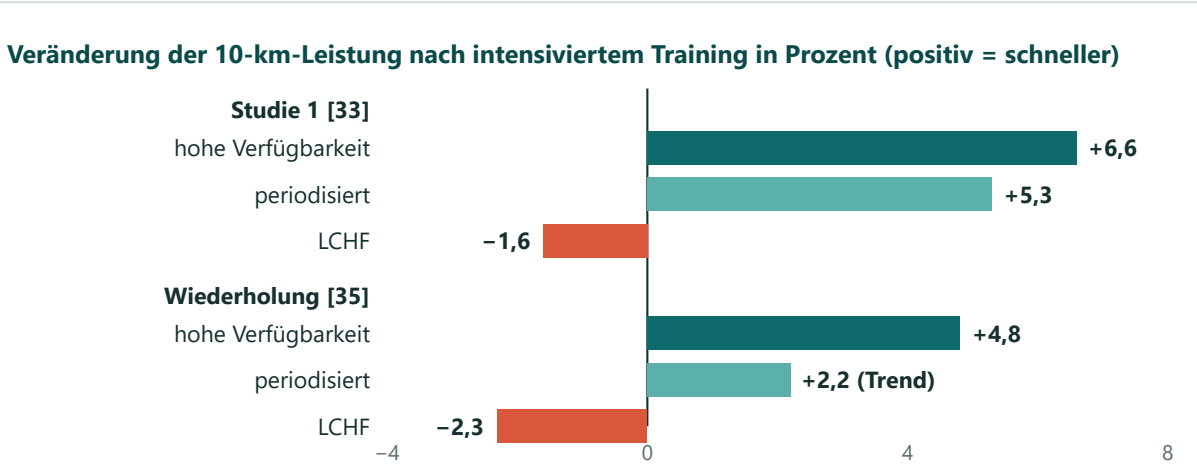


Abb. 13: Die Ergebnisse wurden mit weiteren Gruppen von Geherinnen und Gehern wiederholt und bestätigt.[33][35]

- Schon eine kurze Umstellung von fünf bis sechs Tagen steigerte die Fettverbrennung und senkte die Fähigkeit, Kohlenhydrate zu verbrennen. Der Sauerstoffbedarf lag etwa 5 bis 8 % höher, und sechs von sieben LCHF-Athleten wurden langsamer (im Mittel −2,2 %), während alle Athleten mit hoher Verfügbarkeit schneller wurden (+5,7 %). Auch ein Tag mit vollen Kohlenhydraten stellte die Leistung nicht wieder her.[34]
- Die Stoffwechselumstellung ist nach etwa fünf bis sechs Tagen mit hoher Kohlenhydratzufuhr wieder rückgängig gemacht.[34]

GEGENBEISPIEL BEI MODERATER INTENSITÄT

Studie In einer Studie mit trainierten Triathleten war die Zeit bis zur Erschöpfung bei 70 % VO2max nach sechs Wochen LCHF (40 g pro Tag) und nach sechs Wochen kohlenhydratreicher Kost (380 g pro Tag) ähnlich. In beiden Gruppen verlängerte schon eine geringe Zufuhr von 10 g Kohlenhydraten pro Stunde die Zeit bis zur Erschöpfung um 22 %, weil sie Unterzuckerung verhinderte. Die Glukosewerte normalisierten sich erst nach etwa vier Wochen.[36]

Für die Praxis heißt das: Bei hoher Intensität und Wettkämpfen, in denen die Ökonomie zählt, spricht die Datenlage gegen LCHF. Bei längerer Belastung mit moderater Intensität kann sie funktionieren, verlangt aber mindestens vier Wochen Anpassung und trotzdem Kohlenhydrate während der Belastung.[33][36] Wer ketogen essen will, begleitest du ärztlich abgesichert.

7 Unterschiede nach Sportart

Dieselben Grundsätze gelten für alle Sportarten, aber die Gewichtung verschiebt sich. Die Übersicht fasst zusammen, was die Quellen für die einzelnen Gruppen hergeben.

