

Fette in der Sporternährung

Position der Arbeitsgruppe Sporternährung der Deutschen Gesellschaft für Ernährung e. V. (DGE)

Alexandra Schek, Hans Braun, Anja Carlsohn, Mareike Großhauser, Daniel König, Alfonso Lampen, Stephanie Mosler, Andreas Nieß, Helmut Oberritter, Klaus Schäbenthal, Peter Stehle, Kiran Virmani, Rainer Ziegenhagen, Helmut Heseke

Abstract

Dieses Positionspapier stellt den aktuellen wissenschaftlichen Kenntnisstand zur empfehlenswerten Fettzufuhr im ambitionierten Breiten- und Leistungssport dar. Darüber hinaus werden Ernährungsstrategien (*fat loading*-Methoden) und Nahrungsergänzungsmittel thematisiert, die den Fettstoffwechsel während körperlicher Belastung beeinflussen sollen.

Eine Empfehlung für eine sportgerechte Fettzufuhr in absoluten Zahlen (g/kg Körpergewicht [KG]/d), wie international für Kohlenhydrate und Proteine üblich, wurde noch nicht etabliert. Seitens sportmedizinischer Fachgesellschaften besteht jedoch Konsens darüber, dass der Fettverzehr besonders im Ausdauersport 30 Energieprozent (En%) nicht über- und 20 En% nicht unterschreiten sollte.

Vor Wettkämpfen praktizieren manche Ausdauersportler *fat loading*-Strategien, wozu auch die ketogene Diät gehört. Hiervon wird abgeraten, da es keine wissenschaftlichen Belege für eine Leistungsverbesserung gibt und es sich um eine unausgewogene Ernährungsweise handelt.

Auch die Verwendung von Nahrungsergänzungsmitteln, die die Fettsäureverfügbarkeit/-oxidation verbessern (sollen), wird im Allgemeinen nicht befürwortet.

Schlüsselwörter: Sporternährung, Fett, *fat loading*, ketogene Diät, Koffein, Carnitin, Fischöl, MCT

Referenzwerte für die Fettzufuhr und lebensmittelbezogene Ernährungsempfehlungen

Im Vergleich zur Bedeutung der Kohlenhydrate im Ausdauersport und der Proteine im Kraftsport spielt die Menge der verzehrten Fette und deren Qualität für die Leistungsfähigkeit und Gesundheit von ambitionierten Breiten- und LeistungssportlerInnen eine eher untergeordnete Rolle. Daher gelten im Wesentlichen dieselben Empfehlungen wie für die gesunde Allgemeinbevölkerung.

Während es international absolute Zufuhrempfehlungen (in g/kg Körpergewicht [KG]/d) für Kohlenhydrate und Proteine im Ausdauer- und Kraftsport gibt, besteht für die Fettzufuhr nur die Richtlinie, einen Anteil von 30 Energieprozent (En%) nicht zu überschreiten und einen Anteil von 20 En% nicht zu unterschreiten [1]. Durch die Angabe der Untergrenze soll gewährleistet werden, dass:

1. ausreichend essenzielle Fettsäuren und fettlösliche Vitamine zugeführt bzw. absorbiert werden,
2. zwischen den Mahlzeiten ein Gefühl der Sättigung besteht,
3. die intramuskulären Triglyceride nach langdauernden Belastungen wieder aufgefüllt werden.

Als Obergrenze der Fettzufuhr im ambitionierten Breiten- und Leistungssport gilt der Richtwert von 30 En% für gesunde Jugendliche und Erwachsene zur Prävention ernährungsmitbedingter Krankheiten [2, 3]. Personen mit erhöhtem Energiebedarf (*physical activity level* [PAL] > 1,7) können höhere Prozentsätze benötigen [3]. Internationale Fachgesellschaften sprechen sich jedoch v. a. in Bezug auf den Ausdauersport für eine Beschränkung der Fettzufuhr auf 30 En% aus, wodurch der Tatsache Rechnung getragen wird, dass die Energielieferung durch Kohlenhydrate vorrangig ist [1].

Zitierweise

Schek A, Braun H, Carlsohn A, Großhauser M, König D, Lampen A, Mosler S, Nieß A, Oberritter H, Schäbenthal K, Stehle P, Virmani K, Ziegenhagen R, Heseke H (2019) Fats in sports nutrition. Position of the working group sports nutrition of the German Nutrition Society (DGE). *Ernährungs Umschau* 66(9): 181–188
The English version of this article is available online:
DOI: 10.4455/eu.2019.042

Peer-Review-Verfahren

begutachtet im Zuge der Erstellung

Fettsäuren	Lebensmittel (Gehalt in En%)
Mehrfach ungesättigte Fettsäuren	
Linolsäure (n-6, essenziell)	Weizenkeimöl (57), Sojaöl (54), Sonnenblumenkerne (31), Kürbiskerne (30)
α -Linolensäure (n-3, essenziell)	Leinöl (54), Walnüsse (13), Walnussöl (12), Rapsöl (9)
Eicosapentaensäure (EPA; n-3)	Hering (8), Sprotte (6), Tunfisch (6), Lachs (4)
Docosahexaensäure (DHA; n-3)	Tunfisch (9), Sprotte (8), Lachs (7), Makrele (5)
Einfach ungesättigte Fettsäuren	Olivenöl (72), Haselnüsse (71), Erdnussöl (57), Avocado (56), Rapsöl (50), Cashewkerne (44), Kürbiskerne (27)
Gesättigte Fettsäuren	Kokosfett (88), Butter (65), Sahne, 30 % F. i. Tr. (56), Gouda, 45 % F. i. Tr. (49), Palmöl (47), Schmalz (40), Speck (39), Vollmilchschokolade (34), Leberwurst (33), Nuss-Nougat-Creme (32), Soße Hollandaise (32), Salami (31), Eigelb (23)
trans-Fettsäuren	sind häufig und zu veränderlichen Anteilen enthalten in z. B.: Frittieröl, Backwaren, Zwieback, Cracker, Kartoffelchips, Instantsuppen, Margarine aus einer Öl-Sorte

Tab. 1: **Lebensmittel mit hohen Gehalten der einzelnen Fettsäuren bzw. verschiedenen Fettsäurearten**
(berechnet mit DGExpert Version 1.9.3.1)

Bei einer Fettzufuhr bis zu 30 En% ist ein Anteil der Fettsäurefraktionen wie folgt anzustreben:

- 7–10 En% gesättigte Fettsäuren (max. ein Drittel der als Fett zugeführten Energie),
- 7 En% mehrfach ungesättigte Fettsäuren (Summe aus n-3- und n-6-Fettsäuren) bzw. bis 10 En%, wenn die Energiezufuhr aus gesättigten Fettsäuren 10 % der Gesamtenergiezufuhr überschreitet,
- einfach ungesättigte Fettsäuren decken die Differenz zum Gesamtfettanteil ab,
- der Anteil der trans-Fettsäuren sollte weniger als 1 En% betragen.

