

Biotuning – Leistungssteigerung im Sport durch optimierte Nährstoffversorgung

Hans-Peter Friedrichsen

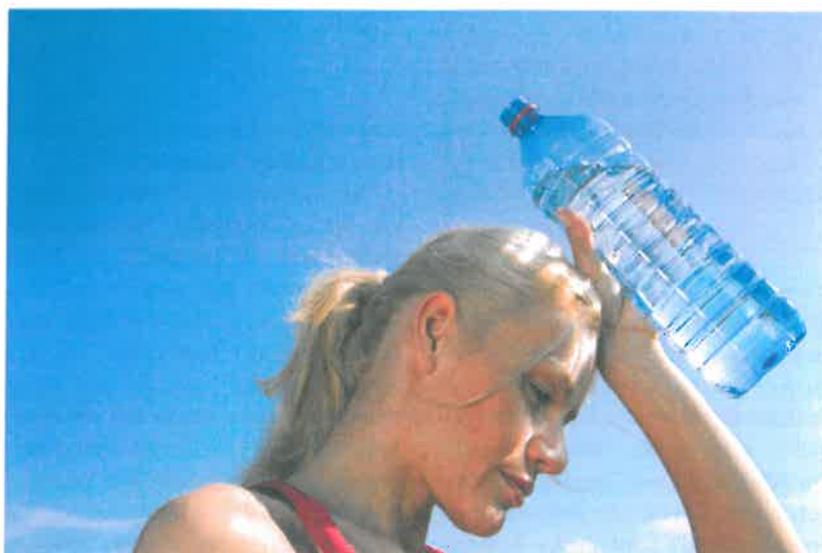
Schlüsselwörter

Sport, Leistungssteigerung, Fettsäuren, Aminosäuren, Herz-Kreislauf-System, Flüssigkeitshaushalt, Mineralstoffverluste, ATP-Synthese, Regeneration

Zusammenfassung

Zur Erzielung sportlicher Höchstleistungen müssen der Aufbau des Bewegungsapparats, Stoffwechselfunktionen, Energiestoffwechsel und Regeneration optimiert werden. Entscheidende Bedeutung kommt dabei der ausreichenden Versorgung mit Nährstoffen zu. Biotuning – gezielte Nährstoffsubstitution zur Leistungssteigerung – sollte stets auf der Basis von Laboranalysen erfolgen.

Je intensiver die sportliche Aktivität in Bezug auf das Ergebnis betrieben wird, desto höher sind die Anforderungen an die körperlichen und mentalen Funktionen des betreffenden Sportlers. Je näher die angestrebte Leistung dabei den durch die Genetik vorgegebenen individuellen Grenzen kommt, desto größer wird der erforderliche Aufwand. Physiologische Leistungssteigerung kann sich immer nur innerhalb der individuellen und genetisch vorgegebenen Grenzen eines Athleten bewegen – mit einer Körpergröße von 165 cm wird niemand Hochsprung-Weltmeister. Insbesondere bei komplexen Sportarten (Kunstturnen, Motorsport, Tennis o.ä.) ist das Eintrittsalter in diese Sportart von großer Bedeutung, da die Bahnung der komplexen Bewegungsabläufe im Gehirn in frühem Alter sehr viel effektiver und dauerhafter erfolgt. Dies lässt sich an vielen prominenten Beispielen belegen.



Bei schneller Ermüdbarkeit kann ein Mineralstoffmangel die Ursache sein. © Rene Kämpfer/Fotolia; nachgestellte Situation.

