



universität
wien

DIPLOMARBEIT

Titel der Diplomarbeit

Der Einfluss ausgewählter ergogener Substanzen auf
die Ausdauer-, Kraft- und Schnelligkeitsleistungsfähigkeit

angestrebter akademischer Grad

Magistra der Naturwissenschaften (Mag^a. rer.nat.)

Verfasserin / Verfasser: Cornelia Führer
Studienrichtung /Studienzweig A474 Diplomstudium Ernährungswissenschaften
(lt. Studienblatt):
Betreuerin / Betreuer: Ao. Univ.-Prof. Dr. Paul Haber

Wien, im September 2010

„Die Gegenwart wird für den Menschen nicht genussreich durch ruhigen Besitz des Erworbenen, sondern durch das Streben nach höheren Zielen.“

(Friedrich Adolf Wilhelm Diesterweg)

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung und Fragestellung.....	10
2. Begriffsdefinition der Leistungsfähigkeit.....	12
2.1. Physikalische Leistung.....	12
2.2. Sportliche Leistungsfähigkeit.....	13
3. Überblick über die motorischen Hauptbeanspruchungsformen.....	15
3.1. Begriffsdefinition der konditionellen Eigenschaften:	
Ausdauer, Kraft, Schnelligkeit.....	16
4. Ausdauer	17
4.1. Arten der Ausdauer	18
4.1.1. Aerobe Ausdauer.....	19
4.1.1.1. Extensiv aerobe Ausdauer.....	19
4.1.1.2. Intensiv aerobe Ausdauer.....	20
4.1.2. Anaerobe Ausdauer.....	21
4.1.2.1. Laktazid anaerobe Ausdauer.....	21
4.1.2.2. Alaktazid anaerobe Ausdauer.....	22
5. Kraft.....	22
5.1. Arten der Kraft.....	23
5.1.1. Maximalkraft.....	24
5.1.2. Kraftausdauer.....	25
5.1.3. Schnellkraft.....	26
6. Schnelligkeit.....	26
6.1. Arten der Schnelligkeit.....	27
6.1.1. Reine Schnelligkeitsformen (nach Schiffer).....	28
6.1.2. Komplexe Schnelligkeitsformen (nach Schiffer).....	29
7. Ausdauer-, Kraft- und Schnelligkeitssportarten.....	30
8. Der Stellenwert der Ernährung im (Leistungs-)Sport	31
9. Ergogene Substanzen.....	33
9.1. Vier Möglichkeiten der ATP-Bereitstellung in der Muskelzelle.....	33

10. Unterstützung ergogener Substanzen im alaktazid anaeroben Bereich.....	34
10.1. Kreatin.....	34
10.1.1. Vorkommen und Funktion.....	35
10.1.2. Kreatinsupplementation im Sport.....	38
10.1.2.1. Supplementationstrategien.....	39
10.1.2.2. Auswirkungen einer Supplementation auf physiologische Parameter.....	42
10.1.2.3. Auswirkung einer Supplementation bei sportlicher Belastung.....	44
10.1.2.3.1. Einzelbelastungen.....	45
10.1.2.3.2. Wiederholte Belastungen.....	46
10.1.2.3.3. Überblick über ausgewählte Studien.....	46
10.1.3. Nachteilige Effekte.....	50
10.1.4. Diskussion.....	51
10.2. Coenzym Q ₁₀ (Ubiquinon 50).....	52
10.2.1. Vorkommen und Funktion.....	52
10.2.2. Coenzym Q ₁₀ -Supplementation im Sport.....	53
10.2.2.1. Kurzfristige Supplementation.....	54
10.2.2.2. Längerfristige Supplementation (1-3 Wochen).....	54
10.2.2.2.1. Einfluss auf körperliche Leistung – intensive Belastung.....	55
10.2.2.2.2. Körperliche Erschöpfung und Regeration.....	57
10.2.2.3. Langfristige Supplementation (6 Wochen).....	58
10.2.3. Negative Effekte.....	60
10.2.4. Diskussion.....	60
10.3. Koffein.....	61
10.3.1. Koffein und sportliche Leistung.....	61
10.3.1.1. Sprint.....	62
11. Unterstützung ergogener Substanzen im extensiv aeroben Bereich	64
11.1. L-Carnitin.....	64
11.1.1. Vorkommen und Funktion.....	64

11.1.1.1.	Carrier-Funktion.....	66
11.1.1.2.	Puffer-Funktion.....	67
11.1.2.	L-Carnitin Supplementation im Sport.....	69
11.1.2.1.	L-Carnitin Supplementation bei Ausdauerbelastung....	70
11.1.2.1.1.	Langzeitsupplementation (3-6 Wochen).....	70
11.1.2.1.1.1.	Positive Effekte.....	71
11.1.2.1.1.2.	Keine Effekte.....	75
11.1.2.1.2.	Chronische Supplementation.....	76
11.1.2.1.3.	Kurzfristige Supplementation.....	77
11.1.2.2.	Auswirkung einer L-Carnitin Supplementation auf die Muskelregeneration im Krafttraining.....	78
11.1.3.	Diskussion.....	79
11.2.	Koffein.....	79
11.2.1.	Vorkommen und Funktion	80
11.2.2.	Koffein und sportliche Leistung.....	83
11.2.2.1.	Förderung der Mittel- und Langzeitausdauer.....	84
11.2.2.1.1.	Mittel- und Langstreckenlauf	85
11.2.2.1.2.	Radfahren.....	88
11.2.2.1.3.	Rudern.....	88
11.2.2.1.4.	Weitere Studien.....	88
11.2.3.	Gewöhnungseffekt.....	90
11.2.4.	Nachteilige Effekte.....	91
11.2.5.	Diskussion.....	92
12.	Unterstützung ergogener Substanzen im laktazid anaeroben Bereich..	93
12.1.	Natriumhydrogencarbonat (NaHCO ₃).....	94
12.1.1.	NaHCO ₃ -Einsatz bei kurzzeitigen Höchstbelastungen.....	95
12.1.1.1.	Kurzstreckenradfahren/Fahrradsprint.....	96
12.1.1.2.	Leichtathletischer Sprint.....	100
12.1.1.3.	Kurzstreckenschwimmen.....	101
12.1.2.	Diskussion.....	101
13.	Unterstützung ergogener Substanzen im intensiv aeroben Bereich.....	102

13.1.	BCAA (branched chained aminoacids, verzweigt-kettige Aminosäuren).....	103
13.1.1.	Vorkommen und Funktion.....	104
13.1.2.	BCAA-Supplementation im Sport.....	106
13.1.2.1.	Einfluss einer BCAA-Supplementation auf die Konzentration an BCAA und Glykogen, sowie auf die Ausdauerleistung.....	106
13.1.2.2.	BCAA-Supplementation und Muskelregeneration.....	108
13.1.3.	Diskussion.....	110
14.	Abschlussbetrachtung.....	110
15.	Zusammenfassung.....	112
16.	Summary.....	113
	Literaturverzeichnis.....	114

Abbildungsverzeichnis

Abb.1 Gründe für den Gebrauch von Nahrungssupplementen.....	11
Abb.2 Bevorzugt eingesetzte Supplemente und Anzahl der Athleten, die angaben, diese zu nehmen.....	11
Abb.3 Komponenten der sportlichen Leistungsfähigkeit.....	14
Abb.4 Wechselbeziehung der konditionellen Fähigkeiten.....	16
Abb.5 Struktur des Kreatins.....	34
Abb.6 ATP-Regeneration durch Kreatinphosphat.....	37
Abb.7 Totale Kreatinkonzentration vor und nach einer Supplementation von 4x5g/d für 6 Tage (oben) sowie nach einer Supplementation von 4x5g/d für 6 Tage und anschließender Erhaltungsdosis von 2g/d für die folgenden 28 Tage (unten).....	41
Abb.8 Abspaltung von anorganischem Phosphat von Kreatinphosphat und anschließende Zyklisierung zu Kreatinin.....	42
Abb.9 Veränderung im Muskelvolumen nach 3-tägiger Kreatinsupplementation von 20-30 g pro Tag im Vergleich zur Placebogruppe].....	44
Abb.10 Individueller Anstieg der Kreatinkonzentration nach Supplementation von 4x5g/d.....	45
Abb.11 a) Verbesserte Höchstleistung in Sprints 2-6 und b) verbesserte Summe der Leistungen im Sprint 1.....	47
Abb.12 Leistungsdiagnose nach Geschlecht.....	48
Abb.13 Struktur von Coenzym Q ₁₀	52
Abb.14 a) Entwicklung der Leistung im anaeroben Fahrradtest (weiß = Placebo, schwarz=Coenzym Q ₁₀); b) Signifikanter Unterschied ab Tag 11 zwischen Placebo und Coenzym Q ₁₀	56
Abb.15 A. Maximale Geschwindigkeiten in der ersten (30 Min.) und der zweiten (210 Min.) intensiven Belastungsphase. B. Abfall der maximalen Geschwindigkeit in der zweiten Phase im Vergleich zur ersten (*signifikant).....	57
Abb.16 Subjektive Beurteilung der Erschöpfung und Regeneration (**signifikant).....	58
Abb.17 Plasma Coenzym Q ₁₀ -Konzentration vor Beginn der Studie, nach Placebozufuhr und nach Coenzym Q ₁₀ -Supplementation.....	59

Abb.18 Subjektive Beurteilung der eigenen Leistung und der Regeneration nach Placebo- bzw. Coenzym Q ₁₀ -Gabe.....	59
Abb.19 Struktur des L-Carnitin.....	64
Abb.20 Carnitin in seiner Carrierfunktion für langkettige Fettsäuren im Transport durch die mitochondriale Innenmembran.....	67
Abb.21 Pufferwirkung des L-Carnitin.....	68
Abb.22 Zeit bis zur Erschöpfung in CoSe (control sedentary, kein Training, keine Supplementation), SuSe (supplement sedentary, kein Training, mit Supplementation), CoT (control training, mit Training, ohne Supplementation), SuT (supplement training, mit Training, mit Supplementation).....	72
Abb.23 Plasma Carnitin-Konzentration und renale Carnitin-Ausscheidung während einer 3-monatigen Gabe von 2x2g L-Carnitin/d.....	76
Abb.24 Struktur des Koffeins.....	79
Abb.25 Anstieg und Abfall der Koffeinkonzentration nach Zufuhr von Cola, Kaffee oder in Kapselform.....	81
Abb.26 8km-Laufzeiten nach Koffeineinnahme verglichen mit der Durchschnittszeit von Placebo-Lauf und supplementfreiem Lauf	85
Abb.27 Blut-Laktat-Konzentrationen vor und nach der Belastung (Koffein vs. Placebo und kein Supplement).....	86
Abb.28 Plasma-Malondialdehyd-Level nach Placebo oder Koffeineinnahme, vor und nach körperlicher Belastung.....	92
Abb.29 Struktur des NaHCO ₃	94
Abb.30 Durchschnitts-Geschwindigkeit in 10 Sprint-Wiederholungen nach NaHCO ₃ - oder Placeboeinnahme.....	96
Abb.31 Drehzahlleistung im Rahmen der FES-Muskelererschöpfung.....	98
Abb.32 Drehzahlleistung während der FES in der Erholungszeit.....	98
Abb.33 Aminosäure.....	103
Abb.34 Strukturen der BCAA (Valin, Leucin, Isoleucin).....	104
Abb.35 Effekt einer BCAA-Supplementation auf Muskelkater nach Kniebeugensets.....	109

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1. Zuordnung ausgewählter Sportarten.....	30
Tabelle 2. Energiebereitstellung nach Art der Belastung.....	31
Tabelle 3. Vier Formen der ATP-Bereitstellung in der Muskelzelle.....	33
Tabelle 4. Kreatingehalt diverser Nahrungsmittel.....	35
Tabelle 5. Studien zur Leistungsverbesserung durch Kreatinsupplementation.....	48
Tabelle 6. L-Carnitingehalt diverser Lebensmittel.....	65
Tabelle 7. Koffeingehalt ausgewählter Nahrungsmittel und Getränke.....	80
Tabelle 8. Wirkung des Koffeins und Nutzen im Sport.....	83
Tabelle 9. Studien zur Koffeinsupplementation im Ausdauersport (> 60 Min.).....	89
Tabelle 10. Studien zur Koffeinsupplementation bei höheren Intensitäten (1-60 Min.).....	90
Tabelle 11. Beispiele für proteinreiche Aminosäuren und deren Anteil an BCAA.....	105

1. Einleitung und Fragestellung

„Citius, altius, fortius“ – lat. höher, schneller, weiter – ist schon seit vielen Jahren das Motto der Olympischen Spiele und ein Begriff für jeden, der Interesse am Sport hegt. Der Mensch strebte schon immer danach, sich mit seinesgleichen zu messen und zu vergleichen, mit dem Ziel, den anderen zu übertrumpfen. Ebenso ist es auch im Sport, wo nach immer neueren Wegen gesucht wird, sich seinen Mitstreitern gegenüber einen Vorteil zu verschaffen.

Da die Kenntnisse über den menschlichen Körper, sowie die Möglichkeiten des spezifischen Trainings, immer besser werden, wird die Entscheidung zwischen Sieg und Niederlage im sportlichen Wettkampf in der heutigen Zeit oft nur noch durch „Kleinigkeiten“ gefällt. So spielt, unter anderem, auch das Ernährungsverhalten eine wichtige Rolle für die sportliche Leistung.

Diese Tatsache lässt das Interesse der Trainer und Athleten, aber auch Hobbysportler, an jenen Substanzen aufflammen, die als leistungsfördernd bekannt sind. Wichtig ist es, an dieser Stelle zu erwähnen, dass es sich hierbei nicht um verbotene Substanzen bzw. Dopingmittel, nach den Richtlinien des IOC (internationales olympisches Komitee), handelt, sondern um solche, die auf natürliche Weise in der Nahrung vorkommen bzw. sogar vom menschlichen Organismus selbst gebildet werden.

Die Gründe für eine Supplementation und auch welche Substanzen eingenommen werden, sind sehr unterschiedlich. Eine Studie am Western Australian Institute of Sport [Dascombe B.J. et al. 2010] zeigt eine schöne Übersicht über die Gründe einer Supplementeinnahme (Abb.1) und die bevorzugt zugeführten Substanzen (Abb.2) von 72 Elite-Athleten.

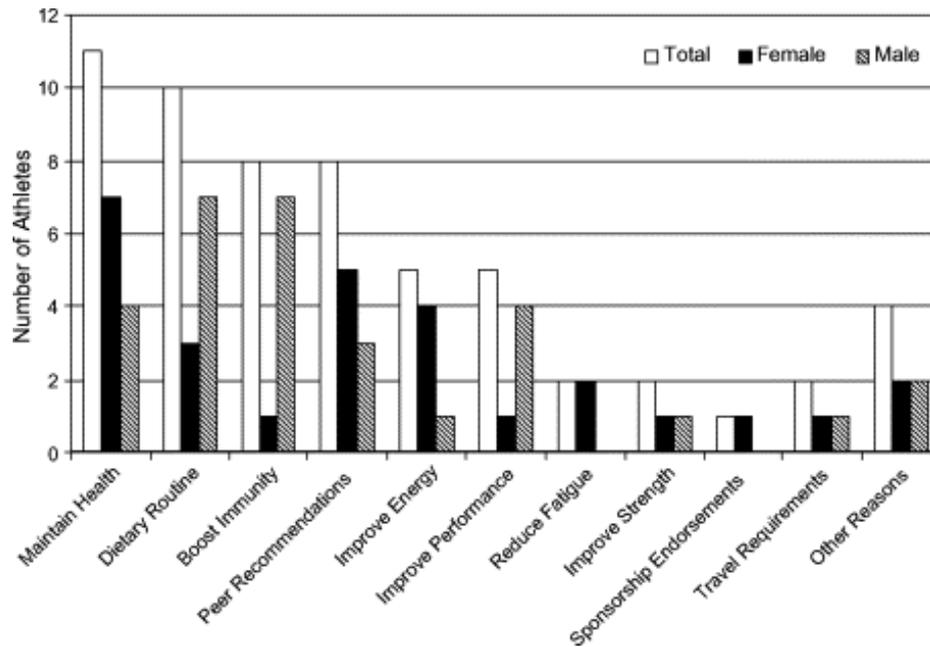


Abb. 1 Gründe für den Gebrauch von Nahrungssupplementen (36 Frauen, 36 Männer)
[in Dascombe B.J. et al. 2010]

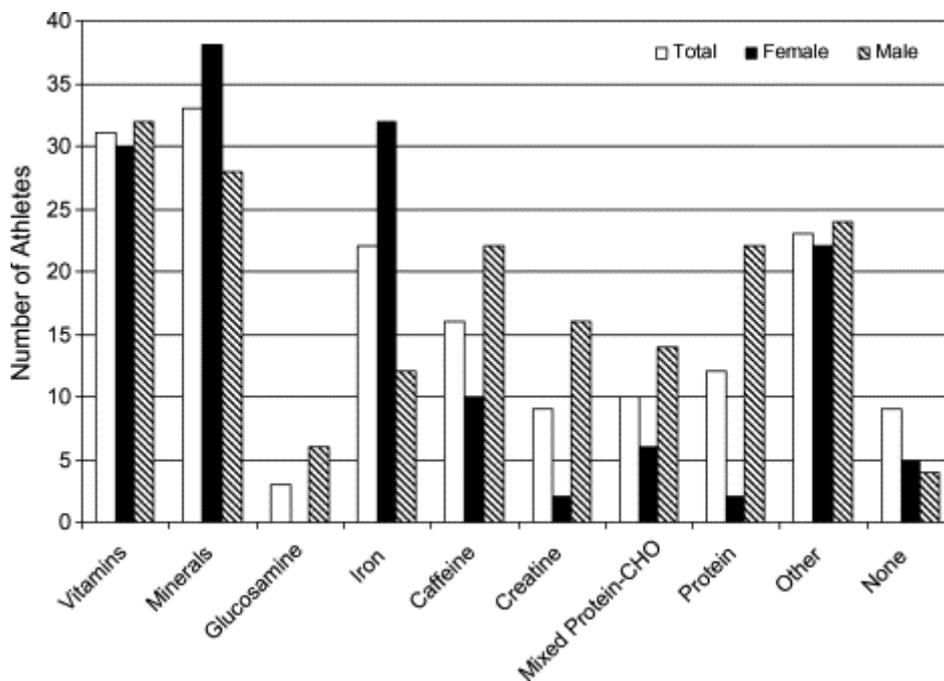


Abb. 2 Bevorzugt eingesetzte Supplemente und Anzahl der Athleten (gesamt 36 Männer und 36 Frauen), die angaben, diese einzunehmen [in Dascombe B.J. et al. 2010]

Viele Substanzen werden eingenommen, mit dem Glauben, eine Leistungssteigerung zu erzielen, obwohl genauere Mechanismen und Wirkungsmöglichkeiten nicht bekannt sind.

Das Ziel dieser Arbeit war es, eine Metaanalyse durchzuführen, in der die Wirkungen bzw. Nicht-Wirkungen ausgewählter Substanzen, anhand bereits existierender Studien, dokumentiert werden sollten. Dazu wurden die Wirkungsmöglichkeiten bestimmter Substanzen aufgrund gegebener physiologischer Stoffwechselfvorgänge untersucht, mit dem Ziel, herauszufinden, ob die Kraft-, Ausdauer- oder Schnelligkeitsleistung verbessert werden kann.

2. Begriffsdefinition der Leistungsfähigkeit

2.1. Physikalische Leistung

Im Grunde genommen entstammt der Begriff der Leistung der Physik, die sie simpel als geleistete Arbeit pro Zeiteinheit definiert.

Es gilt:

$$\text{Leistung} = \frac{\text{Arbeit}}{\text{Zeit}}$$

Aber ebendso:

$$\text{Leistung} = \frac{\text{Kraft} \times \text{Weg}}{\text{Zeit}} = \text{Kraft} \times \text{Geschwindigkeit}$$

Da jedoch, leistungsphysiologisch betrachtet, komplexere Zusammenhänge herrschen, müssen zusätzlich zu diesen Definitionen ebenso der Energieumsatz als auch der Sauerstoffverbrauch (O₂-Verbrauch) – in Rücksichtnahme auf die oxidativen Vorgänge des menschlichen Organismus - berücksichtigt werden.

Es ergibt sich also:

$$\text{Leistung} = \frac{\text{Energieumsatz}}{\text{Zeit}}$$

Dies entspräche also den verbrauchten Kilokalorien pro Minute (kcal/min) oder Kilojoule pro Minute (kJ/min) während einer Tätigkeit.

Da der menschliche Organismus Sauerstoff benötigt, um durch biologische Verbrennung (Oxidation) der Nährstoffe auf seine Energiereserven zurückgreifen zu können, kann Leistung auch folgendermaßen definiert werden:

$$\text{Leistung} = \frac{\text{O}_2 - \text{Verbrauch}}{\text{Zeit}}$$

Dies entspräche wiederum dem umgesetzten Sauerstoffvolumen ($\dot{V}\text{O}_2$) in Litern pro Minute (l/min) oder Millilitern pro Minute (ml/min).

Praktisch wird die Messung des Sauerstoffverbrauchs zu Bestimmung der Leistung bei der indirekten Kalorimetrie angewandt. Durch Messung der Sauerstoffmenge kann auf die verbrauchte Energiemenge und somit auf die erbrachte Leistung rückgeschlossen werden.

[Haber P. 2009]

2.2. Sportliche Leistungsfähigkeit

Laut Röthig (1983) ist die „Leistungsfähigkeit eines Sportlers durch die maximal (unter Ausschöpfung aller Reserven) zu realisierende Leistung in bestimmten Sportarten/Disziplinen zu kennzeichnen.“ [aus Weineck J., „Sportbiologie“ 2004]

Neben der physikalischen Betrachtungsweise der Leistung, muss die Leistungsfähigkeit selbst als ein komplexes Netz von Teilgrößen betrachtet werden, die sich gegenseitig beeinflussen.

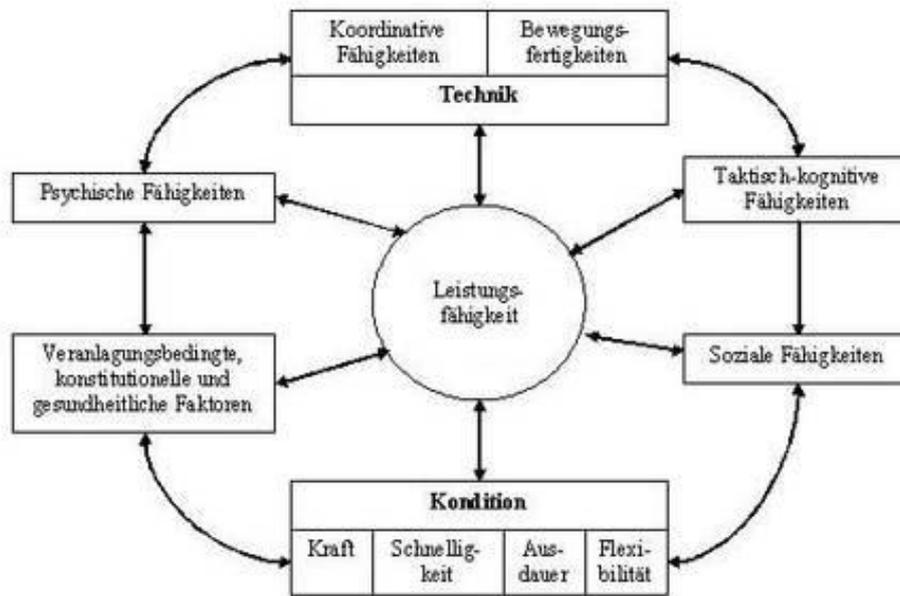


Abb. 3 Komponenten der sportlichen Leistungsfähigkeit

[aus Weineck J., „Optimales Training“ 2004, Abb. 2]

Die sportliche Leistung lässt sich durch spezifisches Training verbessern, wobei, für optimale Leistungserbringung, alle etwaigen beeinflussenden sozialen, psychischen, körperlichen, gesundheitlichen etc. Komponenten berücksichtigt werden müssen (vgl. Abb. 3).

Auch die Ernährung spielt in diesem Falle eine wichtige Rolle, ebenso auch die Einnahme von Substanzen, die eine mögliche Leistungssteigerung bewirken sollen/könnten. Deren Einfluss auf die zu erbringende Leistung im Ausdauer- und Kraftbereich soll im Folgenden näher untersucht werden.

3. Überblick über die motorischen Hauptbeanspruchungsformen

Generell werden 5 Grundfähigkeiten oder Hauptbeanspruchungsformen unterschieden, die die Grundlage der menschlichen Leistungsfähigkeit bilden:

Ausdauer, Kraft, Schnelligkeit, Flexibilität (Beweglichkeit), Koordination (Gewandtheit)

[Haber P. 2009], [Weineck J. „Sportbiologie“ 2004]

Jürgen Weineck („Sportbiologie“ 2004) bietet folgende Einteilung dieser 5 Fähigkeiten an:

- (Überwiegend) konditionelle Eigenschaften, die hauptsächlich auf energetischen Prozessen beruhen:
Ausdauer, Kraft, Schnelligkeit
- (Überwiegend) koordinative Eigenschaften, die hauptsächlich auf Prozessen des ZNS beruhen:
Flexibilität (Beweglichkeit), Koordination (Gewandtheit)

Diese Einteilung dient jedoch hauptsächlich der Überschaubarkeit, da die Grundfähigkeiten zu einem eher selten als definierte Reinformen auftreten und zum anderen jede davon nicht ausschließlich auf energetische oder zentralnervöse Prozesse zurückzuführen ist. [Weineck J. „Sportbiologie“ 2004], [Weineck J. „Optimales Training“ 2004]

Da sich der Einfluss der ergogenen (=leistungssteigernden) Substanzen (fast) ausnahmslos auf die konditionellen Eigenschaften bezieht, sollen nur diese im Weiteren behandelt werden.

3.1. Begriffsdefinitionen der konditionellen Eigenschaften: Ausdauer, Kraft, Schnelligkeit

Es ist, wie bereits erwähnt, allgemein bekannt, dass die meisten Sportarten nur sehr selten auf einer konditionellen Eigenschaft alleine beruhen, sondern hauptsächlich Mischformen darstellen. In diesem Sinne stehen Ausdauer, Kraft und Schnelligkeit – natürlich sportartspezifisch - in ständiger Wechselwirkung miteinander, wie in Abb. 4 [nach Weineck J. 2004 „Optimales Training“] veranschaulicht wird.

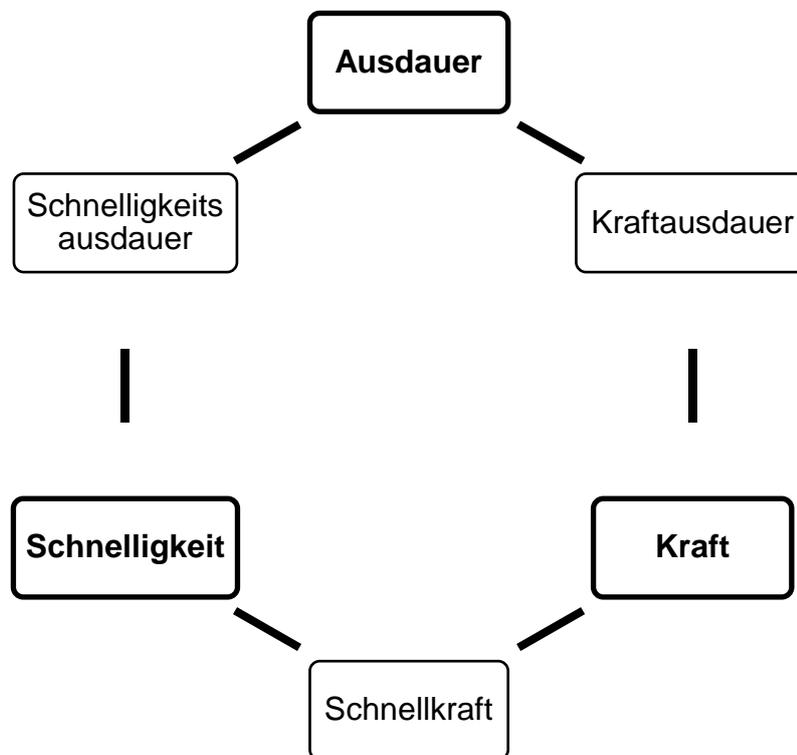


Abb. 4 Wechselbeziehung der konditionellen Fähigkeiten, modifiziert nach Weineck J. 2004 („Optimales Training“, S. 139, Abb.63)

Die drei Haupt- oder Reinformen der konditionellen Grundfähigkeiten sollen nun im Weiteren kurz definiert und erläutert werden.

4. Ausdauer

Der Begriff der Ausdauer lässt sich aus verschiedenen Gesichtspunkten - seien es sportwissenschaftliche, (leistungs-)medizinische oder physiologische - betrachten und somit auch auf unterschiedlichste Weise definieren.

Beispielsweise versteht Weineck 2004 Ausdauer als die Fähigkeit, dem Eintreten der Ermüdung sowohl auf psychischem als auch auf physischem Niveau zu widerstehen [Weineck J. 2004 „Optimales Training“]. Der psychische Aspekt meint hierbei, dem Reiz der Erschöpfung nachzugeben zu widerstehen, wobei der physische Aspekt sich auf den Widerstand des ganzen Organismus oder einzelner Teilbereiche bezieht [nach Frey 1977 in Weineck J. 2004 „Optimales Training“].

Da viele niedergeschriebene Definitionen sich oft nur auf eine bestimmte Betrachtungsweise beziehen oder auch ungeeignet sind, beschreibt Haber 2009 die Ausdauer nach rein physiologischer Betrachtung folgendermaßen:

„Ausdauer ist die Fähigkeit, durch Muskeltätigkeit verbrauchtes ATP durch Steigerung der Produktion zu resynthetisieren, und damit eine neue Leistungshomöostase für ATP einzustellen.“ [Haber P. 2009]

Auf diese Definition ist Weinecks Aussage soweit umzulegen, als man die Fähigkeit des Organismus oder der beanspruchten Region, verbrauchtes ATP bereitzustellen und somit den ATP-Spiegel aufrecht zu erhalten, als jenen „Widerstand“ gegen die Ermüdung bezeichnet. Somit kann also gesagt werden, dass der menschliche Körper solange fähig ist, Ausdauerleistung zu erbringen und nicht zu ermüden, als er fähig ist, ATP in ausreichendem Maße zu produzieren.