Die empfohlene Zufuhr für die essenziellen Fettsäuren, die im menschlichen Körper nicht gebildet werden können, beläuft sich für Jugendliche und Erwachsene auf 2,5 En% für Linolsäure (n-6) und 0,5 En% für α -Linolensäure (n-3) [3]. Letztere kann im Organismus nur in begrenztem Umfang in die langkettigen n-3-Fettsäuren Eicosapentaen- (EPA) und Docosahexaensäure (DHA) umgewandelt werden [3].

Eine vollwertige Ernährung gemäß den *Lebensmittelbezogenen Ernährungsempfehlungen der DGE* [4, 5] sieht einen hohen Anteil an pflanzlicher Kost und – unter Beachtung einer ausgeglichenen Energiebilanz – eine Zufuhr von Ölen mit hohem Gehalt an α -Linolensäure (Lein-, Walnuss-, Rapsöl) sowie Fischen mit hohem Gehalt an Eicosapentaensäure (EPA) und Docosahexaensäure (DHA) (Hering, Lachs, Makrele) vor. Konkret sollte möglichst ein- bis zweimal pro Woche Fisch aus nachhaltiger Herkunft verzehrt werden [4, 5]. Darüber hinaus sollte der Verzehr von Lebensmitteln mit hohem Anteil an gesättigten (Kokosfett, Palmöl, tierische Produkte) und trans-Fettsäuren (Convenience Food) zugunsten von Lebensmitteln mit hohem Gehalt an einfach ungesättigten Fettsäuren (Oliven-/Rapsöl, Nüsse und Samen) reduziert werden. In ♦ Tabelle 1 sind Lebensmittel mit hohen Gehalten an den genannten Fettsäuren zusammengestellt.

Fettverzehr

Daten zum Fettverzehr im ambitionierten Breitensport sind spärlich, wie die Zusammenstellung in ♦ Tabelle 2 illustriert. Die meisten (Querschnitt-)Studien wurden an LeistungssportlerInnen durchgeführt. Letztere halten den Richtwert von 30 En% Fett, wie bei Schek (2018, S. 15–22) detailliert dokumentiert [6], sowohl im Ausdauer- als auch im (Schnell-) Kraft- und Teamsport überwiegend ein, während die Kohlenhydratzufuhr oft im unteren Bereich der Empfehlung liegt. Im ambitionierten Breitensport scheint dies für die Ausdauerdisziplinen ebenfalls zuzutreffen (♦ Tabelle 2). Darüber hinausgehende Einschätzungen lässt die Datenlage jedoch nicht zu. Angesichts der Popularität von Städtemarathons und hochintensiven Fitnesskursen besteht weiterer Untersuchungsbedarf.

Fragwürdige Vorwettkampfstrategien (*fat loading*)

Seit ca. 35 Jahren wird untersucht, ob sich durch Variation des Fettgehalts in der Nahrung oder durch den Einsatz von Nahrungsergänzungsmitteln die Verfügbarkeit bzw. Oxidationsrate von Fettsäuren in den aktiven Muskeln steigern lässt. Angestrebt wird eine Schonung der Glycogenreserven [9], wodurch *hypothetisch* die Ausdauerleistung verbessert werden kann.

Beim *fat loading* handelt es sich um eine Vorwettkampfstrategie, die entweder drei bis vier

	n	Alter (Jahre)	Training (min/d)	Energie (kcal/d)	KH (g/kg KG/d)	Proteine (g/kg KG/d)	Fette (En%)
Sollwerte des ACSM [1]				bedarfs- deckend	5–12	1,2–2,0	20–30
Ausdauersport							
Moderner Fünfkampf [7]	12 m+w	39,8	64	2 739	5,5	1,6	32
Triathlon [7]	22 m+w	37,4	111	2 925	5,5	1,7	31
Ironman [7]	39 m+w	41,4	143	3 703	7,3	2,1	28
„Ultradistanz“ [8]	55 m	46,4	87	2 681	4,5	1,3	30,4
	12 w	44,3	86	2 205	4,8	1,3	31,1
Fitnesssport							
CrossFit [8]	5 m	25,6	41	3 308	3,4	1,8	39,6
	6 w	31,5	90	2 609	3,8	2,1	38,5

Tab. 2: Bislang an ambitionierten BreitensportlerInnen ermittelte Energie- und Makronährstoffzufuhr zur Veranschaulichung der Nährstoffverteilung in der Praxis

ACSM = American College of Sports Medicine; d = Tag; KG = Körpergewicht; KH = Kohlenhydrate; m = männlich; n = Anzahl; w = weiblich

Stunden vor dem Start (akut) oder fünf und mehr Tage vor dem Wettkampf (chronisch) praktiziert wird. Beim chronischen *fat loading* wird noch weiter in ketogene und nicht-ketogene *low carb high fat* (LCHF)-Diät unterschieden.

In den letzten fünf Jahren ist das Interesse am *fat loading* wiedererwacht [10–13], obwohl nicht viele neue Studien durchgeführt wurden. Da *fat loading* insbesondere unter dem Schlagwort *ketogenic diet* auf Internetplattformen und in Blogs immer häufiger thematisiert wird (40 300 000 Suchergebnisse auf www.google.de am 07.07.2019), werden die verschiedenen Strategien im Folgenden kurz vorgestellt und kritisch beleuchtet.