Sportart	Was für Kohlenhydrate zählt	Beleg
Ausdauer	Hohe Verfügbarkeit bei harten Einheiten und im Wettkampf, Aufnahme während der Belastung nach Dauer, Mischung der Zucker, Darmtraining. Periodisierung nach Trainingsplan.	Review [1][3][29]
Fußball und Spielsport	Tagesmengen 3 bis 8 g/kg, höher am Spieltag. Vortag 6 bis 8 g/kg, Mahlzeit 3 bis 4 h vorher mit 1 bis 3 g/kg, 30 bis 60 g pro Stunde im Spiel. Nach dem Spiel schnell auffüllen, weil das Muskelglykogen nach 48 h noch niedrig ist.	Review [10][14]
Kraft	3 bis 7 g/kg je nach Umfang. Kohlenhydrate halten Trainingsvolumen und Glykogen. Auf den Muskelaufbau wirken sie nur indirekt, wenn Protein und Energie ausreichen.	Review [9]
Gewichtsklassen, Ästhetik	Kohlenhydrate dürfen nicht dem Gewichtsziel geopfert werden. Niedrige Verfügbarkeit gilt als Treiber von RED-S. Schneller Gewichtsverlust über 3 bis 5 % ist riskant.	Leitlinie [39] (Lektion 1)

Fußball: Was die Datenlage hergibt

Die Kohlenhydratleitwerte im Profifußball beruhen laut einem Scoping Review über 258 Studien weitgehend auf Dateninterpretation und Erfahrung, weil randomisierte Studien mit Elitespielern fehlen. Nur acht experimentelle Studien betrafen ausschließlich Profis, und rund 16 % der 4.475 Teilnehmenden waren Frauen.[10]

Ein systematisches Review zeigt, dass Kohlenhydrate vor und während des Spiels Sprintanzahl und Geschwindigkeit verbessern, den Rückgang der Schussgenauigkeit abschwächen und die Zeit bis zur Ermüdung verlängern. Bei Passen, Dribbeln, Springen und Beweglichkeit gibt es keine Einigkeit. Die Glukose fällt in den ersten 15 Minuten der zweiten Halbzeit, ohne dass die Leistung leidet.[14]

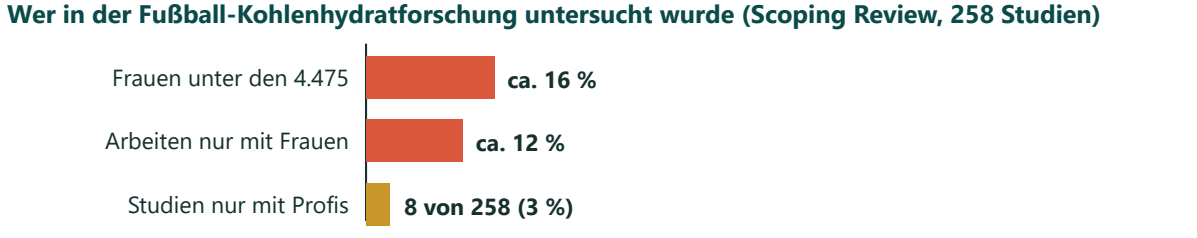


Abb. 14: Frauen und Profis sind in der Forschung stark unterrepräsentiert.[10] Das heißt: Empfehlungen für Spielerinnen sind besonders vorsichtig zu formulieren.

Krafttraining: Glykogen als Trainingsvolumen

Review Ein Review zum Krafttraining kommt zu klaren Aussagen: Kohlenhydrate stimulieren den Muskelaufbau nicht direkt. Bei ausreichend Protein und Energie steigern zusätzliche Kohlenhydrate die Muskelproteinsynthese nicht. Entscheidend ist dafür die Verfügbarkeit essenzieller Aminosäuren, vor allem Leucin. Kohlenhydrate sichern aber Energie, füllen das Glykogen wieder auf und erhalten die Leistung, sodass mehr Trainingsvolumen und -intensität möglich sind. Die Empfehlung für Kraftsportler reicht von 3 bis 7 g/kg und Tag, abhängig von Umfang und Intensität.[9]



Abb. 15: Oberes Band: Spanne der Speichergröße in g. Unteres Band: Anteil der Absenkung nach hochvolumigem Krafttraining in Prozent.[9]

Eine Studie mit 16 Krafttrainierenden fand, dass eine kohlenhydratreiche Mahlzeit zwei Stunden vor dem Training die Wiederholungen nicht erhöhte.[16] Das passt zum Bild: Bei einer Einheit von etwa 90 Minuten reichen die Speicher meist aus. Bei sehr hohem Volumen, mehreren Einheiten pro Tag oder wenigen Stunden Pause lohnt die Planung.