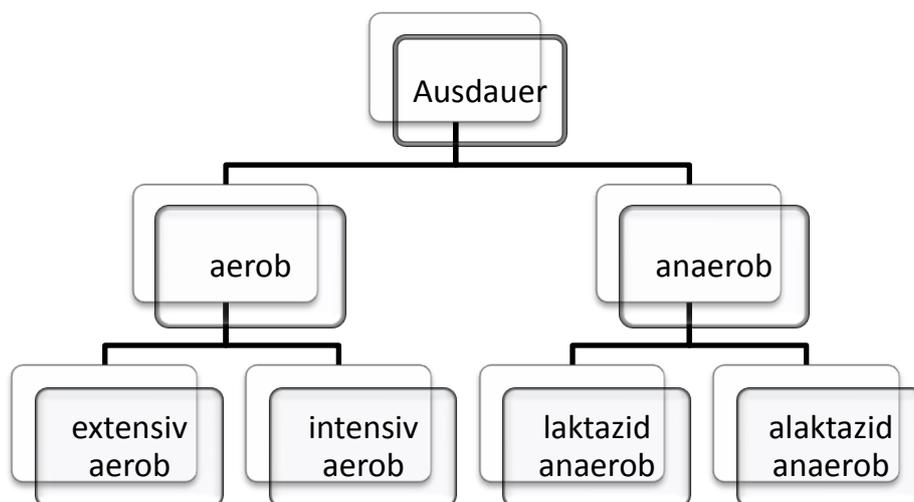
Auf welche Art und Weise das benötigte ATP wieder gewonnen werden kann, hängt von der Dauer der Ausdauerbelastung (Kurz-, Mittel- und Langzeitausdauer) einerseits, als auch von der Intensität und der Art der

Beanspruchungsform (Kraft-, Schnellkraft- und Schnelligkeitsausdauer) andererseits ab. [Haber P. 2009],[Weineck J. „Optimales Training“ 2004]

4.1. Arten der Ausdauer

Diese Beanspruchungsform lässt sich nach vielen verschiedenen Gesichtspunkten unterteilen. Zum einen, wie oben genannt, nach Dauer, Art und Intensität der Belastung, zum anderen auch nach Lokalisation bzw. Ausprägung der Belastung in allgemeine Muskelausdauer, die den gesamten Muskelapparat betrifft, und in lokale Muskelausdauer, die nur einen Bereich von einem Siebtel bis ein Sechstel des Muskelapparates betrifft. Zusätzlich lassen sich außerdem noch eine allgemeine und eine spezielle Ausdauer abgrenzen. Hier meint die allgemeine Ausdauer – oder Grundlagenausdauer – eine sportartunabhängige Leistung, wobei die spezielle Ausdauer sich auf eine gewisse Sportart bezieht. [Weineck J. „Sportbiologie“ 2004]

Jene Aspekte, die die ATP-Synthese betreffen, und im Zusammenhang dieser Arbeit wichtig sind, betreffen jedoch die Art und das Substrat der Energiebereitstellung und müssen daher folgendermaßen unterteilt werden:



4.1.1. Aerobe Ausdauer

„Aerob“ bedeutet grundlegend immer, dass Sauerstoff (O_2) am Abbauvorgang in der Muskelzelle beteiligt ist. [Elmadfa I. und Leitzmann C. 2004] Limitierend für die mitochondriale Atmung und somit die Sauerstoffbereitstellung ist die Dichte an Mitochondrien und Kapillaren, sowie das Vorhandensein von ausreichend Myoglobin im Muskel. [Weineck J. „Sportbiologie“ 2004]

Die Substrate der aeroben Ausdauer sind Glukose und/oder Fettsäuren, die in ihrer Speicherform Glykogen und/oder Fetttröpfchen in entsprechender Menge vorhanden sein müssen, um eine oxidative Energiebereitstellung zu gewährleisten. [Weineck J. „Sportbiologie“ 2004]

Je nachdem, welches der beiden Substrate dem Abbau unterliegt, kann die aerobe Ausdauer in zwei Unterarten unterteilt werden:

4.1.1.1. Extensiv aerobe Ausdauer

Bei dieser Form der Ausdauer erfolgt die ATP-Synthese aufgrund eines Mischstoffwechsels aus Glykogen- und Fettspeicherabbau. Welches der genannten Substrate bevorzugt genutzt wird, hängt in erster Linie von der Intensität der Ausdauerbelastung und somit von der Auslastung der $\dot{V}O_{2max}$ ab. [Haber P. 2009]

Fett wird in der Muskulatur vor allem in Ruhe oder bei geringer Intensität bevorzugt abgebaut, der Anteil beträgt in diesen Phasen ca. 80%. [Haber P.2009]

Bei Belastungen mit hoher Intensität (95% der $\dot{V}O_{2max}$) dient nur Glukose der Energiebereitstellung [Weineck J. „Sportbiologie“ 2004], da der Fettabbau ab 60-70%iger Auslastung der $\dot{V}O_{2max}$ blockiert wird [Haber P. 2009], wobei der Anteil der Glykogenabbaus auch bei niedrigeren Belastungen (30-50% der $\dot{V}O_{2max}$) immer noch 40-50% beträgt. [Weineck J. „Sportbiologie“ 2004]

Erst nach Entleerung der Glykogendepots durch lang andauernde Ausdauerbelastung (z.B. beim Marathon) greift der Körper wieder auf die Fettdepots zurück [Weineck J. „Sportbiologie“ 2004], die jedoch langsamer abgebaut werden als die Kohlehydrate und deren Energieausbeute insofern schlechter ist, da bei gleicher Sauerstoffaufnahme weniger ATP pro Zeiteinheit gebildet werden kann. Eine Leistungssteigerung in dieser Phase ist fast nicht mehr möglich [Elmadfa I. und Leitzmann C. 2004].

Kennzeichnend für den Mischstoffwechsel ist ein Laktatspiegel von $< 4\text{mmol/L}$ (sog. „anaerobe Schwelle“) bzw. ein respiratorischer Quotient (RQ) < 1 . Wird dieser durch Intensitätssteigerung überschritten kommt es zu der oben genannten Blockierung der Fettoxidation und nur mehr Glukose wird mobilisiert. [Haber P. 2009]

In diesem Sinne ist jedoch wichtig zu erwähnen, dass, je besser ein Mensch trainiert ist, er umso länger auf seine Fettdepots als Energiezufuhr auch schon bei höheren Intensitäten zurückgreifen kann [Weineck J. „Sportbiologie“ 2004], was sich an Hand seines Laktatspiegels beurteilen lässt [Haber P. 2009].

Die extensive aerobe Ausdauer wird auch als Grundlagenausdauer bezeichnet und dient vor allem dem Training der $\dot{V}O_{2\text{max}}$ und der Anpassung von Kreislauf, Atmung, Herz und anderer innerer Organe sowie der Kapillarisation und Ausstattung der beanspruchten Muskulatur. [Haber P. 2009]

4.1.1.2. Intensiv aerobe Ausdauer

Wie bereits im Zusammenhang der extensiv aeroben Ausdauer erwähnt, kommt es bei hohen Intensitäten, also einem Laktatspiegel $\geq 4\text{mmol/L}$ bzw. einem RQ ≥ 1 , zur Blockierung der Fettsäureoxidation und somit zum ausschließlichen Abbau von Glukose. Dies kennzeichnet die Energiebereitstellung der intensiv aeroben Ausdauer, sofern ein „Laktat-steady-state“ vorliegt. Dies bedeutet eine Aufrechterhaltung des inneren Milieus und somit eine Stabilisierung der Anpassungsvorgänge an die aufgetretene Belastung. [Haber P. 2009]

Die Aufrechterhaltung dieses Zustandes und somit die Fähigkeit, in diesem Zustand die geforderte Leistung zu bringen, sind jedoch begrenzt, da eine hohe Laktatkonzentration (Laktatazidose) eine niedrigere Energieausbeute und eine schnellere Ermüdung des Muskels bewirkt. [Elmadfa I. und Leitzmann C. 2004]

Das Training der intensiv aeroben Ausdauer ist nur insofern sinnvoll, als dass entsprechende Leistungen in Anlehnung an die auszuübende Sportart gefordert sind. Sein Einsatz ist daher hauptsächlich im Leistungssport gegeben und ratsam. [Haber P. 2009]

4.1.2. Anaerobe Ausdauer

„Anaerob“ bedeutet grundsätzlich „ohne Sauerstoff“, wobei bei der Definition der anaeroben Ausdauer bei der Verwendung dieses Terminus Vorsicht geboten ist. In diesem Falle heißt anaerob nämlich nicht, dass der Muskel unter komplettem Ausschluss von Sauerstoff Energie bereitstellt, sondern, dass zusätzlich zur aeroben Energiebereitstellung auch noch die anaerobe hinzugezogen wird, um noch schneller über Energie zu verfügen und höhere Leistungen bringen zu können. Dies ist vor allem dann der Fall, wenn die aerobe Energiebereitstellung diese Aufgabe nicht mehr bewältigen kann, also die Intensität die 100%ige $\dot{V}O_{2max}$ übersteigt. Diese zusätzliche ATP-Gewinnung geschieht dann unter Ausschluss von Sauerstoff, obwohl dieser eigentlich vorhanden wäre. [Haber P. 2009]

Wieder kann hier, je nach Art der ATP-Bildung, zwischen 2 Formen unterschieden werden:

4.1.2.1. Laktazid anaerobe Ausdauer

Die ATP-Erzeugung erfolgt hier auf Basis der Glykolyse, also dem anaeroben Abbau von Glukose zu Laktat. Kennzeichnend ist aber nicht, wie bei der

intensiv aeroben Ausdauer, ein hoher Laktatspiegel selbst, sondern ein stetiger rascher Anstieg des Laktatspiegels.

Das Training dieser Ausdauerform wird nur in Wettkampfsportarten praktiziert, vor allem in solchen, deren Wettkampfdauer zwischen 30 Sekunden und 6-8 Minuten liegt.

[Haber P. 2009]

4.1.2.2. Alaktazid anaerobe Ausdauer

Jenes Substrat, das bei dieser Form der Ausdauer der Energiegewinnung dient, ist das Kreatinphosphat. Es stellt den kleinsten, dafür aber am schnellsten mobilisierbaren Energiespeicher im Muskel dar [Elmadfa I. und Leitzmann C. 2004] und ist hauptsächlich für jene Sportarten wichtig, die in erster Linie auf Schnelligkeits- und Kraftleistung basieren [Haber P. 2009].

Man spricht hier von Belastungen, die 5-20 Sekunden lang dauern, also z.B. 100-Meter-Sprints [ELMADFA I. und LEITZMANN C. 2004], die aber wiederum nur im speziellen Training der zugehörigen Sportart sinnvoll sind [HABER P. 2009].

5. Kraft

Die Kraft wird rein physikalisch folgendermaßen definiert: [Haber P. 2009]

$$\text{Kraft} = \text{Masse} \times \text{Beschleunigung}$$

Da diese Definition aber nicht auf alle Formen der Kraft umgelegt werden kann, setzte Haber 2009 folgende rein physiologische Beschreibung fest:

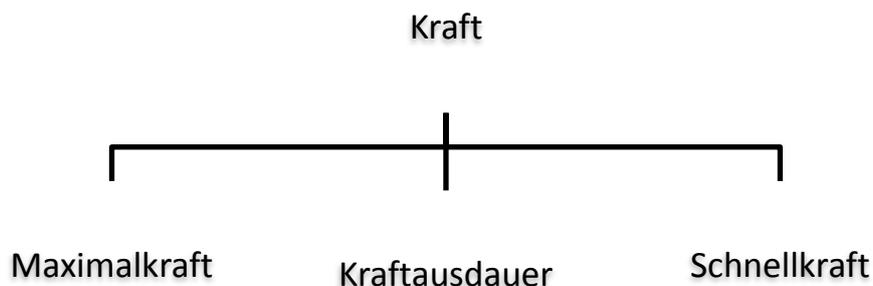
„Kraft ist die Fähigkeit des Muskels, Spannung zu entwickeln.“

Dies bedeutet, dass, egal, wie intensiv, schnell oder andauernd eine Kraftleistung ausgeübt wird, der Muskel sich immer in einem Spannungszustand befinden muss.

Die Kraft stellt einen dominierenden Leistungsfaktor in fast allen Sportarten dar und ist demnach – in ihren verschiedenen Arten – sportartspezifisch zu trainieren, da, für die optimale Erbringung einer sportlichen Leistung, immer ein gewisses Ausmaß an Kraft vorhanden sein muss. Neben der sportartspezifischen Leistungsoptimierung kann eine gut trainierte Muskulatur auch der Verletzungs- und Haltungsprophylaxe dienen. [Weineck J. „Optimales Training“ 2004]

5.1. Arten der Kraft

Grundlegend lässt sich die Kraft nach den beteiligten motorischen Hauptbeanspruchungsformen in folgende 3 Hauptformen unterteilen: [Weineck J. „Sportbiologie“ 2004]



[nach Weineck J. „Optimales Training“ 2004 S.237]

Diese 3 Hauptarten treten in den verschiedensten Sportarten jedoch praktisch nie als alleinige Form oder „Reinform“, sondern immer als Mischform oder in Kombination auf. Im Zuge dessen lassen sich noch die Maximalkraftausdauer

(als Mischform zwischen Maximalkraft und Kraftausdauer), die Schnellkraftausdauer (als Mischform zwischen Kraftausdauer und Schnellkraft), sowie die Explosiv- und Startkraft (als Mischformen zwischen Maximalkraft und Schnellkraft) manifestieren. [Weineck J., „Optimales Training“ 2004]

Im Folgenden sollen aber nur die Merkmale der 3 Hauptformen kurz erläutert werden.

5.1.1. Maximalkraft

Die Maximalkraft meint jene größtmögliche Kraft, die ein Muskel willkürlich aufbringen kann [Weineck J. „Optimales Training“ 2004], und ist somit ein Maß für die Krafftähigkeit dieses Muskels [Haber P. 2009]. Sie wird auch als Grundlagenkraft bezeichnet, von der sich alle anderen Krafftformen ableiten. [Haber P. 2009]

Die energetische Grundlage der Maximalkraft bilden das schnell verfügbare Kreatinphosphat sowie ATP, die als rasche Energielieferanten in jenen Schnelligkeits- und Kraftleistungen zu tragen kommen, die sich im Zeitraum von Sekunden abspielen. [Weineck J. „Optimales Training“ 2004]

Die Höhe der Maximalkraft hängt aber nicht nur von der Energiebereitstellung, sondern auch von der organischen Beschaffenheit des Muskels und der inter- und intramuskulären Koordination ab. [Weineck J. „Optimales Training“ 2004], [HABER P. 2009]

Um die Maximalkraft messen und beurteilen zu können, wurde das Einwiederholungsmaximum festgesetzt, das als jenes Gewicht (in kg) definiert ist, „das mit einer bestimmten Übung unter Aufbietung aller (physischen und psychischen) Kräfte gerade einmal bewältigt werden kann.“ [Haber P. 2009]

5.1.2. Kraftausdauer

Die Kraftausdauer ist, als eine spezielle Form der Kraft, abhängig vom Ausmaß der Maximalkraft. [Haber P. 2009] Sie wird als jene Ermüdungswiderstandsfähigkeit definiert, die es erlaubt, eine Übung mit einem bestimmten Gewicht in einem sportart- bzw. wettkampfspezifischen Bewegungsablauf möglichst oft zu wiederholen. [Haber P. 2009],[Weineck J. „Optimales Training“ 2004] Dies kann sich nur auf eine bestimmte Muskelgruppe beziehen (lokale Kraftausdauer, weniger als ein Siebtel bis ein Sechstel der Muskulatur ist betroffen) oder auch die ganze Körperperipherie betreffen (mehr als ein Siebtel bis ein Sechstel der Muskulatur betroffen). [Weineck J. „Optimales Training“ 2004]

Eine weitaus speziellere Form der Kraftausdauer stellt die Schnellkraftausdauer dar, eine Mischform zwischen Kraftausdauer und Schnellkraft die zusätzlich zu Kraftaufwand und Dauer noch eine möglichst schnelle Bewegung der entsprechenden Muskulatur verlangt. [Weineck J. „Sportbiologie“ 2004]

Die Energiebereitstellung für die Kraftausdauer erfolgt, sportartspezifisch, je nach Intensität, Kraftaufwand und Dauer und kann sowohl aerob als auch anaerob erfolgen [Weineck J. „Optimales Training“ 2004], [Haber P. 2009], wobei zu beachten ist, dass, bei entsprechendem Training der Kraftausdauer, es zu einer Erhöhung der intramuskulären Kreatin- und Glykogenspeicher kommt, da diese am häufigsten beansprucht werden. [Weineck J. „Sportbiologie“ 2004]

Das spezielle Training der Kraftausdauer ist, wie bei den anderen spezifischen Trainingsarten, wieder nur im Leistungssport sinnvoll und bringt im Hobby- und Gesundheitssport sowie zur Rehabilitation keine zusätzlich nützlichen Effekte. [Haber P. 2009]

5.1.3. Schnellkraft

Die Schnellkraft verlangt zusätzlich zum Kraftaufwand, der nötig ist, den Körper, Teile des Körpers oder Gegenstände zu bewegen, dies mit höchstmöglicher Geschwindigkeit zu tun. [Weineck J. „Optimales Training“ 2004]

Grundlage hierfür ist wieder die Maximalkraft, die an Bedeutung gewinnt, je höher das Gewicht der zu überwindenden Last wird. Zusätzlich zur dieser Grundlage treten noch die Form der Explosivkraft und die Startkraft, die eine Unterform der Explosivkraft darstellt, in Erscheinung. Die Explosivkraft meint hier die Fähigkeit, einen möglichst raschen Kraftanstieg pro Zeit zu erreichen, während die Startkraft diesen Kraftanstiegsverlauf gleich zu Beginn einer Bewegung definiert. [Weineck J. „Sportbiologie“ 2004]

Auch das Training der Schnellkraft ist nur im Rahmen entsprechender Leistungssportarten sinnvoll. [Weineck J. „Sportbiologie“]

6. Schnelligkeit

Da die sich die Schnelligkeit aus einer Vielzahl von Fähigkeiten, sowohl auf Grundlage der neuromuskulären Koordination als auch basierend auf der Morphologie der Muskulatur, zusammensetzt [Haber P. „Leifaden zur medizinischen Trainingsberatung“ 2009 S.156], wird sie, je nach Betrachtungsweise, eigentlich sowohl den konditionellen als auch den koordinativen Fähigkeiten zugeordnet [Weineck J. „Optimales Training“ 2004].

Frey 1977 [in Weineck J. „Optimales Training“] definiert die Schnelligkeit, unter Berücksichtigung der eben genannten Beziehung zwischen Koordination und Kondition, wie folgt:

„Schnelligkeit ist die Fähigkeit, aufgrund der Beweglichkeit der Prozesse des Nerv-Muskel-Systems und des Kraftentwicklungsvermögens der Muskulatur, motorische Aktionen in einem unter den gegebenen Bedingungen minimalen Zeitabschnitt zu vollziehen.“

Je nach Sportart bzw. Anforderungen an eine gewisse Bewegungsabfolge, kann die Schnelligkeit in unterschiedlichen Teilbereichen wichtig und ausgeprägt sein. In Sportarten beispielsweise ist sowohl eine schnelle Reaktion und sofortige Anpassung in einer gegebenen Situation, das schnelle Agieren z.B. mit dem Ball, als auch eine schnelle Laufleistung u.v.m. verlangt. [Weineck J. „Optimales Training“ 2004 396, 398] Anders bezieht sich z.B. die Schnelligkeit im Sprint allein auf die Startschnelligkeit bzw. die Reaktion und folgend nur auf den Lauf, sowie sie sich beim Speerwurf wiederum auf die Schrittfolge und die Wurfbewegung bezieht. [Haber P. 2009], [Weineck J. „Optimales Training“ 2004]

Anhand dieser vielen gegebenen Variationen der Schnelligkeit, sollen nun im Folgenden deren verschiedene Arten kurz erläutert werden.

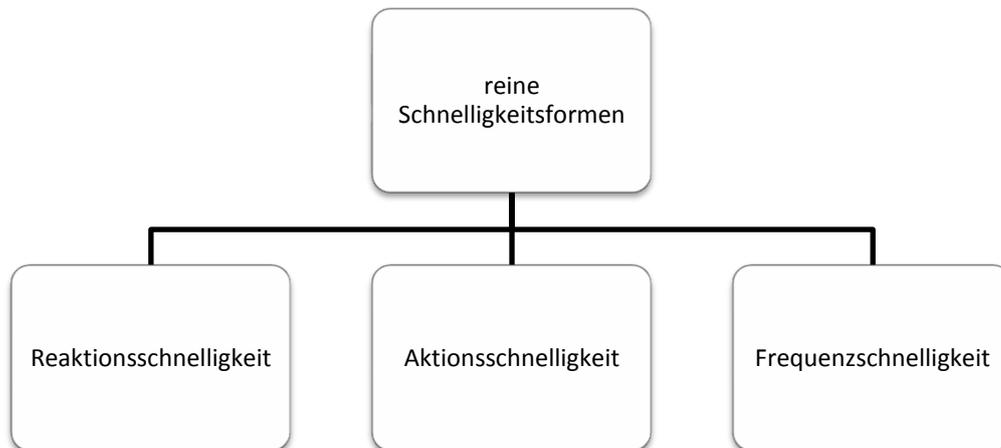
6.1. Arten der Schnelligkeit

Da, wie bereits erwähnt, die Schnelligkeitsleistung ein sehr komplexes Gefüge darstellt, ist es oft schwierig, verschiedene Formen genau abzugrenzen bzw. wird oft sogar von einer Einteilung abgesehen.

Schiffer 1993 in [Weineck J. „Sportbiologie“ 2004] hat allerdings eine Einteilung der motorischen Schnelligkeit in reine und komplexe Schnelligkeitsformen vorgenommen, die sehr überschaubar ist und anhand derer diese Formen kurz definiert werden sollen. [Weineck J. „Sportbiologie“ 2004]

6.1.1. Reine Schnelligkeitsformen (nach Schiffer)

Einteilung:

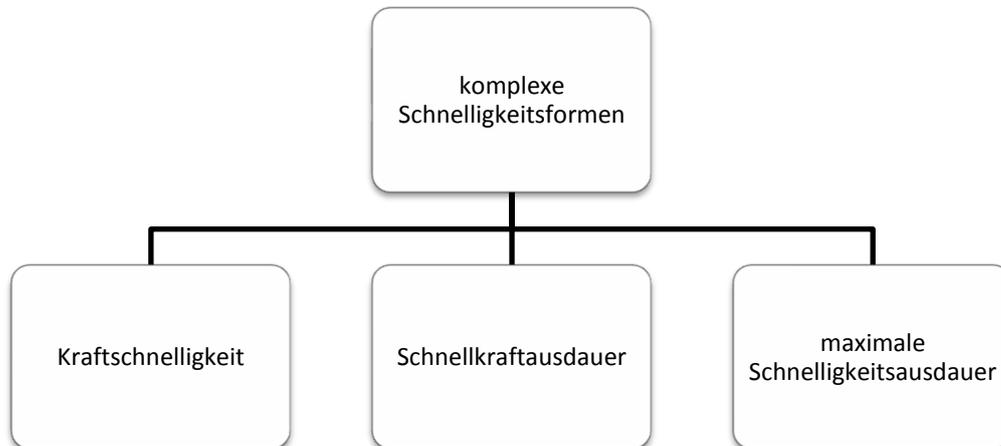


Die **Reaktionsschnelligkeit** meint, ganz allgemein, die schnellstmögliche Reaktion auf einen gegebenen Reiz, beispielsweise die Reaktion zum Sprint nach gegebenem Startsignal im Wettkampf (einfache Reaktion) oder das Reagieren auf verschiedene Situation in einer Spielsportart (komplexe Reaktion). [Weineck J. „Sportbiologie“ 2004]

Eine gute **Aktionsschnelligkeit** bedeutet, eine „einmalige (azyklische) Bewegung (z.B. Wurf, Sprung, Schlag) gegen einen geringen Widerstand mit höchster Geschwindigkeit auszuführen“, während die **Frequenzschnelligkeit** dies in einem zyklischen, also sich wiederholenden, Bewegungsablauf verlangt. [Weineck J. „Sportbiologie“ 2004]

6.1.2. Komplexe Schnelligkeitsformen (nach Schiffer)

Einteilung:



Unter **Kraftschnelligkeit** (vgl. Schnellkraft) versteht man jenen Kraftaufwand, der es ermöglicht, Gegenstände in einer festgelegten Zeit zu bewegen. Die Fähigkeit, eine azyklische (einmalige) Bewegung gegen erhöhte Widerstände möglichst lange, bei maximaler Kontraktionsgeschwindigkeit, durchzuführen, definiert die **Schnellkraftausdauer**, während die **maximale Schnelligkeitsausdauer** eben diese Fähigkeit in zyklischen (sich wiederholenden) Bewegungen meint. [Weineck J. „Sportbiologie“ 2004]

Auch die Verbesserung der (verschiedenen) Schnelligkeitsleistung(en) kann bzw. soll nur im Rahmen eines sportartspezifischen Trainings durchgeführt werden und ist auch nur in diesem Zusammenhang sinnvoll. [Haber P. 2009]

7. Ausdauer-, Kraft- und Schnelligkeitssportarten

In Ergänzung zu den vorangegangenen Kapiteln über die Charakterisierung der Ausdauer-, Kraft- und Schnelligkeitsleistungen, soll hier nun ein Überblick über diesen Beanspruchungsformen zugeordneten Sportarten gegeben werden.

Da die meisten Sportarten den sogenannten „Mischformen“ zuzuordnen sind, die, wie Abb. 4 in Kapitel 3.1. zeigt, sich meist aus 2 der genannten konditionellen Hauptbeanspruchungsformen zusammensetzen, werden sie auch in dieser Zuordnung in der folgenden Tabelle (Tab. 1.) dargestellt.

Tabelle 1. Zuordnung ausgewählter Sportarten

Kraftsport	Gewichtheben, Stoß- und Wurfdisziplinen (Leichtathletik)
Ausdauersport	Langstreckenlauf, Radsport (Straße), Schwimmen, Spielsportarten (Handball, Fußball, Eishockey etc.)
Kraftausdauersport	Rennrudern, Boxen, Ski alpin, Judo
Schnellkraftsport	Kurzstreckenlauf, Sprint- und Sprungdisziplinen, Skisprung, Gymnastik, Radsport (Bahn)

[Elmadfa I. und Leitzmann C. „Ernährung des Menschen“ 2004, Tab. 73.2. S.502], [nach Nöcker 1987 in Elmadfa I. und Leitzmann C. „Ernährung des Menschen“ Tab. 73.3. S.503]

8. Der Stellenwert der Ernährung im (Leistungs-)Sport

Alle lebenden Organismen, so auch der Mensch, sind, um optimal zu funktionieren, auf ausreichende Energiezufuhr angewiesen.

Besonders im Sport, wo Leistung, körperliche Aktivität und Regeneration an vorderster Stelle stehen, sind eine adäquate Nahrungs- und Flüssigkeitszufuhr unerlässlich. Eine ausgeglichene Energiebilanz, und somit eine konstante körperliche Leistung, sind dann erreicht, wenn sich Energiezufuhr und –verbrauch die Waage halten, also genauso viel Energie aufgenommen wird, als verbraucht wird. [American Dietetic Association 2009]

Wie in den vorangegangenen Kapiteln bereits erwähnt, verlangt jede Form der körperlichen Aktivität eine Energiebereitstellung entsprechend der Intensität und der Dauer der jeweiligen Belastung. Im Zuge dessen muss auch das Verhältnis der Hauptnährstoffe, also der energieliefernden Nahrungsbestandteile Kohlehydrate, Fette und Eiweiß, auf die auszuübende Sportart abgestimmt sein. [Berg A. und König D. 2008]

Tabelle 2. zeigt nochmals einen Überblick über die Formen der Energiebereitstellung in Abhängigkeit zur Belastung.

Tabelle 2. Energiebereitstellung nach Art der Belastung (nach Keul 1969)

Art der Belastung	Art der Energiebereitstellung	Verwertete Energieträger
Schnellkraftbelastung (Dauer: bis zu 15 s)	Rein anaerob	Energiereiche Phosphate
Kurzzeitausdauer (Dauer: 15 s – 2 min)	Vorwiegend anaerob	Kohlehydrate (Glykolyse)
Mittelzeitausdauer (Dauer: 2 – 8 min)	Gemischt aerob/anaerob	Kohlenhydrate

Langzeitausdauer (Dauer: 8 – 60 min)	Vorwiegend aerob	Gemischt Kohlenhydrate/Fette
Extreme Ausdauerbelastung (Dauer: über 1h)	Rein aerob	Gemischt Fette/Kohlenhydrate

[nach Keul 1969 in Berg A. und König D. „Optimale Ernährung des Sportlers“ 4. Auflage 2008, S. 91, Tab.19.], [Haber 2009]

Eine unausgeglichene Energiebilanz – sei es nun ein Übermaß oder ein Mangel an einem oder mehreren Nährstoffen – beeinträchtigt den positiven Nutzen des Trainings [American Dietetic Association 2009] resultiert daher meist in einem Leistungsabfall und kann, langfristig betrachtet, auch körperliche Schäden hervorrufen [Berg A. und König D. 2008].

Leistung stellt, vor allem im Leistungssport, eine quantitative Messgröße dar. Beispielsweise kann Geschwindigkeit, Sprunghöhe, Stoßweite, Ausdauer u.v.m. anhand von Zahlen protokolliert werden und somit eine Leistungseinstufung bzw. ein Erfolg beschrieben werden. Es besteht also eine direkte Beziehung zwischen Training und Leistung, ein kausaler Zusammenhang zwischen Ursache und Wirkung. Ebenso verhält es sich mit der Ernährung, denn auch Essgewohnheiten können den sportlichen Erfolg beeinflussen. Ein Sportler, der zwar intensiv trainiert, sich aber nicht angemessen ernährt, wird nie sein volles Leistungspotenzial ausschöpfen können, da die notwendige Leistung nicht zum entscheidenden Zeitpunkt abgerufen und das Trainingslevel nicht aufrechterhalten werden kann. Ebenso ist die Muskelregeneration deutlich langsamer und eine erhöhte Infektionsanfälligkeit besteht. [Maughan R. 2001]

Es wäre hier nun nicht falsch zu behaupten, dass der Einflussfaktor der Ernährung in der entscheidenden Phase eines sportlichen Wettkampfs zwischen Sieg und Niederlage entscheiden kann, [Maughan R. 2001] natürlich nachgereiht dem entsprechenden Training [Haber P. 2009].