Akutes *fat loading*

Beim akuten *fat loading* erfolgt der Verzehr einer fettreichen Mahlzeit (60–90 En% Fett) drei bis vier Stunden vor einer Belastung mit Ausdauercharakter. Studien an trainierten Personen zeigen, dass eine fettreiche Vorbelastungsmahlzeit die Zeit bis zur Erschöpfung nicht beeinflusst oder sogar verkürzt:

- Okano et al. (1996; 1998) und Whitley et al. (1998) konnten zwar einen geringfügig höheren Fettsäureanteil an der Energiebereitstellung nachweisen, allerdings nur in einem frühen Stadium der Belastung und ohne Auswirkung auf die Ausdauerkapazität [14–16].
- Wee et al. (1999) fanden einen negativen Einfluss einer hohen Fettzufuhr im Vergleich zu einer hohen Kohlenhydratzufuhr auf die Zeit bis zur Erschöpfung (–14 %), den die Autoren auf eine verzögerte Magenentleerung zurückführten [17].
- Auch im Rahmen einer intermittierenden (Hulton et al., 2013) bzw. hochintensiven Belastung (Hawley et al., 2000) konnte nach einer fettreichen Mahlzeit nur eine geringfügig höhere Fettsäureverfügbarkeit und -oxidation ermittelt werden. Zu einer Leistungsverbesserung kam es nicht [18, 19].

Die Bekömmlichkeit der fettreichen Vorbelastungsmahlzeit bzw. das Wohlbefinden der Probanden wurde in keiner der genannten Studien untersucht. Allerdings lässt sich besonders im Ausdauersport ein Zusammenhang zwischen hoher Fettzufuhr und gastrointestinalen Beschwerden beobachten [20].

Ketogene LCHF-Diät (kurz: ketogene Diät)

Diese Diät, die besonders mit dem Ziel einer Gewichtsreduktion u. U. wochenlang durchgeführt wird, obwohl nicht erwiesen ist, dass sie einen Vorteil gegenüber energiereduzierten Kostformen aufweist, zeichnet sich durch einen Fettanteil von 75–85 En%, einen Proteinanteil von 15–25 En% und einen Kohlenhydratgehalt von < 50 g/Tag aus. Die Untersuchungen, die mehrheitlich im Ausdauerbereich durchgeführt wurden, lassen keine positiven Wirkungen auf die Leistungsfähigkeit oder sogar negative Effekte erkennen:

- Phinney et al. (1983) konnten an Fahrradfahrern keinen Einfluss auf die Zeit bis zur Erschöpfung nachweisen, weshalb sie schlussfolgerten: „Der Preis für die Glycogeneinsparung scheint eine Begrenzung der Intensität zu sein, mit der die Belastung durchgeführt werden kann“ [21].
- Zajac et al. (2014) fanden zwar eine geringfügige Steigerung der relativen Sauerstoffaufnahme, die jedoch der Gewichtsabnahme um 1,8 kg (in vier Wochen) geschuldet war. Die maximale Leistung auf dem Fahrradergometer fiel schlechter aus [22].
- Zinn et al. (2017) wiesen neben einer Gewichtsabnahme von 4 kg (in zehn Wochen) eine früher eintretende Erschöpfung im Fahrradergometer-Stufentest nach [23].
- Heatherly et al. (2018) fanden trotz nachweislich geringeren Glucoseoxidationsraten keinen Einfluss auf diverse Leistungsparameter während fünf 10-minütigen Läufen mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten und einem 5 km-Lauf auf Zeit. Sie argumentieren, dass mögliche Leistungseinbußen

durch die beobachtete Gewichtsabnahme von 2,5 kg (in drei Wochen) kompensiert wurden [24].

- McSwiney et al. (2018) ermittelten keinen Einfluss auf das Ergebnis im 100 km-Zeitfahren. Der Anstieg der relativen Leistung im simulierten Endspurt lässt sich auf ein verbessertes Kraft-zu-Masse-Verhältnis infolge einer Gewichtsreduktion um 5 kg (in drei Monaten) zurückführen [25].
- Burke et al. (2017) zeigten unter Wettkampfbedingungen, dass die 10 km-Zeit im Gehen nach einer 3-wöchigen ketogenen Diät nicht verbessert werden konnte – im Gegensatz zu den Ergebnissen nach einer chronisch oder periodisiert hohen Kohlenhydratzufuhr. Die VerfasserInnen vermuten, dass die kohlenhydratarme Diät einen positiven Trainingseffekt verhinderte, was sich zum Teil auf eine reduzierte Bewegungsökonomie zurückführen ließ [26].
- Mujika (2018) beschreibt im Rahmen einer Einzelfallstudie, dass ein Weltklasse-Triathlet während einer 8-monatigen Reduktion der Kohlenhydratzufuhr auf < 52 g/Tag von Top-Platzierungen auf den 18. bzw. 14. Platz zurückfiel und einen Wettkampf abbrechen musste. Nach Umstellung auf eine kohlenhydratreiche Ernährung belegte er in weiteren Ironman-Triathlons den 2. bzw. 4. Platz und fühlte sich psychisch ausgeglichener [27].
- Im Rahmen eines hochintensiven Intervalltrainings (Cipryan et al., 2018) und in drei Studien in kraftbetonten Sportarten (Übersicht bei López Laval & Sitko, 2019) ließ sich kein Einfluss auf die Leistung nachweisen [28, 29].

Bei der Betrachtung der Lebensmittelauswahl bei ketogener Diät fällt auf, dass diese nicht konform mit den lebensmittelbezogenen Empfehlungen der DGE für eine vollwertige Ernährung [4, 5] ist. Lebensmittel mit hoher Mikronährstoffdichte, wie z. B. Obst, Kartoffeln und Getreideprodukte, können nur sehr eingeschränkt verzehrt werden. Dementsprechend sind bei langzeitiger Anwendung negative Effekte auf Gesundheit, Nährstoffversorgung und Leistungsfähigkeit möglich.