Was das in der Beratung ändert

- Bei Kraftsportlern erklärst du, dass Kohlenhydrate Training tragen, nicht das Wachstum erzwingen.
- Bei Spielsportlern achtest du auf die Verteilung zwischen Spiel- und Trainingstagen und auf die Erholung nach dem Spiel.
- Bei Ausdauersportlern ist die Periodisierung der zentrale Hebel.
- Bei Gewichtsklassensportlern darfst du Kohlenhydrate nicht als Erstes streichen.

WENN KOHLENHYDRATE ZUM THEMA ANGST WERDEN

Wer Kohlenhydrate meidet, um schlank zu bleiben, zeigt möglicherweise gestörtes Essverhalten. Das ist kein Ernährungsproblem allein. Sprich es an und verweise an Sportmedizin oder Psychotherapie (Lektion 1, Kapitel 7).

8 Praxis: Vom Trainingsplan zum Kohlenhydratplan

Ein Beispiel, wie du aus Studienspannen einen Wochenplan baust. Der Athlet ist erfunden: Läufer, 70 kg, sieben Trainingstage mit zwei harten Einheiten. Die Zielwerte pro Tagestyp sind Annahmen innerhalb der Spannen aus Kapitel 2 und ausdrücklich keine Studienwerte.

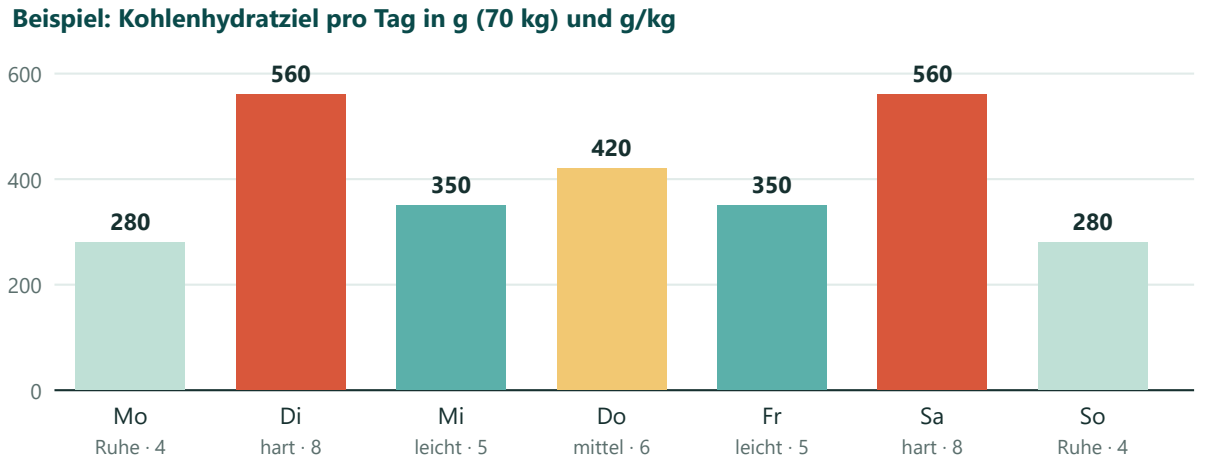


Abb. 16: Annahmen: Ruhetag 4, leicht 5, mittel 6, hart 8 g/kg. Sonntag wie Montag (280 g). Wochensumme 2.800 g, Mittel 5,7 g/kg.

Ein harter Tag, aufgeteilt (560 g)

Zeitpunkt	Menge	Beispiel
Frühstück	140 g (2 g/kg)	Haferflocken, Banane, Honig, Brot
Zwischenmahlzeit	60 g	Reiswaffeln, Saft
vor der Einheit	70 g (1 g/kg)	Brot mit Marmelade, Banane
während (90 min)	90 g (60 g/h)	Sportgetränk, Gel
direkt danach	84 g (1,2 g/kg)	Getränk, Reis, Saft
Mittagessen	70 g	Nudeln mit Gemüse
Abendessen	46 g	Kartoffeln, Gemüse, Fisch
Summe	**560 g**	8 g/kg

Zeitpunkt und Menge nach Kapitel 3 bis 5: 1 g/kg vor der Einheit (Praxisannahme), 60 g/h bei längerer Belastung [1][2], 1,2 g/kg/h nach harter Belastung bei kurzer Erholungszeit [5].