Zur Erzielung sportlicher Höchstleistung müssen verschiedene Bereiche optimiert und sowohl sportartspezifisch als auch individuell adaptiert sein:

- Aufbau und Optimierung körperlicher Strukturen wie Muskulatur, Knochen, Bänder, Sehnen, Gelenke etc. als Grundlage der sportartspezifischen Bewegungsabläufe (→ Tab. 1)
- Adaptation und Optimierung wichtiger Stoffwechselfunktionen wie Herz-Kreislauf-Funktion, neuromuskuläre Reizleitung, Immunregulation, Flüssigkeitshaushalt etc. (→ Tab. 2)
- Optimierung des Energiestoffwechsels
- Regeneration

Nährstoffe für den Strukturaufbau

Aufbau und Anpassung von Strukturen erfordern neben einem professionellen Trainingskonzept v.a. die ausreichende Zufuhr von Strukturbausteinen und Regulationssubstanzen. Wesentliche Strukturbausteine sind Fettsäuren und Aminosäuren.

Fettsäuren

Als Strukturelement sind die Fettsäuren für den Aufbau und die Funktion der Zellmembranen besonders wichtig. Der Einbau unterschiedlicher Fettsäuren hat Einfluss auf das Membranverhalten z.B. in Bezug auf Fluidität, Elastizität oder elektrische Leitfähigkeit. Das beeinflusst u.a. den passiven, transmembranösen Stofftransport, aber auch ver-

Praxistipp: Fettsäuren

Untersuchungen des Autors im Rahmen der Betreuung von Spitzensportlern wiesen in nahezu allen Fällen eine Fettsäuren-Imbalance nach, die der Intervention bedurfte. Auf Grundlage einer umfassenden Fettsäureanalytik sollte eine Ernährungsumstellung und im Einzelfall die Substitution von EPA und DHA erfolgen. Die Einnahme von ω -3-Fettsäuren sollte dabei immer mit der Einnahme von Substanzen zum Oxidationsschutz der Fettsäuren kombiniert werden (Alpha-Liponsäure, Coenzym Q10, Vitamin E, Vitamin C).

schiedene aktive Transportkanäle (Energieträger, Mineralstoffe etc.). Die ausreichende und balancierte Versorgung mit Fettsäuren ist für die optimale Funktionsfähigkeit der Zellmembranen daher von großer Bedeutung. Die durchaus auch bei Leistungssportlern übliche Ernährung mit „Industriekost“ und „Junkfood“ wird dieser Anforderung nicht gerecht, da sie ein Übermaß an gesättigten Fetten, Transfetten und ω -6-Fettsäuren und deutlich zu wenig der wichtigen ω -3-Fettsäuren EPA (Eicosapentaensäure) und DHA (Docosahexaensäure) liefert.

Aminosäuren

Von den proteinogenen Aminosäuren sind v. a. die BCAA (branched chain amino acids) Leucin, Isoleucin und Valin wichtige Grundbausteine der Muskelproteine. Die Mehrzahl der Aminosäuren ist glukogen und kann daher im Muskel (Einschleusung in den Zitratzyklus als Pyruvat, Ketoglutarat oder Succinyl-CoA) zu Energie umgesetzt werden. Dies gilt insbesondere für Alanin, Aspartat, Glutamin sowie Isoleucin und Valin.

Die Einnahme von Proteindrinks oder einzelnen Aminosäuren ist unter Sportlern weit verbreitet, im Kraftsport stärker als im Ausdauersport. Die wis-

Tab. 1 Wichtige Nährstoffe für den Strukturaufbau.

Nährstoff	Funktion
Aminosäuren	Leucin, Isoleucin, Valin als Bausteine der Proteinsynthese
Fettsäuren	ω -3-Fettsäuren für Zellmembranen
Vitamin B ₆ , D, Carnitin	Proteinsynthese, Muskelaufbau, Knochenaufbau
Vitamin B ₁₂ , Folsäure, Zink	DNA, Zellteilung, Muskelaufbau

senschaftliche Literatur v. a. der letzten Jahre zeigt dabei folgendes Bild:

Die zusätzliche Proteinaufnahme von bis zu 1,5 g/kg KG für Ausdauersportler bzw. bis 2,0 g/kg KG für Kraftsportler wirkt sich positiv auf das Muskelwachstum und die Reparaturvorgänge in der Muskulatur aus. Bei Ausdauerathleten kann die zusätzliche Proteineinnahme dem Abbau von Muskelprotein zur Energieversorgung entgegenwirken. Deutlich höhere Dosierungen bewirken keinen linearen Anstieg der proteinogenen Effekte, sondern schließlich eine „Steady State Situation“. Nach harten Trainingseinheiten oder Wettkämpfen v. a. mit hoher Ausdauerbelastung kann allerdings eine deutlich höhere Proteinzufuhr über eine kurze Zeit zur Optimierung der Regeneration in der Muskulatur durchaus sinnvoll sein.

Wesentlicher als die langfristige, hochdosierte Zufuhr von Proteinen oder Aminosäuren, wie sie z. B. im Bodybuilding noch praktiziert wird, ist die ausreichende Zufuhr von wichtigen Cofaktoren für den Proteinaufbau in der Muskelzelle. Dazu zählen v. a. Vitamin B₆, Vitamin B₁₂, Folsäure, Vitamin D, Carnitin und Zink. Auch das Timing der Proteinzufuhr ist von Bedeutung, wobei je nach gewünschtem Effekt die Proteinaufnahme entweder vor oder direkt nach der Belastung sinnvoll ist.

Tab. 2 Wichtige Nährstoffe für optimierte Stoffwechselfunktion.

Nährstoff	Funktion
Kalium, Magnesium, Natrium	Membranstabilisierung, Erregungsleitung
Natrium	Flüssigkeitshaushalt
Arginin	NO-Synthese, Gefäßregulation
Taurin, Coenzym Q10	kardiale Pumpleistung, Gefäßregulation
ω -3-Fettsäuren, Vitamin B ₁	Rhythmusstabilisierung, nervale Erregungsleitung

Adaptation von Stoffwechselfunktionen

Die Anpassung von Stoffwechselfunktionen für den Sport konzentriert sich hauptsächlich auf das kardiovaskuläre und das neuromuskuläre System. Im kardiovaskulären System geht es v. a. um eine Anpassung der Auswurf- und Transportleistung, die je nach Sportart sehr unterschiedlich sein kann. Der Ausdauersport (Langlauf, Radsport) stellt eine ganz andere Anforderung an das System als z. B. der Kraftsport (Gewichtheben, Kugelstoßen) oder der Kraftausdauersport (Boxen). Die Fähigkeit des kardiovaskulären Systems, über Veränderung von Schlagkraft, Schlagfrequenz oder Gefäßspannung auf den veränderten Sauerstoffbedarf der Muskulatur zu reagieren, ist genauso von Nährstoffen abhängig wie die neuromuskuläre Reizleitung zur Muskelaktivierung und für die Koordination. Bedeutsam sind in diesem Zusammenhang u. a. Kalium, Natrium, Kalzium, Magnesium, Arginin, Taurin, ω -3-Fettsäuren, Coenzym Q10 und Vitamin B₁.

Flüssigkeitshaushalt

Die Regulation des Flüssigkeitshaushalts ist für die Stoffwechselfunktionen des Sportlers von ganz besonderer Bedeutung. Bereits bei einem Flüssigkeitsdefizit von 1–1,5 l muss mit Leistungseinbußen gerechnet werden. Bei intensiver sportlicher Belastung werden leicht mehrere Liter Schweiß ausgeschieden. Damit verliert der Körper

nicht nur Flüssigkeit, sondern wertvolle Mineralstoffe. Pro Liter Schweiß werden 800–1500 mg Natrium, 200–450 mg Kalium, 20–50 mg Kalzium, 10–20 mg Magnesium sowie Eisen, Kupfer und Zink (jeweils ca. 1 mg) ausgeschieden. Ausdauertrainierte Leistungssportler zeigen eine vermehrte Schweißproduktion (bessere Wärmeableitung) und einen – mit Ausnahme von Kalium und Magnesium – geringeren Mineralstoffverlust mit dem Schweiß.