9. Ergogene Substanzen

Schon oft im sportlichen Wettkampf haben nur minimale Leistungsunterschiede die Entscheidung zwischen Sieg und Niederlage gefällt. Je besser die Sportwissenschaft und die Medizin entwickelt sind, umso mehr haben Trainer und Ärzte die Möglichkeit, das Leistungspotenzial eines Sportlers voll auszuschöpfen. Heutzutage kommt es bereits auf die Feinarbeiten an, die einen Athleten gegenüber Konkurrenten einen Hauch besser oder schlechter abschneiden lassen und immer mehr wird nach Möglichkeiten gesucht, die die Leistung eines Menschen wieder ein bisschen verbessern können.

Somit ist auch das Interesse an verschiedensten Wirkstoffen und die Suche nach sogenannten „ergogenen“ Substanzen, also Stoffe, vor allem jene aus dem Bereich Ernährung, die eine Leistungserhöhung bewirken könnten, bis heute aktuell. [American Dietetic Association 2009]

Das Wort „ergogen“ entstammt dem Griechischen und setzt sich zusammen aus „ergon“ (Arbeit) und „genan“ (produzieren) [Elmadfa I. 2004]. Es handelt sich also um Stoffe, die dem Körper helfen sollen, mehr Arbeit zu produzieren [Devegowda G. 1998].

9.1. Vier Möglichkeiten der Energiebereitstellung in der Muskelzelle

Wie in den vorangegangenen Kapiteln bereits beschrieben, kann man prinzipiell vier Formen der ATP-Synthese, die dem Muskel unter Belastung zur Verfügung stehen, unterscheiden (Tab.3.):

Tabelle 3. Vier Formen der ATP-Synthese im Muskel

Energiebereitstellung	Substrat
Alaktazid – anaerob	Kreatin(phosphat)
Laktazid – anaerob (Glykolyse)	Glukose (Abbau zu Laktat)

Aerober (oxidativer) Glykoseabbau	Kohlehydrate, Glykogen
Aerober (oxidativer) Fettabbau	Fettsäuren

[Berg A. und König D. 2008], [Haber 2009]

10. Unterstützung ergogener Substanzen im alaktazid anaeroben Bereich

Diese Form der Energiebereitstellung kommt, wie bereits erwähnt, vor allem dann zum Einsatz, wenn es sich um hochintensive oder maximale Belastungen handelt, die, aufgrund des hohen ATP-Verbrauchs, nur wenige Sekunden dauern [Rebello Mendes R. et al. 2004],[Casey A. und Greenhaff P.L. 2000]. Kreatinphosphat als treibende Kraft der ATP-Bereitstellung spielt hier eine besonders elementare Rolle [Casey A. und Greenhaff P.L. 2000] und so soll im Folgenden die Möglichkeit einer Kreatinsupplementation näher betrachtet werden.

10.1. Kreatin

Kreatin gilt wohl als das am längsten bekannte und am meisten untersuchte Nahrungsergänzungsmittel der letzten Jahrzehnte. Der Name stammt von dem griechischen Wort „creas“ = Fleisch ab [Fikenzer S. et al. 2007] und es wurde erstmals 1932 von dem französischen Wissenschaftler Michel Eugene Chevreul nachgewiesen [Mannhart C. und Kamber M. 1998],

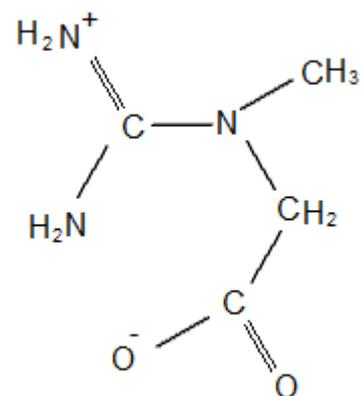


Abb. 5 Struktur des Kreatins

[Fikenzer S. et al. 2007].

Die Popularität dieser Substanz stieg rasch an, als 1992 der Olympionik Linford Christie seinen Erfolg im 100-Meter-Sprint der Einnahme von Kreatin zuschrieb [Nebel R. 2002],[Fikenzer S. et al. 2007].

10.1.1. Vorkommen und Funktion

Kreatin kommt auf natürliche Weise im menschlichen Körper vor und wird in Leber, Niere und Pankreas aus den Aminosäuren Arginin, Glycin und Methionin mittels de novo Synthese gebildet [Casey A. und Greenhaff P. 2002],[Nebel R. 2002],[Mannhart C. und Kamber M. 1998],[Fikenzer S. et al. 2007],[Rossouw F. et al. 2002],[Greenhaff P.L. 1997],[Benzi G. 2000],[Brudnak M.A. 2004].

Gespeichert wird das Kreatin zu 95% in der Skelettmuskulatur, wobei davon ca. 60-65% als Kreatinphosphat und der Rest als freies Kreatin vorliegen [Casey A. und Greenhaff P. 2002],[Nebel R. 2002],[Greenhaff P.L. 1997], aber auch in Herz, Hirn und den männlichen Hoden wird es angereichert [Nebel R. 2002], was einen Gesamtkreatinpool von 120-150g im Körper ergibt [Casey A. und Greenhaff P. 2002],[Nebel R. 2002],[Mannhart C. und Kamber M. 1998]. Das entspräche rund 120mmol/kg Muskelrockenmasse [Mannhart C. und Kamber M. 1998],[Greenhaff P.L. 1997].

Pro Tag bildet unser Körper ca. 1g Kreatin [Biesalski et al. „Ernährungsmedizin“ 1999], wobei diese Synthesemenge jedoch nicht für den täglichen Bedarf ausreicht und daher dieselbe Menge nochmals exogen durch die Nahrung zugeführt werden muss, was einen Kreatinumsatz von 2g pro Tag ergibt [Nebel R. 2002],[Mannhart C. und Kamber M. 1998],[Greenhaff P.L. 1997],[Benzi G. 2000],[Biesalski „Ernährungsmedizin“ 1999].

Tabelle 4. Kreatingehalt diverser Nahrungsmittel

Lebensmittel	Kreatingehalt in g/kg
Hering	6,5 – 10
Schweinefleisch	5,0

Rindfleisch	4,5 – 5
Lachs	4,5 – 5
Thunfisch	4 bzw. 2,7 – 6,5
Kabeljau	3,0
Scholle	2,0
Milch	0,1
Preiselbeeren	0,02
Garnelen, Krabben	Spuren

[Nebel R. 2002],[Mannhart C. und Kamber M. 1998], [Biesalski et al. 1999],
[Balsom et al in „Essentials of Sports Nutrition and Supplements“ 2008]

Dem Zusammenspiel von Kreatin und Kreatinphosphat in den Muskelzellen obliegt eine entscheidende Rolle bei der Muskelkontraktion, vor allem bei (hoch-)intensiver Belastung [Casey A. und Greenhaff P.L. 2000],[Brudnak M.A. 2004].

Für jede Form der Leistungserbringung benötigt der Muskel ATP (Adenosintriphosphat), welches jedoch erst aus ADP (Adenosindiphosphat) und energiereichem Phosphat „gewonnen“ werden muss.



Als Überträger dieser Phosphatgruppe dient das Kreatinphosphat, das diese auf das ADP überträgt und somit wieder ATP zur Verfügung gestellt wird. Hier spricht man von ATP-Resynthese, da das zuvor verbrauchte ATP möglichst rasch wieder rückgewonnen wird und somit eine weitere Energiebereitstellung gesichert ist [Casey A. und Greenhaff P.L. 2000],[Nebel R. 2002], [Löffler et al 2007].

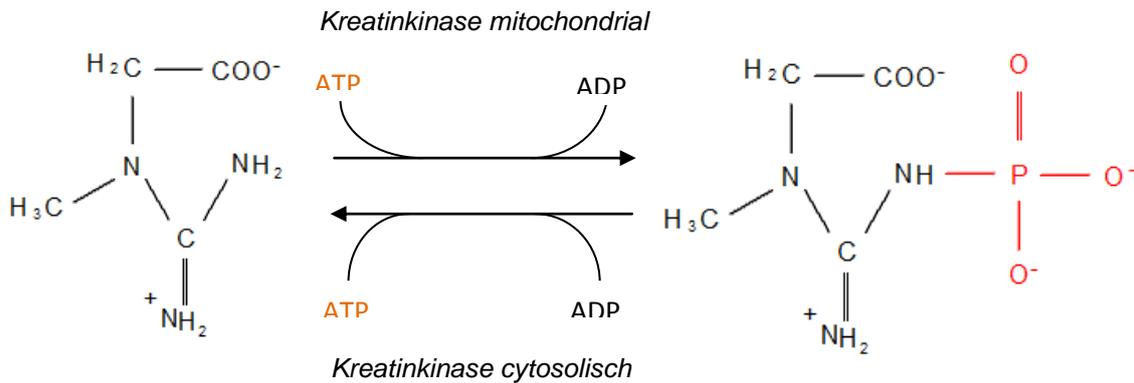


Abb. 6 ATP-Regeneration durch Kreatinphosphat [in Anlehnung an Löffler et al 2007 Abb.16.14]

In Summe würde dieses Zusammenspiel so aussehen: [Greenhaff P.L. 1997]



Die Energiebereitstellung durch das Kreatinphosphat reicht in der Regel für Höchstbelastungen von bis zu 10 Sekunden Dauer [Nebel R. 2002],[Brudnak M.A. 2004], bis sich ein deutlicher Leistungsabfall verzeichnen lässt [Casey A. und Greenhaff P.L. 2000], da das Kreatin nach Übertragung der Phosphatgruppe auf ADP erst wieder in den Mitochondrien durch die mitochondriale Kreatinkinase rephosphoryliert werden muss [Nebel R. 2002],[Benzi Gianni 2000],[Brudnak M.A. 2004],[Löffler et al 2007]. Kreatinphosphat dient also als schneller Energielieferant, der es dem Körper ermöglicht, gleich von Beginn an maximale Leistungen zu erbringen, bevor die Energiebereitstellung durch Glucose- oder Fettabbau einsetzt [Mannhart C. und Kamber M. 1998]. Es stellt also eine Art Überbrückungsenergie dar, deren Reserven aber genauso schnell entleert sind, als sie auch vorher zur Verfügung stehen [Elmadfa I. und Leitzmann C. 2004].

Logisch ist somit die Tatsache, dass vor allem schnelle Muskelfasern (Typ II Fasern) eine besonders hohe Kreatin-Phosphokinase-Aktivität aufweisen, was

sich auch in einer größeren Nutzung des Kreatinphosphats zeigt [Casey A. und Greenhaff P.L. 2002]. Offenbar hat dieser intensivere Verbrauch in den Typ II Fasern aber zur Folge, dass das verbrauchte Kreatinphosphat in diesen Fasern auch langsamer resynthetisiert werden kann als in den langsamen Muskelfasern (Typ I Fasern) [Casey A. und Greenhaff P.L. 2002], [Elmadfa I. und Leitzmann C. 2004]. Da die Resynthese aerob verläuft und die Typ I Fasern besonders für die aerobe Energiebereitstellung durch eine hohe Mitochondriendichte, oxidative Enzyme und bessere Kapillarisation ausgestattet sind, ist dieses Phänomen auch leicht verständlich [Casey A. und Greenhaff P.L. 2002].

Somit lässt sich die Theorie aufstellen, dass die sofortige Verfügbarkeit des Kreatinphosphats für die ATP-Bereitstellung optimal ist, um Höchstleistung in kurzer Zeit zu erbringen, jedoch aber durch den raschen Verbrauch der Kreatinspeicher und die langsamere Resynthese limitiert ist.

Es stellt sich somit die Frage, ob es möglich ist, durch eine Vergrößerung der intramuskulären Kreatinspeicher, eine längere Energiebereitstellung bei maximaler Belastung zu erreichen. [Nebel R. 2002],[Benzi G. 2000]

10.1.2. Kreatinsupplementation im Sport

In den letzten Jahren wurden sehr viele Studien hinsichtlich einer Kreatinsupplementation in den verschiedensten Sportarten durchgeführt. Aufgrund der Physiologie wurde dabei das Augenmerk auf jene Disziplinen gelegt, in denen die Höchstbelastung der jeweiligen Muskeln gefragt war und sich der Belastungszeitraum nach der Energiebereitstellung durch Kreatin richtete [Rebello Mendes R. et al. 2004],[Greenhaff Paul L. 1997]. Solche Sportarten sind beispielsweise Sprint-Disziplinen, wie 100m- oder 200m-Lauf bzw. auch 25m- oder 50m-Schwimmen, Sportarten mit hohem Kraftaufwand, wie Gewichtheben oder Diskuswerfen, und auch Sportsportarten, wie Hockey, Fußball, Basketball etc. [Fikenzer S. et al. 2007],[Beni G. 2000], die zwar unterschiedlichen Anforderungen unterliegen, jedoch alle von Dynamik und

wiederholter oder einmaliger hochintensiver Belastung gekennzeichnet sind [Nebel R. 2002].

10.1.2.1. Supplementationsstrategien

In den etlichen Studien zur Einnahme von Kreatin im Sport stößt man auf unterschiedliche Durchführungen einer Supplementation. Zu beobachten ist die Einnahme in Tablettenform [Rossouw F. et al. 2000],[Greenhaff P.L. 1997], gelöst in (warmem) Wasser [Greenhaff P.L. 1997],[Snow R.J. et al. 1998],[Stout J. et al. 1999] bzw. auch Saft [Ziegenfuss T.N. et al. 2002], eine kombinierte Einnahme mit Kohlehydraten [Rebello Mendes R. et al. 2004],[Casey A. und Greenhaff P.L. 2002],[Benzi G. 2000],[Snow R.J. et al. 1998],[Stout J. et al. 1999] oder auch Supplementationen zusammen mit einheitlicher sportlicher Betätigung [Casey A. und Greenhaff P.L. 2000],[Greenhaff P.L. 1997],[Stout J. et al. 1999].

Trotz dieser verschiedenen Darreichungsformen, charakterisiert sich jedoch ein Supplementationsschema heraus, das zunächst eine „Ladephase“ von einer Dauer von durchschnittlich 5-8 Tagen beinhaltet, bei einer Dosis an Kreatin(monohydrat) von 0,25-0,3g/kg Körpergewicht, entsprechend 20-30g, pro Tag. [Casey A. und Greenhaff P.L. 2000],[Nebel R. 2002],[Fikenzer S. et al. 2007],[Rossouw F. et al. 2000],[Greenhaff P.L. 1997],[Benzi G. 2000],[Brudnak M.A. 2004],[Snow R.J. et al. 1998],[Stout J. et al. 1999] Diese Menge soll die totale intramuskuläre Kreatinkonzentration um bis zu 20% steigern können, wobei 20-30% davon Kreatinphosphat darstellt [Casey A. und Greenhaff P.L. 2000],[Nebel R. 2002],[Mannhart C. und Kamber M. 1998],[Greenhaff P.L. 1997]. Betrachtet man die, durch diese Ladephase erhaltene, Endkreatinkonzentration im Muskel, so zeigt sich, dass ebenso eine Kreatinsupplementation von nur 3g pro Tag über einen Zeitraum von 28 Tagen den gleiche Effekt zeigt, wie bei einer hohen Kreatindosis nach 5-8 Tagen [Mannhart C. und Kamber M. 1998].

In der Studie von Ziegenfuss T.N. et al. (2002) an Collegeathleten wurde beispielsweise jedoch nur eine Ladephase von 3 Tagen bei eben genannter hoher Dosis festgelegt, da die größte Aufnahme an intramuskulärem Kreatin bzw. Kreatinphosphat innerhalb der ersten 48-72 Stunden der Einnahme erfolgt [Ziegenfuss T.N. 2002]. Auch andere Studien zeigten, dass ca. 30% der gesamten Kreatinaufnahme bereits in den ersten beiden Tagen der Supplementation zu verzeichnen sind, verglichen mit nur 15% an den folgenden beiden Tagen [Casey A. und Greenhaff P.L. 2000],[Greenhaff P.L. 1997], was eine länger andauernde Supplementation über 5 Tage hinweg hinsichtlich des Effektes nicht rechtfertigen würde [Casey A. und Greenhaff P.L. 2000]. Benzi G. (1999) spricht sogar davon, dass die Supplementation sich im Bereich des täglichen Kreatinumsatzes bewegen sollte, um die körpereigene Kreatinsynthese nicht zu beeinträchtigen [Benzi G. 2000].

Um den erreichten Status an totalem intramuskulärem Kreatin zu erhalten bzw. um einen rasanten Abfall zu vermeiden, wurde in den meisten Studien eine „Erhaltungsdosis“ von ca. 0,03g/kg Körpergewicht, entsprechend 2-5g, pro Tag verabreicht [Casey A. und Greenhaff P.L. 2000],[Nebel R. 2002],[Mannhart C. und Kamber M. 1998],[Greenhaff P.L. 1997],[Brudnak M.A. 2004], meist für eine Dauer von rund 28 Tagen [Casey A. und Greenhaff P.L. 2000], da es noch keine Erfahrungswerte bzw. konstante Ergebnisse bezüglich einer länger andauernden Supplementationszeit und etwaigen einhergehenden Nebenwirkungen gibt [Casey A. und Greenhaff P.L. 2000],[Nebel R. 2002],[Greenhaff P.L. 1997].

In Abb. 7 wird ersichtlich, dass eine Kreatinsupplementation von 20g pro Tag für 6 Tage den Gesamtkreatinspeicher deutlich anhebt. Die obere Graphik zeigt die Auswirkungen der „Ladephase“ und den folgenden Abfall der Kreatinkonzentration nach Absetzen der Einnahme, wobei in der unteren Graphik die Erhaltung des Status durch die angrenzende „Erhaltungsphase“ dargestellt wird. [Casey A. und Greenhaff P.L. 2000]

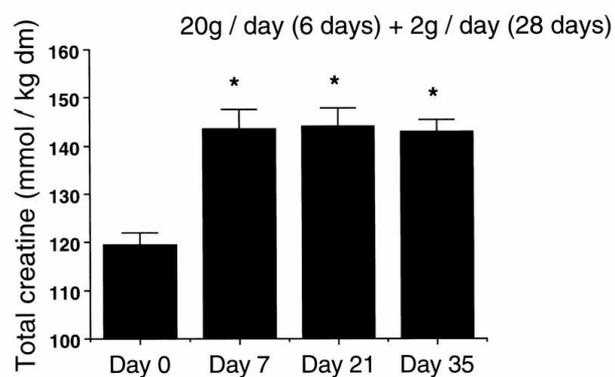
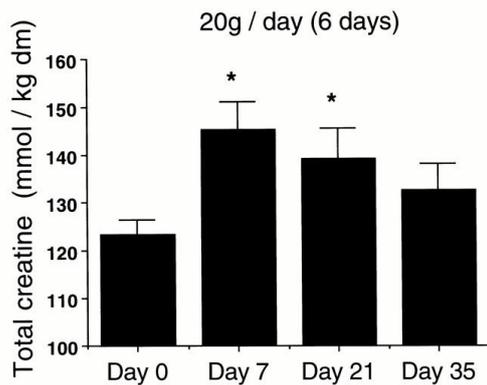


Abb. 7

Totale Kreatinkonzentration vor und nach einer Supplementation von 4x5g/d für 6 Tage (oben) sowie nach einer Supplementation von 4x5g/d für 6 Tage und anschließender Erhaltungsdosis von 2g/d für die folgenden 28 Tage (unten). [Graphik von Hultman et al 1996 in Casey A. und Greenhaff P.L. 2000]

Der höchste intramuskuläre Kreatinstatus, der durch Supplementation erreicht werden kann, scheint bei 150-160mmol/kg Muskelrockentmasse zu liegen [Casey A. und Greenhaff P.L. 2000],[Nebel R. 2002],[Greenhaff P.L. 1997]. Überschüssig aufgenommenes Kreatin wird renal ausgeschieden [Casey A. und Greenhaff P.L. 2000],[Nebel R. 2002], indem anorganisches Phosphat von Kreatinphosphat abgespalten wird und durch einen Ringschluss dann das Kreatinin entsteht, welches eben durch die Nieren glomerulär filtriert und mit dem Urin ausgeschieden wird (Abb. 8) [Brudnak M.A. 2004],[Löffler et al. 2007].

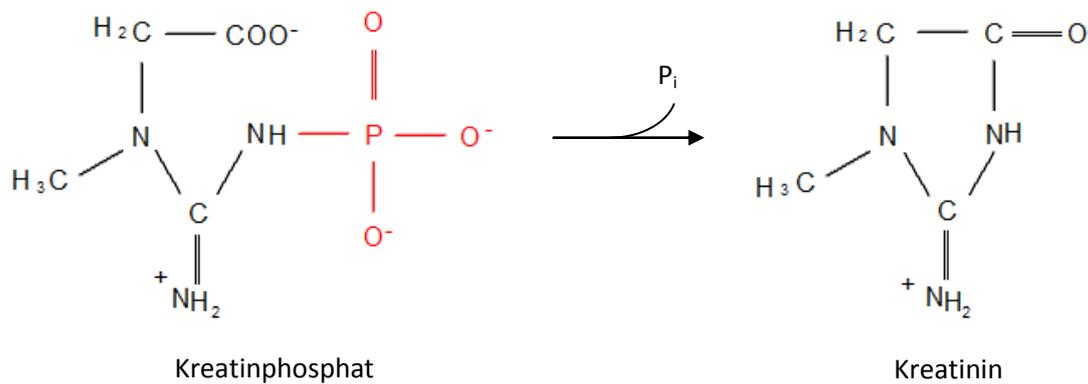


Abb. 8 Abspaltung von anorganischem Phosphat von Kreatinphosphat und anschließende Zyklisierung zu Kreatinin. [in Anlehnung an Löffler et al. 2007]

Die individuellen Möglichkeiten eines jeweiligen Menschen, wie gut er auf eine Kreatinsupplementation anspricht, also was für einen Nutzen er daraus ziehen kann, und wie viel er davon speichern kann, sind sehr verschieden [Greenhaff P.L. 1997] und hängen von mehreren Faktoren ab wie beispielsweise der Darreichungsform [Casey A. und Greenhaff P.L. 2000],[Nebel R. 2002], Ausgangskonzentration an Kreatin im Muskel [Nebel R. 2002] und ob die Supplementation mit körperlicher Betätigung verbunden wurde [Casey A. und Greenhaff P.L. 2000]. Es zeigte sich auch, dass manche Menschen auf Kreatineinnahmen nur sehr gering bis gar nicht ansprechen, also keinen zusätzlichen Erfolg in ausgewählten sportlichen Disziplinen aufweisen können. Sie werden als „Nonresponder“ bezeichnet. [Hespel et al. in Brudnak M.A. 2004]

10.1.2.2. Auswirkung einer Supplementation auf physiologische Parameter

Wie in Abb. 7 schon gezeigt und bereits erläutert, führt eine Kreatinsupplementation mit entsprechend hoher Dosis zu einem Anstieg an totalem intramuskulärem Kreatin von bis zu 20%, wobei einen adäquaten Anteil von 20-30% das Kreatinphosphat darstellt [Casey A. und Greenhaff P.L.

2000],[Nebel R. 2002],[Mannhart C. und Kamber M. 1998],[Greenhaff P.L. 1997],[Snow R.J. et al. 1998].

Rebello Mendes R. et al. (2004) stellten an einer Studie an Schwimmern bei einer Kreatinzufuhr von 20g pro Tag einen signifikanten Anstieg an Kreatin als auch an Kreatinin im Urin fest. Anhand eines Vergleichs der supplementierten mit der ausgeschiedenen Menge an Kreatin konnte festgestellt werden, dass über 50% der Supplementationsmenge gespeichert wurden. [Rebello Mendes R. et al. 2004]

Trotz erhöhter renaler Ausscheidung dieser beiden Parameter, wurde in einigen Studien eine verminderte Urinausscheidung, sprich ein geringeres Urinvolumen während der Supplementationsdauer, verzeichnet [Casey A. und Greenhaff P.L. 2000],[Nebel R. 2002]. Dies lässt auf eine erhöhte Wasserretention schließen [Casey A. und Greenhaff P.L. 2000],[Nebel R. 2002], die folglich zu einer Erhöhung des Körperwassers führt [Rebello Mendes R. et al. 2004],[Casey A. und Greenhaff P.L. 2000],[Nebel R. 2002],[Ziegenfuss T.N. et al. 2002], wobei man hier von Gesamtkörperwasser und intrazellulärem Wasser spricht, wie Ziegenfuss 1998 [in Benzi G. 2000] anhand einer Bioimpedanzanalyse nach 3-tägiger Kreatinsupplementation feststellte [Benzi G. 2000]. Aufgrund des strukturellen Aufbaus des Kreatins, kann die erhöhte Wasserretention auf den vermehrten Einstrom von Wasser in die Zelle, bei Aufnahme von Kreatin-Ionen, geschlossen werden [Benzi G. 2000].

Dieses Phänomen wäre auch eine Erklärung dafür, warum es bei Kreatinaufnahmen zur Erhöhung der fettfreien Körpermasse (lean body mass, LBM) und zur Vergrößerung der Muskelzellen kommt, was ja beispielsweise ein Ziel des Bodybuildings ist [Nebel R. 2002]. Aufgrund der kurzzeitigen hohen Aufnahme ist es physiologisch unwahrscheinlich, dass die Zunahme des Muskelvolumens aufgrund vermehrter Protein-de novo- Synthese, also gesteigerter Muskelbildung, eintritt [Benzi G. 2000].

Ziegenfuss T.N. et al. (2002) stellte an einer Studie an amerikanischen Collegeathleten, aus verschiedensten Sportarten, eine Erhöhung des

Muskelvolumens am mittleren Oberschenkel, in 5 von 6 Studienteilnehmern, um 6,6%, im Vergleich zur Placebogruppe, fest (Abb. 9) [Ziegenfuss T.N. et al. 2002].

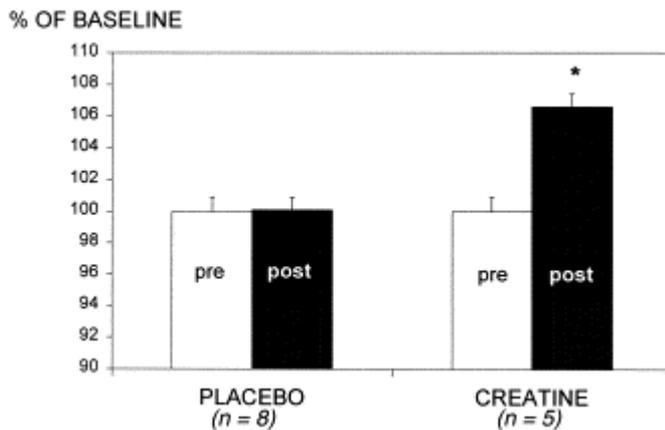


Abb. 9 Veränderung im Muskelvolumen nach 3-tägiger Kreatinsupplementation von 20-30 g pro Tag im Vergleich zur Placebogruppe [in Ziegenfuss T.N. et al. 2002]

Eine Gewichtszunahme, sei es nun aufgrund der Menge an Körperwasser, LBM oder Kreatin bzw. Kreatinphosphat, ist aber in jedem Fall signifikant und zeigte sich in auch in zahlreichen Studien. [Rebello Mendes R. et al. 2004],[Casey A. und Greenhaff P.L. 2000],[Nebel R. 2002],[Mannhart C. und Kamber M. 1998],[Rossouw F. et al. 2000],[Benzi G. 2000],[Snow R.J. et al. 1998],[Stout J. et al. 1999],[Ziegenfuss T.N. et al. 2002],[Kreider R.B. et al. 1998]

10.1.2.3. Auswirkung einer Supplementation bei Sportliche Belastung

Wie bereits erläutert, besteht die Hypothese, dass, durch einen erhöhte Kreatin(phosphat)-Konzentration im Muskel, die Erschöpfung der ATP-Resynthese und damit Ermüdung des Muskels, bei höchst intensiver, kurz andauernder Belastung, vermindert und somit eine Leistungsverbesserung ermöglicht werden soll [Rebello Mendes R. et al. 2004],[Nebel R. 2002],[Rossouw F. et al. 2000],[Snow R.J. et al. 1998],[Stout J. et al. 1999]

10.1.2.3.1. Einzelbelastungen

In den meisten Studien, die den Einfluss einer Kreatinsupplementation auf einzelne Höchstbelastungen untersuchten, waren die Ergebnisse sehr verschieden, obwohl die Kreatinkonzentration im Muskel signifikant gesteigert werden konnte. Der Grund dafür ist, dass der normale Kreatinpool des Muskels, bei den meisten Menschen, wohl für eine einzelne, intensive Belastung ausreichend ist und sich erst bei wiederholten Belastungen die Vorteile eines erhöhten Speichers zeigen. [Nebel R. 2002]

Anders kann die Situation aber natürlich bei jenen Personen aussehen, deren Kreatinspeicher, beispielsweise durch ungenügende Aufnahme, wie dies bei Vegetariern oft der Fall ist, grundsätzlich zu niedrig sind und somit ihr volles Leistungspotenzial auch in den Einzelleistungen nicht ausgeschöpft werden kann [Casey A. und Greenhaff P.L. 2000], was oft anhand kontroverser Studienergebnisse zu erkennen ist [Nebel R. 2002].

Personen, die bereits vor der Supplementation einen höheren Kreatinspiegel aufweisen, weisen keinen so steilen Anstieg der Konzentration auf, wie jene Personen, deren Spiegel zuvor niedrig war [Greenhaff P.L. 1997], wobei immer noch individuelle Unterschiede zu erkennen sind (Abb. 10).

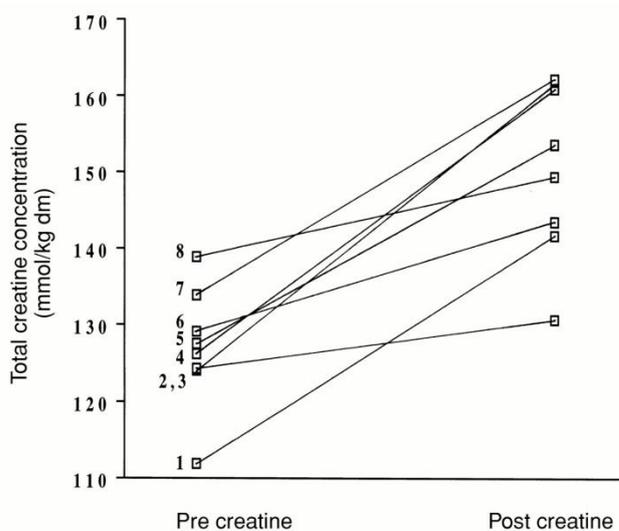


Abb. 10 Individueller Anstieg der Kreatinkonzentration nach Supplementation von 4x5g/d (nach Casey A. et al. in Casey A. und Greenhaff P.L. 2000)

10.1.2.3.2. Wiederholte Belastungen

Der positive Effekt einer erhöhten Kreatinaufnahme scheint seine Wirkung erst bei wiederholten, intensiven Belastungen, mit zwischenzeitlichen kurzen Erholungspausen, zu demonstrieren. Erst hier können die Vorteile einer erhöhten Konzentration, nämlich verbesserte Resynthese und schnellere ATP-Bereitstellung, nach bereits erfolgter Ausnutzung der Kreatinphosphat-Verfügbarkeit, ausgenutzt werden.