Nicht-ketogene LCHF-Diät

Bei dieser Diät, die die Lebensmittelauswahl ebenfalls so stark einschränkt, dass sie nicht mehr vollwertig ist, werden über eine bis mehrere Wochen vor einem Wettkampf 60–70 En% Fett und je 15–20 En% Proteine bzw. Kohlenhydrate verzehrt. Anhand von

ausdauerorientierten Studien lässt sich ableiten, dass die nicht-ketogene LCHF-Diät keinen nennenswerten oder sogar einen negativen Einfluss auf die Leistung hat:

- In der von O’Keeffe et al. (1989) bislang einzigen an Frauen durchgeführten Studie zeigte sich eine Verschlechterung der Ausdauerkapazität [30].
- Lambert et al. (1994) ermittelten zwar eine Verlängerung der Zeit bis zur Erschöpfung, allerdings nach einem vorausgehenden, die Muskelglycogenreserven stark beanspruchenden, supramaximalen Belastungstest, was mit den Gegebenheiten in der Praxis wenig Gemeinsamkeiten hat [31].
- Zwei weitere Studien (Rowlands & Hopkins, 2002; Vogt, 2003) konnten keinen Einfluss auf die maximale Sauerstoffaufnahme, die Distanz, Dauer oder Leistung im Zeitfahren oder auf die Halbmarathonzeit nachweisen [32, 33].

Aus dem bisher über *fat loading*-Strategien Dargestellten lässt sich schließen, dass die durch erhöhte Fettzufuhr mäßig gesteigerte Fettsäureoxidationsrate [34] keinen Vorteil hinsichtlich der (Ausdauer-)Leistung hat. Eine mögliche Ursache dafür könnte sein, dass die geringe Kohlenhydratzufuhr mit einer verringerten Glycogen- bzw. Glucoseverfügbarkeit einhergeht [35]. Es ist anzunehmen, dass der Nachteil reduzierter muskulärer Glycogenreserven den Vorteil eines Glycogenspareffekts während Belastung überlagert.

LCHF-Diät in Kombination mit *carbohydrate loading*

In dem Versuch, den möglichen Nachteil einer suboptimalen Glycogenspeicherung durch LCHF-Diät zu vermeiden, wurde in mehreren Studien an eine 5- bis 11-tägige nicht-ketogene LCHF-Diät ein 1- bis 3-tägiges *carbohydrate loading* mit 7–11 g Kohlenhydraten/kg KG/d angeschlossen. Die Untersuchungsergebnisse lassen jedoch vermuten, dass die Kombination von LCHF-Diät mit *carbohydrate loading* die Ausdauerleistung nicht positiv beeinflusst:

- In fünf Studien konnte keine Wirkung auf die benötigte Zeit oder die zurückgelegte Distanz im Zeitfahren im Anschluss an eine Ausdauerbelastung bei mittlerer Intensität festgestellt werden [31, 36–39], in einer Studie eine Verbesserung um 4 % [40].
- In der realitätsnahen Untersuchung von Havemann et al. (2006) an RadrennfahrerInnen wurde eine geringere Leistung im Endspurt nachgewiesen. Die AutorInnen schlussfolgern: „Die Adaptation an eine LCHF-Diät, die mit einer anschließenden Wiederauffüllung der Glycogenspeicher kombiniert wird, erhöht zwar die Fettsäureoxidation im Verlauf der Belastung (...), verringert aber gleichzeitig die hochintensive Sprintleistung, die mit einer Steigerung der Muskelfaserrekrutierung, der gefühlten Anstrengung und der Herzfrequenz einhergeht“ [41].

Zusammenfassend ist davon auszugehen, dass bei Zwischensprints und Endspurts die Glycolyse durch eine LCHF-Diät bedingte Herunterregulation der Pyruvatdehydrogenase-Aktivität eingeschränkt wird [34]. Das bedeutet, dass die Hochregulation der Fettsäureoxidation letztlich eher eine Beeinträchtigung der Glycogenverwendung als einen Glycogenspareffekt nach sich zieht [35]. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, dass die während einer Belastung nach *fat loading* höheren Konzentrationen an freien Fettsäuren und Ammoniumionen im Blutplasma die zen-

trale Ermüdung begünstigen [42]. Deshalb wird von fettreichen Ernährungspraktiken abgeraten.

Nahrungsergänzungsmittel zur angeblichen Steigerung der Fettsäureoxidation

Wiederkehrend wurde der Einfluss verschiedener Nahrungsergänzungsmittel (NEM) auf die Fettsäureverfügbarkeit bzw. -oxidationsrate untersucht. Die *Hypothese* hinter diesen Untersuchungen ist, dass eine Beschleunigung der Energiebereitstellung aus Fettsäuren Glycogen einsparen und so die Ausdauerleistung erhöhen könnte. Inwiefern die Verwendung entsprechender NEM tatsächlich Sinn macht oder nicht, wird im Folgenden diskutiert.

Koffein

Koffein stand bis 2004 auf der Dopingliste. Bis zu dieser Zeit wurde davon ausgegangen, dass das Alkaloid die Adrenalinausschüttung stimuliert, wodurch vermehrt Fettsäuren aus Adipozyten und Myozyten mobilisiert werden, die als Energiequelle genutzt werden können [43]. Graham et al. (2000) zeigten jedoch, dass Koffein weder die Aufnahme von Fettsäuren in die arbeitenden Muskeln erhöht, noch den Fett- bzw. Kohlenhydratstoffwechsel beeinflusst [44]. Ebenso wenig konnten Greer et al. (2000) trotz einer Verlängerung der Zeit bis zur Erschöpfung einen Einfluss auf den muskulären Glycogenabbau nachweisen [45]. Daher wurde die metabolische Theorie verworfen.

Die Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) bescheinigt Koffein als Adenosinrezeptor-Antagonist eine positive Wirkung auf die Aufmerksamkeit und die Konzentration, wenn einmalig 75 mg (etwa eine Tasse Kaffee) zugeführt werden [46], bzw. eine günstige Beeinflussung von Ausdauerleistung und -kapazität bei einer Zufuhr von 3 mg/kg KG [47]. Über die gesundheitlichen Risiken von Koffein klärt die „Position der Arbeitsgruppe Sporternährung der DGE: Sicherheitsaspekte bei Nahrungsergänzungsmitteln im Sport“ auf [48].