Lebensmittel als Kohlenhydratquelle

Richtwerte aus üblichen Nährwerttabellen, keine Studienwerte. Bei Fertigprodukten gilt die Herstellerangabe.

Lebensmittel	Portion	Kohlenhydrate	Einsatz
Haferflocken	60 g trocken	ca. 36 g	Frühstück
Reis, gekocht	200 g	ca. 56 g	Hauptmahlzeit, Erholung
Nudeln, gekocht	200 g	ca. 50 g	Hauptmahlzeit
Kartoffeln, gekocht	250 g	ca. 40 g	Hauptmahlzeit
Weißbrot	1 Scheibe (45 g)	ca. 22 g	vor der Einheit
Banane	120 g essbar	ca. 25 g	vor und während
Honig	20 g	ca. 16 g	Frühstück, Getränk
Fruchtsaft	250 ml	ca. 25 g	Erholung
Sportgetränk (6 %)	500 ml	ca. 30 g	während
Energiegel	1 Beutel	ca. 20 bis 25 g	während
Datteln	3 Stück (ca. 25 g)	ca. 17 g	vor und während

Beispielrechnung: Wie viel Getränk für 90 g pro Stunde?

- Ein 6-%-Getränk enthält 60 g Kohlenhydrate pro Liter. Für 90 g pro Stunde wären 1,5 Liter nötig, mehr als die meisten trinken wollen.
- Praxis: Ein Teil über Getränk (zum Beispiel 0,5 Liter = 30 g), der Rest über Gels oder feste Nahrung (60 g). Für die Aufnahme zählt die Mischung der Zucker (Kapitel 4).
- Die Menge und die Form werden im Training getestet, nicht erst im Wettkampf.

Fehler, die du häufig siehst

Fehler	Gegenmaßnahme
gleiche Menge an jedem Tag	Tagestypen festlegen und planen (Kapitel 2)
nüchtern trainieren aus Gewohnheit, nicht als Strategie	Ziel klären, nur gezielt „low“ trainieren (Kapitel 6)
Zufuhr im Wettkampf nie getestet	Plan im Training erproben, Darm trainieren (Kapitel 4)
nach dem Training nicht gegessen	Erholungsstrategie nach Zeit bis zur nächsten Belastung (Kapitel 5)
Kohlenhydrate zugunsten des Gewichts gekürzt	Energieverfügbarkeit prüfen, RED-S bedenken (Lektion 1)

Formular: Kohlenhydratplan für eine Woche

Athlet/in (Kürzel): _____ Gewicht: _____ kg Sportart: _____ Woche ab: _____

Tag	Einheit(en)	Tagestyp	Ziel g/kg	Ziel g	vor / während	nach / Notiz
Mo						
Di						
Mi						
Do						
Fr						
Sa						
So						

Rückmeldung nach einer Woche

Fragen zum Auswerten

- Wurde die Zielmenge an harten Tagen erreicht? Wenn nicht: woran lag es?
- Gab es Magen-Darm-Beschwerden, und bei welcher Zufuhr?
- Wie war die Qualität der Schlüsseleinheiten, und wie die Erholung am Folgetag?
- Gibt es Hinweise auf zu wenig Energie (Zyklus, Infekte, Gewicht, Stimmung)?

Zwei Fälle zum Anwenden

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

Fall A: Radfahrer, 3,5-Stunden-Rennen

Radfahrer, 75 kg, Rennen am Samstag über 3,5 Stunden, am Sonntag ein weiteres Rennen. Er verträgt in der Praxis bisher 50 g Kohlenhydrate pro Stunde und möchte auf 90 g steigern. Wie gehst du vor?