Je höher also der Anstieg der Kreatinkonzentration, desto höher sollte der Einfluss auf die ATP-Resynthese sein [Casey A. und Greenhaff P.L. 2000], wobei zu beachten ist, dass erst ab einer Erhöhung der Kreatinkonzentration um ≥ 20 mmol/kg Muskel trockenmasse ein positiver Effekt zu verzeichnen ist [Casey A. und Greenhaff P.L. 2000],[Greenhaff P.L. 1997],[Snow R.J. et al. 1998].

Eine Verbesserung der Leistung konnte beispielsweise in diversen Sprints [Stout J. et al. 1999],[Ziegenfuss T.N. 2002],[Kreider R.B. et al. 1998], im Bankdrücken [Stout J. et al. 1999],[Kreider R.B. et al. 1998], bei Kniebeugen [Rossouw F. et al. 2000],[Kreider R.B. et al. 1998] und Klimmzügen [Kreider R.B. et al. 1998] festgestellt werden, wobei hingegen im Kurzstrecken-Schwimmen keine Leistungsverbesserung gezeigt werden konnte [Rebello Mendes R. et al. 2004].

10.1.2.3.3. Überblick über ausgewählte Studien

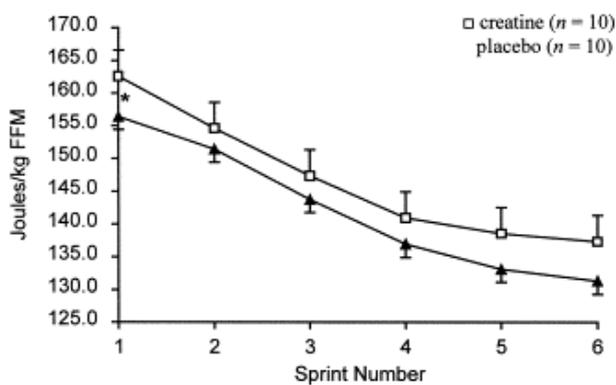
Eine Studie von Ziegenfuss T.N. et al. (2002) zeigt positive Ergebnisse in Einzel- und in Wiederholungsbelastung, weswegen sie an dieser Stelle genauer erläutert werden soll:

Ziegenfuss T.N. et al. (2002) führte eine Studie an gesunden NCAA-Athleten aus unterschiedlichen Sportarten durch, bei der sowohl männliche als auch weibliche Probanden beteiligt waren. Untersucht wurde der Einfluss einer 3-tägigen Kreatinsupplementation auf die anaerobe Leistung in 10-Sekunden

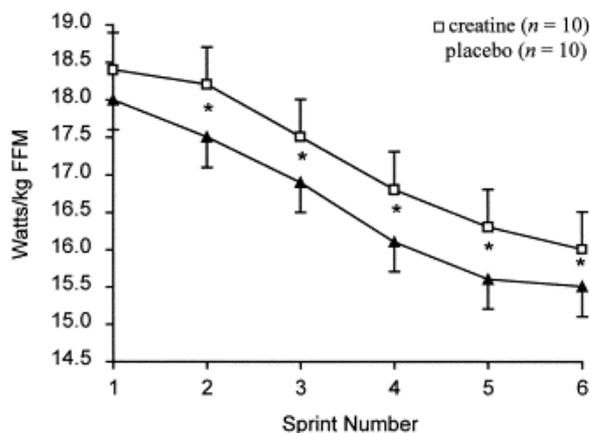
Sprints, bei 6 Wiederholungen mit jeweils 60 Sekunden Pause, am Fahrradergometer. Seine Ergebnisse repräsentieren sowohl Leistungssteigerung in Einzel- als auch in Wiederholungsbelastung. Die Summe der Einzelleistungen beim ersten Sprint (Abb. 11b)) als auch die individuellen Höchstleistungen in Sprints 2-6 (Abb. 11a)) waren in der Kreatingruppe höher. Es ist also in jedem Fall durch die Kreatinsupplementation eine Leistungsverbesserung deutlich.

Abb. 11 a) Verbesserte Höchstleistung in Sprints 2-6 und b) verbesserte Summe der Leistungen im Sprint 1 [in Ziegenfuss T.N. et al. 2002]

a)



b)



Interessant zu beobachten ist in dieser Studie auch, dass Frauen zwar zu Beginn – erwartete – geringere Leistungswerte aufweisen, ab dem 2. bis 3. Sprint jedoch einen geringeren Leistungsabfall zu verzeichnen haben als die männlichen Probanden (Abb. 12).

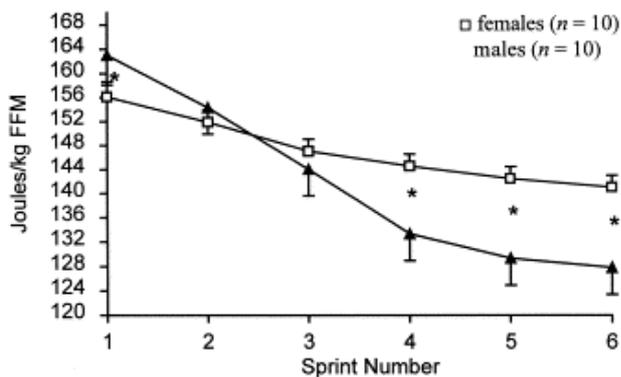


Abb. 12 Leistungsdiagnose nach Geschlecht [in Ziegenfuss T.N. et al. 2002]

Weitere Ergebnisse ausgewählter Studien sind in Tabelle 5. dargestellt:

Tabelle 5. Studien zur Leistungsverbesserung durch Kreatinsupplementation

Studie	Probanden	Dauer der Supplementat ion	Dosis pro Tag	Art der Belastung	Effekte
Stout et al. [11]*	24 guttrainierte Männer (Footballspieler)	8 Wochen + Kraft und Schnelligkeitstraining	Testgruppe I: 4x(5,25g Kreatin+ 1g CHO) Testgruppe II: 4x(5,25g Kreatin +33g CHO) Placebogruppe: 4x35g CHO	Beinpresse: 3-5 Wh. Vertikaler Sprung: 3 Wh. 100 yrd.-Sprint: 3 Wh.	Testgruppe I: Verbesserung bei Beinpresse Testgruppe II: Verbesserung bei Beinpresse, vertikalem Sprung und 100 yrd.-Sprint
Kreider et al. [13]*	25 guttrainierte Männer	8 Wochen + derzeitiges Training	Testgruppe: 15,75g/d Kreatin+ Phosphagen HP	Maximale Wiederholung: Beinpresse,	Verbesserung bei Beinpresse in Gewicht und

	(Football- spieler)		(99g Glu+3g Taurin +1,1g Dinatrium- hydrogenphosphat) +1,2g Kaliumphosphat Placebogruppe: Phosphagen HP (99g Glu+3g Taurin +1,1g Dinatrium- hydrogenphosphat) +1,2g Kaliumphosphat	Klimmzügen, Kniebeugen 12x6 Sek. Sprint mit 30 Sek. Pause	Wiederholungen Verbesserung bei Klimmzügen und Kniebeugen in Wiederholungen Bessere Leistung in den ersten 5 Sprints.
Mendes et al. [1]*	18 guttrainierte Schwimmer (6 Frauen, 12 Männer)	8 Tage	Testgruppe: 4x (5g Kreatin+20g KH) Placebogruppe: 4x20g KH	1x 50m schwimmen, 1x 100m schwimmen, 3x 50 m schwimmen mit 30 Sek. Pause	Kein Unterschied zwischen Testgruppe und Placebogruppe
Rossouw et al. [6]*	13 guttrainierte Kraftsportler (11 Männer, 2 Frauen)	6 Tage	Testgruppe: 3x3g Kreatin Placebogruppe: 3x3g Saccharose	3x maximale „Knie- Extension“ mit 60 Sek. Pause; 1x Maximalgewic ht stemmen	Verbesserung beim Stemmen; Bessere „Knieextension“ in 3. Runde (Höchstleistung und Gesamtleistung), auch in 2. Runde
Snow et al. [10]	8 aktive, untrainierte Männer	5 Tage	Testgruppe: 6x[5g Dextrose + 5g Kreatin] Placebogruppe: 6x5g Dextrose (Cross-over-Design)	20 Sek. Sprint am Fahrradergom eter	Keine Verbesserung, da zu geringer TCr- Anstieg

*doppelblind, randomisiert

10.1.3. **Nachteilige Effekte**

In einigen Studien wurden nach einer Kreatinsupplementation, nach oben beschriebener Supplementationsstrategie, neben möglichen positiven Effekten auch nachteilige Effekte beobachtet.

Die am meisten beobachtete Tatsache war jene der Gewichtszunahme. Obwohl sie in manchen Bereichen, wie Bodybuilding, sogar erwünscht ist, kann eine Gewichtszunahme während der Supplementation eine mögliche Leistungssteigerung behindern. Gerade in Sportarten wie Sprint oder Fußball, in denen ein erhöhtes Körpergewicht einen Nachteil darstellt, ist eine Zunahme desselben kontraproduktiv. Zwar wäre eine verbesserte Leistung durch den erhöhten Kreatinpool theoretisch möglich, praktisch hebt sich dieser positive Effekt aber durch den negativen, nämlich die Gewichtszunahme, wieder auf. Ob die Gewichtszunahme als positiv oder negativ betrachtet wird, hängt jedoch ganz von der Sportart ab. [Rebello Mendes R. et al. 2004],[Nebel R. 2002],[Mannhart C. und Kamber M. 1998],[Rossouw F. et al. 2000],[Benzi G. 2000],[Snow R.J. 1998],[Ziegenfuss T.N. et al. 2002],[Kreider R.B. et al. 1998]

Eine vermehrte exogene Zufuhr soll die körpereigene Kreatinsynthese herabsetzen, weswegen von einer Supplementationsdauer > 28 Tagen abgeraten wird. Nach dieser Dauer und einer adäquaten „wash-out“-Periode (ca. 4 Wochen), erreicht die Eigensynthese jedoch wieder ihren normalen Status. [Mannhart C. und Kamber M. 1998]

Da bei sehr hoher Kreatinzufuhr (20g/d) die Kreatin- und Kreatininausscheidung im Harn erhöht ist, geht man von einer verstärkten Nierenbelastung aus. Zwar wurden Störungen der renalen Funktion nur in Einzelfällen verzeichnet, man rät aber trotzdem zur Vorsicht und von einer Dauersupplementation (>28 Tage) ab, da die Langzeitauswirkungen einer Kreatinsupplementation noch nicht bekannt sind. [Nebel R. 2002],[Mannhart C. und Kamber M. 1998],[Benzi G. 2000],[Greenhaff P. 1998]

Einige weitere Nebenwirkungen, wie Muskelkrämpfe [Casey A. und Greenhaff P.L. 2000],[Fikenzer S. et al. 2007], gesteigerte Insulinproduktion [Benzi G.

2000], Durchblutungsstörungen [Mannhart C. und Kamber M. 1998], Hitzeintoleranz [Nebel R. 2002], Dehydrierung [Nebel R. 2002],[Brudnak M.A. 2004] u.v.m. wurden zwar in Einzelfällen verzeichnet, zeigen jedoch kein systematisches Auftreten.

Brudnak M.A. (2004) hielt fest, dass Kreatin möglicherweise kanzerogen wirken könnte. Er meinte, dass pathogene Bakterien, wie z.B. Escherichia coli, dazu befähigt sind, potenzielle mutagene oder kanzerogene Metaboliten aus Kreatin zu produzieren, die dann schädlich auf den Körper wirken und sogar das Krebsrisiko fördern. Diese Bakterien kommen jedoch nur in geringer Zahl im menschlichen Körper vor und sollten durch eine adäquate Ernährung und ein gutes Immunsystem in Schacht gehalten werden. [Brudnak M.A. 2004]

Obwohl sogar von einzelnen Todesfällen während einer Kreatinsupplementation berichtet wurde, konnten aber diesbezüglich keine direkten Zusammenhänge festgestellt werden [Nebel R. 2002],[Greenhaff P. 1998].

10.1.4. Diskussion

Kreatin ist bereits als weit verbreitetes, leistungssteigerndes Mittel Bestandteil von sportlichen Supplementen.

Sein leistungssteigernder Effekt in körperlichen Höchstleistungen, im Bereich der alaktazid anaeroben Ausdauer, wurde anhand vieler Studien untermauert, wobei auch immer wieder kontroverse Ergebnisse vorlagen.

Die langfristigen Auswirkungen einer Supplementation auf die endogene Synthese und etwaige Langzeiteffekte auf den Organismus sind noch nicht abschätzbar und bedürfen weiterer Untersuchungen.

10.2. Coenzym Q₁₀ (Ubichinon 50)

Coenzym Q₁₀ wurde erstmals 1957 in Fleisch-Mitochondrien isoliert [Mizuno K. et al. 2008] und bietet eine weitere Möglichkeit, wie die sportliche Leistungsfähigkeit im Bereich der alaktazid anaeroben Ausdauer verbessert werden könnte,

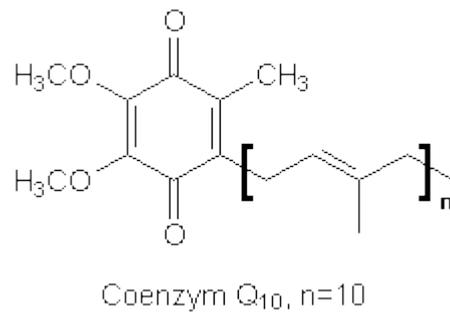


Abb. 13. Struktur von Coenzym Q₁₀

da es, wie auch Kreatin, eine wichtige Rolle in der ATP-Bereitstellung spielt [Cooke M. et al. 2008].

Im klinischen Bereich ist der Einsatz von Coenzym Q₁₀ zur Behandlung von Herzerkrankungen ebenfalls bekannt [Arndt K. 2001],[Littaru G.P. und Tiano L. 2010], jedoch soll dieser Aspekt in diesem Kapitel nicht betrachtet werden, da nur Augenmerk auf die sportliche Leistung von Gesunden gelegt werden soll.

10.2.1. Vorkommen und Funktion

Ubichinone verschiedenster Kettenlänge werden in vielen Arten von Lebewesen synthetisiert, beim Menschen ist dieses hauptsächlich das Coenzym Q₁₀, das in allen Mitochondrienmembranen lebender Zellen gebildet wird [ELMADFA I. 2004],[Miles M.V. et al. 2002],[Cooke M. et al. 2008]. Die angereicherte Menge im Körper beträgt etwa 1,4 g [ELMADFA I. 2004], während die höchsten Konzentrationen in Geweben mit hohem Energieumsatz, wie Leber, Niere, Herz und Hirn vorliegen [Mizuno K. et al. 2008].

Neben der körpereigenen Synthese kann Coenzym Q₁₀ auch durch die Nahrung aufgenommen werden, da es besonders in Innereien und rotem Fleisch vorkommt [Arndt K. 2001]. Aufgrund ihrer Struktur wird es wie ein fettlösliches Vitamin absorbiert [ELMADFA I. 2004] und kommt praktischerweise auch in Nüssen und hochwertigen Speiseölen vor [Arndt K. 2001].

Seine Aufgabe besteht hauptsächlich darin, als Elektronen-Shuttle für den Fluss von Protonen und Elektronen in der Mitochondrienmembran zu sorgen [Miles M.V. et al. 2002],[Malm C. et al. 1997] und, als Teilkomponente der oxidativen Phosphorylierung in der Atmungskette, so eine ATP-Bereitstellung zu ermöglichen [Littaru G.P. und Tiano L. 2010],[Malm C. et al. 1997]. In seiner reduzierten Form ist es dazu befähigt, freie Radikale und Peroxide in den Mitochondrien abzufangen [Miles M.V. et al. 2002],[ELMADFA I. 2004], sowie auch Lipoproteine vor Oxidation zu schützen [Miles M.V. et al. 2002],[ELMADFA I. 2004]. Während es somit zum Schutz biologischer Membranen beiträgt [Miles M.V. et al. 2002],[Cooke M. et al. 2008], unterstützt es ebenfalls in seiner antioxidativen Funktion auch die Regeneration anderer antioxidativer Substanzen [Cooke M. et al. 2008],[Mizuno K. et al. 2008].

10.2.2. Coenzym Q₁₀-Supplementation im Sport

Warum eine positive Wirkung einer solchen Supplementation auf die sportliche Leistung möglich sein könnte, basiert im Grunde genommen auf 2 Theorien:

Zum einen könnte ein vermehrter Elektronentransport dazu führen, dass vermehrt ATP gebildet wird und somit rasch mehr Energie zur Verfügung steht [Malm C. et al. 1997] – es wäre also mehr Energie vorhanden, die Leistung kann besser werden.

Die zweite Möglichkeit besteht in seiner Funktion als Radikalfänger und Antioxidans. Da besonders bei körperlicher Belastung Radikale entstehen und auch Zellmembranen, besonders in den Muskeln, geschädigt werden können, wäre eine vermehrte Verfügbarkeit von Coenzym Q₁₀ gleichzusetzen mit einem vermehrten Radikalabfang und somit einer verbesserten Regeneration der Muskulatur, sowie einer Vorbeugung von oxidativem Stress [Ylikoski T. et al. 1997],[Cooke M. et al. 2008].

10.2.2.1. Kurzfristige Supplementation

Cooke M. et al. 2008 untersuchten in einer doppelblinden, randomisierten klinischen Studie unter anderem die Auswirkungen einer Coenzym Q₁₀-Supplementation (200mg) 60 Minuten vor Ausführung des Tests, der 50 Wiederholungen beim Bankdrücken, einen 30-sekündigen anaeroben Wingate Test sowie einen maximalen Belastungstest bis zu Erschöpfung beinhaltete.

Die kurzfristige Supplementation zeigte einen Trend zum Coenzym Q₁₀-Anstieg in Plasma und Muskel sowie einen Trend zu verminderter SOD (Superoxiddismutase, ein Marker für oxidativen Stress), wobei jedoch MDA (Malondialdehyd, ebenfalls ein Marker für oxidativen Stress) signifikant erhöht war. [Cooke M. et al. 2008]

Im Bankdrücken und beim Wingate Test konnte kein Leistungsunterschied festgestellt werden. Im Belastungstest bis zur Erschöpfung konnte ein Trend zur Korrelation zwischen erhöhtem Coenzym Q₁₀ und Belastungsausdauer festgestellt werden. [Cooke M. et al. 2008]

Im Bezug auf eine akute Supplementation konnten also keine signifikanten positiven Ergebnisse aufgezeigt werden [Cooke M. et al. 2008].

10.2.2.2. Längerfristige Supplementation (1-3 Wochen)

Es wurden einige Studien hinsichtlich einer Coenzym Q₁₀ Supplementation über mehrere Wochen durchgeführt, in denen sich die Supplementationsmengen zwischen 100-300mg/d bewegten [Cooke M. et al. 2008],[Malm C. et al. 1997],[Mizuno K. et al. 2008]. Hauptaugenmerk wurde auf den Einfluss hinsichtlich der körperlichen Erschöpfung, die Leistung im jeweiligen Test und der Parameter für oxidativen Stress gelegt [Cooke M. et al. 2008],[Malm C. et al. 1997],[Mizuno K. et al. 2008].

10.2.2.2.1. Einfluss auf körperliche Leistung – intensive Belastung

Es besteht die Theorie, dass ein, durch Supplementation signifikant steigerbarer Coenzym Q₁₀-Spiegel in Plasma/Muskeln/Mitochondrien, durch einen verbesserten Elektronenfluss in der Atmungskette eine vermehrte Bildung von ATP und somit eine erhöhte Energiebereitstellung zufolge hat [Malm C. et al. 1997].

Malm et al. 1997 untersuchten dies anhand einer 22 tägigen, placebokontrollierten, Supplementation von 2x60mg Coenzym Q₁₀/d, kombiniert mit hoch intensivem, anaerobem Training an den Tagen 11-14 (15x10 Sek. Fahrradsprints), mit anschließender Erholungsphase [Malm C. et al. 1997].

Untersucht wurde der Einfluss der Supplementation alleine auf die VO_{2max} beim Laufen (vor Tag 1, Tag 22), sowie auf submaximale und Höchst-VO₂ auf dem Fahrradergometer (vor Tag 1, Tag 18, Tag 10). Außerdem wurde die Leistung in einem anaeroben (10x10 Sek.) Test auf dem Fahrradergometer bestimmt (Tag 1, 11, 15, 20). [Malm C. et al. 1997]

Obwohl der Plasma Coenzym Q₁₀-Spiegel signifikant gesteigert werden konnte, zeigten die Ergebnisse, dass die Placebogruppe nach Beginn des anaeroben Trainings eine deutlich stärkere Leistungsverbesserung beim anaeroben Fahrradtest zu verzeichnen hatte, als die Verumgruppe (Abb.14). Auf die VO_{2max}, submaximale und Höchst-VO₂ konnte kein signifikanter Einfluss festgestellt werden, obwohl die Verumgruppe nach Ende der Erholungsphase eine Tendenz zu erhöhter submaximaler VO₂ aufzeigte.

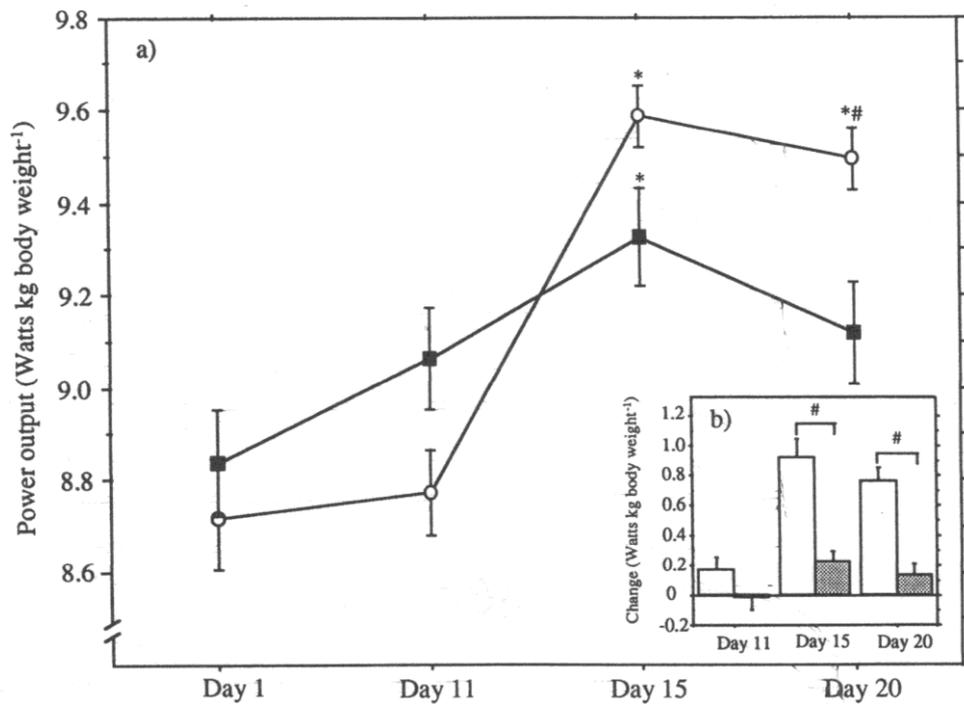


Abb.14. a) Entwicklung der Leistung im anaeroben Fahrradtest (weiß = Placebo, schwarz=Coenzym Q₁₀); b) Signifikanter Unterschied ab Tag 11 zwischen Placebo und Coenzym Q₁₀. [in Malm C. et al. 1997]

Eine Erklärung für die schlechteren Werte der Kontrollgruppe könnte, laut Malm et al., eine vermehrte Radikalbildung durch Coenzym Q₁₀ selbst, unter anaeroben Bedingungen, sein, bzw. auch die erhöhte Sauerstoffaufnahme in der Verumgruppe, die, in Kombination mit Coenzym Q₁₀, zu vermehrter Radikalbildung geführt hat [Malm C. et al. 1997].

Auch Cooke et al. 2008 stellten fest, dass, nach 2-wöchiger Einnahme von 2x100mg Coenzym Q₁₀/d, der Plasma-Coenzym Q₁₀-Spiegel signifikant gesteigert werden konnte. Jedoch konnte die körperliche Leistung im maximalen Belastungstest, wie auch nach akuter Supplementation (siehe vorher), nicht signifikant verbessert werden, obwohl eine insignifikante Tendenz zu erhöhter Zeit bis zur Erschöpfung zu erkennen war. [Cooke M. et al. 2008]

10.2.2.2. Körperliche Erschöpfung und Regeneration

Mizuno et al 2008 untersuchten, ob eine Supplementationsmenge von 100 oder 300mg Coenzym Q₁₀/d für eine Woche, im Vergleich zum Placebo einen positiven Effekt auf die körperliche Erschöpfung während einer 2-stündigen Belastung im Bereich der anaeroben Schwelle – mit eingebauter intensiver Belastung an Anfang und Ende – und die Regenerationszeit danach hat. [Mizuno K. et al. 2008]

Wie durch andere Studien bereits bestätigt [Ylikoski T. et al. 1997],[Cooke M. et al. 2008],[Malm C. et al. 1997], konnte auch hier der Plasma-Coenzym Q₁₀-Spiegel, korrelierend mit der zugeführten Dosis, signifikant gesteigert werden. Die Ergebnisse zeigten auch, dass, in jener Gruppe, die 300mg Coenzym Q₁₀/d erhielt, der Leistungsabfall in der 2. intensiven Phase (am Ende der Belastung), im Vergleich zur ersten intensiven Belastungsphase, deutlich geringer war, als in der Placebogruppe (Abb. 15). Dies spiegelte sich auch in der subjektiven Bewertung der Probanden bzgl. Der Erschöpfung wider (Abb. 14). Bezüglich der Regeneration zeigte sich, nach subjektivem Befinden, ebenfalls eine Tendenz zur besseren Erholung (Abb. 16).

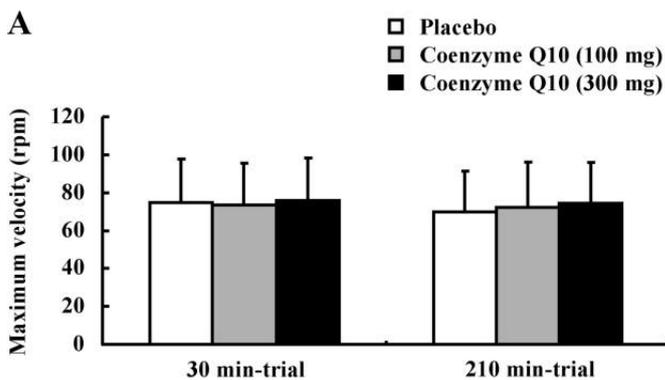
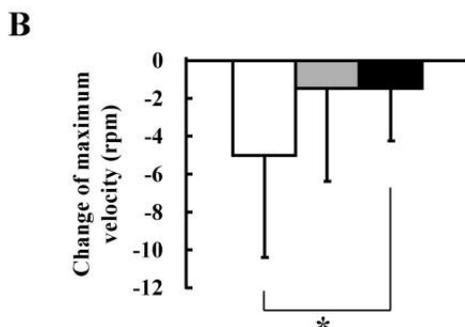


Abb.15

A. Maximale Geschwindigkeiten in der ersten (30 Min.) und der zweiten (210 Min.) intensiven Belastungsphase.



B. Abfall der maximalen Geschwindigkeit in der zweiten Phase im Vergleich zur ersten (*signifikant).

[in Mizuno K. et al. 2008]

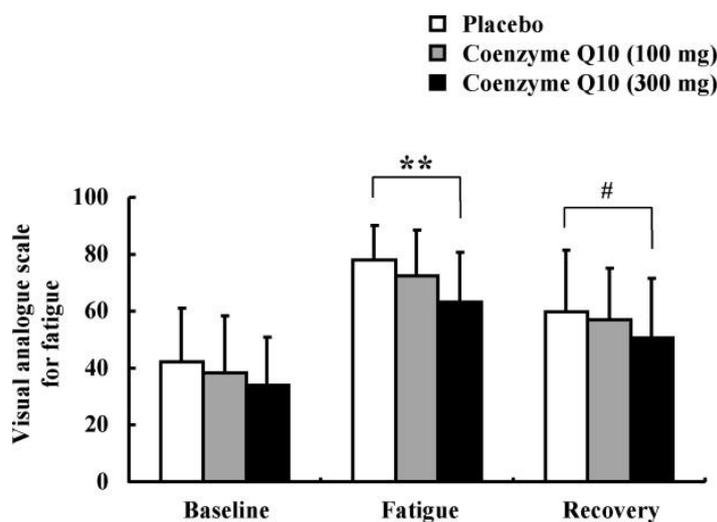


Abb. 16

Subjektive Beurteilung der Erschöpfung und Regeneration (**signifikant)

[in Mizuno K. et al. 2008]

Aus dieser Studie kann also geschlossen werden, dass die Leistung nach Zufuhr von 300 mg Coenzym Q₁₀/d für eine Woche, die Leistung signifikant steigern und eine Ermüdung verzögern kann. Jedoch ist zu beachten, dass ein Großteil der Beurteilung hier subjektiv erfolgte und nicht anhand erhobener Ergebnisse nachweisbar ist [Mizuno K. et al. 2008].