Bei intensiver sportlicher Betätigung mit einer Schweißproduktion von mehreren Litern geht dem Organismus durchaus der gesamte Tagesbedarf an den genannten Mineralstoffen verloren. Dies reduziert nicht nur die sportliche Leistungsfähigkeit, sondern kann auch negative Effekte im Stoffwechsel auslösen. Die Blutspiegel der Mineralstoffe zeigen dabei interessante Unterschiede. Während der Belastung sinken die Spiegel von Natrium, Magnesium und Zink wie erwartet. Die Kaliumspiegel steigen aber in der Belastungsphase und sinken erst ca. 24 Stunden nach der Aktivität. Dies liegt an der Kaliumfreisetzung aus der Muskulatur im Rahmen der Glykogenutilisation. Bei hohem Schweißverlust ohne eine entsprechend intensive Muskelarbeit, aber mit starker mentaler Anspannung (Rennsport) sinkt der Kaliumspiegel auch schon während der Belastung. Dies wird durch die K-Na-ATPase bewirkt, deren Aktivierung durch die erhöhte Katecholaminschüttung, z.B. im Rennsport, verstärkt wird, bei gleichzeitig reduzierter Glykogenfreisetzung.

Auch Magnesium geht durch den Schweiß und v.a. durch den Urin verloren. Die vermehrte Urinausscheidung wird insbesondere durch Katecholamine induziert, die als Folge einer Laktatazidose und der verstärkten Stressbelastung im Sport erhöht sind.

Im Zusammenhang mit sportlicher Aktivität ist v.a. die membranstabilisierende Wirkung (physiologischer Kalziumantagonismus) sowie die Regulation des Kaliumtransports und die Funktion im Energiestoffwechsel (ATP-Bindung)

des Magnesiums von Bedeutung. Ein bei Sportlern weit verbreiteter Mangel an Magnesium, Kalium und auch Natrium beeinflusst neben dem Flüssigkeitshaushalt insbesondere die Erregungsabläufe im kardiovaskulären und neuromuskulären Bereich und verursacht daher u.a.

- reduzierte Belastbarkeit
- frühzeitige Ermüdung
- überhöhte Herzfrequenz (fehlende Ökonomisierung der Herzarbeit)
- muskuläre Schwäche
- Muskelkrämpfe
- Störung der Feinkoordination
- Stressanfälligkeit (v.a. Magnesiummangel)

Der unter hoher sportlicher Belastung häufig entstehende Zinkmangel wirkt sich u.a. negativ auf die Immunregulation aus und wird, zusammen mit einem Vitamin-D-Mangel, ursächlich mit der erhöhten Infektanfälligkeit von Leistungssportlern in Verbindung gebracht. Auch die Proteinsynthese und damit Aufbau und Reparatur der Muskelzellen ist unter Zinkmangel gestört.

Die Flüssigkeitszufuhr muss immer mit der Zufuhr von Mineralstoffen kombiniert werden und der Belastungsdauer bzw. der Intensität und damit dem individuellen Schweißverlust angepasst sein. Es empfiehlt sich u.U. die Bestimmung der Schweißrate des Sportlers unter verschiedenen Trainings- und Wettkampfbedingung in Kombination mit der Messung der wichtigen Mineralstoffe im Blut und Urin, um auf dieser Basis die optimale individuelle Mineralstoffzufuhr zu ermitteln.