Carnitin

Carnitin fungiert bei moderater Belastungsintensität als Carrier von langkettigen Fettsäureresten durch die innere Mitochondrienmembran und puffert bei hoher Belastungsintensität überschüssige Acetylreste, wodurch der Pool an freiem Coenzym A, das für Oxidationsreaktionen (Pyruvatdehydrogenase, Citratzyklusenzyme) unerlässlich ist, erhalten bleibt [34, 49, 50]. Sämtliche Studien, die den Effekt einer Carnitin-Supplementation von 2–6 g/Tag über einen Zeitraum von 1–16 Wochen untersuchten, zeigten, dass Carnitin per se weder den Anteil der Fette und Kohlenhydrate an der Energiebereitstellung beeinflusst noch die Ausdauerleistung verbessert oder den Körperfettgehalt reduziert [49, 51]. Grund dafür ist, dass oral zugeführtes Carnitin die Carnitin-Konzentration in den Muskelzellen nicht erhöht [49, 50]. Dies ist nur möglich, wenn Carnitin zusammen mit großen Mengen (2 x 80 g/Tag) an schnell verfügbaren Kohlenhydraten verabreicht wird [50, 52, 53], was ernährungsphysiologisch nicht wünschenswert ist.

Gemäß EFSA hat Carnitin keinen günstigen Effekt auf die Ausdauerkapazität oder die Regeneration [54]. Im Rahmen der Prüfung von Carnitintartrat für die Verwendung in bestimmten Lebensmitteln hat die EFSA eine beabsichtigte Zufuhr, die 2 g Carnitin pro Tag entspricht, als gesundheitlich verträglich bewertet und festgestellt, dass in Verträglichkeitsstudien über Magen-Darm-Beschwerden erst ab Zufuhren von 4–6 g Carnitin pro Tag berichtet wurden [55].

Fischöl

Fischöl, das reich an EPA und DHA ist, wurde erstmals von Simopoulos (2007) speziell für sportliche Zwecke empfohlen [56]. *In vitro* bewirkt EPA eine Induktion der Genexpression der Acetyl-CoA-Carboxylase, die die Fettsäureoxidation in den Mitochondrien reguliert [57]. Humanstudien belegen jedoch weder in Ruhe [58] noch bei Belastung [59] einen Einfluss langkettiger n-3-Fettsäuren auf die anteilige Energiebereitstellung aus Fett und Kohlenhydraten. Das erklärt, warum Fischöl sich nicht auf die Ausdauerleistung auswirkt, wie Da Boit et al. (2017) in ihrer Übersichtsarbeit darlegten [60].

Seitens der EFSA bestehen bei Erwachsenen bei kombinierter Supplementation mit EPA und DHA bei Gaben von zusammen bis zu 5 g pro Tag bzw. bei alleiniger Supplementation mit EPA von bis zu 1,8 g/Tag keine gesundheitlichen Bedenken. Bei alleiniger Supplementation mit DHA gilt dies für Gaben von bis zu ungefähr 1 g/Tag für die Allgemeinbevölkerung [61].

Mittelkettige Triglyceride (MCT)

Mittelkettige Triglyceride (MCT) sind Fettsäuren mit mittlerer Kettenlänge (6–12 C-Atome). Sie können zur Energiegewinnung in der Skelettmuskulatur beitragen, allerdings nur in einem Ausmaß von 3–8 % aller oxidierten Fettsäuren [62–64]. Die maximale Oxidationsrate von 0,12 g/min wird nach ungefähr 2- bis 3-stündiger Belastung erreicht [62–64]. Die wenigen Studien, die den Einfluss einer kombinierten Zufuhr von MCT und Kohlenhydraten vor und während einer Ausdauerbelastung untersucht haben, geben mehrheitlich keinen Hinweis auf eine glycogensparende oder leistungssteigernde Wirkung [65–69]. Einzig van Zyl et al. (1996), die ihren Probanden während einer Ausdauerbelastung 86 g MCT verabreichten, ermittelten in dem anschließenden Zeitfahren eine verbesserte Leistung [70]. Eine Leistungseinbuße dagegen stellten Goeckede et al. (2005) im Rahmen einer Ausdauerbe-

lastung fest, während der insgesamt 148 g MCT supplementiert worden waren. Die AutorInnen vermuteten, dass die von einigen Probanden berichteten gastrointestinalen Beschwerden (v. a. Darmkrämpfe) zu der Leistungsbeeinträchtigung beigetragen haben [71]. Ivy et al. hatten 1980 erstmals beschrieben, dass nach einem Bolus von 50 oder 60 g MCT bei 100 % der Probanden Magen-Darm-Beschwerden aufgetreten waren. Durch Reduktion der Dosis auf 30 g traten diese nur noch bei 10 % der Probanden auf [72]. Décombaz et al. (1983) verwendeten Einmaldosierungen von 25 g MCT, weil bei dieser Menge in Voruntersuchungen keine Unverträglichkeiten aufgetreten waren [73]. Jeukendrup et al. [62, 74] erachten eine einmalige Verabreichung von etwa 30 g MCT vor sportlichen Belastungen als Obergrenze. Diese Menge ist jedoch zu gering, um die Leistung zu beeinflussen.

Kokosöl

Im Rahmen der ketogenen Diät zur Gewichtsreduktion erleben MCT in Form von Kokosöl derzeit ein Revival [75]. Kokosöl enthält rund 54 % Fettsäuren mit mittlerer Kettenlänge, wovon allerdings nur die 12 % mit 8 und 10 C-Atomen in der Leber rasch in Ketosäuren umgewandelt werden [76]. MCT können nicht zur Unterstützung einer Gewichtsabnahme empfohlen werden [2, 77]. Denn wegen der begrenzten durchschnittlichen Verträglichkeitsgrenze von etwa 60 g pro Tag, die erreicht wird, wenn eine anfängliche MCT-Zufuhr von 20 g/Tag langsam um 5–10 g/Tag gesteigert wird, können nur 80–120 kcal eingespart werden [77]. Daher ist davon auszugehen, dass Kokosöl kein probates Mittel ist, um bspw. im Rahmen der unmittelbaren Wettkampfvorbereitung Gewicht zu reduzieren.

Fazit

Im Gegensatz zu den Kohlenhydraten und Proteinen, für die international Zufuhrempfehlungen in g pro kg Körpergewicht und Tag für verschiedene Sportarten abgeleitet wurden, wird der Richtwert für die Fettzufuhr in Prozent der Energiezufuhr angegeben. Die Ernährung von ambitionierten Breiten- und LeistungssportlerInnen sollte höchstens 30 und mindestens 20 En% Fett liefern, wobei ein gesundheitsförderliches Fettsäuremuster zu berücksichtigen ist.