10.2.2.3. Langfristige Supplementation (6 Wochen)

Ylikoski et al. führten 1997 eine Studie an 25 guttrainierten Skifahrern durch, in der sie die Auswirkungen einer Coenzym Q10-Supplementation von 90mg/d für 6 Wochen untersuchten. Untersuchungsparameter waren die VO_{2max}, aerobe und anaerobe Schwelle und die Zeit bis zur Erschöpfung auf einem Laufband, bei ansteigender Belastung alle 3 Minuten. Auch das subjektive Empfinden der Probanden bzgl. körperliche Leistung und Erholung wurde erhoben. [Yloski T. et al. 1997]

Die Ergebnisse zeigten einen signifikanten Anstieg des Coenzym Q₁₀-Spiegels im Plasma (Abb.17). Die Parameter für sportliche Leistung (aerobe und anaerobe Schwelle, VO_{2max}) konnten signifikant gesteigert werden, auch subjektiv führte die Supplementation bei 94% der Probanden zu einer

verbesserten Leistung im Test, sowie einer verbesserten Regeneration (Abb. 18). [Ylikoski T. et al. 1997]

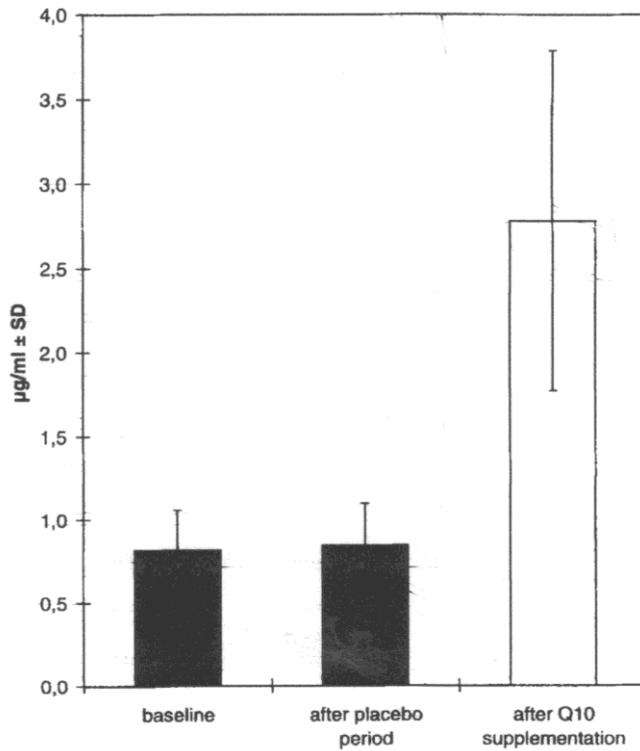


Abb. 17.

Plasma Coenzym Q₁₀-Konzentration vor Beginn der Studie, nach Placebozufuhr und nach Coenzym Q₁₀-Supplementation.

[in Ylikoski T. et al. 1997]

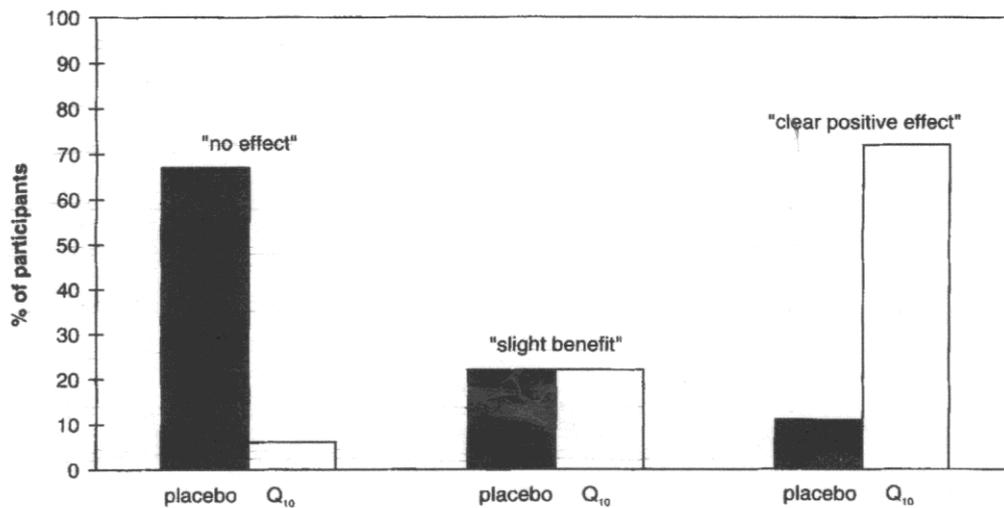


Abb. 18. Subjektive Beurteilung der eigenen Leistung und der Regeneration nach Placebo- bzw. Coenzym Q₁₀-Gabe. [in Ylikoski T. et al. 1997]

Laut den Ergebnissen dieser Studie, zeigte auch eine langfristige Coenzym Q₁₀-Supplementation sowohl einen positiven Effekt auf die Leistung bei steigender Intensität, als auch auf das subjektive Empfinden bzgl. körperlicher Leistung und Regeneration [Ylikoski T. et al. 1997].

10.2.3. Negative Effekte

Es gibt Studien, die von Übelkeit [Hathcock J.N. und Shao A. 2006] oder auch leichtem Unwohlsein im Magen-Darm-Bereich [Miles M.V. et al. 2002] als Nebenwirkung einer Coenzym Q₁₀-Supplementation berichten, diese traten jedoch nur sporadisch auf und es konnte auch keine Dosis-Wirkungs-Beziehung beobachtet werden [Hathcock J.N. und Shao A. 2006].

Da Coenzym Q₁₀ als Radikalfänger dient, und dabei selbst zum Radikal wird, muss es durch andere Redoxsysteme wieder regeneriert werden. Es besteht die Gefahr, dass, bei zu geringer „Entschärfung“ dieser Radikale, es selbst prooxidativ wirken kann und somit zum oxidativen Stress beiträgt [ELMADFA „Ernährungslehre“ 2004],[Malm C. et al. 1997]. Malm C. et al. 1997 führten dies als mögliche Ursache für die schlechteren Werte der Coenzym Q₁₀-Gruppe, im Vergleich zur Placebogruppe, an [Malm C. et al. 1997].

10.2.4. Diskussion

In allen angeführten Studien konnte, egal ob akute oder langfristige Supplementation, der Coenzym Q₁₀-Spiegel im Plasma signifikant gesteigert werden [Ylikoski T. et al. 1997],[Cooke M. et al. 2008],[Malm C. et al. 1997],[Mizuno K. et al. 2008]. Die Ergebnisse bezüglich körperlicher Leistung aufgrund vermehrter Energiebereitstellung, sind jedoch sehr vage. Es zeigt sich vermehrt ein Trend hinsichtlich längerer Ausdauer bis zur Erschöpfung bei steigenden oder hohen Intensitäten, jedoch nicht immer signifikant. Oft wurde auch das subjektive Empfinden der Probanden stark in die Ergebnisse

miteinbezogen, was, aus wissenschaftlicher Sicht, mit Vorsicht zu betrachten ist.

Die verschiedenen Aufbauformen und Supplementationsmengen in den Studien machen einen Vergleich schwierig, daher sind weiter Untersuchungen in jeder Hinsicht zu empfehlen. Auch die Mögliche Wirkung von Coenzym Q₁₀ als Prooxidans bei zu geringer Regeneration sollte nicht außer Acht gelassen werden.

10.3. Koffein

Die eigentliche, bisher besser untersuchte, Wirkung von Koffein bzw. der Bereich, in dem es schon spezifischer einsetzbar ist, liegt eigentlich im extensiv aeroben Ausdauerbereich. Aus diesem Grund sind auch alle Informationen zum Thema Koffein (Struktur, Vorkommen, Wirkung etc.) in Kapitel **11.2. Koffein** beschrieben.

Es summieren sich jedoch immer mehr Studien, die zeigen, dass Koffein möglicherweise nicht nur im Mittel- und Langzeitausdauerbereich einsetzbar ist, sondern auch in jene Sportarten, deren Höchstleistungsdauer innerhalb weniger Sekunden liegt. Eben deshalb erscheint es notwendig, die mögliche ergogene Wirkung des Koffeins auch im Kapitel der alaktazid anaeroben Ausdauer zu erwähnen.

10.3.1. Koffein und sportliche Leistung

Wie eben erwähnt wird genaueres zur Wirksamkeit des Koffeins im Kapitel 4.2.2.2. erläutert, hier soll aber noch einmal der Mechanismus zur Leistungssteigerung bei kurzen, hochintensiven Belastungen erklärt werden.

Wichtig ist auch in diesem Bereich wieder der Einfluss des Koffeins auf das Zentralnervensystem [Mannhart C. und Kamber M. 1998],[Grebe W. 2010],[Bridge C.A. und Jones M.A. 2006],[Westerterp-Plantenga M. et al. 2006].

Als Adenosin-Rezeptor-Antagonist, vermag es das Schmerzempfinden herabzusetzen und die Ermüdung hinauszuzögern [Grebe W. 2010],[Westerterp-Plantenga M.S. 2010],[Westerterp-Plantenga M. et al. 2006]. Auch kommt es durch vermehrte Koffeinzufuhr zu einer Erhöhung des Noradrenalinspiegels, was eine verstärkte ATP-Bildung durch Anregung von Ionenpumpen und Substratzyklen [Westerterp-Plantenga M.S. 2010],[Westerterp-Plantenga M. et al. 2006], was gerade in Sportarten, die rasche ATP-Bereitstellung und –Nachlieferung benötigen, von Nutzen sein kann. Noch dazu soll es die Wachheit erhöhen und die Reaktionsgeschwindigkeit verbessern [Grebe W. 2010],[Burke L.M. 2008],[Liguori A. et al. 1997]. Eben deswegen wird auch über eine Wirkung des Koffeins, beispielsweise im Sprintbereich oder in Sportarten, die schnelles Reaktionsvermögen verlangen, spekuliert.

10.3.1.1. Sprint

Wallman K. et al. (2009) führten eine Studie an 10 trainierten, männlichen Athleten durch, in der untersucht werden sollte, ob die Zufuhr von 6 mg Koffein/kg Körpergewicht Einfluss auf das Reaktionsvermögen im Sprint oder die Sprintleistung bei mehrfacher Wiederholung hat, im Vergleich zur Placeboeinnahme. Eine Stunde nach Einnahme des Koffeins (bzw. des Placebos) wurden 6x 20m-Sprints absolviert. Es konnte gezeigt werden, dass, nach der Koffeineinnahme, sowohl die Sprintleistung, als auch Reaktionsfähigkeit und Erholung verbessert waren. Der Leistungsabfall mit steigender Sprintsumme war ebenfalls geringer als in der Placebogruppe. [Wallmann K. et al. 2009]

Zu anderen Ergebnissen, bei ähnlichen Studienbedingungen, kamen Machado M. et al. (2009), die die Auswirkung von 4,5 mg Koffein/kg Körpergewicht, 45 Minuten vor dem Test, auf die Leistung in 6 Sets von 10 20m- Sprints, untersuchten. Die 20 Probanden waren allesamt Fußballer. In dieser Studie

konnte kein Unterschied in der Sprint-Geschwindigkeit, im Vergleich zur Placeboeinnahme, verzeichnet werden. [Machado M. et al. 2009]

Warum es bei diesen Studien zu solch unterschiedlichen Ergebnissen kam, ist unklar, da die zugeführte Koffeinmenge sich nicht sonderlich unterschied. Was jedoch nicht bekannt ist, ist die Tatsache, ob es sich bei den Probanden der beiden Studien um gewohnte Koffeinkonsumenten handelte oder nicht. Da bei regelmäßiger Koffeinzufuhr ein Gewöhnungseffekt eintritt [Mannhart C. und Kamber M. 1998],[Grebe W. 2010], könnte dies nämlich den ergogenen Effekt beeinflussen.

Eine Studie mit positiven Ergebnissen an Schwimmern wurde 1992 von Collomp K. et al. durchgeführt. Insgesamt erhielten 7 trainierte und 7 untrainierte Schwimmer im Crossoverdesign 250mg Koffein und danach Placebo (oder umgekehrt). Nach der Einnahme sollte eine 100m Strecke im Freistilschwimmen 2x so schnell wie möglich absolviert werden. Es zeigte sich, dass, nach Koffeineinnahme, nur bei den trainierten Schwimmern eine Leistungsverbesserung zu verzeichnen war, jedoch, nach Koffeineinnahme, sowohl bei trainierten als auch untrainierten Schwimmern erhöhte Laktatwerte festgestellt wurden. Diese Studie kommt also zu dem Resultat, dass man von einer Koffeinzufuhr vor der Leistungsüberprüfung nur dann profitieren kann, wenn man in eben diesem Bereich der anaeroben Ausdauer mit Training eingestellt ist. [Collomp K. et al. 1992]

Die kontroversen Ergebnisse dieser Studien zeigen auf, dass, im Bereich der hochintensiven anaeroben Belastung, die Supplementation mit Koffein noch weiterer Untersuchungen bedarf.

11. Unterstützung ergogener Substanzen im extensiv aeroben Bereich

Diese Form der Energiebereitstellung findet man vor allem im Bereich der Langzeitausdauer, in der ein Gemisch aus Kohlehydraten und Fett als Energiesubstrat herangezogen wird [Berg A. und König D. 2008].

11.1. L-Carnitin

L-Carnitin (L-β-Hydroxy-γ-N-Trimethylaminobutytrat) wurde erstmals 1905 von russischen Wissenschaftlern aus Muskelgewebe isoliert und nach dem lateinischen Wort „carnis“ = Fleisch bezeichnet [ELMADFA I. und LEITZMANN C. 2004],[Karlic H. und Lohninger A. 2004]. Aufgrund des Vorhandenseins eines chiralen C-Atoms lassen sich die beiden Formen L- und D-Carnitin unterscheiden, wobei alleine das L-Carnitin metabolisch aktiv ist und fast ausschließlich diese Form natürlich vorkommt [BIESALSKI et al.1999].

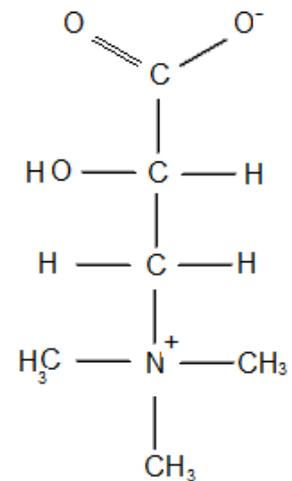


Abb. 19 Struktur des L-Carnitin

11.1.1. Vorkommen und Funktion

Das L-Carnitin kommt auf natürliche Weise im Körper vor und kann, von diesem selbst, aus den essentiellen Aminosäuren Lysin und Methionin in Leber, Niere und Hirn synthetisiert oder durch Nahrungsmittelaufnahme zugeführt werden, wobei vor allem tierische Lebensmittel als Quelle für L-Carnitin dienen (siehe Tab. 6) [Karlic H. und Lohninger A. 2004],[Brass E.P. 2000],[Becuran R.F.P. et al. 2003],[Kraemer W.J. et al. 2005][Izadi M. et al. 2009]. Der Bedarf eines 70 kg schweren Mannes liegt bei etwa 0,23mg/kg Körpergewicht (ohne

Eigensynthese), wobei bei normaler gemischter Kost täglich rund 32 mg aufgenommen werden [ELMADFA I. und LEITZMANN C. 2004].

Tabelle 6. L-Carnitingehalt* diverser Lebensmittel (nach Broquist 1994)

Lebensmittel	mg/100g**
Rindfleisch	53-137
Schweinefleisch	22-33
Hühnerfleisch	2,4-5,1
Vollmilch	3,3
Butter	0,5
Vollkornbrot (Weizen)	0,362
Weißbrot	0,146
Reis, gekocht	0,014
Kartoffel	0,013
Hühnerei	0,01
Erbsen, gekocht	0,006
Grüne Bohnen, gekocht	0,003
Brokkoli, frisch	0,003
Birne	0,002
Orangensaft	0,002
Apfel	0,0
* freies und verestertes Carnitin	
** 1mg Carnitin=6,2 µmol	

[nach BROQUIST 1994 in ELMADFA I., LEITZMANN C. „Ernährung des Menschen“ 2004, Tab.61.3]

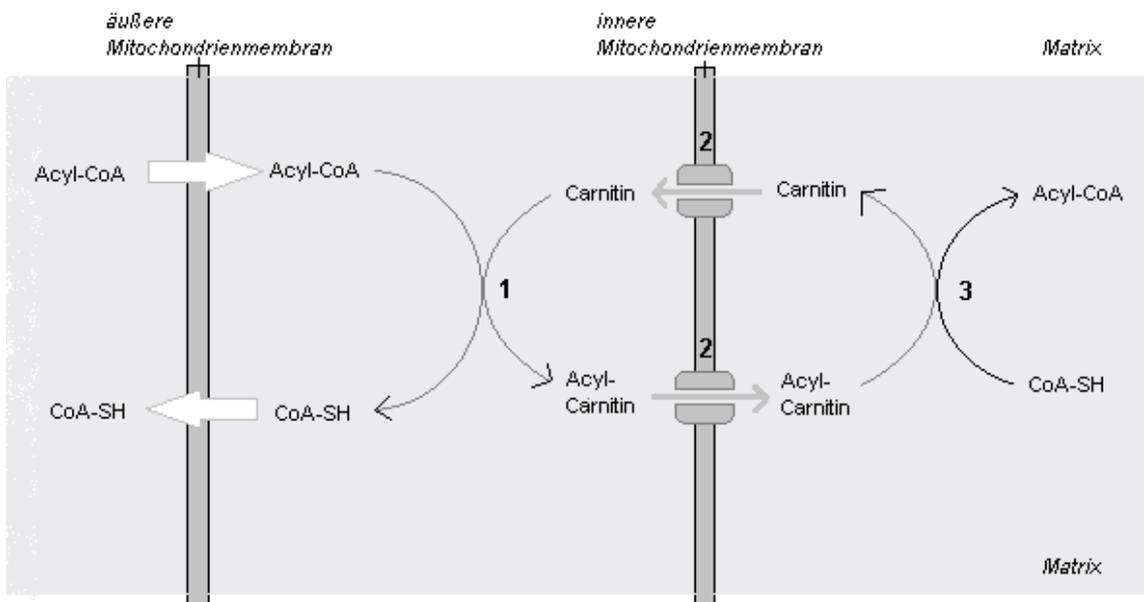
Primär wird das L-Carnitin in der Skelettmuskulatur gespeichert, wo die Konzentration 50-200 Mal höher ist als im Plasma [Karlic H. und Lohninger A. 2004],[Kraemer W.J. et al. 2005], wo sie zwischen 40 und 50 µM/L liegt [Karlic H. und Lohninger A. 2004]. Der Gesamtspeicher an Carnitin im menschlichen Körper beträgt 20-25g [Mannhart C. und Kamber M. 1998],[Brass E.P. 2000] bzw. rund 120 mmol [Brass E.P. 2000].

11.1.1.1. Carrier-Funktion

Die Rollen des L-Carnitins im menschlichen Körper stellen seine Transport- und seine regulierende Funktion im Fettstoffwechsel dar. Langkettige Fettsäuren, die das eigentliche Energiesubstrat des Fettabbaus sind, müssen, um vollständig abgebaut werden zu können, der sogenannten β -Oxidation im mitochondrialen Matrixraum zugeführt werden. Zu diesem Zweck ist zunächst eine Umwandlung dieser in „aktivierte“ Fettsäuren notwendig, sogenannte Acyl-CoAs entstehen, die zwar die äußere, nicht jedoch die innere Mitochondrienmembran passieren können [Brass E.P. 2000],[LÖFFLER et al. 2007].

An dieser Stelle kommt die Funktion des L-Carnitin zu tragen, dessen Aufgabe es ist, die Acylgruppe des Acyl-CoA in Form von Acylcarnitin durch die innere Mitochondrienmembran in den Matrixraum zu transportieren, wo wieder Acyl-CoA entsteht, wobei das, nun freie, L-Carnitin wieder durch die innere Mitochondrienmembran zurücktransportiert wird. Dies geschieht immer im Austausch mit Acylcarnitin (Abb. 20). Das, im Matrixraum neu entstandene, Acyl-CoA wird in Folge der β -Oxidation zugeführt, bei der jene Acetyl-CoAs entstehen, die weiters in den Citratzyklus eingeschleust werden, um dort zu CO_2 , Wasser und Energie in Form von ATP abgebaut zu werden.

Kurz gesagt, trägt Carnitin als Cofaktor im Fettstoffwechsel bei, da ohne es eine effiziente Nutzung der Fette als Energieträger nicht möglich wäre. Jene Muskeln, nämlich das Herz und die Skelettmuskulatur, die aufgrund hohen Energieverbrauchs auf die Fettoxidation angewiesen sind, weisen somit auch die höchsten Carnitinspiegel auf. [Held U. 2004]



1...Carnitin-Acyltransferase 1; 2...Carnitin-Acylcarnitintranslokase; 3...Carnitin-Acyltransferase 2

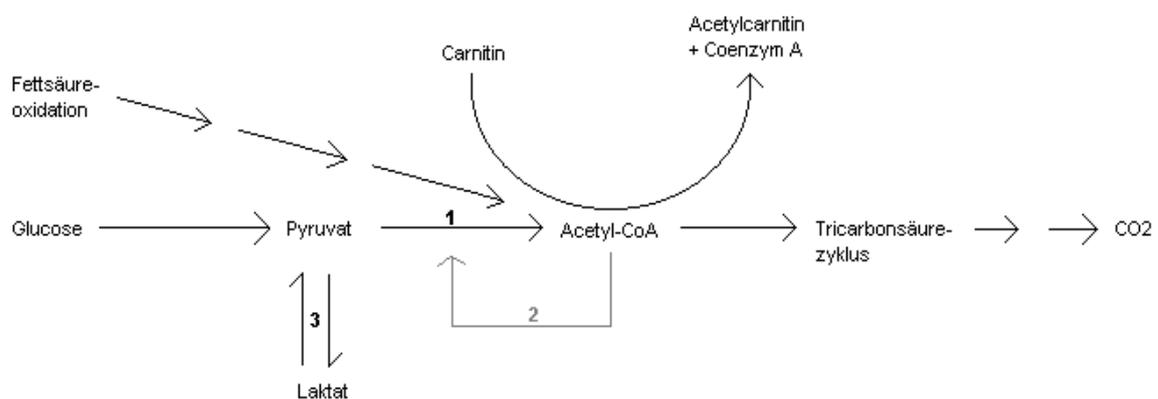
Abb. 20 Carnitin in seiner Carrierfunktion für langkettige Fettsäuren im Transport durch die mitochondriale Innenmembran [modifiziert nach LÖFFLER G. et al.2007]

11.1.1.2. Puffer-Funktion

Eine weitere wichtige regulierende Funktion des L-Carnitin besteht in seiner Wirkung als Puffer auf das Verhältnis zwischen Acetyl-CoA und freiem Coenzym A [Karlic H. und Lohninger A. 2004],[Luppa D. 2004]. Durch Überschreiten der Kapazität der β -Oxidation durch ein hohes Fettsäureangebot oder aufgrund mangelnder Sauerstoffzufuhr, kann es zu einer Anhäufung von Acetyl-CoA in den Mitochondrien kommen, wobei sein Vorliegen in dieser Form zusätzlich auch noch andere Möglichkeiten des Abbaus verhindert [Luppa D. 2004].

Betroffen ist davon vor allem die Pyruvat-Dehydrogenase, die die Bildung von Acetyl-CoA aus Pyruvat katalysiert, was eine wichtige Reaktion im Zuge des aeroben Glukosestoffwechsels darstellt [Karlic H. und Lohninger A. 2004],[Brass E.P. und Hiatt W.R. 1998],[Luppa D. 2004]. Sie braucht freies CoA als Reaktionspartner, wobei es bei einem Mangel desselben zu keiner Reaktion

kommen kann, zusätzlich hemmt das angehäuften Acetyl-CoA dieses Enzym. Bei unzureichender Aktivität der Pyruvatdehydrogenase muss somit ein anderer Weg des Pyruvatabbaus eingeschlagen werden, nämlich die anaerobe Bildung von Laktat. Da es aufgrund dieses anaeroben Abbauweges zu einer Anhäufung von Laktat in der Muskulatur kommt und zusätzlich ein rascherer Abbau desselben durch mangelnde Funktion der Pyruvatdehydrogenase nicht möglich ist, führt dies zwangsläufig zu einer Ermüdung der betroffenen Muskulatur und zu einer Leistungseinbuße. [Brass E.P. und Hiatt W.R. 1998],[Luppa D. 2004]



1...Pyruvatdehydrogenase (PDH) katalysiert die Reaktion von Pyruvat zu Acetyl-CoA; 2...Hemmung der PDH bei Überschuss an Acetyl-CoA oder Sauerstoffmangel; 3... Bildung (bzw. Abbau) von Laktat

Abb. 21 Pufferwirkung des L-Carnitin [modifiziert nach Brass E.P. und Hiatt W.R. 1998]

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass eine Supplementation zur Steigerung der sportlichen Leistung aufgrund der Tatsachen begründet wäre, dass L-Carnitin eine tragende Rolle im Fettstoffwechsel spielt und somit unterstützend im Bereich der extensiv aeroben Ausdauer wirken kann, indem die Fettoxidation reibungslos ablaufen kann. Auch durch die Aufrechterhaltung des Coenzym A-Pools, durch die das, im Rahmen des anaeroben Glukoseabbaus entstehende, Pyruvat mit diesem reagieren kann, was ein frühzeitiges Einsetzen der Laktatbildung und, der damit einhergehenden, früheren Ermüdung der

Muskulatur entgegenwirkt, kann es womöglich die körperliche Leistung unterstützen [Karlic H. und Lohniner A. 2004],[Brass E.P. 2000],[Luppa D. 2004]. Einem erhöhten L-Carnitinpool wird folglich eine mögliche Steigerung der Fettoxidation zugeschrieben, was somit eine geringere Muskelglykogenverwertung und eine Einsparung desselben zu Folge haben könnte [Brass E.P. und Hiatt W.R. 1998].

Zusätzlich wird dem L-Carnitin auch eine proteinsparende Wirkung zugeschrieben. Bei einem Mangelzustand kommt es zur Beeinträchtigung der Ketogenese und der Glukoneogenese, also zu einem Ungleichgewicht im Kohlehydratstoffwechsel, was einen Abfall des Blutzuckers zur Folge hat. Demnach wird bei vermindertem Fett- und Glukoseabbau vermehrt auf andere Substrate, wie Proteine, zurückgegriffen. In kataboler Stoffwechsellage (z.B. bei Langzeitausdauerleistungen) hat Carnitin also einen proteinsparenden Effekt, was Muskelverlusten und damit einhergehender Leistungsminderung vorbeugt. [Luppa D. 2004]

Obwohl das L-Carnitin so effektiv wie möglich rückresorbiert wird, kommt es doch zu stetigen Verlusten [Brass E.P. 2000], die umso größer sind, je mehr freie Fettsäuren mobilisiert werden und seiner Carrierfunktion bedürfen [Luppa D. 2004]. Diese Verluste müssen dann durch körpereigene Synthese oder Nahrungsaufnahme ausgeglichen werden [Brass E.P. 2000]. Besonders in jenen Sportdisziplinen, in denen die Fettsäuresynthese einen entsprechenden Beitrag in der Energiebereitstellung leistet, ist daher ein ausreichender L-Carnitinpool unerlässlich, weshalb eine Supplementation oft mit dem Ziel der Leistungssteigerung eingesetzt wird [Luppa D. 2004].

11.1.2. L-Carnitin Supplementation im Sport

Wie schon in vorangegangenen Kapiteln erwähnt, wird im Bereich der extensiv aeroben Ausdauer die Energie aus einem Mischstoffwechsel aus Glukose- und Fettabbau gewonnen [Smekal G. et al. 2003],[Achten J. und Jeukendrup A.E. 2004]. Welches der beiden Substrate bevorzugt abgebaut wird, hängt von

verschiedenen Faktoren, wie Trainingszustand, Geschlecht, Intensität und Dauer der Belastung, ab [Smekal G. et al. 2003]. In verschiedenen Studien wurde gezeigt, dass der Fettabbau bei niedriger und moderater Intensität bevorzugt wird, insbesondere langkettige Fettsäuren [Achten J. und Jeukendrup A.E. 2004], und seinen Höhepunkt bei einer 45-65%igen Auslastung der $\dot{V}O_{2max}$ erreicht, während ab 65-70%iger Auslastung – und darüber – Glukose den vorrangigen Energielieferanten darstellt [Achten J. und Jeukendrup A.E. 2004], da der Fettabbau in diesen Bereichen blockiert wird [HABER P. 2009].

Wyss et al. (1990) [in Swart I. et al. 1997] legte fest, dass, bei zunehmendem Anstieg der Intensität in Richtung der maximalen Intensität, zusätzliches L-Carnitin den Fettabbau nicht mehr steigern kann, da das Gleichgewicht (wie oben erwähnt) zugunsten der Kohlehydratverwertung verschoben wird [Swart I. et al. 1997]. Aus diesem Grund soll eine Carnitin-Supplementation aufgrund der Physiologie bei hohen Intensitäten von kurzer Dauer keinen positiven Effekt aufzeigen, eine Leistungssteigerung bei länger andauernden moderaten Intensitäten erscheint aber möglich [Wyss et al. in Swart I. et al. 1997]. Kiens et al. (1999) [in Smekal G. et al. 2003] kam zu dem Ergebnis, dass der Abfall der Fettoxidation bei hoher Intensität nicht an der Verfügbarkeit langkettiger Fettsäuren, die ja L-Carnitin als Transport-Shuttle benötigen, liegt, sondern an einer Verminderung der oxidativen Kapazität der Mitochondrien [Smekal G. et al. 2003].

Basierend auf diesen Ergebnissen, sollen nun verschiedene Studien hinsichtlich einer L-Carnitin-Supplementation im extensiv aeroben Ausdauerbereich betrachtet werden.

11.1.2.1. L-Carnitin-Supplementation bei Ausdauerbelastung

11.1.2.1.1. Langzeitsupplementation (3-6 Wochen)

Es wurden viele Studien hinsichtlich einer L-Carnitin-Supplementation über die Dauer von mehreren Wochen durchgeführt, meistens kombiniert mit einem

Trainingsprogramm. Die Supplementationsmenge betrug zwischen 2-3g L-Carnitin/d.