LÖSUNGSWEG

Menge: 90 g/h über 3,5 Stunden sind 315 g. Das ist die Obergrenze des ACSM-Rahmens für Belastungen über 2,5 Stunden.[1][3] **Mischung:** Glukose und Fruktose kombinieren, zum Beispiel im Verhältnis 2:1 bis 0,8:1, damit die Aufnahme über beide Transporter läuft.[18][20] **Training:** In den zwei Wochen vor dem Rennen die Menge schrittweise steigern, weil Darmtraining Beschwerden senken kann.[26] Auf mehr als 90 g/h gehst du nicht, da ein Vorteil nicht belegt ist und sich die Beschwerden häufen können.[3][21][27] **Erholung:** Bis zum Rennen am Sonntag sind es weniger als 24 Stunden. Direkt nach dem Rennen 1,2 g/kg/h, also 90 g pro Stunde in den ersten vier Stunden, mit Fruktoseanteil und etwas Protein.[5][18] Das Muskelglykogen ist nach zwölf Stunden trotzdem nicht ganz voll.[8]

Fall B: Läuferin möchte ketogen essen

Läuferin, 27 Jahre, 10-km-Wettkämpfe, will vor dem Saisonhöhepunkt für zwölf Wochen auf eine ketogene Ernährung umstellen, „weil Fettverbrennung effizienter sei“.

LÖSUNGSWEG

Bei hochintensiven Distanzen zeigte die ketogene Umstellung bei Weltklasse-Gehern höhere Fettverbrennung, aber einen höheren Sauerstoffbedarf und keine Leistungssteigerung. Die Ergebnisse wurden wiederholt.[33][35] Schon eine kurze Umstellung verlangsamte sechs von sieben Athleten, und ein Tag mit vollen Kohlenhydraten machte das nicht rückgängig.[34] Gegenargument bei moderater Intensität: Triathleten blieben bei 70 % VO2max leistungsfähig, brauchten dafür aber vier Wochen Anpassung.[36] Für einen 10-km-Lauf auf hohem Niveau ist die Datenlage ungünstig. Sinnvoller ist eine Periodisierung innerhalb hoher Verfügbarkeit.[4][29] Zusätzlich klärst du, warum sie das möchte (Gewichtsziel? Kontrollbedürfnis?) und achtest auf Warnzeichen für zu wenig Energie.[39]

Das Wichtigste auf einer Seite

GRUNDSATZ

Die Kohlenhydratverfügbarkeit folgt der geplanten Arbeit: mehr bei harten Einheiten und Wettkämpfen, weniger an leichten Tagen. [29][38]

WICHTIGSTE GRENZE

Höhere Zufuhr ist nicht automatisch besser. Über 90 g pro Stunde fehlt der Leistungsbeleg, und Kohlenhydrate kürzen für das Gewicht ist riskant.[3][21][39]

Thema	Kernaussage
Speicher	Muskel 300 bis 700 g, Leber klein. Belastung leert den Muskel stärker als die Leber.[8][9]
Tagesmenge	Nach Belastung gestaffelt, 3 bis 8 g/kg im Fußball, 8 bis 12 für maximale Speicher. Viele Athleten passen sie zu wenig an.[5][10][11]
Vor der Belastung	Kohlenhydratreiche Mahlzeit verlängert Ausdauer um etwa 8 %. Beim Krafttraining ohne messbaren Unterschied.[15][16]
Während	30 bis 60 g/h, über 2,5 h bis 90 g, Mischung Glukose und Fruktose. 120 g/h noch nicht belegt. [1][3][20]
Darm	Darmtraining senkt Beschwerden um etwa ein Drittel bis die Hälfte. Mehr Zufuhr bringt nicht automatisch mehr Leistung.[26][27]
Erholung	Bei unter 4 h Pause 1,2 g/kg/h. Leber nach 6 h voll, Muskel nach 12 h nicht.[5][8]
Periodisierung	Train low verändert Zellsignale, die Leistung seltener. Ketogene Ernährung verschlechtert Hochintensität.[29][33][34]

Ausblick: Lektion 3

In der nächsten Lektion folgen Protein und Fett: Bedarf, Verteilung über den Tag, Muskelaufbau, Erholung und die Rolle der Fette bei Belastung und Gesundheit.