Versuche, die Fettsäureverfügbarkeit mithilfe von akuten oder chronischen *fat loading*-Stra-

tegien (mit oder ohne anschließender Wiederauffüllung der Glycogenreserven) zu erhöhen, haben gezeigt, dass sich zwar die Fettsäureoxidationsrate steigern lässt, sich dies jedoch nicht in einer Verbesserung der Ausdauerleistung niederschlägt. Im ungünstigsten Fall kann es sogar zu einer Beeinträchtigung der Leistung in Zwischen- und Endspurts kommen, weshalb von *low carb high fat* (LCHF)-Diäten abgeraten wird.

Der Einsatz von Nahrungsergänzungsmitteln, die die Fettsäureverfügbarkeit/-oxidation (angeblich) erhöhen, zeigt keine leistungsförderlichen Effekte und wird daher nicht befürwortet.

Danksagung

Für die kritische Durchsicht des Manuskripts bedanken sich die AutorInnen bei Dr. Angela Bechthold und Birte Peterson-Sperlich vom Referat Wissenschaft der DGE.

Korrespondierender Autor:

Klaus Schäbethal
schaebethal@dge.de

Dr. Alexandra Schek¹

Hans Braun²

Prof. Dr. Anja Carlsohn³

Dr. Mareike Großhauser⁴

Prof. Dr. Daniel König⁵

Prof. Dr. Dr. Alfonso Lampen⁶

Dr. Stephanie Mosler⁷

Prof. Dr. Andreas Nieß⁸

Dr. Helmut Oberritter⁹

Klaus Schäbethal⁹

Prof. Dr. Peter Stehle¹⁰

Dr. Kiran Virmani⁹

Dr. Rainer Ziegenhagen⁶

Prof. Dr. Helmut Hesecker¹¹

¹ Redaktion Leistungssport (DOSB)

² Institut für Biochemie
Deutsches Forschungszentrum für Leistungssport – Momentum Deutsche
Sporthochschule Köln

³ Fakultät Life Sciences/Department Ökotrophologie
Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

⁴ Olympiastützpunkt Rheinland-Pfalz/Saarland

⁵ Institut für Sport und Sportwissenschaft
Arbeitsbereich Ernährung Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

⁶ Abteilung Lebensmittelsicherheit (Abt. 5)
Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR)

⁷ Institut für Gesundheitswissenschaften
Abteilung Ernährung, Konsum und Mode
Pädagogische Hochschule Schwäbisch Gmünd
Olympiastützpunkt Stuttgart

⁸ Abteilung Sportmedizin
Medizinische Klinik
Universitätsklinikum Tübingen

⁹ Deutsche Gesellschaft für Ernährung e. V. (DGE)

¹⁰ Institut für Ernährungs- und Lebensmittelwissenschaften Ernährungsphysiologie
Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn

¹¹ Institut für Ernährung, Konsum und Gesundheit
Fakultät für Naturwissenschaften Universität Paderborn

Interessenkonflikt

Die AutorInnen erklären, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Literatur