11.1.2.1.1.1. Positive Effekte

Eine Studie von Swart I. et al. (1997) [30] testete die Auswirkung einer 6-wöchigen Supplementationsdauer von 2g L-Carnitin pro Tag an 7 männlichen Marathon-Athleten (aktiv seit mind. 4 Jahren), die während dieser Zeit ihr Trainingsprogramm weiterführten, bei möglichst konstanten Laufkilometern pro Woche. Vor und nach der Supplementationsperiode absolvierten sie einen Ausdauerstest auf einer Tretmühle, bei denen Geschwindigkeit, Sauerstoffaufnahme, Gesamt-, Acyl-, freies Carnitin und der prozentuelle Anteil an gebundenem Carnitin gemessen wurden. [Swart I. et al. 1997]

Die Ergebnisse zeigten einen signifikanten Anstieg an Gesamt-, Acyl- und gebundenem L-Carnitin, wobei zu beachten ist, dass der Status an Gesamt- und freiem Carnitin davor unter dem Normalbereich lag. Es konnte eine Steigerung der Geschwindigkeit bei der Absolvierung des Ausdauerstests um 5,68% erreicht werden - mit Ausnahme von nur einem Probanden, der während der Studienzeit erkrankt war - bei niedrigerer Sauerstoffaufnahme (VO_2 ml/min). Weiters konnte das Herzminutenvolumen herabgesetzt werden und eine Abnahme des RQ (respiratorischer Quotient) bis < 1 , signifikant bei einer Geschwindigkeit von 17 km/h, wurde verzeichnet. Der RQ ist ein Indikator, durch den das Verhältnis von verwendetem Substrat (KH oder Fett) beschrieben wird. Eine Verminderung desselben kennzeichnet eine Verschiebung zugunsten der Fettoxidation. [Swart I. et al. 1997]

Auch eine Studie von Bacurau R.F.P. et al. (2003) zeigte ähnliche Ergebnisse an Ratten. Es wurden 100 männliche Wistar-Ratten in 4 Gruppen nach folgenden Kriterien unterteilt: [Bacurau R.F.P. et al. 2003]

- Unsupplementierte Ratten, ohne Bewegungstraining
- Supplementierte Ratten, ohne Bewegungstraining
- Unsupplementierte Ratten, mit Bewegungstraining
- Supplementierte Ratten, mit Bewegungstraining

Supplementation bedeutete 28mg/kg Körpergewicht L-Carnitin, intragastral, pro Tag für 4 Wochen (die letzten 4 Wochen eines 6 wöchigen Trainings bei den Tieren mit Bewegungstraining). Training bedeutete 6 wöchiges, einstündiges Schwimmtraining an 5 Tagen pro Woche. [Bacurau R.F.P. et al. 2003]

Gemessen wurde jene Zeit, in der die Tiere, bis zur Erschöpfung, Leistung erbringen konnten, sowie Plasma-Glukose, Laktat, freie Fettsäuren, Pyruvat und Acyl-Carnitin. [Bacurau R.F.P. et al. 2003]

Die Ergebnisse zeigten, dass eine L-Carnitin-Supplementation, zusammen mit Ausdauertraining, die bestmögliche Steigerung der Zeit bis zur Erschöpfung aufwies (Steigerung um 30,3%), gefolgt von Training ohne Supplementation (18%) und Supplementation ohne Training (14%); jene Tiere, die weder trainiert wurden, noch L-Carnitin erhielten, schnitten am schlechtesten ab (Abb. 22). [Bacurau R.F.P. et al. 2003]

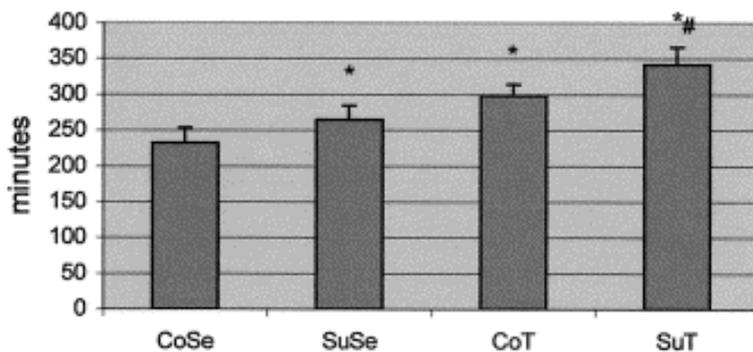


Abb. 22 Zeit bis zur Erschöpfung in CoSe (control sedentary, kein Training, keine Supplementation), SuSe (supplement sedentary, kein Training, mit Supplementation), CoT (control training, mit Training, ohne Supplementation), SuT (supplement training, mit Training, mit Supplementation). [in Bacurau R.F.P. et al. 2003]

Diese positiven Ergebnisse durch L-Carnitin-Supplementation konnten zusätzlich durch eine Erhöhung des Gesamtcarnitins und des Acylcarnitins in den Mitochondrien untermauert werden, was auf gesteigerte Fettsäureoxidation hinweist. Passend dazu stieg auch das freie Coenzym A an, das die Aktivität des Citratzyklus, beispielweise als Förderer der Pyruvatdehydrogenase, unterstützt. Auch Veränderungen im Glukose- und Laktatwert konnten durch L-Carnitin gering gehalten werden. [Bacurau R.F.P. et al. 2003]

In dieser Studie konnte die Leistungssteigerung durch L-Carnitin-Supplementation erneut aufgezeigt werden, sowie der glykogensparende Effekt, durch eine gesteigerte Fettsäureoxidation, und eine Vermeidung der Laktatanhäufung. [Bacurau R.F.P. et al. 2003]

Eine Studie mit ähnlichem Aufbau jener von Bacurau et al., wurde von Lancha A.H. Jr. et al. (1995), ebenfalls an Wistar-Ratten, durchgeführt. Die Ratten erhielten für 5 Wochen entweder eine Kombination aus Aspartat (45mg/kg KG/d), Asparagin (45mg/kg KG/d) und Carnitin (90mg/kg KG/d) im Trinkwasser (Supplementgruppe) oder normales Trinkwasser (Kontrollgruppe). Die Werte von Glukose, Laktat, freien Fettsäuren und Zeit bis zur Erschöpfung wurden unter verschiedenen Bedingungen gemessen: keine Aktivität, spontane Aktivität im Laufrad oder Schwimmtraining an 5 Tagen für 5 Wochen (60-70% der $\dot{V}O_{2max}$) (Messung nach 1h und nach Erschöpfung). [Lancha A.H. Jr. et al. 1995]

Bei der, für die Kapazität der aeroben Ausdauer relevanten Zeit bis zur Erschöpfung, konnte in der Supplementgruppe eine um 42% längere Schwimmzeit festgestellt werden als in der Kontrollgruppe. Auch eine gesteigerte Fettverwertung und eine Einsparung von Glykogen konnte festgestellt werden.[Lancha A.H. Jr. et al. 1995]

Auch Arenas et al. (1993) untersuchten die Wirkung einer L-Carnitin-Supplementation im Ausdauerbereich. 16 guttrainierte Langstreckenläufer erhielten für die Dauer von 4 Wochen entweder 2g L-Carnitin pro Tag oder Placebo, zu dem zusätzlich ein tägliches Ausdauer-Trainingsprogramm absolviert werden musste. Gemessen wurden die Aktivität der Pyruvatdehydrogenase (PDH) und der Carnitin-Palmitoyltransferase (CPT) 1 und 2. [Arenas J. et al. 1994]

Die Aktivität der PDH konnte mit L-Carnitin-Supplementation signifikant gesteigert werden, wobei bei den CPTs kein Unterschied festgestellt werden konnte. Auch das Gesamt- und das freie Carnitin in der Muskulatur waren signifikant erhöht. [Arenas J. et al. 1994]

Eine vermehrte Carnitin-Verfügbarkeit stimuliert die PDH-Aktivität und kann möglicherweise zu vermehrter Acyl-Carnitin-Bildung führen, was die Ausdauerleistung fördert. [Arenas J. et al. 1994]

Panjwani U. et al. (2007) untersuchten 24 männliche Sprague-Dawley-Ratten über 28 Tage lang, die in eine Supplementationsgruppe (100mg L-Carnitin/kg KG/d) und eine Placebogruppe eingeteilt wurden. Vor der Supplementation absolvierten die Ratten ein 6-tägiges Trainingsprogramm mit 30-minütigem Treitmühltraining pro Tag. Danach folgten 25 Tage L-Carnitin-Supplementation unter normoxischen und 72 Stunden unter hypoxischen (6100m) Bedingungen. Unter hypoxischen Bedingungen, die eine geringere Verfügbarkeit an Sauerstoff bedeuten, stellen Kohlehydrate das bevorzugte Energiesubstrat dar, da eine rasche Energiebereitstellung vonnöten ist. Möglicherweise ist eine L-Carnitinsupplementation eine Option, die den Fettstoffwechsel unter diesen Bedingungen fördern kann. [Panjwani U. et al. 2007]

Es sollte untersucht werden, ob eine L-Carnitin-Supplementation die Ausdauerleistung unter normoxischen bzw. hypoxischen Bedingungen unterstützen kann. Gemessen wurde die Laufzeit bis zur Erschöpfung an Tag 7,

14, 21 und 28, sowie Körpergewicht, Plasma-Glukose, Gesamt- und HDL-Cholesterin. [Panjwani U. et al. 2007]

Unter normoxischen Bedingungen konnte die Laufzeit bis zur Erschöpfung nach 7 Tagen L-Carnitin-Supplementation um 36,4% gesteigert werden und nach 21 Tagen um 39,4%. Das Körpergewicht sank stetig während der Supplementationsperiode, während das HDL-Cholesterin nach 21 Tagen signifikant gesunken war. [Panjwani U. et al. 2007]

Auch unter hypoxischen Bedingungen konnte die Laufzeit bis zur Erschöpfung mit Supplementation gesteigert werden, während Körpergewicht und Nahrungsaufnahme, in Placebo- und Supplementationsgruppe, signifikant sanken. Das HDL-Cholesterin konnte, ebenfalls in beiden Gruppen, signifikant gesteigert werden. [Panjwani U. et al. 2007]

Auch in dieser Studie wird gezeigt, dass eine lang andauernde Supplementation mit L-Carnitin die Ausdauerleistung verbessern kann.

11.1.2.1.1.2. Keine Effekte

Andere Ergebnisse, als oben genannt, ergab eine Studie von Izadi et al. (2009), die an 30 untrainierten Männern, nach einer Carnitinsupplementation von 3g pro Tag für 3 Wochen, deren Effekt auf Laktatkonzentration, LDH-Aktivität, Herzminutenvolumen und Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}O_{2max}$) untersuchte. Nach einem 20-minütigen Fahrradergometer-Test bei 70% der $\dot{V}O_{2max}$, vor und nach der Supplementationsperiode, wurden Blutproben genommen und genannte Parameter analysiert. Alle Parameter zeigten keine Veränderung nach der Supplementation im Vergleich zu vorher. [Izadi M. et al. 2009]

Diese Studie zeigte also, dass eine L-Carnitin-Supplementation an untrainierten Männern keinen positiven Effekt auf aerobe Kapazität, bzgl. Glykogeneinsparung oder LDH-Aktivität hatte. [Izadi M. et al. 2009]

11.1.2.1.2. Chronische Supplementation

Wächter S. et al. (2002) untersuchten die Effekte einer langfristigen (3 Monate), hochdosierten (2x2g L-Carnitin/d) Supplementation mit L-Carnitin an 8, moderat trainierten, jungen Männern. Zu untersuchende Parameter waren der Einfluss auf den Carnitin-Status im Muskel, die Muskel-Komposition und die Muskelleistung bei 20%, 40% und 60% der individuellen Maximalauslastung (P_{max}). Die Leistungstests wurden (10 Minuten auf jeder Stufe) am Fahrradergometer absolviert, bis zu Erschöpfung. [Wächter S. et al. 2002]

Obwohl die Konzentration an Gesamt- und freiem Carnitin im Plasma signifikant gesteigert werden konnte (Abb. 23), wurde keine signifikante Steigerung desselben im Muskel verzeichnet, was bedeutet, dass für die Aufnahme der Plasma-Carnitins in die Muskelzelle ein aktiver Prozess verantwortlich ist und eine Steigerung des Plasma-Carnitins somit nicht zwangsläufig mit einer Steigerung des intramuskulären Carnitins einhergeht. [Wächter S. et al. 2002]

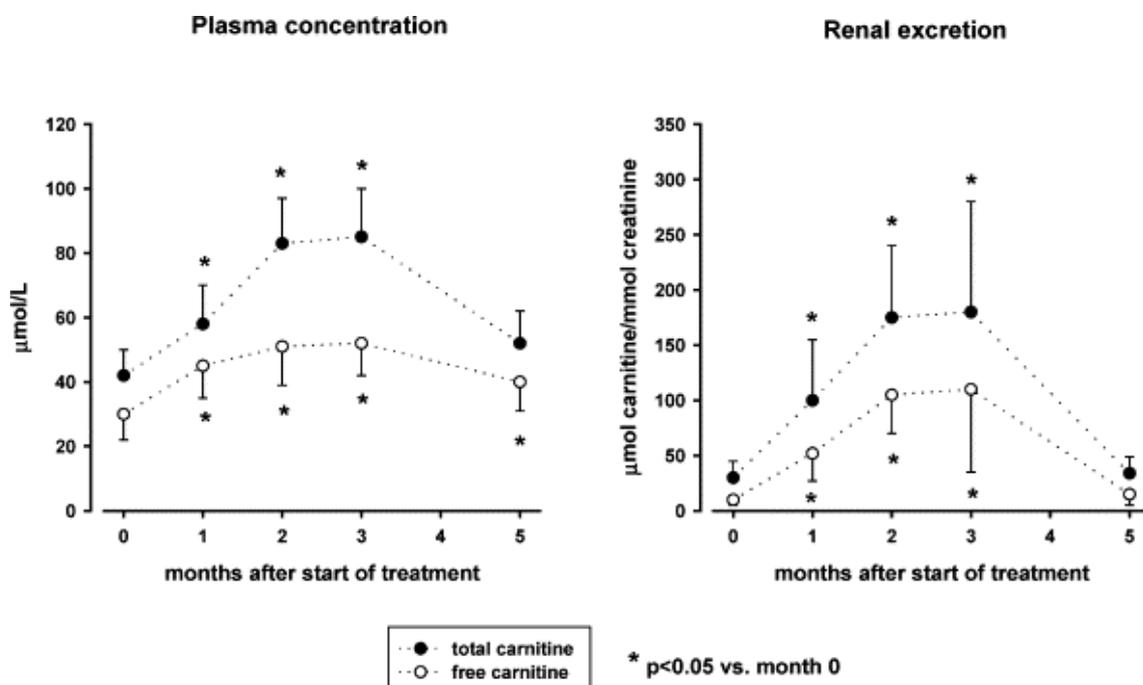


Abb. 23 Plasma Carnitin-Konzentration und renale Carnitin-Ausscheidung während einer 3-monatigen Gabe von 2x2g L-Carnitin/d (*...signifikant) [Wächter S. et al. 2002]

Beim körperlichen Belastungstest (20%, 40%, 60% der individuellen P_{max}) bis zur Erschöpfung. Es konnten keine Veränderungen in VO_2 bei 20% P_{max} , VO_{2max} , Blutlaktatkonzentration, Herzminutenvolumen oder RQ festgestellt werden. Einzig eine 5%ige Steigerung der VO_2 bei 40% und 60% der P_{max} war statistisch signifikant. [Wächter S. et al. 2002]

Abschließend betrachtet kann gesagt werden, dass, bei einem Ausgangs-Plasma-Carnitin-Status im Normalbereich, eine zusätzliche Steigerung desselben keinen Einfluss auf den Muskel-Carnitin-Pool hat und dass, in dieser Studie, eine langfristige L-Carnitinsupplementation keinen Einfluss auf die körperliche Leistungsfähigkeit hat. [Wächter S. et al. 2002]

11.1.2.1.3. Kurzfristige Supplementation

Kaviani M. et al. (2010) führten eine Studie an 12 aktiven, männlichen Sportstudenten durch, die in eine Suppletions- und eine Placebogruppe eingeteilt wurden. Die Suppletionsgruppe erhielt, 90 Minuten vor der Absolvierung des Leistungstests bis zu Erschöpfung, auf einer Tretmühle, 2g L-Carnitin gelöst in Wasser und Zitronensaft, die andere Gruppe erhielt ein Placebo. [Kaviani M. et al. 2009]

Es konnte in der Supplementgruppe eine bessere Leistung ($2980 \pm 155m$) im Vergleich zur Placebogruppe ($2331 \pm 51m$) verzeichnet werden. [Kaviani M. et al. 2009]

Interessant ist dieses Ergebnis vor allem deswegen, da Barnett et al. [in Galloway S.D.R. und Broad E.M. 2005] feststellten, dass bei einer Supplementation nur 60-90 Minuten vor dem Leistungstest, dem Supplement nicht genug Zeit bleibt, die Muskulatur zu erreichen. [Galloway S.D.R. und Broad E.M. 2005]

Leider stehen keine Angaben zum L-Carnitin-Status vor der Supplementation der Probanden zur Verfügung, was eine Beurteilung dieses Parameters nicht zulässt.

11.1.2.2. Auswirkung einer L-Carnitinsupplementation auf die Muskel-Regeneration im Krafttraining

Es ist allgemein bekannt, dass starke körperliche Beanspruchung einen hypoxischen Effekt auf den Organismus hat und dass, bei starker Muskeltätigkeit, zelluläre Strukturen in den beanspruchten Arealen geschädigt werden können [Kraemer W.J. et al. 2005].

Studien zeigten, dass L-Carnitin die Durchblutung verbessern kann, was möglicherweise einen positiven Effekt auf die Erholungsfähigkeit der Muskulatur hat [Brass E.P. und Hiatt W.R. 1998]. Durch die zusätzliche Sauerstoffzufuhr kann vielleicht der Entstehung von Radikalen und der Lipidperoxidation entgegengewirkt werden, was die Bildung von Indikatoren der Membranschädigung, wie Malondialdehyd verhindern kann [Kraemer W.J. et al. 2005].

Kraemer W.J. et al. (2002, 2003) führten mehrere Studien an guttrainierten Kraftsportlern durch, an denen nach 3-wöchiger Carnitin-Supplementation (2g L-Carnitin-L-Tartrat/d) und einer Absolvierung von 5 Sets Kniebeugen mit 15-20 Wiederholungen, ein positiver Einfluss von L-Carnitin auf den Blutstrom und die Zellkommunikation festgestellt werden konnte. [Kraemer W.J. et al. 2005]

Spiering B.A. et al. (2007, 2008) erhielten zwei Studien, mit beinahe identischem Aufbau wie Kraemer et al., auch ähnliche Ergebnisse. In beiden wurden reduzierte Werte von Indikatoren von metabolischem Stress und Muskelkater, wie Malondialdehyd oder Hypoxanthin, festgestellt. [Spiering B.A. et al. 2007],[Spiering B.A. et al. 2008]

Diese Werte zeigen, dass L-Carnitin möglicherweise im Bereich der Muskelerholung positiv wirken kann, es sind aber noch mehr Untersuchungen auf diesem Gebiet erforderlich.

11.1.3. Diskussion

Bezüglich einer Supplementation wurden bereits verschiedenste Studien mit unterschiedlichsten kontroversen Ergebnissen durchgeführt. Eine Auswahl wurde in diesem Kapitel vorgestellt.

Ein positiver Einfluss auf die Ausdauerleistung durch mehrwöchige L-Carnitin-Supplementation, vor allem für trainierte Männer, scheint sich heraus zu kristallisieren. Da jedoch viel sportliche Belastung im Ausdauerbereich zu einer Senkung der Carnitinlevel im Plasma führt [Luppa D. 2004], der Ausgangsstatus der Probanden an L-Carnitin jedoch oft nicht angeführt ist, ist nicht auszuschließen, dass dieser positive Effekt womöglich aufgrund eines zuvor bestandenen Mangels zustande gekommen ist.

Im Bereich der Muskelregeneration sind, in jedem Fall, weitere Untersuchungen möglich, um die wenigen existierenden Studien besser beurteilen zu können.

11.2. Koffein

Koffein [1,3,7-Trimethylxanthin] ist die, derzeit wohl am häufigsten konsumierte, bioaktive Substanz der Welt [Grebe W. 2010],[Liguori A. et al. 1997] und zählt zu den ältesten bekannten Genuss- und Arzneimitteln [Mannhart C. und Kamber M. 1998].

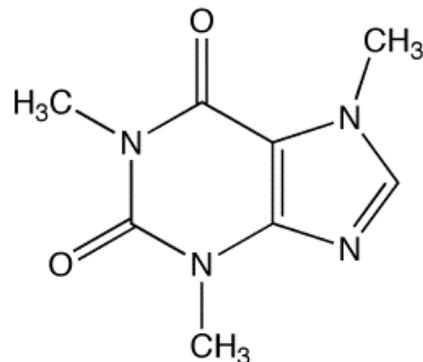


Abb. 24. Struktur des Koffeins

Seine positive Wirkung auf die Muskelleistung ist schon lange bekannt, weshalb es bis ins Jahr 2004 auch auf der Liste der verbotenen Substanzen der Welt-Antidoping-Agentur (WADA) zu finden war, mit einer Höchstgrenze von 12 µg Koffein/ml Urin [Grebe W. 2010]. Heute obliegt der Koffeinkonsum im Sport keiner Begrenzung durch die WADA oder das Internationale Olympische

Komitee (IOC) mehr [Grebe W. 2010], was seinen Einsatz zur Verbesserung der Leistungsfähigkeit im Ausdauer- und Schnelligkeitsbereich wieder interessanter macht.

11.2.1. Vorkommen und Funktion

Das Methylxanthin Koffein ist ein Purin-Alkaloid, das dem Theophyllin im Tee und dem Theobromin im Kakao sehr ähnlich ist [Mannhart C. und Kamber M. 1998],[Grebe W. 2010]. Unter den, uns bekannten, Nutzpflanzen ist Koffein vor allem in der Kaffeebohne (1-2%), in Teeblättern (*Camellia sinensis*/*Thea assamis*; 2-5%), Guarana (*Paulina sorbilis*; 2,5-5%), der Kola-Nuss (2%) und dem Mate-Strauch zu finden [Mannhart C. und Kamber M. 1998],[Grebe W. 2010], wobei auch eine große Anzahl der Nahrungsmittel des täglichen Gebrauchs beachtliche Mengen an Koffein aufweisen (Tab. 7) [Mannhart C. und Kamber M. 1998],[Grebe W. 2010],[Burke L.M. 2008].

Tabelle 7. Koffeingehalt ausgewählter Nahrungsmittel und Getränke

Koffeinquelle	Darreichungsmenge	Koffeingehalt
Kaffee	1 Tasse (150 ml)	50-100 mg
Kaffee entkoffeiniert	1 Tasse (150 ml)	3 mg
Espresso	Standardgröße	25-214 mg
Schwarztee	1 Tasse (150 ml)	22,5-37,5 mg
Kakao	1 Tasse (150 ml)	2-20 mg
Coca Cola	1 Dose (375 ml)	49 mg
Red Bull Energy Drink	1 Dose (250 ml)	80 mg
Halbbitterschokolade	100 g	50-110 mg
Vollmilkschokolade	100 g	3-35 mg
PowerBar koffeiniertes Sport-Gel	40 g Säckchen	25 mg

[Mannhart C. und Kamber M. 1998],[Grebe W. 2010],[Burke L.M. 2008]

Koffein wird nach der oralen Aufnahme über Magen und Dünndarm absorbiert [Grebe W. 2010] und seine Konzentration im Körper steigt fast augenblicklich nach der Zufuhr stetig an [Liguori A. et al. 1997]. Die Höchstkonzentration, beispielsweise nach Kaffee- oder Cola-Zufuhr, ist etwa nach einer halben Stunde erreicht, wobei, bei einer Aufnahme durch Kapseln, die Konzentration langsamer ansteigt (Abb.25) [Liguori A. et al. 1997]. Nach Erreichen des Höchstwertes, beginnt die Konzentration sogleich zu fallen und die Halbwertszeit für Koffein liegt etwa bei 4 Stunden [Mannhart C. und Kamber M. 1998],[Grebe W. 2010],[Liguori A. et al. 1997]. Abgebaut wird es in erster Linie über die Leber und danach mit dem Urin ausgeschieden [Mannhart C. und Kamber M. 1998].

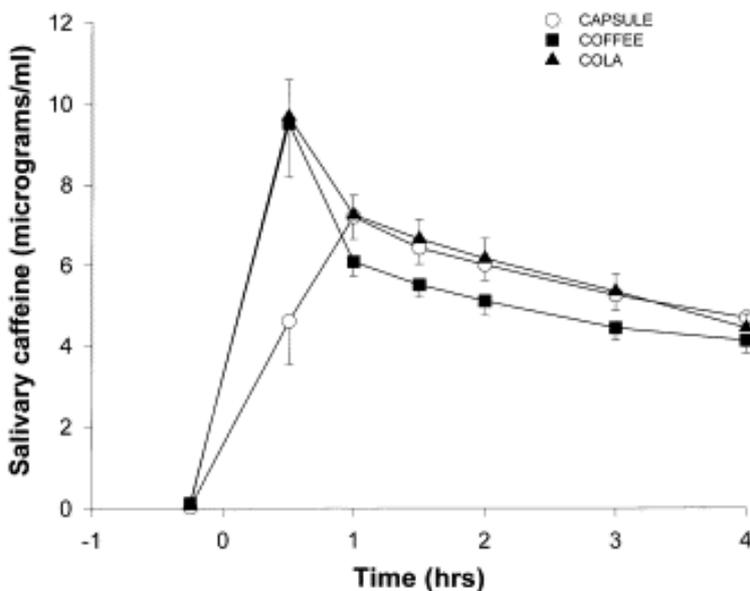


Abb. 25

Anstieg und Abfall der Koffeinkonzentration nach Zufuhr von Cola, Kaffee oder in Kapselform [in Liguori et al. 1997]

Die Wirkung von Koffein im menschlichen Körper basiert grundlegend auf seiner Stimulation des Zentralnervensystems (ZNS) [Mannhart C. und Kamber M. 1998],[Grebe W. 2010], genauer gesagt, des sympathischen Nervensystems (SNS) [Westerterp-Plantenga M.S. 2010],[Westerterp-Plantenga M. et al. 2006]. Das SNS stellt eine zentrale Rolle in der Regulation der Energiebalance und des Energieverbrauchs [Westerterp-Plantenga M. et al. 2006].

Koffein ist bekannt für seine konzentrations- und aufmerksamkeitssteigernde Wirkung, sowie für die Erhöhung der Wachheit [Mannhart C. und Kamber M. 1998],[Burke L.M. 2008],[Paluska S.A. 2003].

Außerdem vermag es, durch die Aktivierung des sympathischen Nervensystems, die Thermogenese zu stimulieren und die Lipidoxidation zu erhöhen [Mannhart C. und Kamber M. 1998],[Westerterp-Plantenga M.S. 2010],[Tarnopolsky M.A. et al. 1989]. Dies geschieht durch Hemmung des Enzyms Phosphodiesterase, wodurch es zur Erhöhung der cAMP-Konzentration (cyclisches Adenosin-Mono-Phosphat) kommt und das SNS stimuliert wird [Westerterp-Plantenga M.S. 2010]. Dies resultiert wiederum in einer Aktivierung der hormonsensitiven Lipase und somit in einer Erhöhung der Lipolyse [Westerterp-Plantenga M.S. 2010]. Eine Anhäufung des cAMP hat auch eine vermehrte Noradrenalin-Anhäufung zur Folge und somit eine verstärkte Verfügbarkeit des ATP, durch Ionenpumpen und Substratzyklen [Westerterp-Plantenga M.S. 2010],[Westerterp-Plantenga M. et al. 2006]. Noradrenalin soll auch die mitochondriale Oxidationsrate erhöhen. Eine vermehrte Noradrenalin-Konzentration resultiert also in einer höheren Aktivität des SNS und einer erhöhten Energienutzung. [Westerterp-Plantenga M.S. 2010]

Auch seine Wirkung als Adenosin-Rezeptor-Antagonist, spielt eine wesentliche Rolle. Diese Adenosin-Rezeptoren sind ein wesentlicher Faktor für die zentrale Ermüdung, sowie für die Anstrengungs- und Schmerzwahrnehmung. Werden diese gehemmt, so würde das bedeuten, dass die Ermüdung hinausgezögert und das Schmerzempfinden herabgesetzt ist, was merklich zur Leistungssteigerung beitragen kann. [Mannhart C. und Kamber M. 1998],[Westerterp-Plantenga M.S. 2010],[Westerterp-Plantenga M. et al. 2006].

Eine weitere Möglichkeit der Wirkung des Koffeins stellt die erhöhte Mobilisierung von intrazellulärem Kalzium im Skelettmuskel dar [Grebe W. 2010],[Westerterp-Plantenga M.S. 2010], was eine erhöhte Kalziumsensibilität, vor allem in den Typ I Muskelfasern, bedeuten kann [Mannhart C. und Kamber M. 1998].

11.2.2. Koffein und sportliche Leistung

Seit Anfang des 20. Jahrhunderts ist bekannt, dass sich die Einnahme von Koffein positiv auf die Muskelleistung auswirkt [Grebe W. 2010].

Ein Überblick über die zuvor genannten Wirkungen von Koffein auf den Organismus, sowie der Zusammenhang derselben im Bezug auf die Leistungsfähigkeit, sind in Tabelle 8 dargestellt.

Tabelle 8. Wirkung des Koffeins und Nutzen im Sport

Wirkung	Positiver Nutzen im Sport
Erhöhte cAMP-Konzentration, Lipase-Aktivierung	<ul style="list-style-type: none"> • Vermehrte Lipidoxidation → Verbesserte Ausnutzung der Fettdepots → Glykogenspareffekt
Adenosin-Rezeptor-Antagonismus	<ul style="list-style-type: none"> • Vermindertes Schmerzempfinden • Verzögerte Ermüdung
Erhöhung des Noradrenalins	<ul style="list-style-type: none"> • Vermehrte mitochondriale Oxidation → Sauerstofftransport • Vermehrte Verfügbarkeit von ATP → Energiebereitstellung
Vermehrte Kalziummobilisierung	<ul style="list-style-type: none"> • Erhöhte Kalziumsensibilität → Muskelkontraktilität

[Mannhart C. und Kamber M. 1998],[Grebe W. 2010],[Westerterp-Plantenga M.S. 2010],[Westerterp-Plantenga M. et al. 2006]

Für die unterstützende Wirkung des Koffeins hinsichtlich verschiedener Sportarten, muss nun zwischen 2 Bereichen unterschieden werden.

- a) Zum einen kann Koffein im **extensiv aeroben Ausdauerbereich** eingesetzt werden, in dem ein Mischstoffwechsel zwischen Kohlehydratabbau und Lipidoxidation zur Energiebereitstellung dient. Da Koffein möglicherweise die Lipidoxidation erhöht, kann vermehrt Fett zur Energiebereitstellung genutzt werden und das Muskelglykogen gespart werden. Auch die vermehrte Kontraktibilität, durch erhöhte Kalziumsensibilität, der Typ I Muskelfasern spricht für diese positiven Wirkungen. Diese Tatsachen können somit die Ausdauerleistung im extensiv aeroben Bereich verbessern, sprich, Koffein könnte bei Mittel- und Langstreckenläufen eingesetzt werden. Diese Möglichkeit soll in diesem Kapitel besprochen werden.

- b) Die zweite, und noch unerforschtere, Wirkung des Koffeins ist jene, die Unterstützungen im Bereich der **alaktazid anaeroben Ausdauer** erlaubt, also im Belastungsbereich von 5-20 Sekunden, z.B. bei Sprints. Durch Erhöhung des Noradrenalins und der, damit einhergehenden, vermehrten ATP-Bereitstellung, wird schneller mehr Energie zur Verfügung gestellt und sogleich verwertet werden. Möglichkeiten zu dieser Verbesserung sollen im **Kapitel** der alaktazid anaeroben Ausdauer (**10.3. Koffein**) näher erläutert werden.

