

## L-Carnitin – physiologische Leistungssteigerung

Der Name Carnitin stammt vom lateinischen Wort carne (= Fleisch), da dieser vitaminähnliche Nährstoff fast ausschließlich in Fleisch enthalten ist. Reich an L-Carnitin sind alle Gewebe, die ihren Energiebedarf hauptsächlich aus Fetten decken, wie das Herz, die Muskeln, die Leber und die Nieren. Eine gute Versorgung mit L-Carnitin lässt die Muskulatur und das Herz-Kreislauf-System weniger schnell ermüden, da L-Carnitin die Sauerstoffaufnahme bei körperlicher Belastung erleichtert. Die Durchblutung wird durch L-Carnitin gefördert und Gefäße erweitert. Studien haben gezeigt, dass auch die sportliche Leistung und Regeneration durch L-Carnitin verbessert werden kann. Das Immunsystem wird durch L-Carnitin gestärkt, vor allem die Abwehrzellen unseres Körpers.

L-Carnitin wird therapeutisch unter anderem bei Herz-Kreislauf-Krankheiten (z. B. Herzmuskelschwäche), Durchblutungsstörungen, Krebs (z. B. Fatigue-Syndrom), Nierenerkrankungen (z. B. Blutwäsche) und beim Post-Polio-Syndrom erfolgreich eingesetzt. Die dabei messbare Steigerung der körperlichen Leistungsfähigkeit durch L-Carnitin ist auch im Sportbereich interessant. Vor allem bei Ausdauersportarten wie Radrennen, Marathonlauf und Schwimmen ist der Körper auf eine optimale Versorgung mit L-Carnitin angewiesen. Eine unzureichende Verfügbarkeit von L-Carnitin (L-Carnitin-Insuffizienz) kann sich daher durch eine ungenügende Energieverwertung leistungsmindernd auswirken. Studien haben gezeigt, dass L-Carnitin die Erholungsphasen nach einer sportlichen Anstrengung verkürzt und dem Auftreten eines Muskelkaters entgegenwirken kann. Auch eine geringe Belastung des Sportlers mit freien Radikalen im Blut und Stärkung seines Immunsystems konnte nachgewiesen werden. Neueste Studien an Radfahrern zeigen, dass die messbare Maximalleistung durchschnittlich um 10 bis 20% bei Carnitinergänzung gesteigert werden kann (112).

Tab. 99: L-Carnitin - Wichtige Aufgaben und Funktionen

Fettstoffwechsel	Transport von Fettsäuren in die Zellkraftwerke unserer Körperzellen
Energiestoffwechsel	Energiegewinnung (ATP-Produktion) aus der Fettverbrennung
Mitochondrienschutz	Entgiftung der Mitochondrien von giftigen Stoffwechselabfällen
Herzmuskel	Energiestoffwechsel, Stabilisierung der Herzmuskelzellen, Verbesserung der Sauerstoffversorgung und Durchblutung
Immunsystem	Stärkung und Aktivierung der Immunzellen
Zellmembran	Stabilisierung von Zellmembranen
Nerven	Antioxidativer Nervenzellschutz, Neurotransmitterhaushalt
Leber	Leberzellschutz, -entgiftung