Optimierung des Energiestoffwechsels

Die Optimierung des zellulären Energiestoffwechsels ist die Grundlage des sportlichen Erfolgs, denn jede körperliche Aktivität und erst recht jede sportliche Leistung ist direkt abhängig von der zur Verfügung stehenden Energie v.a. für die Muskulatur, das kardiovas-

Praxistipp: Mineralstoffanalytik

Zur Bestimmung eines Magnesiummangels ist die Laboranalyse im Serum ungeeignet, und es sollte die Bestimmung im Vollblut, besser noch ein intravenöser Magnesium-Retentionstest durchgeführt werden. Kalium, Selen und Zink werden als intrazelluläre Mineralstoffe stets im Vollblut bestimmt.

kuläre System und das Nervensystem. Diese Energie wird in den Mitochondrien der betreffenden Zellen durch die Umsetzung von Fettsäuren, Glukose und glukogenen Aminosäuren zu ATP generiert. Mitochondrien finden sich in allen Körperzellen mit Ausnahme der reifen Erythrozyten. Die Anzahl je Zelle ist abhängig vom Energiebedarf der jeweiligen Zelle. Normale Körperzellen enthalten wenige hundert bis ca. 2000 Mitochondrien. Die höchste Mitochondriendichte weisen Zellen der Skelettmuskulatur, des Herzmuskels, sowie von Leber und Gehirn auf, da diese einen sehr hohen Energieumsatz haben. Die trainierte Muskelzelle besitzt deutlich mehr Mitochondrien als die untrainierte.

Über die oxidative Phosphorylierung in den Mitochondrien wird mehr als 90% der Zellenergie produziert. Dies erfolgt durch das enge Zusammenwirken der beiden mitochondrialen Stoffwechselprozesse Zitratzyklus und ETC (Elektronentransportkette). Das aus der Metabolisierung von Glukose und glukogenen Aminosäuren stammende Pyruvat wird durch ein Schlüsselenzym des Energiestoffwechsels – die Pyruvatdehydrogenase – in Acetyl-CoA umgewandelt. Dieses wird wie auch das aus der β -Oxidation von Fettsäuren gewonnene Acetyl-CoA im mitochondrialen Zitratzyklus schrittweise abgebaut. Die dabei freigewordene Energie wird als Elektronen über FADH₂ (Flavin-Adenin-Dinukleotid) und NADH (Nikotinamid-Adenin-Dinukleotid) zur oxidativen Phosphorylierung in die mitochondri-

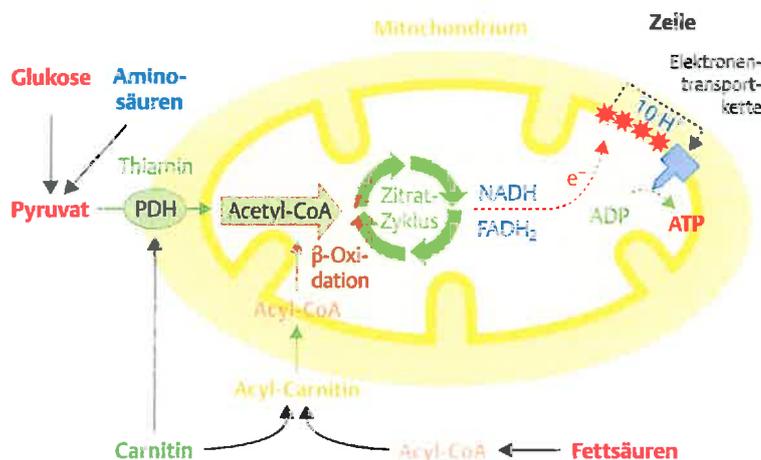


Abb. 1 Mitochondrialer Energiestoffwechsel. © Dr. med. Hans-Peter Friedrichsen.

die Elektronentransportkette eingeschleust, wo dann ATP generiert wird (Abb. 1).