11.2.2.1. Förderung der Mittel- und Langzeitausdauer

In der Vergangenheit wurden viele Studien durchgeführt, die die Effektivität einer Koffeinsupplementation auf die sportliche Leistung bei Mittel- bzw. Langstreckenbelastungen (Radfahren, Schwimmen, Laufen, etc.) untersuchte, meist mit positiven Ergebnissen [Burke L.M. 2008].

11.2.2.1.1. Mittel- und Langstreckenlauf

Bridge C.A. und Jones M.A. (2006) untersuchten die Wirkung von 3mg Koffein/kg Körpergewicht auf die Laufgeschwindigkeit in einem 8km-Lauf, verglichen mit einem Placebo und einem supplementfreien Lauf, im Crossoverdesign. Alle Probanden waren gewohnte Kaffeekonsumenten, ohne bekannte Hypersensitivität. Die Koffeinzufuhr, eine Stunde vor Antritt des Rennens, resultierte in einer signifikanten Verbesserung der Laufzeit, verglichen mit dem Placebo-Lauf und dem supplementfreien Lauf (Abb. 26). Koffeinzufuhr führte jedoch auch zu einer Erhöhung der durchschnittlichen Herzfrequenz während und einer Erhöhung des Laktatspiegels 3 Minuten nach der Belastung (Abb. 27). [Bridge C.A. und Jones M.A. 2006]

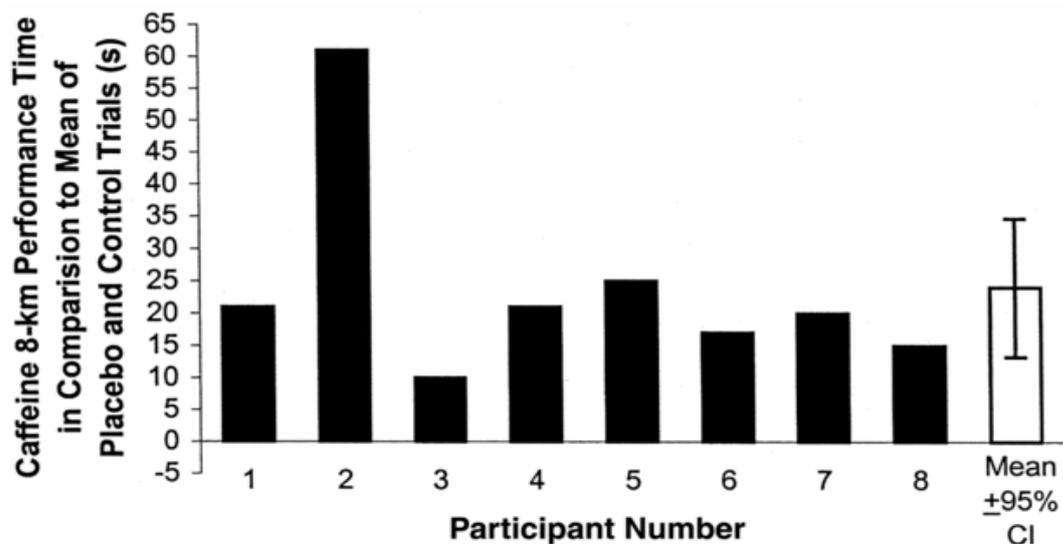


Abb. 26 8km-Laufzeiten nach Koffeinnahme (schwarz) verglichen mit der Durchschnittszeit von Placebo-Lauf und supplementfreiem Lauf (weiß) [Bridge C.A. und Jones M.A. 2006]

Bridge und Jones führen die unterschiedlichen Verbesserungen der Probanden nach Koffeinnahme auf Responder- und Nonresponder-Reaktionen zurück. [Bridge C.A. und Jones M.A. 2006]

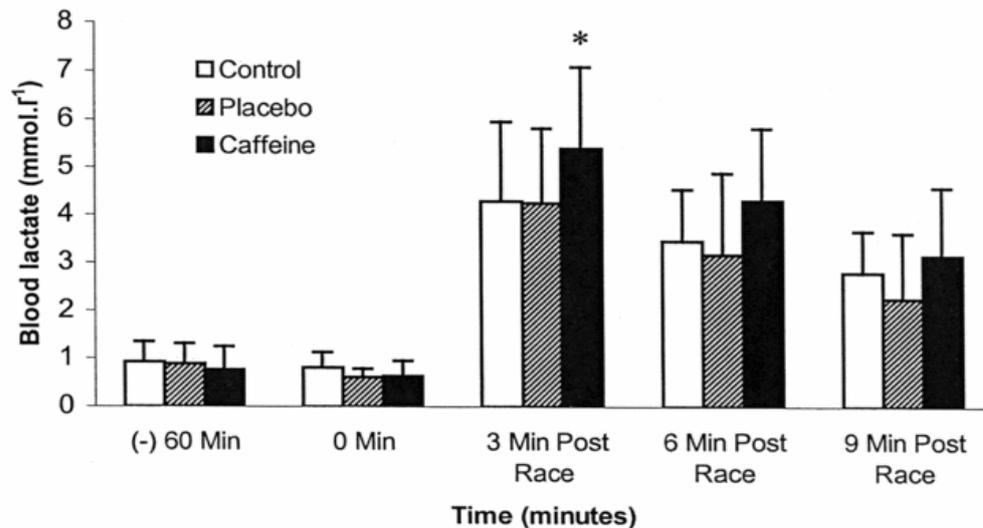


Abb. 27 Blut-Laktat-Konzentrationen vor und nach der Belastung (Koffein vs. Placebo und kein Supplement) [Bridge C.A. und Jones M.A. 2006]

Die erhöhten Laktatwerte versuchen Bridge und Jones damit zu erklären, dass Koffein die Pyruvatdehydrogenase hemmt, was zu einem verminderten Laktatabbau führt und ein somit eigentlich ein Anzeichen für die Wirkung des Koffeins wäre. [Bridge C.A. und Jones M.A. 2006]

Den Nachweis hinsichtlich verbesserter Laufgeschwindigkeiten konnten auch Wiles J.D. et al. (1992) nachweisen. Sie untersuchten die Wirkung von Koffein (150-200 mg, eine Stunde vor dem Lauf) auf die Laufgeschwindigkeit im 1500m-Lauf, im 1100m-Lauf mit anschließendem 400m Sprint und die Wirkung im 1500m Lauf mit erhöhter Geschwindigkeit, an trainierten Mittelstreckenläufern bzw. Athleten. Alle Probanden waren gewohnte Koffeinkonsumenten. [Wiles J.D. et al. 1992]

Hier konnte im 1500m-Lauf eine verbesserte Laufzeit um durchschnittlich 4,2 Sekunden, verglichen mit entkoffeiniertem Kaffee und ohne Supplement, festgestellt werden, sowie eine verbesserte Zeit im 400m-Sprint, nach dem 1100m-Lauf. Im 1500m-Lauf mit höherer Intensität konnte eine höhere

durchschnittliche Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}O_2$) beobachtet werden. [Wiles J.D. et al. 1992]

Es lässt sich also sagen, dass, auch in der Studie von Wiles et al, Koffeineinnahme signifikant eine Geschwindigkeitsverbesserung und eine vermehrte Sauerstoffzufuhr aufzeigen kann, sowie eine vorzeitige Ermüdung hinauszögern kann. [Wiles J.D. et al. 1992]

O'Rourke M.P. et al. (2008) kamen zu den gleichen Ergebnissen im 5km-Lauf. Sie untersuchten die Wirkung von 5mg Koffein/kg Körpergewicht an 15 guttrainierten Läufern, im Vergleich zu 15 Gelegenheitsläufern. Alle Probanden waren keine Koffeinkonsumenten. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass die Koffeinzufuhr, eine Stunde vor dem 5km-Lauf, sowohl bei den trainierten, als auch bei den Gelegenheitsläufern zu signifikant besseren Laufzeiten führte, verglichen mit dem Placebo. Diese Studie zeigt auf, dass Koffein, unabhängig vom Trainingszustand, gleichermaßen wirkt. Da der Glykogenspiegel kein limitierender Faktor in einem 5km-Lauf ist, erklären sich O'Rourke et al. die besseren Laufzeiten mit der höheren Aktivität der ZNS oder auch verminderter Schmerzempfindung. [O'Rourke M.P. et al. 2008]

Eine weitere Studie an Nicht-Koffein-Konsumenten führten auch French C. et al. (1991) durch. Sechs trainierte Marathonläufer sollten bei 75%iger $\dot{V}O_{2max}$ bis zur Erschöpfung auf dem Laufband laufen, verglichen wurde die Einnahme von 10mg Koffein/kg Körpergewicht mit der Einnahme eines Placebos und ohne Supplementeinnahme. Auch hier schafften die Läufer nach Koffeinzufuhr eine bessere Laufdistanz als nach Placeboeinnahme oder ohne Supplement. Ein erhöhter Laktatwert nach Koffeineinnahme konnte hier bei der Messung am Ende der Belastung festgestellt werden. [French C. et al. 1991]

Diese, eben beschriebenen Studien, zeigen also, dass eine akute Koffeineinnahme, vor Absolvierung einer Ausdauerleistung, sich positiv auf die Leistungsparameter auswirkt.

11.2.2.1.2. Radfahren

So wie im Laufsport, konnte auch beim Radfahren ein positiver Nutzen durch Koffeineinnahme verzeichnet werden. Dwyer D. und Ross R. (2003) konnten an einer Studie an 10 trainierten Radfahrern, nach Koffeineinnahme, bessere Laufzeiten verzeichnen, als ohne. Die Athleten mussten 90 Minuten bei 60% der Maximalgeschwindigkeit, fahren und am Ende einen Sprint, bei 120% der Maximalkraft, bis zur Erschöpfung absolvieren. Nach der Koffeinzufuhr hielten die Probanden deutlich länger durch, als ohne. Erhöhte Laktatwerte, wie beim Laufen, konnten hier nicht verzeichnet werden. [Dwyer D. und Ross R. 2003]

11.2.2.1.3. Rudern

Skinner T. et al. (2009) versuchten, den Einfluss verschiedener Koffeingaben (2 mg/kg Körpergewicht, 4 mg/kg Körpergewicht, 6 mg/kg Körpergewicht), eine Stunde vor Absolvierung der Strecke, verglichen mit einem Placebo, auf die Leistung auf einer 2000m-Strecke im Rudern zu beschreiben. Es konnte eine signifikante Verbesserung der Leistung mit steigender Plasmakoffeinkonzentration aufgezeigt werden. Auch die Herzfrequenz und das Plasmalaktat waren nach Koffeinzufuhr erhöht, was wiederum auf die Wirkung des Koffeins schließen lässt. [Skinner T. et al. 2009]

11.2.2.1.4. Weitere Studien

Louise M. Burke stellte in seinem Review über den Einfluss von Koffein auf die sportliche Leistungsfähigkeit (2008) eine sehr gute Übersicht über etliche Studien in verschiedenen Ausdauersportarten (Tab. 9) zusammen, die darum hier noch einmal als abschließende Übersicht dienen soll.

Tabelle 9. Studien zur Koffeinsupplementation im Ausdauersport (> 60 Min.) [in Burke L.M. 2008]

Table 4. Crossover-designed studies of caffeine supplementation related to an endurance sport (>60 min).

Publication	Subjects	Caffeine intake	Sports performance	Enhanced performance	Comments
Cycling					
Jenkins et al. (2008)	Trained cyclists (13 males)	1 mg·kg ⁻¹ , 2 mg·kg ⁻¹ , or 3 mg·kg ⁻¹ (60 min pre-exercise)	15 min cycling (60% VO _{2 max}) + 15 min TT	Yes for 2 and 3 mg·kg ⁻¹ doses; no for 1 mg·kg ⁻¹ dose	Work done during the 15 min TT was increased by 4% (1–6.8) with 2 mg·kg ⁻¹ of caffeine and by 3% (-0.4%–6.8%) with 3 mg·kg ⁻¹ ; improvement varied in magnitude between individual cyclists
Cureton et al. (2007)	Well-trained cyclists (16 males)	Total, 5.3 mg·kg ⁻¹ ; 1.2 mg·kg ⁻¹ pre-exercise + 0.6 mg·kg ⁻¹ every 15 min during exercise	120 min cycling (60% and 75% VO _{2 max}) + 15 min TT; CHO-fed during cycling	Yes	Higher exercise intensity in 15 min TT with caffeine and CHO (90±11% VO _{2 max}) vs. CHO alone (79±14 VO _{2 max})
Conway et al. (2003)	Trained cyclists and triathletes (9 males)	6 mg·kg ⁻¹ 60 min pre-exercise; 3 mg·kg ⁻¹ pre-exercise; and 3 mg·kg ⁻¹ at 45 min during exercise	90 min cycling at 68% VO _{2 max} + TT (~30 min)	Perhaps	Trend to better performance in TT with caffeine trials (-24.2 and 23.4 min) vs. placebo (28.3 min) (<i>p</i> = 0.08); urinary caffeine concentrations lower with split dose
Hunter et al. (2002)	Highly trained cyclists (8 males)	6 mg·kg ⁻¹ 60 min before exercise + 0.33 mg·kg ⁻¹ every 15 min	100 km cycling TT, including 5 × 1 km and 4 × 4 km high-intensity efforts; CHO-fed during cycling	No	No difference between trials with respect to total 100 km time or time to complete high-intensity efforts; no difference between trials in EMG characteristics, although differences within trial attributable to workload
Cox et al. (2002)	Well-trained cyclists and triathletes (12 males)	6 mg·kg ⁻¹ 60 min pre-exercise; 6 × 1 mg every 20 min during exercise; 10 mL·kg ⁻¹ Coca-Cola in last 50 min (~1–1.5 mg·kg ⁻¹ caffeine)	2 h cycling at 70% VO _{2 max} + 7 kJ·kg ⁻¹ TT (~30 min); CHO-fed during cycling	Yes at all doses	Compared with placebo, caffeine in large dose (6 mg·kg ⁻¹) provided 3% performance benefit in TT, regardless of timing of intake; commercial cola drink consumed late in exercise (~1 mg·kg ⁻¹ caffeine) produced effects of equal magnitude; urinary caffeine levels ~4–5 µg·mL ⁻¹ for large dose of caffeine and <1 µg·mL ⁻¹ for cola drink
Cox et al. (2002)	Well-trained cyclists and triathletes (8 males)	Sports drink replaced during last 70 min with 15 mL·kg ⁻¹ of a cola drink (caffeine dose ~1.5 mg·kg ⁻¹): 6% CHO; 11% CHO; 6% CHO + 130 mg·mL ⁻¹ caffeine; or 11% CHO + 130 mg·mL ⁻¹ caffeine*	2 h cycling at 70% VO _{2 max} + 7 kJ·kg ⁻¹ TT (~30 min); CHO-fed during cycling	Yes	Commercial cola drink consumed late in exercise produced 3% performance benefit in TT compared with cola-flavoured placebo drink. Benefits attributable to caffeine content (~2%) and increased CHO intake (~1%)
Jacobson et al. (2001)	Trained cyclists (8 males)	6 mg·kg ⁻¹ (60 min pre-exercise)	2 h cycling at 70% VO _{2 max} + 7 kJ·kg ⁻¹ TT (~30 min); CHO-fed during cycling	No	TT performance similar in caffeine + CHO trial (29.12 min) and CHO trial (30.12 min), with both trials better than placebo trial
Ivy et al. (1979)	Trained cyclists (9 males + females)	Total dose, 500 mg; 250 mg at 60 min pre-exercise + 7 doses during exercise	2 h isokinetic cycling at 80 r·min ⁻¹	Yes	7% increase in total work, compared with placebo trial; RPE same, despite increased work
Kovacs et al. (1998)	Well-trained cyclists (15 males)	2.1 mg·kg ⁻¹ , 3.2 mg·kg ⁻¹ , and 4.5 mg·kg ⁻¹ doses; 75 min pre-exercise and at 20 and 40 min during TT	Cycling TT of about ~1 h; CHO-fed during cycling	Yes at all doses	Addition of caffeine to CHO–electrolyte drinks improved 60 min TT performance; improvement with 3.2 and 4.5 mg·kg ⁻¹ caffeine doses equal to and greater than improvement with 2.1 mg·kg ⁻¹ ; urinary caffeine levels related to total dose, but all below 12 µg·mL ⁻¹
Cross-country Skiing					
Berglund and Hemmingsson (1982)	Well-trained cross-country skiers (14 males)	6 mg·kg ⁻¹ (prerace)	21 km cross-country ski race (field study) at low and high altitudes	Perhaps at low altitude; yes at high altitude	Race times were normalized to account for differences in weather (individual times expressed as % of mean race time); at low altitudes, at half way, the race time with caffeine was decreased by 0.9% of the mean time (-33 s), compared with placebo (<i>p</i> < 0.05); at full distance, decrease was 1.7% of the mean time (-59 s) (<i>p</i> < 0.1); at high altitudes, the race time was significantly faster with caffeine than with placebo (<i>p</i> < 0.001) both after 1 lap (2.2% or ~101 s) and 2 laps (3.2% or ~152 s)
Distance running					
Cohen et al. (1996)	Trained runners (5 males + 2 females)	5 mg·kg ⁻¹ , 9 mg·kg ⁻¹ (prerace)	21 km half-marathon (field study)	No	No effects on RPE or performance at either dose, compared with placebo
Van Nieuwenhoven et al. (2005)	Trained to well-trained runners (90 males + 8 females)	~1.3 mg·kg ⁻¹ in 7% CHO sport drink vs. CHO sport drink alone + water (pre-exercise and at 4.5, 9, and 13.5 km during race)	18 km road running race (field study); CHO-fed during some trials	No	No differences in performance of whole group between caffeinated sport drink (78:03±8:42 min:s), sport drink (78:23±8:47 min:s), or water (78:03±8:30 min:s), or for 10 fastest runners (63:41, 63:54, and 63:50 min:s for caffeine sport drink, sport drink, and water, respectively)

Note: CHO, carbohydrate; EMG, electromyographical; RPE, rate of perceived exertion; TT, time trials; VO_{2 max}, maximal oxygen consumption.
*Caffeine content equivalent to Coca-Cola.

Solch eine Tabelle erstellte er auch hinsichtlich höherer Intensitäten, bei Belastungszeiten von 1-60 Minuten (Tab. 10).

Tabelle 10. Studien zur Koffeinsupplementation bei höheren Intensitäten (1-60 Min.) [in Burke L.M. 2008]

Table 5. Crossover-designed studies of caffeine supplementation and performance of sustained high-intensity sports (1–60 min).

Publication	Subjects	Caffeine intake	Sports performance	Enhanced performance	Comments
Middle distance and distance running					
Bridge and Jones (2006)	Distance runners (8 males)	3 mg·kg ⁻¹ (60 min pre-exercise)	8 km race on track	Yes	Relative to the mean time of the control and placebo trials, caffeine supplementation resulted in a 23.8 s or 1.2% improvement in run time ($p < 0.05$), with individual improvements ranging from 10 to 61 s; heart rate was significantly higher in caffeine trial, with trend toward lower RPE, despite faster running speed
Wiles et al. (1992)	Well-trained runners (18 males)	3 g of coffee (150–200 mg of caffeine) 60 min pre-exercise	1500 m race on treadmill	Yes	Mean time improved by ~4.2 s ($p < 0.05$) with caffeine, compared with placebo
Wiles et al. (1992)	Well-trained runners (10 males)	3 g of coffee (150–200 mg caffeine) 60 min pre-exercise	1500 m race: 1100 m at constant speed and 1 min final burst at self-selected speed	Yes	Caffeine enhanced speed of 1 min final burst by ~0.6 km·h ⁻¹ , equivalent to 10 m ($p < 0.05$)
Rowing					
Bruce et al. (2000)	Well-trained rowers (8 males)	6 mg·kg ⁻¹ or 9 g·kg ⁻¹ 60 min prerace	2000 m ergometer row	Yes for both doses	Caffeine enhanced performance by a mean of 1.3% and 1% for 6 mg·kg ⁻¹ and 9 g·kg ⁻¹ doses, respectively, compared with placebo ($p < 0.05$); some participants had urinary caffeine concentrations >12 ng·mL ⁻¹ with higher caffeine dose, but participants were unable to identify caffeine trials, suggesting that effect is subtle
Anderson et al. (2000)	Well-trained rowers (8 females)	6 mg·kg ⁻¹ or 9 g·kg ⁻¹ 60 min pre-exercise	2000 m ergometer row	Yes for both doses	Caffeine enhanced performance by a mean of 0.7% and 1.3% for 6 mg·kg ⁻¹ and 9 g·kg ⁻¹ doses, respectively, compared with placebo ($p < 0.05$); performance improvement achieved primarily by enhancing the first 500 m
Swimming					
Burke et al. (unpublished observations)	Elite and highly trained swimmers (15 males + females)	2 mg·kg ⁻¹ 60 min prerace	100 m race (best stroke)	No, but lower RPE	No difference in reaction time, 50 m split, or 100 m race time between trials, but ratings of perceived exertion was lower in the caffeine trial (16.6 vs. 17.1; $p = 0.01$); self-reports of sleeping patterns following the trial found that caffeine supplementation was associated with an increase in time taken to fall asleep and a reduction in quality of sleep
MacIntosh and Wright (1995)	Well-trained swimmers (11 males + females)	6 mg·kg ⁻¹ 60 min prerace	1500 m freestyle race	Yes	23 s improvement in swimming time with caffeine ($p < 0.05$); caffeine affected substrate and electrolyte balance
Collomp et al. (1992)	Trained swimmers (14 males + females)	250 mg (~4 mg·kg ⁻¹) 60 min pre-exercise	2 × 100 m swimming races, separated by 20 min	Yes	Caffeine enhanced mean swimming velocity in both 100 m races ($p < 0.01$), and prevented the decrease in velocity otherwise seen in the second swim with the placebo treatment
Track cycling					
Wiles et al. (2006)	8 trained cyclists	5 mg·kg ⁻¹ 75 min pre-exercise	1 km cycling TT	Yes	Performance improved by a mean of 2.4 s or 3.1% (95% CI, 0.7% to 5.6%; $p < 0.05$), which also achieved practical significance in context of real-life 1 km track cycling event

Wie man hier erkennen kann, ist die Option einer Koffeinsupplementation in vielen Sportarten einsetzbar und wirksam.

11.2.3. Gewöhnungseffekt

Oft beschrieben wurde aber auch bereits der Gewöhnungseffekt, der mit regelmäßigem Kaffeekonsum einhergeht [Grebe W. 2010].

Bangsbo J. et al. (1992) untersuchten eben diese These an sechs trainierten Probanden. Diese sollten für 6 Wochen, zusätzlich zu einem täglichen

Laufprogramm, 500mg Koffein zu sich nehmen. Verglichen mit den Werten einer Kontrollgruppe, die jenes Trainingsprogramm ohne die zusätzliche Koffeinzufuhr absolvierten, zeigte die Koffeingruppe signifikant höheres Plasma-Adrenalin und einen verminderten RQ (respiratorischer Quotient). Wie bereits in vorangegangenen Kapiteln erwähnt, bedeutet ein $RQ < 1$, dass die Energie sowohl aus Kohlehydraten als auch aus Fett gewonnen wird. Je niedriger der RQ ist, umso mehr Fett wird abgebaut (reiner Kohlehydratabbau bedeutet einen RQ von 1), was hier die Tatsache untermauern würde, dass Koffein die Fettoxidation fördert. Adrenalin und Noradrenalin zeigen im sympathischen Nervensystem in Hinsicht auf die ATP-Bereitstellung eine ähnliche Wirkung. [Bangsbo J. et al. 1992]

In dieser Studie wurde festgestellt, dass, durch eine regelmäßige erhöhte Einnahme von Koffein, der RQ zwar niedrig bleibt, das Ansprechen von Adrenalin auf diese aber mit der Zeit gedämpft wird, woraus man einen Gewöhnungseffekt schließen könnte. [Bangsbo J. et al. 1991]

11.2.4. Nachteilige Effekte

Im Zusammenhang mit Koffeinkonsum wurde hin und wieder von unangenehmen Nebeneffekten berichtet, wie zum Beispiel – nach akuter Einnahme - Kopfschmerzen, Herzrasen, Unruhe, Rastlosigkeit, Schwindel [56] und vermehrte Diurese [Grebe W. 2010]. Bei chronischer Zufuhr verschwinden diese Nebenwirkungen aber meist nach wenigen Tagen, einzig erhöhter Blutdruck ist diesbezüglich zu beachten. [Westerterp-Plantenga M.S. 2010]

Eine Studie von Olcina G.J. et al. (2008) berichtete auch von möglichen prooxidativen Eigenschaften (vermehrte Lipidperoxidation) von Koffein, welche Zellschädigungen verursachen können. Dies wurde anhand von signifikant erhöhter Malondialdehyd-Level (Abb. 28), einem Marker für Lipidperoxidation, erörtert. [Olcina G.J. et al. 2008]

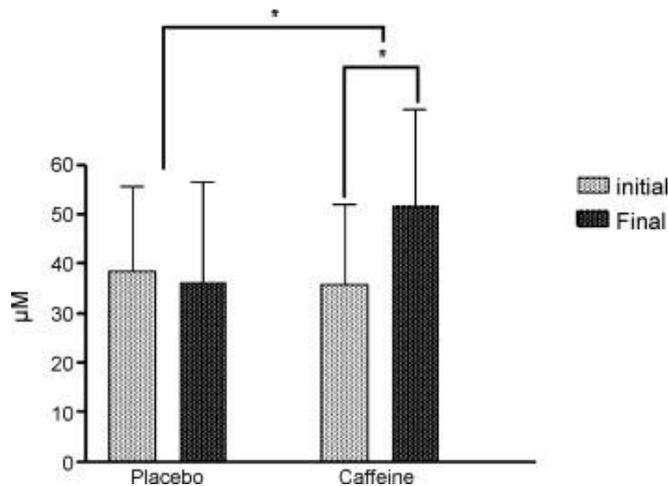


Abb. 28. Plasma-Malondialdehyd-Level nach Placebo oder Koffeineinnahme, vor und nach körperlicher Belastung [in Olcina G.J. et al. 2008]

Koffein kann, in enorm hohen Mengen, aber auch tödlich sein. Als letale Dosis gelten 5-10 g Koffein pro Tag, was der Menge von rund 75 Tassen Kaffee entspräche. Da die Zufuhr solcher Koffein-Massen aber als fast unmöglich gilt, kann man den Konsum als relativ sicher und unproblematisch betrachten. [Westerterp-Plantenga M.S. 2010]

11.2.5. Diskussion

Koffein ist im Bereich des Mittel- und Langstreckenausdauer durchaus als leistungssteigerndes Mittel einsetzbar, wobei der Gewöhnungseffekt nicht außer Acht gelassen werden sollte.

Sein Einsatz im Sprintbereich ist noch fraglich und bedarf weiteren Untersuchungen.

12. Unterstützung ergogener Substanzen im laktazid anaeroben Bereich

Wie bereits erwähnt, liegt dieser Form der Energiegewinnung die Bildung von Laktat (Milchsäure) im Muskel zugrunde. Im Rahmen der anaeroben Glykolyse wird Glukose zu Laktat abgebaut, dessen Weiterverarbeitung der Bereitstellung von Energie in Form von ATP dient. Zu diesem Zweck wird das gebildete Laktat aus der Muskulatur über die Blutbahn zur Leber abtransportiert, wo wiederum Glukose gebildet wird, die über den Blutweg wieder zum Muskel zurückkehrt, um dort als Energie zur Verfügung zu stehen. Die Gleichung lautet folgendermaßen:

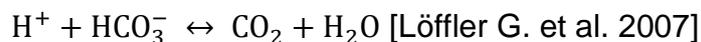


Die Energieausbeute ist in diesem Falle wesentlich geringer als unter dem Beisein von Sauerstoff. [Löffler G. et al. 2007]

In Sportarten mit kurzer, hochintensiver Belastungsdauer ist die Bildung von Laktat jedoch unerlässlich. Je mehr Laktat aber gebildet wird, umso mehr verschiebt sich der pH-Wert der Muskulatur in den sauren Bereich [Lavender G. und Bird S.R. 1989], der unter 7,4 liegt (der Normalbereich liegt zwischen 7,35 – 7,45) [Palazzo M.G.A. 2009]. Es kommt zur sogenannten Laktazidose, was eine rasche Ermüdung der Muskulatur - aufgrund der Inhibition der ATP-Synthese, der Freisetzung von Kalzium-Ionen und der Leitung neuraler Impulse - zur Folge hat [Lavender G. und Bird S.R. 1989].

Um dieser Übersäuerung der Muskulatur (aber nicht nur der Muskulatur) entgegen zu wirken, verfügt der menschliche Körper über eine Auswahl an Puffersystemen, die entweder ein zu basisches bzw. zu saures Milieu wieder in das Ausgangsmilieu zurückbringen sollen. Eines dieser Puffersysteme stellt das Bicarbonat/Carbonsäure-System dar, welches dazu dient, anaerob anfallende Säuren, wie – im Fall des Sports – die Milchsäure (Laktat), genauer gesagt die

H⁺, abzutransportieren und somit ein geregeltes inneres Milieu wiederherzustellen. [Palazzo M.G.A. 2009]

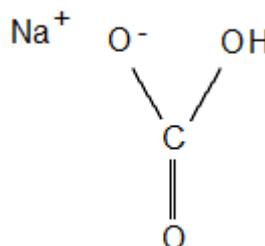


Es besteht also die These, dass, im Fall der Laktatid anaeroben Energiebereitstellung, die Verhinderung eines zu starken Absinkens des intramuskulären pH-Wertes, die Leistung gesteigert werden kann [McNaughton L. et al. 1999],[Lavender G. und Bird S.R. 1989],[Palazzo M.G.A. 2009].

12.1. Natriumhydrogencarbonat (NaHCO₃)

Natriumhydrogencarbonat ist ein Alkalisalz, das auf natürliche Weise im Körper vorkommt und Bestandteil des körpereigenen Puffersystems ist. Es stellt die Hauptkomponente des Haushalts-Backpulvers dar. [Sinner D. 2006]

In seiner Funktion als basisches Salz, ist es dafür verantwortlich, im Körper auftretende Säuren – auch durch exogene Zufuhr entstehende, wie durch Alkohol-, Nikotin-, Käse-, Eier und Fleischkonsum –



„abzufangen“ und das innere pH-Milieu wieder auszugleichen [Sinner D. 2006], sprich, die H⁺ der Säure abzutransportieren [Verbitsky O. et al. 1997].

Abb. 29 Struktur des NaHCO₃

Eben diese Wirkung will man sich auch im Sport zunutze machen, indem man, durch vermehrte Basenzufuhr, einen gesteigerten Abtransport des Laktats bewirken kann, bzw., schon vor der Belastung, ein basischeres Milieu schaffen kann [Verbitsky O. et al. 1997],[Lavender G. und Bird S.R. 1989],[Parry-Billings M. und McLaren D.P.M. 1986].