HINWEIS

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

Quellenverzeichnis

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

1. Burke LM et al. (2011). Carbohydrates for training and competition. *J Sports Sci.* …/5dac2cdb82a85050be57fce38b3602ec/
2. Jeukendrup A (2014). A Step Towards Personalized Sports Nutrition: Carbohydrate Intake During Exercise. *Sports Med.* …/33443c17366154f2a878225f9af0d5d1/
3. Morton JP et al. (2026). From Metabolism to Medals: Revisiting Carbohydrate Guidelines for Fueling Endurance Athletes during Exercise. *J Nutr.* …/3145db002bf15925b5a0b8265b7c23f0/
4. Podlogar T, Wallis GA (2022). New Horizons in Carbohydrate Research and Application for Endurance Athletes. *Sports Med.* …/8fe3b336ebb25a1db28d44071fd8e45d/
5. Kerksick CM et al. (2017). International society of sports nutrition position stand: nutrient timing. *J Int Soc Sports Nutr.* …/c72d1a61d3915538a35546a5f9e9a7cb/
6. Gonzalez JT et al. (2016). Liver glycogen metabolism during and after prolonged endurance-type exercise. *Am J Physiol Endocrinol Metab.* …/350668ff86d251738537bda620e690d3/
7. Vigh-Larsen JF et al. (2021). Muscle Glycogen Metabolism and High-Intensity Exercise Performance: A Narrative Review. *Sports Med.* …/1b743bb4f1ae56c48f326ad6d0c15647/
8. Fuchs CJ et al. (2025). Carbohydrate intake of 10 g/kg body mass rapidly replenishes liver, but not muscle glycogen contents, during 12 h of post-exercise recovery in well-trained cyclists. *J Physiol.* …/60e24c11919e5e07add3c1212b9ec51e/
9. Ariza Ortega JA (2026). Evaluación de carbohidratos sobre la hipertrofia muscular inducida por el entrenamiento de fuerza: una revisión narrativa. *Rev Cient Salud Desarrollo Hum.* …/cd67710aff855235a5aa3cda61398f71/
10. Foo W et al. (2025). Fueling Soccer Players: A Scoping Review and Audit of Literature Related to Soccer-Specific Guidelines for Carbohydrate Intake. *Sports Med.* …/87e2260102665d3ea18b12f700153e2d/
11. Rothschild JA et al. (2026). Dietary Intake of Endurance Athletes During 12 Weeks of Self-Selected Training: An Observational Study. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* …/628ccc6d61965ba59ebd35a7ade89b0a/
12. Brinkmans N et al. (2019). Energy expenditure and dietary intake in professional football players in the Dutch Premier League. *J Sports Sci.* …/f0acf837ac5b524abf5b7d8d5ca4c357/
13. Anderson L et al. (2017). Energy Intake and Expenditure of Professional Soccer Players of the English Premier League: Evidence of Carbohydrate Periodization. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* …/c14e33ba3c995b6ca101effa7e1a9fde/
14. Pueyo M et al. (2024). Influence of Carbohydrate Intake on Different Parameters of Soccer Players' Performance: Systematic Review. *Nutrients.* …/1d1beebfa9b55b5fbd3584a13a3ece2f/
15. Aandahl MH et al. (2021). Effect of Carbohydrate Content in a Pre-event Meal on Endurance Performance-Determining Factors: A Randomized Controlled Crossover-Trial. *Front Sports Act Living.* …/d586bdf238b358f38af77234a9e0f6f6/
16. King A et al. (2025). Isoenergetic Pre-Exercise Meals Varying in Carbohydrate Similarly Affect Resistance Training Volume Performance Compared to Placebo: A Crossover Trial. *Eur J Sport Sci.* …/3262d991dd9751b18c0a59e78c3eaa17/
17. Podlogar T et al. (2022). Addition of Fructose to a Carbohydrate-Rich Breakfast Improves Cycling Endurance Capacity in Trained Cyclists. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* …/eaacd26dbaf35d3aba10f3c3947695e5/
18. Fuchs CJ et al. (2019). Fructose co-ingestion to increase carbohydrate availability in athletes. *J Physiol.* …/d106d9aad5a957b8aa0fd1ac20962f4c/
19. Koepsell H (2020). Glucose transporters in the small intestine in health and disease. *Pflugers Arch.* …/a32ed98b689f5afb933dd5fdf7829b00/
20. Podlogar T et al. (2022). Increased exogenous but unaltered endogenous carbohydrate oxidation with combined fructose-maltodextrin ingested at 120 g/h versus 90 g/h at different ratios. *Eur J Appl Physiol.* …/11eb8a16fecc531cb6c8325788986f35/