Pro Tag werden in den Mitochondrien des menschlichen Körpers über 60 kg ATP gebildet. Dafür stehen im Organismus aber nur wenige Gramm (ca. 3–4) der Ausgangssubstanz AMP oder ADP zur Verfügung. Es muss das aus der Verstoffwechslung von ATP entstehende ADP also pro Tag mehrere tausend Mal zu ATP phosphoryliert werden. Für die ungestörte Funktion dieser komplexen Mechanismen ist die ausreichende Versorgung mit allen beteiligten Nährstoffen unabdingbar. Dazu zählen v.a. Alpha-Liponsäure, Carnitin, Coenzym Q10, Glutathion, Eisen, Kupfer, Mangan, Selen, Zink, Vitamin B₁, Vitamin B₂, Vitamin B₃ und Vitamin B₅ (Tab. 3).

Eine Störung oder Beeinträchtigung der mitochondrialen ATP-Synthese z.B. durch Nährstoffmangel wirkt sich immer leistungsmindernd aus und muss unbedingt vermieden werden. Die unlimitierte Zufuhr von Energieträgern wie Glukose ist sinnlos, wenn die Umwandlung zu ATP in den Mitochondrien gestört ist. Da Leistungssportler aufgrund ihres hochaktiven Stoffwechsels einen höheren Bedarf an vielen Nährstoffen haben, ist eine umfassende Laboranalyse mit darauf aufbauender individueller

Substitution wichtiger Bestandteil der Sportlerbetreuung.

Regeneration

Die Regeneration nach intensivem Training oder Wettkampf hat für die sportliche Leistungsfähigkeit eine besondere Bedeutung. Diese Zeit wird vom Organismus dringend benötigt, um die durch intensives Training oder Wettkampf geleerten Speicher (Muskelglykogen, Nährstoffe) wieder aufzufüllen und die geschädigten Strukturen (Verletzung, Überbelastung) reparieren zu können. Darüber hinaus müssen entstandene Infekte oder entzündliche Prozesse saniert bzw. ausgeheilt werden. Gerade in diesem Bereich führen Unkenntnis, Sorglosigkeit und Unvernunft zu großen Problemen und negativen Folgen für die Leistungsfähigkeit, aber auch die Gesundheit des Athleten.

Bei intensivem Training oder Wettkampf kann es bei Ausdauersportarten zur Nutzung von Aminosäuren aus dem Muskelprotein als Energiereserve kommen. Daher ist in diesen Fällen die ausreichende Zufuhr proteinogener Aminosäuren (Isoleucin, Leucin, Valin) sowie der vermehrt zu Energie umgesetzten Aminosäuren Arginin und Glutamin

Tab.3 Für die mitochondriale Energiegewinnung wichtige Nährstoffe.

Nährstoff	Funktion
Carnitin	Fettsäuretransport zur β-Oxidation in die Mitochondrien
Alpha-Liponsäure	Zitratzyklus (Acetyl-CoA aus Pyruvat)
Magnesium, Vitamine B ₁ , B ₂ , B ₃ , B ₅	Zitratzyklus
Coenzym Q10, Eisen	Elektronentransportkette
Glutathion, Selen	Antioxidans (Glutathionperoxidase)
Mangan, Zink	Antioxidans (Superoxiddismutase)

Tab.4 Wichtige Nährstoffe in der Regenerationsphase.

Nährstoffgruppe	Nährstoff
Aminosäuren	Leucin, Isoleucin, Valin, Lysin, Glutamin, Taurin
Fettsäuren	EPA (Eicosapentaensäure), DHA (Docosahexaensäure)
Vitamine	B ₅ , B ₁₂ , Folsäure, C, D
Mineralstoffe, Spurenelemente	Kalium, Magnesium, Selen, Zink
Vitamine	Alpha-Liponsäure, Carnitin, Coenzym Q10

von besonderer Bedeutung. Ebenso wichtig ist die Versorgung mit den für Proteinsynthese und Muskelaufbau bzw. Muskelreparatur wichtigen Cofaktoren Vitamin B₆ und B₁₂, Folsäure, Vitamin D, Magnesium, Zink, Carnitin und ω-3-Fettsäuren. Ein Mangel an Nährstoffen führt zu einer gestörten Regeneration, die das Leistungsvermögen erheblich einschränken kann. Die Regulation des Immunsystems, z.B. nach Infekten, oder die Ausheilung chronisch entzündlicher Prozesse erfordert ebenfalls den Ausgleich von Nährstoffdefiziten bzw. eine zeitlich begrenzte Zufuhr in hoher Dosis. Das betrifft z.B. Vitamin C, Vitamin D, Selen, Zink, Glutamin und EPA (Tab. 4).