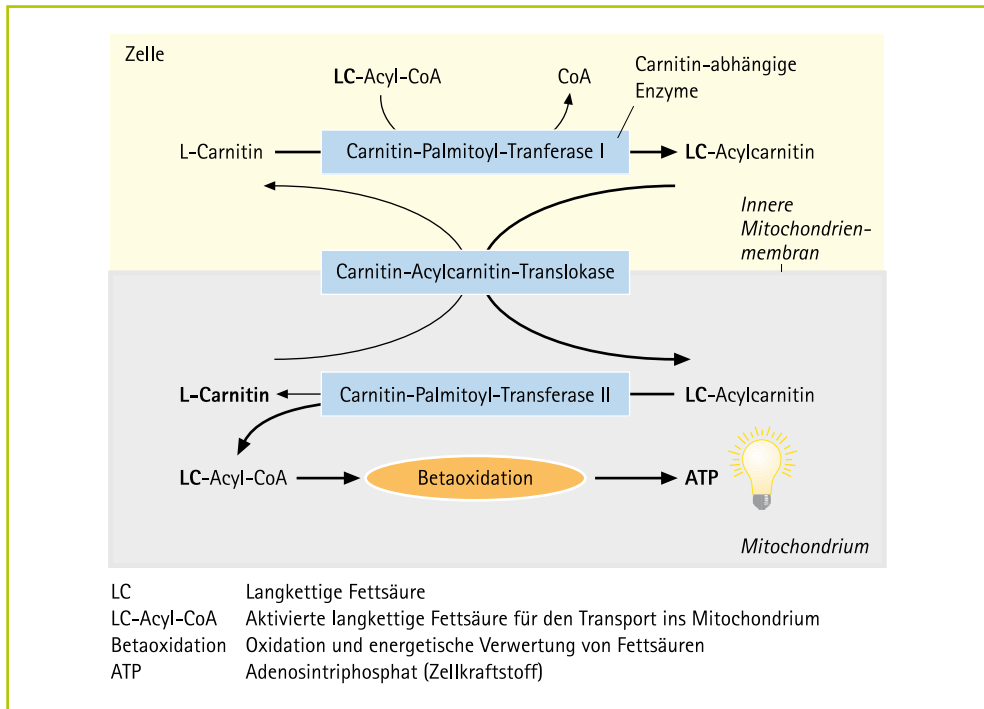


Abb. 34: L-Carnitin und Fettsäuretransport. (Lit. 109)

## Der mitochondriale Stoffwechselregulator

L-Carnitin besitzt eine Schlüsselrolle beim Transport und der Verbrennung von langkettigen Fettsäuren (LC). Die Energiegewinnung aus Fetten, die so genannte Fettverbrennung, läuft in den Zellkraftwerken, den Mitochondrien ab. Die Außenhaut (Membran) der Mitochondrien ist allerdings fettundurchlässig. Damit die zu verbrennenden Fettsäuren (LC) hineingelangen können, braucht der Körper L-Carnitin. L-Carnitin nimmt die langkettige Fettsäure sozusagen Huckepack (LC-Acyl-Carnitin) und schleust sie mit Hilfe von carnitinabhängigen Enzymen in den Brennofen ( $\beta$ -Oxidation  $\rightarrow$  ATP-Produktion) zur energetischen Verwertung ein (Abb. 34).

Durch seine zentrale Stellung im Stoffwechsel übernimmt L-Carnitin eine Reihe von Schutzfunktionen gegen metabolische Störungen der Zelle. Neben dem mitochondrialen Transport und oxidativen Abbau von Fettsäuren spielen dabei die Entgiftung der Mitochondrien von toxischen Stoffwechselprodukten und der Schutz der Mitochondrienmembran eine

## **Fußball: Italienischer Sieg dank Carnitin?**

Es handelt sich um „ein kleines Molekül, einen Bestandteil des Muskelgewebes, das synthetisierbar ist“, erläutert der italienische Biochemiker Francesco Conconi. Um das Stärkungsmittel Carnitin kursieren wilde Gerüchte: Es sei den Italienern über eine geheime Luftbrücke nach Madrid eingeflogen worden und hätte ihnen zum (gedopten) Sieg über die deutsche Mannschaft verholfen. Von Luftbrücke kann jedoch nicht die Rede sein und noch weniger von Doping: Carnitin ist in jeder italienischen und spanischen Apotheke frei erhältlich. Erprobt wird es bereits seit 20 Jahren, zunächst an Langstreckenläufern und später in der Leichtathletik. Hier erwies es sich als wirkungslos – die Substanz, so stellte sich heraus, erhöht zwar die Widerstandsfähigkeit der Sportler, bessert jedoch nicht deren unmittelbare Leistung. Der Wirkungsmechanismus: Carnitin fördert den Energietransport zwischen Zytoplasma und Mitochondrien in den Muskelzellen. „Es ist alles enttäuschend einfach“, meint Mannschaftsarzt Prof. Vecchiet, „Carnitin regeneriert den Muskeltonus, indem es dem Organismus eine wichtige Substanz zuführt, die er bei größeren Anstrengungen nur unzureichend produziert.“ „Betäubend“ an der Angelegenheit sei einzig und allein die Tatsache, dass den Italienern diesmal nicht nur auf dem Gebiet des Fußballs, sondern auch der Sportmedizin ein Weltmeistertitel verliehen werden müsse. (La Repubblica, 16.10.1982)

wesentliche Rolle. L-Carnitin besitzt zudem ausgeprägte antioxidative und antientzündliche Eigenschaften (109).

Alle Energieträger, die Kohlenhydrate, Fette und Proteine werden in unserem Stoffwechsel durch die Bindung an Coenzym A aktiviert. L-Carnitin reguliert die Verfügbarkeit von Coenzym A und unterstützt dadurch auch den Glucose- und Aminosäurestoffwechsel (Abb. 35). Die Bildung von Laktat aus Pyruvat wird beispielsweise durch L-Carnitin reduziert.