1. Thomas DT, Erdmann KA, Burke LM (2016) American College of Sports Medicine joint position statement: nutrition and athletic performance. *Med Sci Sports Exerc* 48: 543–568
2. Deutsche Gesellschaft für Ernährung (Hg). Fettzufuhr und Prävention ausgewählter ernährungsmitbedingter Krankheiten – Evidenzbasierte Leitlinie. 2. Version 2015. Bonn (2015) URL: www.dge.de/wissenschaft/leitlinien/leitlinie-fett/ Zugriff 19.11.17
3. Deutsche Gesellschaft für Ernährung, Österreichische Gesellschaft für Ernährung, Schweizerische Gesellschaft für Ernährung (Hg). Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr. 2. Aufl., 3. aktualisierte Ausgabe, Bonn (2017)
4. Deutsche Gesellschaft für Ernährung (Hg). Vollwertig essen und trinken nach den 10 Regeln der DGE (2017) URL: www.dge.de/ernaehrungspraxis/vollwertige-ernaehrung/10-regeln-der-dge/ Zugriff 19.08.18
5. Deutsche Gesellschaft für Ernährung (Hg). Der DGE-Ernährungskreis – Beispiel für eine vollwertige Lebensmittelauswahl (2019) URL: www.dge.de/ernaehrungspraxis/vollwertige-ernaehrung/ernaehrungskreis/ Zugriff 19.08.18
6. Schek A. Top ernährt im Sport. BoD, Norderstedt (2018)
7. Masson G, Lamarche B (2016) Many non-elite multisport endurance athletes do not meet sports nutrition recommendations for carbohydrates. *Appl Physiol Nutr Metab* 41: 728–734
8. Wardenaar F, Brinkmans N, Ceelen I et al. (2017) Macronutrient intakes in 553 Dutch elite and sub-elite endurance, team, and strength athletes: does intake differ between sport disciplines? *Nutrients* 9: 119
9. Spriet LL (2014) New insights into the interaction of carbohydrate and fat metabolism during exercise. *Sports Med* 44(Suppl 1): 87S–96S
10. Brukner P (2013) Challenging beliefs in sports nutrition: are two 'core principles' proving to be myths ripe for busting? *Brit J Sports Med* 47: 663–664
11. Helge JW (2017) A high carbohydrate diet remains the evidence based choice for elite athletes to optimise performance. *J Physiol* 595: 2775
12. Noakes T, Volek JS, Phinney SD (2014) Low carbohydrate diets for athletes: what evidence? *Brit J Sports Med* 48: 1077–1078
13. Volek JS, Noakes T, Phinney SD (2015) Rethinking fat as a fuel for endurance exercise. *Eur J Sport Sci* 15: 13–20
14. Okano G, Sato Y, Murata Y (1998) Effect of elevated FFA levels on endurance performance after a single fat meal ingestion. *Med Sci Sports Exerc* 30: 763–768
15. Okano G, Sato Y, Takumi Y, Sugawara M (1996) Effect of 4-h pre-exercise high carbohydrate and high fat meal ingestion on endurance performance and metabolism. *Int J Sports Med* 17: 530–534
16. Whitley HA, Humphreys SM, Campbell IT et al. (1998) Metabolic and performance responses during endurance exercise after high-fat and high-carbohydrate meals. *J Appl Physiol* 85: 418–424
17. Wee SL, Williams C, Garcia-Roves P (1999) Carbohydrate availability determines endurance running capacity in fasted subjects. *Med Sci Sports Exerc* 31(5), Suppl (abstract 299): 91S
18. Hulton AT, Edwards JP, Gregson W et al. (2013) Effect of fat and CHO meals on intermittent exercise in soccer players. *Int J Sports Med* 34: 165–169
19. Hawley JA, Burke LM, Angus DJ et al. (2000) Effect of altering substrate availability on metabolism and performance during intense exercise. *Br J Nutr* 84: 829–838
20. Hoogervorst D, van der Burg N, Versteegen JJ et al. (2019) Gastrointestinal complaints and correlations with self-reported macronutrient intake in independent groups of (ultra) marathon runners competing at different distances. *Sports (Basel)* 7: E140
21. Phinney SD, Bistrian BR, Evans WF (1983) The human metabolic response to chronic ketosis without caloric restriction: preservation of submaximal exercise capacity with reduced carbohydrate oxidation. *Metabolism* 32: 769–776
22. Zajac A, Poprzecki S, Maszczyk A et al. (2014) The effects of a ketogenic diet on exercise metabolism and physical performance in off-road cyclists. *Nutrients* 6: 2493–2508
23. Zinn C, Wood M, Williden M et al. (2017) Ketogenic diet benefits body composition and well-being but not performance in a pilot case study of New Zealand endurance athletes. *JISSN* 14: 22 ff
24. Heatherly AJ, Killen LG, Smith AF et al. (2018) Effects of ad libitum low-carbohydrate high-fat dieting in middle-age male runners. *Med Sci Sports Exerc* 50: 570–579
25. McSwiney FT, Wardrop B, Hyde PN et al. (2018) Keto-adaptation enhances exercise performance and body composition responses to training in endurance athletes. *Metabolism* 81: 25–34
26. Burke LM, Ross ML, Garvican-Lewis LA 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* 595: 2785–2807
27. Mujika I (2019) Case study: long-term low-carbohydrate, high-fat diet impairs performance and subjective well-being in a world-class vegetarian long-distance triathlete. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 29: 339–344
28. Cipryan L, Plews DJ, Ferretti A et al. (2018) Effects of a 4-week very low-carbohydrate diet on high-intensity interval training responses. *J Sport Sci Med* 17: 259–268
29. López Laval I, Sitko S (2019) Dietas bajas en hidratos de carbon y rendimiento deportivo: revision sistemática. *J Neg No Pos Results* 4: 634–643
30. O'Keeffe KA, Keith RE, Wilson GD, Blessing DL (1989) Dietary carbohydrate intake and endurance exercise performance of trained female cyclists. *Nutr Res* 9: 819–830
31. Lambert EV, Speechly DP, Dennis SC, Noakes TD (1994) Enhanced endurance in trained cyclists during moderate intensity exercise following 2 weeks adaptation to high fat diet. *Eur J Appl Physiol* 69: 287–293
32. Rowlands DS, Hopkins WG (2002) Effects of high-fat and high-carbohydrate diets on metabolism and performance in cycling. *Metabolism* 51: 678–690
33. Vogt M, Puntschart A, Howald H et al. (2003) Effects of dietary fat on muscle substrates, metabolism, and performance in athletes. *Med Sci Sports Exerc* 35: 952–960
34. Purdom T, Kravitz L, Dokladny K, Mermier C (2018) Understanding the factors that effect maximal fat oxidation. *JISSN* 15: 3 ff
35. Burke LM (2015) Re-examining high-fat diets for sports performance: did we call the 'nail in the coffin' too soon? *Sports Med* 45(Suppl 1): S33–S49
36. Burke LM, Angus DJ, Cox GR et al. (2000) Effect of fat adaptation and carbohydrate restoration on metabolism and performance during prolonged cycling. *J Appl Physiol* 89: 2413–2421
37. Burke LM, Hawley JA, Angus DJ et al. (2002) Adaptations to short-term high-fat diet persist during exercise despite high carbohydrate availability. *Med Sci Sports Exerc* 34: 83–91
38. Carey AL, Staudacher HM, Cummings NK et al. (2001) Effects of fat adaptation and carbohydrate restoration on prolonged endurance exercise. *J Appl Physiol* 91: 115–122
39. Noakes T (2004) Fat adaptation and prolonged exercise performance. *J Appl Physiol* 96: 1243–1244
40. Lambert EV, Goedecke JH, van Zyl CG et al. (2001) High-fat