Nährstoffsubstitution bei Leistungssportlern

Die Nährstoffsubstitution bei Leistungssportlern ist äußerst komplex und vieles wird heute durchaus kontrovers diskutiert, z.B. die Bedeutung von Antioxidanzien (siehe Beitrag „Oxidativer Stress bei Sportlern und die Bedeutung von Antioxidanzien“, S. 15).

Es ist entscheidend, in den jeweiligen Phasen – Training, Wettkampf, Regeneration – den größtmöglichen Effekt für den betreffenden Sportler in seiner individuellen Situation zu erzielen und die Gesundheit in keiner Weise zu beeinträchtigen. Schon deshalb kann eine professionelle Betreuung nicht nach allgemeingültigen „Kochbuch-Dosierungen“ erfolgen, die daher in diesem Beitrag auch fehlen. Es ist absolut erforderlich, eine Laboranalyse und das Befinden des Athleten zur Grundlage der jeweiligen, phasenabhängigen Nährstoffsubstitution zu machen. Regelmäßige Laborkontrollen sind nötig. Das Analysespektrum, mit dem der Autor Athleten aus dem Hochleistungssport mit individueller Ernährungssteuerung und Nährstoffsubstitution betreut, umfasst mehr als 100 Parameter.

Basis einer optimierten Nährstoffzufuhr sollte natürlich immer die möglichst vollwertige Ernährung sein. Gerade in diesem Bereich zeigen sich aber auch bei Leistungssportlern große Defizite.

Biotuning – d. h. gezielter Einsatz von Nährstoffen zur physiologischen Leistungssteigerung im Sport – eröffnet Chancen, wenn es professionell erfolgt, und birgt Risiken, wenn der Anwender in diesem komplexen Bereich kein fun-

diertes Wissen und ausreichende Erfahrung besitzt.

Literatur

- [1] Armstrong LE. Caffeine, body fluid-electrolyte balance, and exercise performance. *J Sport Nutr Exerc Metab* 2002; 12: 189–200
- [2] Ho JY, Kraemer WJ, Volek JS et al. L-Carnitine-tartrate supplementation favorably affects biochemical markers of recovery from physical exertion in middle-aged men and women. *Metabolism* 2010; 59: 1190–1199
- [3] Holick MF. Vitamin D deficiency. *N Engl J Med* 2007; 357: 266–281
- [4] Linnane AW, Kopsidas G, Zhang C et al. Cellular redox activity of coenzyme Q10: effect of CoQ10 supplementation on human skeletal muscle. *Free Radic Res* 2002; 36: 442–453
- [5] Litarru GP, Tiano L. Bioenergetic and antioxidant properties of coenzyme Q10: recent developments. *Mol Biotechnol* 2007; 37: 31–37
- [6] Lukaski HC. Vitamin and mineral status: effects on physical performance. *Nutrition* 2004; 20: 632–644
- [7] Negro M, Ciardina S, Marzani B, Marzatico F. Branched-chain amino acid supplementation does not enhance athletic performance but affects muscle recovery and the immune system. *J Sports Med Phys Fitness* 2008; 48: 347–351
- [8] Willis KS, Peterson NJ, Larson-Meyer DE. Should we be concerned about the vitamin D status of athletes? *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 2008; 18: 204–224

online: <http://dx.doi.org/10.1055/s-0031-12985>

Dr. med. Hans-Peter Friedrichsen
Schönbergstraße 11 a
79291 Mendingen