Die Zellen unseres Immunsystems sind auf eine gute Verfügbarkeit von L-Carnitin angewiesen – zum einen für die eigene Energieversorgung aus Fettsäuren und zum anderen für die ständige Modulierung ihrer Membranstrukturen, in die permanent Fettsäuren und andere Membranbausteine eingebaut werden müssen. Eine erhöhte Aktivität des Immunsystems (z. B. bei Entzündungen) führt zu einem starken Abfall des L-Carnitins im Blut, da

**Tab. 100:** Veränderungen des L-Carnitinstatus bei einem Marathonläufer ( $\mu\text{mol/l}$ ) (Lit. 112)

Messzeitpunkt	Freies Carnitin (FC) ( $\mu\text{mol/l}$ )	Acyl-Carnitin (AC) ( $\mu\text{mol/l}$ )	AC/FC-Verhältnis
Vorher	27,93	14,90	0,53
Nachher	23,10	38,70	<b>1,67</b>
7 h nachher	25,80	17,20	0,67

die Immunzellen (z. B. Leukozyten) vermehrt L-Carnitin im Rahmen ihrer Abwehrfunktion verbrauchen.

Eine unzureichende metabolische Verfügbarkeit von L-Carnitin (L-Carnitin-Insuffizienz) beeinträchtigt die zelluläre Energie (ATP)-Bereitstellung aus der Fettverbrennung, hemmt Coenzym-A-abhängige Stoffwechselprozesse, steigert das Risiko für Mitochondrienschäden und schwächt das Immunsystem.

## L-Carnitin im Sport

Körperliche Aktivität steigert die Kapazität der Verbrennung langkettiger Fettsäuren (LC). Da der Körper für die mitochondriale Energieverwertung der langkettigen Fettsäuren L-Carnitin benötigt, steigt in Abhängigkeit der sportlichen Belastung der L-Carnitinbedarf (117). Intensive körperliche Belastung, fleischarme Ernährung und/oder Eisenmangel können im Sport zu einer unzureichenden Verfügbarkeit an L-Carnitin führen. Ein suboptimaler L-Carnitin-Status äußert sich bei Sportlern durch unspezifische Symptome wie rasche Erschöpfbarkeit, Leistungsabfall, Muskelschwäche, chronische Müdigkeit, Verlängerung der Regenerationszeit nach Belastungen und erhöhte Infektanfälligkeit.

Sporttreibende Frauen, vor allem Ausdauerathletinnen, haben häufig einen erhöhten Eisenbedarf. Eisen ist ein limitierender Faktor für die L-Carnitin-Biosynthese. Niedrige Serum-Ferritinwerte sind bei Frauen mit einem erniedrigten L-Carnitinstatus im Blut und in der Muskulatur verbunden. Ein suboptimaler Eisenstatus äußert sich durch die gleichen Symptome (z. B. rasche Erschöpfbarkeit, verminderte Ausdauerleistungsfähigkeit) wie eine unzureichende Verfügbarkeit von L-Carnitin.

*Tab. 101: Faktoren, die beim Sportler zu einem Carnitinmangel bzw. erhöhten Carnitinbedarf beitragen können*

- ✓ Geringe diätetische Aufnahme von L-Carnitin (z.B. fleischarme Ernährung bei Vegetariern)
- ✓ Verringerte Carnitinbiosynthese (Abb. 36) durch Mangel an Cofaktoren (z.B. Eisen, Vitamin C, L-Lysin, L-Methionin, B-Vitamine)
- ✓ Intensive Ausdauerbelastungen (z.B. Radrennen, Marathon, Skilanglauf)
- ✓ Ausdauersportlerinnen mit unzureichendem Eisenstatus (menstruations-, belastungsbedingt)
- ✓ Bildung von Acyl-Carnitinen und Anstieg des AC/FC Verhältnis im Blut und Gewebe
- ✓ Erhöhte Ausscheidung von Acyl-Carnitin über den Schweiß und Urin
- ✓ Hoch intensive Ausdauerbelastungen wie Ultratriathlon (Freies L-Carnitin ist limitierender Faktor für die Fettverbrennung bei Belastungen oberhalb von 55 %  $\text{VO}_2\text{max}$ ) (112)
- ✓ Infektanfälligkeit