- versus habitual diet prior to carbohydrate loading: effects on exercise metabolism and cycling performance. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 11: 209–225
41. Havemann L, West SJ, Goedecke HJ et al. (2006) Fat adaptation followed by carbohydrate-loading compromises high-intensity sprint performance. *J Appl Physiol* 100: 194–202
 42. Chang CK, Borer K, Lin PJ (2017) Low-carbohydrate-high-fat diet: can it help exercise performance? *J Hum Kinet* 56: 81–92
 43. Costill DL, Dalsky GP, Fink WJ (1978) Effects of caffeine ingestion on metabolism and exercise performance. *Med Sci Sports Exerc* 10: 155–158
 44. Graham TE, Helge JW, MacLean DA et al. (2000) Caffeine ingestion does not alter carbohydrate or fat metabolism in human skeletal muscle during exercise. *J Physiol* 529(Pt 3): 837–847
 45. Greer F, Friars D, Graham TE (2000) Comparison of caffeine and theophylline ingestion: exercise metabolism and endurance. *J Appl Physiol* 89: 1837–1844
 46. EFSA (2011) Scientific opinion on the substantiation of health claims related to caffeine and increased fat oxidation (...). *EFSA Journal* 9: 2054
 47. EFSA (2011) Scientific opinion on the substantiation of health claims related to caffeine and increase in physical performance (...). *EFSA Journal* 9: 2053
 48. Ziegenhagen R, Braun H, Carlsohn A et al. Safety aspects of dietary supplements in sports. Position of the working group sports nutrition of the German Nutrition Society (DGE). *Ernährungs Umschau* [submitted]
 49. Schek A (1994) L-Carnitin: Sinn und Unsinn der Substitution einer körpereigenen Substanz (Teil 1 + 2). *Ernährungs Umschau* 41(1 + 2): 9–15 + 60–67
 50. Stephens FB, Constantin-Teodosiu D, Greenhaff PL (2007) New insights concerning the role of carnitine in the regulation of fuel metabolism in skeletal muscle. *J Physiol* 581(Pt 2): 431–444
 51. Brass EP (2000) Supplemental carnitine and exercise. *Am J Clin Nutr* 72(2 Suppl): 618S–623S
 52. Stephens FB, Wall BT, Marimuthu K et al. (2013) Skeletal muscle carnitine loading increases energy expenditure, modulates fuel metabolism gene networks and prevents body fat accumulation in humans. *J Physiol* 591: 4655–4666
 53. Wall BT, Stephens FB, Constantin-Teodosiu D et al. (2011) Chronic oral ingestion of L-carnitine and carbohydrate increases muscle carnitine content and alters muscle fuel metabolism during exercise in humans. *J Physiol* 589(Pt 4): 963–973
 54. EFSA (2011) Scientific opinion on the substantiation of health claims related to L-carnitine (...). *EFSA Journal* 9: 2212
 55. EFSA (2003) Opinion of the Scientific Panel on food additives, flavourings, processing aids and materials in contact with food (AFC) on a request from the commission related to L-carnitine-L-tartrate for use in foods for particular nutritional uses. *EFSA Journal* 19: 1–13
 56. Simopoulos AP (2007) Omega-3 fatty acids and athletics. *Curr Sports Med Rep* 6: 230–236
 57. Hessvik NP, Bakke SS, Frederiksson K et al. (2010) Metabolic switching of human myotubes is improved by n-3 fatty acids. *J Lipid Res* 51: 2090–2104
 58. Noreen EE, Sass MJ, Crow ML et al. (2010) Effects of supplemental fish oil on resting metabolic rate, body composition, and salivary cortisol in healthy adults. *J Int Soc Sports Nutr* 7: 31
 59. Bortolotti M, Tappy L, Schneiter P (2007) Fish oil supplementation does not alter energy efficiency in healthy males. *Clin Nutr* 26: 225–230
 60. Da Boit M, Hunter AM, Gray SR (2017) Fit with good fat? The role of n-3 polyunsaturated fatty acids on exercise performance. *Metabolism* 66: 45–54
 61. EFSA (2012) Tolerable upper intake level of EPA, DHA and DPA. *EFSA Journal* 10: 2815
 62. Jeukendrup AE, Saris WHM, Schrauwen P et al. (1995) Metabolic availability of medium-chain triglycerides co-ingested with carbohydrates during prolonged exercise. *J Appl Physiol* 79: 756–762
 63. Jeukendrup AE, Saris WHM, van Diesen R et al. (1996) Effect of endogenous carbohydrate availability on oral medium-chain triglyceride oxidation during prolonged exercise. *J Appl Physiol* 80: 949–954
 64. Massicotte D, Péronnet F, Brisson GR, Hillaire-Marcel C (1992) Oxidation of exogenous medium-chain free fatty acids during prolonged exercise: comparison with glucose. *J Appl Physiol* 73: 1334–1339
 65. Angus DJ, Hargreaves M, Dancy J, Febbraio MA (2000) Effect of carbohydrate or carbohydrate plus medium chain triglyceride ingestion on cycling time trial performance. *J Appl Physiol* 88: 113–119
 66. Goedecke JH, Elmer-English R, Dennis SC et al. (1999) Effects of medium-chain triacylglycerol ingested with carbohydrate on metabolism and exercise performance. *Int J Sport Nutr* 9: 35–47
 67. Jeukendrup AE, Saris WHM, Brouns F et al. (1996) Effects of carbohydrate (CHO) and fat supplementation on CHO metabolism during prolonged exercise. *Metabolism* 45: 915–921
 68. Jeukendrup AE, Thielen JJ, Wagenmakers AJM et al. (1998) Effect of MCT and carbohydrate ingestion on substrate utilization and cycling performance. *Am J Clin Nutr* 67: 397–404
 69. Vistisen B, Nybo L, Xu X et al. (2003) Minor amounts of medium-chain triglyceride ingestion on carbohydrate metabolism and cycling performance. *J Appl Physiol* 95: 2434–2443
 70. Van Zyl CG, Lambert EV, Hawley JA et al. (1996) Effects of medium-chain triglyceride ingestion on carbohydrate metabolism and cycling performance. *J Appl Physiol* 80: 2217–2225
 71. Goedecke JH, Clark VL, Noakes TD, Lambert EV (2005) The effects of medium-chain triacylglycerol and carbohydrate ingestion on ultra-endurance exercise performance. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 15: 15–27
 72. Ivy JL, Costill DL, Fink WJ, Maglischo E (1980) Contribution of medium and long chain triglyceride intake to energy metabolism during prolonged exercise. *Int J Sports Med* 1: 15–20
 73. Décombaz J, Arnaud MJ, Milon H et al. (1983) Energy metabolism of medium-chain triglycerides versus carbohydrates during exercise. *Eur J Appl Physiol* 52: 9–14
 74. Jeukendrup AE, Saris WHM, Wagenmakers AJM (1998) Fat metabolism during exercise: a review. Part III: Effects of nutritional interventions. *Int J Sports Med* 19: 371–379
 75. Fife B. *The Coconut Ketogenic Diet*. Piccadilly Books, Colorado Springs (2014)
 76. Vandenbergh C, Castellano CA, Maltais M et al. (2016) A short-term intervention combining aerobic exercise with medium-chain triglycerides (MCT) is more ketogenic than either MCT or aerobic exercise alone: a comparison of normoglycemic and prediabetic older women. *Appl Physiol Nutr Metab* 44: 66–73
 77. Deutsche Gesellschaft für Ernährung (Hg). *Mittelkettige Triglyceride für die Adipositas-therapie nicht empfehlenswert* (2011) URL: www.dge.de/wissenschaft/weitere-publikationen/fachinformationen/mittelkettige-triglyceride-adipositas-therapie/ Zugriff 03.02.18

DOI: 10.4455/eu.2019.042