21. King AJ et al. (2019). Liver and muscle glycogen oxidation and performance with dose variation of glucose-fructose ingestion during prolonged (3 h) exercise. *Eur J Appl Physiol.* …/ee739e8aa5f65ac9a16758ec44f7660b/
22. Li Q et al. (2026). Effects of carbohydrate, caffeine and menthol mouth rinses on exercise performance and ratings of perceived exertion: a systematic review and network meta-analysis. *Front Nutr.* …/64bc794999f15dae8152f2c463e61c15/
23. Hartley C et al. (2022). Maltodextrin-Based Carbohydrate Oral Rinsing and Exercise Performance: Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med.* …/ba68369c2f7151c0a55d27f7433569c4/
24. Deng HZ et al. (2025). Fed, not fasted: is carbohydrate mouth rinsing still ergogenic? A three-level meta-analysis. *J Int Soc Sports Nutr.* …/d42d393b94a253c2a99183ab1a09cc9e/
25. Mlinaric J et al. (2025). Nutritional strategies for minimizing gastrointestinal symptoms during endurance exercise: systematic review of the literature. *J Int Soc Sports Nutr.* …/d546628f21c65199bf66e283b5c63c5e/
26. Martinez IG et al. (2023). The Effect of Gut-Training and Feeding-Challenge on Markers of Gastrointestinal Status in Response to Endurance Exercise: A Systematic Literature Review. *Sports Med.* …/c9032e160f5d55829d3218d63de0a108/
27. King A et al. (2022). Short-Term Very High Carbohydrate Diet and Gut-Training Have Minor Effects on Gastrointestinal Status and Performance in Highly Trained Endurance Athletes. *Nutrients.* …/95015b1f7716585fa13c98a76ff83ef3/
28. Naderi A et al. (2025). Nutritional Strategies to Improve Post-exercise Recovery and Subsequent Exercise Performance: A Narrative Review. *Sports Med.* …/cfd237052d41563eb44a70d3e217f6a4/
29. Impey SG et al. (2018). Fuel for the Work Required: A Theoretical Framework for Carbohydrate Periodization and the Glycogen Threshold Hypothesis. *Sports Med.* …/bc10c92af93354e2b3a9a9148f2fe6af/
30. Impey SG et al. (2016). Fuel for the work required: a practical approach to amalgamating train-low paradigms for endurance athletes. *Physiol Rep.* …/11e14b50d3a25dcd940f1381080db163/
31. Marquet LA et al. (2016). Enhanced Endurance Performance by Periodization of Carbohydrate Intake: "Sleep Low" Strategy. *Med Sci Sports Exerc.* …/de62da68170851158a3314418c7e5ff1/
32. Bartlett JD et al. (2015). Carbohydrate availability and exercise training adaptation: Too much of a good thing? *Eur J Sport Sci.* …/2cdeb3038d035465a26996615c2efbc5/
33. 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/
34. Burke LM et al. (2020). Adaptation to a low carbohydrate high fat diet is rapid but impairs endurance exercise metabolism and performance despite enhanced glycogen availability. *J Physiol.* …/65f336f7789553e28fde17e158ba8d59/
35. Burke LM et al. (2020). Crisis of confidence averted: Impairment of exercise economy and performance in elite race walkers by ketogenic LCHF diet is reproducible. *PLoS One.* …/2062c09bce435bb6b5aa2f21e1722aed/
36. Prins PJ et al. (2025). Carbohydrate Ingestion Eliminates Hypoglycemia & Improves Endurance Exercise Performance in Triathletes Adapted to Very Low & High Carbohydrate Isocaloric Diets. *Am J Physiol Cell Physiol.* …/ee3b521036785b788232a65fa79388f8/
37. Burke LM et al. (2018). Toward a Common Understanding of Diet-Exercise Strategies to Manipulate Fuel Availability for Training and Competition Preparation in Endurance Sport. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* …/d4b27757a67d50ddb8a123da1607eeb7/
38. Morton JP et al. (2025). UCI Sports Nutrition Project: Nutritional Periodization: Strategies to Enhance Training Adaptation and Recovery. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* …/8ceaf8c637dc501ca6ffb74ed09621f7/
39. Mountjoy M et al. (2023). 2023 IOC consensus statement on Relative Energy Deficiency in Sport (REDs). *Br J Sports Med.* …/45a4fbb086fb5680ad268fe1b40bf674/