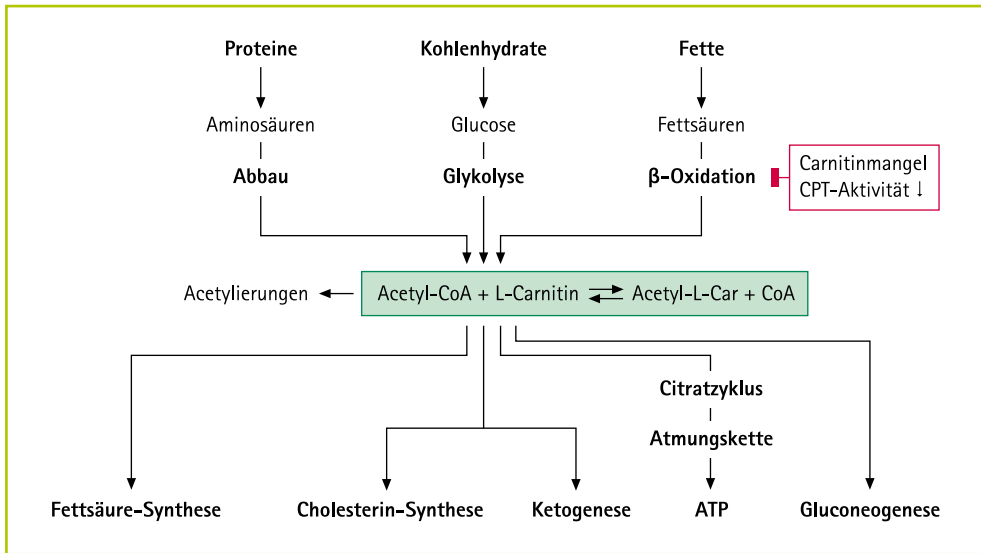


Abb. 35: Carnitin: Stoffwechselregulation (Lit. 14)

Bei Sportlern kann es unter Langzeitbelastung zu einer lokalen L-Carnitin-Verarmung in der betroffenen Muskulatur kommen, da vermehrt anfallende L-Carnitin-Fettsäureester (Acyl-Carnitin) aus der Zelle herausgeschleust und über die Niere ausgeschieden werden. Bei intensiven Ausdauerbelastungen (z. B. Marathon) wurde zum Teil eine Steigerung der L-Carnitin-Ausscheidung mit dem Urin um bis zu 200% beobachtet. Bei Radsportlern konnte unter der hohen Belastung eines Etappenrennens (Giro d'Italia) im Verlaufe des Rennens ein signifikanter Abfall der Carnitinblutspiegel um 20% nachgewiesen werden (112, 116). Bei niedrigen L-Carnitin-Spiegeln in Blut und Gewebe kann es bei Sportlern unter der Belastung schneller zu einer L-Carnitin-Insuffizienz, d.h. einem Mangel an freiem L-Carnitin kommen. Ein Carnitinmangel kann sich, infolge einer Beeinträchtigung der ATP-Bereitstellung aus der Fettsäureverbrennung und der Hemmung Coenzym-A-abhängiger Stoffwechselprozesse, leistungsbegrenzend auswirken und das Immunsystem des Sportlers schwächen (115).

### Labor: L-Carnitin-Status

Das Verhältnis von verestertem Acyl-Carnitin (AC) zu freiem L-Carnitin (FC) ist ein Parameter, der den L-Carnitin-Status gut beschreibt und eine L-Carnitin-Insuffizienz, d.h. unzureichende Verfügbarkeit an freiem L-Carnitin anzeigt. Ein AC/FC-Quotient im Blut  $< 0,4$  wird als normal angesehen. Steigt das AC/FC-Verhältnis  $\geq 0,4$  spricht man von einer L-Carnitin-Insuffizienz.

Bei hohen und intensiven körperlichen Belastungen wie im Leistungssport erfolgt eine vermehrte Bildung von Acyl-Carnitinen im Blut und Gewebe. Dadurch erhöht sich das Verhältnis von Acyl-Carnitin zu freiem Carnitin (AC/FC-Ratio). Da die Nieren Acyl-Carnitin (AC) schlechter rückresorbieren als freies L-Carnitin, kommt es zu einem vermehrten Carnitinverlust mit dem Urin (113, 114).

### ***L-Carnitin: Sporthistorischer Rückblick*** (modifiziert nach Lit. 112)

- 1980 L-Carnitin wurde erstmals 1980 bei der Olympiade von italienischen Ausdauerathleten eingesetzt, welche bei dieser Olympiade überraschend erfolgreich waren und viele Medaillen gewannen.
- 1982 L-Carnitin wurde bei der Fußball-WM in Spanien von der italienischen Nationalmannschaft eingesetzt, die letztendlich Weltmeister wurde und über die niedrigste Verletzungsrate aller Mannschaften des Turniers verfügte. In den folgenden 1980er- und 1990er-Jahren wird L-Carnitin von vielen Spitzensportlern verwendet, die darüber aber nicht öffentlich berichten wollen, denn L-Carnitin wird in Sportlerkreisen als Geheimitipp gehandelt. So setzen auch Thomas Muster, Martina Navratilova und Ivan Lendl L-Carnitin ein. L-Carnitin ist aber kein Dopingmittel und steht damals wie heute nicht auf der offiziellen Dopingliste.
- 1990 Der Fußballclub Grasshoppers Zürich erhält über zwei Jahre vom Mannschaftsarzt Dr. Werner Altdorfer täglich mehrere g L-Carnitin. Grasshoppers Zürich holt 1990 das Double und wird nach 6 Jahren wieder Schweizer Fußballmeister und auch Pokalsieger.
- 1996 Die Studie von Giamberardino belegt erstmalig eindeutig die positiven Effekte von L-Carnitin auf die Regeneration nach starker muskulärer Belastung.
- 1998 Der beste Skifahrer der 1990er-Jahre, der Österreicher Hermann Maier, erklärt im Kurier 1998, täglich L-Carnitin in größeren Mengen (bis zu 5g täglich) im Rahmen seiner Ernährung zu sich zu nehmen („Maier-Drink-Vitacan“).
- 1999 Die Weltrekordhalterin im Triathlon, Astrid Benöhr, supplementiert bis zu 7g L-Carnitin täglich und erreicht einen neuen und bisher ungeschlagenen Weltrekord im Fünffach-Triathlon über Männer und Frauen. Nach ihren Angaben hat sie sich danach körperlich so gut wie nie nach so einem Wettkampf gefühlt und hatte sehr niedrige Creatinkinase-Werte im Blut (Abb. 37).
- 2000 Bei den Olympischen Spielen in Sydney zählt L-Carnitin neben Kreatin zu den am häufigsten von Athleten eingenommenen Mikronährstoffen.
- 2001 Die amerikanischen Wissenschaftler Jeff Volek und William Krämer finden den biochemischen Mechanismus, wie L-Carnitin die Regeneration fördert, und belegen ihn in einer doppelblinden, plazebo-kontrollierten Crossover-Studie (in Am J Physiol Endocrinol Metab, 2002; 282: 474-482).
- 2002 Daniel Wyss fährt nach der Einnahme von 5g L-Carnitin täglich einen neuen 24-Stunden-Distanz-Weltrekord auf dem Rad beim 24-Stunden-Rennen in Schötz (Schweiz).

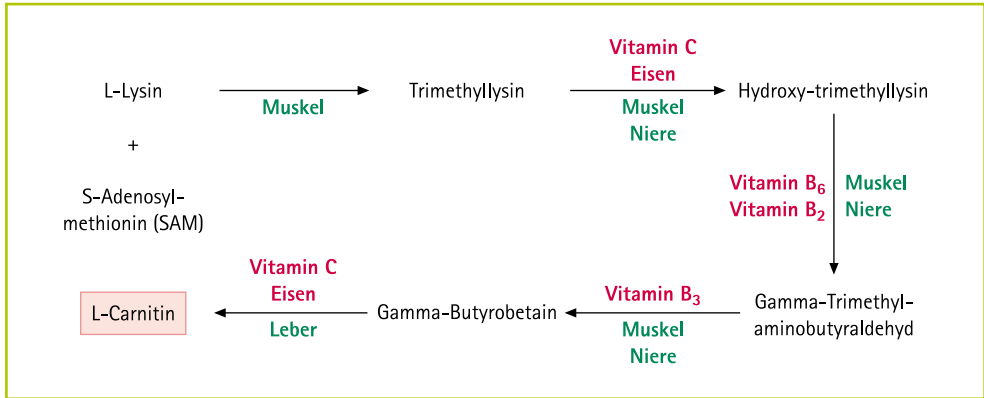


Abb. 36: L-Carnitin-Biosynthese

Tab. 102: L-Carnitin-Status

Laborparameter	Carnitinmangel	Normale bzw. gute Versorgung
Freies Carnitin (FC) im Plasma ( $\mu\text{mol/l}$ )	Frauen: $< 30 \mu\text{mol/l}$ Männer: $< 35 \mu\text{mol/l}$	Frauen: $30\text{-}60 \mu\text{mol/l}$ Männer: $35\text{-}74 \mu\text{mol/l}$
Verhältnis von Acyl-Carnitin zu freiem Carnitin (AC/FC-Quotient)	Postprandial: $\geq 0,4$	Nüchtern: $< 0,7$ Postprandial: $< 0,4$