12.1.1. NaHCO_3 -Einsatz bei kurzzeitigen Höchstbelastungen

Jene sportlichen Belastungen, die ihre Energie aus der laktaziden ATP-Bereitstellung beziehen, sind solche, deren Belastungen sich im Bereich von Sekunden bis höchsten 6-8 Minuten abspielen [Haber P. 2009],[Verbitsky O. et al. 1997], wie Sprinten [Goldfinch J. et al. 1988],[Wiles J. und Robbins J. 1995],[Wilkes D. 1983], Kurzstreckenschwimmen [Gao J. et al. 1988], Kurzstreckenradfahren [Verbitsky O. et al. 1997],[Lavender G. und Bird S.R. 1989],[McNaughton L. 1992],[McNaughton L.R. 1992],[Curtin R. et al. 1991],[McNaughton L.R. et al. 1997],[Horswill C.A. et al. 1988],[Parry-Billings M. und McLaren D.P.M. 1986],[Kozak-Collins K. et al. 1994] etc.

In diesen kurzen Belastungen, in denen sehr schnell ATP durch die anaerobe Glykolyse produziert wird, resultiert aus der hohen Glykolyserate ein ebenso rascher Anstieg der Laktatproduktion, was einen Abfall des Blut- und Muskel-pH-Wertes zur Folge hat [Verbitsky O. et al. 1997],[Parry-Billings M. und McLaren D.P.M. 1986]. Dieser niedrige pH verursacht eine Inhibierung der anaeroben Glykolyse und somit kommt es zur Erschöpfung der betroffenen Muskulatur [Goldfinch J. et al. 1988]. Die Endprodukte der aeroben Glykolyse stellen H^+ und La^+ dar, während H^+ aus den Muskelzellen abtransportiert wird, kann man La^+ im Blut nachweisen [Goldfinch J. et al. 1988]. Der Transport von H^+ aus den Zellen ist ein wichtiger Regulationsmechanismus während einer Laktazidose, in dem das HCO_3^- -Ion, als wichtiger extrazellulärer Puffer, eine wesentliche Rolle spielt [Verbitsky O. et al. 1997].

Eben diese Pufferfunktion des HCO_3^- -Ions soll ausgenutzt werden, indem man, durch eine Erhöhung der HCO_3^- -Konzentration, die Fähigkeit des Organismus, eine Azidose zu entwickeln, herabsetzt und somit der Inhibition der anaeroben Glykolyse und der, damit einhergehenden, Erschöpfung der Muskulatur vorbeugt [Parry-Billings M. und McLaren D.P.M. 1986].

12.1.1.1. Kurzstreckenradfahren/Fahrradsprint

Bezüglich der möglichen Leistungssteigerung, durch die Einnahme von Natriumhydrogencarbonat, im Fahrradsprint wurden verschiedenste Studien hinsichtlich Sprintwiederholung und –dauer durchgeführt.

Lavender G. und Bird S.R. (1989) untersuchten an 15 Männern und 8 Frauen die Wirksamkeit von 300mg NaHCO₃/kg Körpergewicht auf die Leistung in 10-Sekunden-Sprints. Es wurden jeweils 3 Tests mit Supplementzugabe, 1-2h vor der Belastung, und 3 Tests mit Placebogabe absolviert, wobei ein Test ein Set von zehn 10-Sekunden-Sprints auf dem Fahrradergometer meint. Die Analyse ergab, dass, mit steigender Anzahl der Sprints, die Durchschnittsgeschwindigkeit während der Belastung, nach NaHCO₃-Einnahme, in 8 von 10 Sprints signifikant gesteigert werden konnte (Abb. 30).

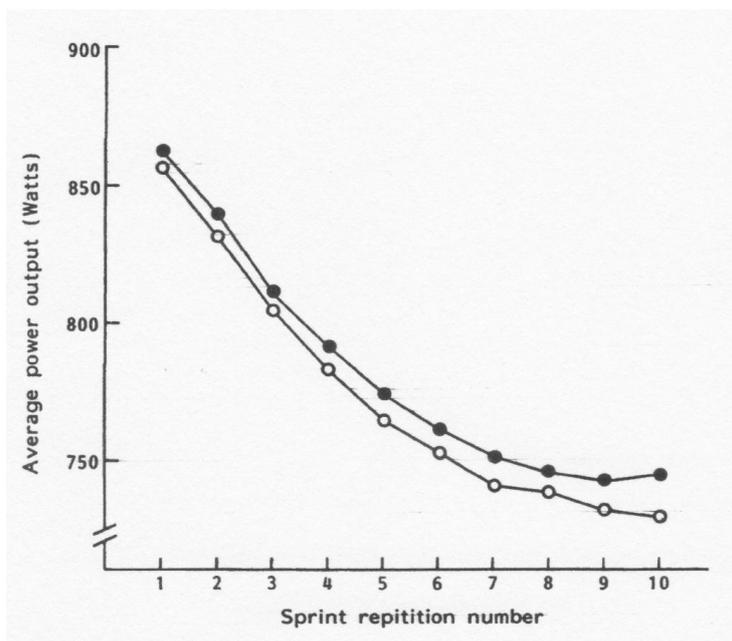


Abb. 30. Durchschnittsgeschwindigkeit in 10 Sprint-Wiederholungen nach NaHCO₃- oder Placeboeinnahme (●NaHCO₃, ○Placebo)

[in Lavender G. und Bird S.R. 1989]

Es konnte auch eine bessere Höchstgeschwindigkeit, nach NaHCO₃-Einnahme erreicht werden, wobei diese nur in 2 von 10 Sprints signifikant war. Diese Studie zeigt also, dass Natriumhydrogencarbonat mit steigender Sprint-Anzahl einen deutlich positiven Effekt auf die Geschwindigkeit hatte. [Lavender G. und Bird S.R. 1989]

McNaughton L. et al. (1997) testeten den Einfluss einer NaHCO_3 -Einnahme auf Höchstgeschwindigkeit, sowie Blut-Laktat, pH-Wert und Blut- HCO_3^- . Auch hier konnte eine signifikante Leistungsverbesserung sowie ein Anstieg des Blut- HCO_3^- . Diese Ergebnisse bedeuten also ebenfalls, dass eine Leistungssteigerung durch Natriumhydrogencarbonat möglich ist und zeigen, dass auch die Theorie der Basen-Anreicherung im Extrazellularraum richtig erscheint. [McNaughton L. et al. 1997]

Ob NaHCO_3 auch einen positiven Einfluss auf die Muskelregeneration nach erschöpfender Belastung hat, wollten Verbitsky O. et al. (1997) feststellen. An 6 gesunden Sportlern wurden 3 verschiedene Arten von Tests durchgeführt: jeweils 3 Minuten Radfahren bei a) Belastung bei maximaler O_2 -Aufnahme, b) Belastung wie bei a) nur +17% (supramaximal), c) wie b), nur vor der Belastung Aufnahme von 400mg NaHCO_3/kg Körpergewicht, 1 h vor der Belastung. 2 Minuten vor und 10 Sekunden alle 10 Min. für 40 Minuten nach der Belastung, wurde mittels funktioneller elektrischer Stimulation (FES) die isometrische Kontraktion des vorderen Oberschenkelmuskels (quadriceps femoris) provoziert, um einen Ermüdungseffekt (davor) bzw. einen Regenerationseffekt (danach) zu erzielen. Es wurde erkannt, dass sowohl eine bessere Leistung (höhere Drehzahl) nach NaHCO_3 -Einnahme erreicht werden konnte (Abb.31), als auch die Regeneration nach der Belastung besser war (Abb.32). [Verbitsky O. et al. 1997]

Die verbesserte Drehzahlleistung, die nach der Einnahme von Natriumhydrogencarbonat, sowohl während der Belastungszeit als auch in der Erholungsphase, auftrat, ist ein Anzeichen dafür, dass, durch die Basenzufuhr, die Ermüdung der Muskulatur vermindert und die Erholung verbessert waren. [Verbitsky O. et al. 1997]

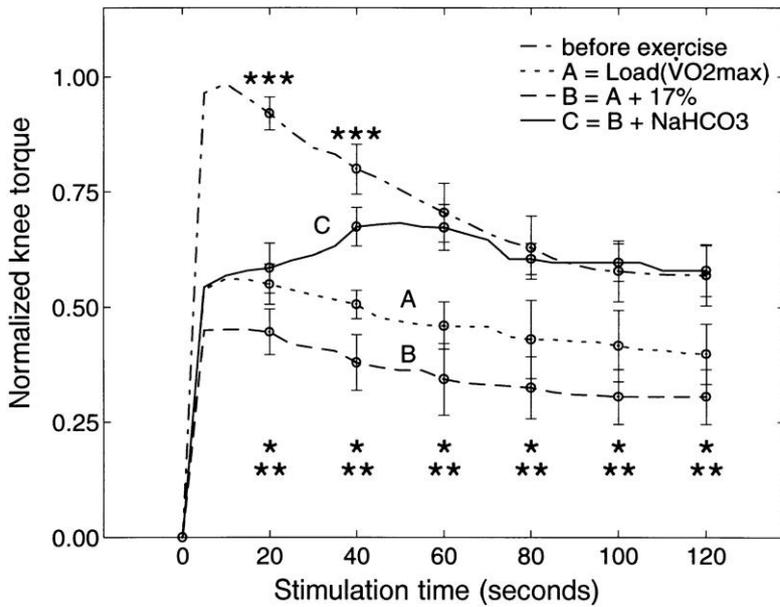


Abb. 31 Drehzahlleistung im Rahmen der FES-Muskelererschöpfung [in Verbitsky O. et al. 1997]

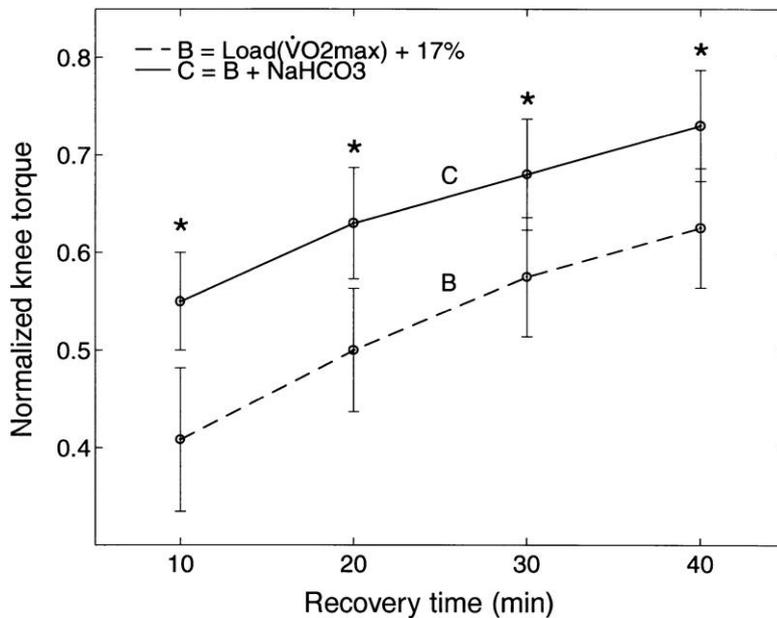


Abb. 32. Drehzahlleistung während der FES in der Erholungszeit [in Verbitsky O. et al. 1997]

Lars Mc Naughton L. (1992) führte einen Test über die Wirksamkeit von 300mg/kg Körpergewicht Natrimhydrogencarbonat, verglichen mit Placebo und ohne Supplement, bei verschiedenen Belastungszeiten (10, 30, 120 und 240 Sekunden), an 4 Gruppen männlicher Probanden durch. Die Leistung, Blut-pH-Wert, Bicarbonat- und Laktatlevel wurden eruiert. [McNaughton L. 1992]

Die Ergebnisse zeigen, dass der Bicarbonat- und der Blutlaktatspiegel, nach NaHCO_3 -Einnahme, signifikant gesteigert werden konnten, während der pH-Wert, im Vergleich zu Placebo- und Kontrollgruppe, signifikant höher war. Diese Daten zeigen, dass die Wirksamkeit durch die Supplementeinnahme gegeben war. In den 120 und 240 Sekunden Tests wurde auch eine signifikante Leistungssteigerung deutlich, wobei aber in den 10 und 30 Sekunden Tests – trotz gesteigener Bicarbonatlevel – kein Effekt zu beobachten war. [McNaughton L. 1992]

Curtin R. et al. (1991) kamen zu den gleichen Ergebnissen: hierbei wurde der Einfluss einer NaHCO_3 -Supplementation auf die Leistung bei einer 60 Sekunden Belastung auf dem Fahrradergometer, im Vergleich zum Placebo, geprüft. Es wurde eine signifikante Verbesserung in der generellen Leistungserbringung verzeichnet, sowie eine deutlich bessere Maximalleistung. Der Basenstatus sowie der HCO_3^- -Level waren vor der Belastung deutlich erhöht, sowie auch der Laktatspiegel nach der Belastung. Auch diese Studie zeigt deutlich die positive Wirkung des NaHCO_3 auf die Leistung bei kurzzeitigen Höchstbelastungen. [Curtin R. et al. 1991]

Die Fähigkeit des Natriumbicarbonats, den pH-Wert zu erhöhen, scheint also gesichert und ist auch in allen, bereits angeführten, Studie zu erkennen. Zu diesem Ergebnis kamen auch Kozak-Collins K. et al. (1994), die an 7 Radfahrerinnen den Einfluss von ebenfalls $300\text{mg NaHCO}_3/\text{kg}$ Körpergewicht, im Vergleich zum Placebo (NaCl), auf wiederholte 1-minütige Belastung bei $95\% \dot{V}O_{2\text{max}}$ bis zur Erschöpfung untersuchten. Obwohl der pH-Wert vor und während der Belastung, nach NaHCO_3 -Einnahme, signifikant gesteigert werden konnte, wurde keine Leistungssteigerung, im Vergleich zum Placebo, verzeichnet. [Kozak-Collins K. et al. 1994]

Obwohl Kozak-Collins K. et al. (1994) keinen leistungssteigernden Effekt feststellen konnten, überwiegt jedoch deutlich die Anzahl jener Studien, die eine signifikant bessere Leistung verzeichnen konnten (Gesamtleistung, Höchstleistung). Es kann also abschließend gesagt werden, dass die Einnahme

von 300-400mg Natriumhydrogencarbonat/kg Körpergewicht einen positiven Effekt auf die Leistung im Fahrradsprint hat.

12.1.1.2. Leichtathletischer Sprint

Auch im leichtathletischen Sprint konnten eindeutige Ergebnisse zur Leistungssteigerung verzeichnet werden:

Goldfinch J. et al. (1988) testet die NaHCO_3 -Zufuhr auf die Schnelligkeitsleistung im 400m-Sprint, an 6 männlichen Athleten. Auch hier konnte eine signifikante Steigerung des pH-Wertes, sowie des Bicarbonat- und Basenlevels verzeichnet werden. Bezüglich der Sprintgeschwindigkeit wurde eine deutliche bessere Leistung erbracht als in der Placebo- oder Kontrollgruppe. [Goldfinch J. et al. 1988]

Zu den gleichen Ergebnissen kamen auch Wilkes D. et al. (1983), nach NaHCO_3 -Gabe im 800m-Sprint. Bei den 6 männlichen Probanden waren, nach Supplementzufuhr, pH-Wert und Bicarbonatlevel, vor der Belastung, deutlich höher als in der Placebo- oder Kontrollgruppe. Die Probanden rannten nach Supplementgabe signifikant schneller und auch der Blutlaktatwert sowie der extrazelluläre H^+ -Wert waren deutlich gesteigert, was für die Wirkung des Natriumhydrogencarbonats spricht. [Wilkes D. et al. 1983]

Wiles J. und Robbins J. (1995) konnten die Ergebnisse der, eben genannten, Studien weiter untermauern. Die Einnahme von 300mg NaHCO_3 /kg Körpergewicht führte zu signifikant schnelleren Laufzeiten, verglichen mit Placebo und ohne Supplementeinnahme, was einen leistungssteigernden Effekt von Natriumbicarbonat verdeutlicht. [Wiles J. und Robbins J. 1995]

Diese Studie zeigen auf, dass die Schaffung eines basischen Milieus auch im leichtathletischen Sprint zu einer signifikanten Leistungssteigerung führen kann.

12.1.1.3. Kurzstreckenschwimmen

Da es sich auch bei schwimmerischen Kurzstreckendisziplinen um eine Sprint-Leistung handelt, bei der es, als hochintensive Belastung, zu Laktatansammlung kommt, wurde die Wirkung von Natriumhydrogencarbonat auch in dieser Disziplin untersucht.

Gao J. et al. (1988) testete den Effekt einer NaHCO_3 Gabe (2,9 mmol NaHCO_3/kg Körpergewicht in 300ml Lösung) auf die wiederholte Belastung auf einer 100-yd-Strecke (91,4m) im Schwimmen. Es wurden 5 Testdurchgänge absolviert, in denen jeder der 10 männlichen Probanden die besagte Strecke 2x mit NaHCO_3 , 2x mit Placebo und 1x ohne Supplement schwimmen musste. Es konnte, nach NaHCO_3 -Einnahme, eine signifikant bessere Schwimmzeit im vierten und fünften Sprint festgestellt werden. Der Bicarbonatspiegel, sowie der Blutlaktatspiegel und der pH-Wert waren nach Supplementeinnahme signifikant erhöht, was, untermauert durch die verbesserte Zeit, eine leistungssteifernde Wirkung des Natriumbicarbonats deutlich werden lässt. [Gao J. et al. 1988]

12.1.2. Diskussion

In den behandelten Studien konnte gezeigt werden, dass die Einnahme von einer Menge an 300-400 mg NaHCO_3/kg Körpergewicht sich deutlich in einer Steigerung des Basen- bzw. Bicarbonatspiegels, sowie einer Steigerung des pH-Wertes äußert. Ein Anstieg des Blut-Laktat-Spiegels sowie der extrazellulären H^+ -Konzentration macht deutlich, dass, durch ein basischeres Milieu, der Abtransport von Laktat und H^+ aus den Muskeln vereinfacht ist und somit zu einem höheren intrazellulären pH-Wert führt. Dies resultiert wiederum in einer verzögerten Muskelererschöpfung, sowie verbesserten Regeneration, was eine deutliche Leistungssteigerung zur Folge hat.

Es ist jedoch zu beachten, dass, um einen ergogenen Effekt zu erzielen, eine Mindestdosis von 200-300mg NaHCO_3/kg Körpergewicht notwendig ist [McNaughton L.R. 1992]. Unter diesen Zufuhrmengen konnten keine

leistungssteigernden Effekte beobachtet werden [McNaughton L.R. 1992],[Horswill C.A. et al. 1988].

Von gastrointestinalen Nebenwirkungen, wie Durchfall, wurde zwar schon berichtet, in den genannten Studien wurden aber keine negativen Auswirkungen beschrieben. [McNaughton L.R. und Thompson D. 2001],[Sinner D. 2006]

Man kann also davon ausgehen, dass Natriumhydrogencarbonat in Sportdisziplinen, die kurzzeitige Höchstleistungen, in der Zeit von Sekunden bis wenige Minuten, verlangen, einen positiven Effekt ausübt.

13. Unterstützung ergogener Substanzen im intensiv aeroben Bereich

Im Rahmen der intensiv aeroben Ausdauerform, wird die Energie nur aus Glukose bzw. Glykogen bezogen, da es, bei Intensitäten ab einer gewissen Höhe (60-70% $\dot{V}O_{2max}$) zu einer Blockade der Fettoxidation kommt [Haber P. 2009]

Die Glykogenspeicher der Muskulatur sind jedoch begrenzt, was schnell zu einer Ermüdung derselben und somit einer LeistungseinbuÙung bzw. einer Erschöpfung führen kann [Madsen K. et al. 1996].

Um dem bzw. um einem raschen Abfall der Glykogenspeicher nun vorzubeugen, oder eine sofortige Nachlieferung der benötigten Glucose zu sichern, muss das benötigte Substrat nachgeliefert werden. Im einfachsten Fall erfolgt dies in Form von Glukose, aber auch andere Nahrungsinhaltsstoffe sind befähigt, Glukose durch eigenen Umbau bereitzustellen. [Madsen K. et al. 1996],[Ivy John L. et al. 2003]

Ein Beispiel dafür stellen die Proteine bzw. Aminosäuren dar und, von diesen, vor allem die BCAA (branched chain aminoacids, verzweigt-kettige Aminosäuren). Es zeigte sich, dass, vor allem bei Glykogenmangelzuständen, wie es nach andauernder Belastung im intensiv aeroben Bereich meist der Fall ist, eine verstärkte Oxidation von Aminosäuren, speziell der BCAA, in Kraft tritt. Diese werden, nach der Aufnahme, sofort der Skelettmuskulatur zugeführt. [Neumann G. und Hottenrott K. 2010],[Shimomura Y. 2006],[Madsen K. et al. 1996]

Es besteht nun die Theorie, dass, durch eine erhöhte Zufuhr verzweigt-kettiger Aminosäuren (BCAA), bei intensiver aerober Belastung verstärkt auf diese zurückgegriffen wird und somit eine längere Glukosebereitstellung gesichert ist. [Neumann G. und Hottenrott K. 2010],[Blomstrand E. et al. 1996],[Madsen K. et al. 1996]

13.1. BCAA (branched chain aminoacids, verzweigt-kettige Aminosäuren)

Aminosäuren sind die Bausteine der Proteine, welche wichtige Moleküle für strukturelle und regulatorische Vorgänge im Körper sind [Tarnopolsky M. 2004].

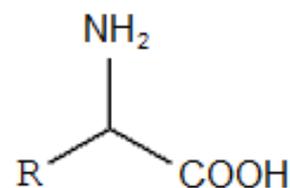


Abb. 33 Aminosäure

Proteine sind – je nach Größe – aus einer unterschiedlichen Menge an Aminosäuren aufgebaut, welchen allen eine Aminogruppe (-NH₂) und eine Carbonsäuregruppe (-COOH) gleich sind, sie unterscheiden sich jedoch in ihrem Molekülrest (R) (Abb. 33) [Mannhart C. und Kamber M. 1998],[Tarnopolsky M. 2004].

Laut aktuellen Empfehlungen der DGE, soll ein erwachsener Mensch ca. 0,8g/kg Körpergewicht/Tag an Eiweiß zu sich nehmen, wovon 19% die 8 essentiellen Aminosäuren (Valin, Leucin, Isoleucin, Phenylalanin, Tryptophan, Methionin, Threonin, Lysin), die der Körper nicht selbst synthetisieren kann und

sie daher durch die Nahrung zugeführt werden müssen, darstellen sollen [Elmadfa I. 2004],[Tarnopolsky M. 2004].

Die verzweigt-kettigen Aminosäuren Valin, Leucin und Isoleucin gehören zur Gruppe der essentiellen Aminosäuren und sind somit als Bestandteil einer ausgewogenen Ernährung unerlässlich [Tarnopolsky M. 2004].

13.1.1. Vorkommen und Funktion

Die BCAA (Abb.34) stellen 30-40% der Aminosäuren des körpereigenen Eiweißes dar und 14-18% des Muskeleiweißes [Shimomura Y. et al. 2006].

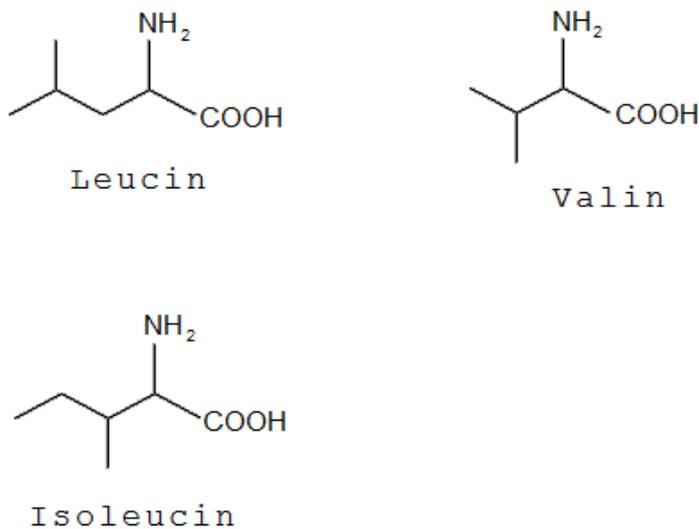


Abb. 34 Strukturen der BCAA (Valin, Leucin, Isoleucin)

Da besonders im Sport häufig erhöhter Proteinbedarf besteht [Neumann G. und Hottenrott K. 2010] und die BCAA im Muskel unter Belastung bevorzugt oxidiert werden [Tarnopolsky M. 2004], muss in der Ernährung auf eine ausreichende Zufuhr an Valin, Leucin und Isoleucin geachtet werden. Eine Übersicht über proteinreiche Nahrungsmittel und deren Anteil an den verzweigt-kettigen Aminosäuren stellt Tabelle 11 dar.

Tabelle 11. Beispiele für proteinreiche Nahrungsmittel und deren Anteil an BCAA

Nahrungsmittel (100 g)	Protein (g)	Gesamt BCAA (g)	Leucin (g)	Insoleucin (g)	Valin (g)
Vollmilch	3,3	0,7	0,3	0,2	0,2
Ei gekocht	13,5	2,9	1,1	0,8	1,0
Haselnüsse	12,0	2,0	0,7	0,6	0,7
Tofu	10,6	1,9	0,8	0,5	0,6
Hülsenfrüchte	22,9	4,3	1,7	1,3	1,3
Fischfilet mager	18,6	3,4	1,5	0,9	1,0
Emmentaler Käse vollfett	28,7	6,2	2,7	1,7	1,8
Getreideflocken	12,5	2,2	0,9	0,6	0,7

[Auszug aus Mannhart C. und Kamber M. 1998]

Neben der allgemeinen Funktionen der Aminosäuren in der Gewebe- und Proteinsynthese, sowie als Bestandteile von Hormonen, Neurotransmittern und Enzymen [Mannhart C. und Kamber M. 1998], ist ihnen auch eine wichtige Funktion im menschlichen Stoffwechsel zuteil. Zu unterscheiden ist hier zwischen glucogenen (Valin, Isoleucin) und ketogenen (Isoleucin, Leucin) Aminosäuren [Harbans L. und Kiran C. 1995]. Während ketogene Aminosäuren der Synthese von Fettsäuren, Ketonkörpern und Isoprenoiden dienen, kann die Struktur der glucogenen Aminosäuren zur Gluconeogenese, also zur Glucose-Herstellung, genutzt werden [Elmadfa I. 2004].

Die BCAA sind somit besonders in Zeiten verminderter Glukoseverfügbarkeit von Nutzen und, da sie anabol wirksam sind und bei ihrer Oxidation der Serumharnstoff nur gering erhöht wird, haben eine hohe glukoneogenetische Potenz [Neumann G. und Hottenrott K. 2010].

13.1.2. BCAA-Supplementation im Sport

Es ist bekannt, dass die Oxidation der BCAA, die primär in der Skelettmuskulatur stattfindet, durch körperliche Betätigung erhöht ist [Shimomura Y. 2006]. Dieser Vorgang ist vor allem bei verminderten Glykogenspeichern gefördert. Es wurde beobachtet, dass, bei einem Abfall der Glykogenspeicher durch körperliche Belastung, die BCAA-Konzentration im Plasma ebenfalls sinkt, was eine Verwendung dieser Aminosäuren zur Glukoseherstellung für die Muskulatur verdeutlicht. Im Zuge dessen wurde eine erhöhte Konzentration der Aminosäure Tryptophan festgestellt, die mit zentraler Erschöpfung in Verbindung gebracht wird - eine erhöhte BCAA-Zufuhr würde somit die Bildung von Tryptophan vermindern und eine Muskelerschöpfung hinauszögern. [Madsen K. et al. 1996]

Da Proteine im Allgemeinen auch für den Muskelaufbau verantwortlich sind und wichtige Faktoren für das Immunsystem darstellen, besteht die Hypothese, dass sie möglicherweise, auch in der Regenerationsphase nach körperlicher Belastung, positiv auf die Muskelregeneration wirken können [Negro M. et al. 2008],[Shimumura Y. et al. 2010],[Bassit R.A. et al. 2002].

Aufgrund dieser Faktoren ist die Annahme, dass BCAA-Zufuhr für die muskuläre Glukoseversorgung – und somit für die Energiebereitstellung im intensiv aeroben Bereich – unterstützend wirken kann und eine Muskelerschöpfung verzögert werden kann, berechtigt.

13.1.2.1. Einfluss einer BCAA-Supplementation auf die Konzentration an BCAA und Glykogen, sowie auf die Ausdauerleistung

Die Studien zu leistungssteigernden Effekten durch verzweigtkettige Aminosäuren sind leider sehr rar gesät bzw. weisen sehr unterschiedlichen Aufbau auf.

Blomstrand E. et al. (1995) untersuchten den Einfluss einer BCAA-Supplementation auf die Leistungsfähigkeit auf einem Fahrradergometer bei

70% $\dot{V}O_{2max}$. 7 männliche Probanden mussten abends am Tag vor dem eigentlichen Test eine 73-minütigen Fahrradeinheit bei 71-85% $\dot{V}O_{2max}$ absolvieren, die zur Senkung der Glykogenspiegel führen sollte. Der Test am darauffolgenden Tag bestand aus einer 60-minütigen Einheit am Fahrradergometer bei 60% $\dot{V}O_{2max}$, anschließend sollten die Probanden für 20 Minuten so viele Umdrehungen auf dem Fahrradergometer durchführen, wie möglich. 15 Minuten vor und 15 Minuten nach dem Test erhielten die Probanden entweder ein Placebo (Wasser) oder 150-200ml einer BCAA-Lösung (90mg BCAA/kg Körpergewicht). Die Ergebnisse zeigten, dass, nach BCAA-Supplementation, die BCAA-Konzentration um 135% im Plasma und 57% im Muskel gesteigert werden konnte, im Vergleich zum Placebo, wo sogar ein Abfall verzeichnet wurde. Der Muskelglykogenabfall waren in der Placebo- und in der Supplementgruppe gegeben, wobei der Abfall in der Supplementgruppe aber deutlich geringer ausfiel. Ein Leistungsunterschied zwischen den beiden Gruppen konnte jedoch nicht festgestellt werden, obwohl BCAAS offenbar einen glykogensparenden Effekt aufweisen. [Blomstrand E. et al. 1996]

Ebenfalls zu keinem positiven Ergebnis kamen Madsen K. et al. (1996), die die Auswirkungen einer Supplementation mit BCAA in Kombination mit Glukose mit einer Supplementation mit nur Glukose oder Placebo verglichen. 9 guttrainierte männliche Probanden mussten 3 Teststrecken von 100km (jeweils 1 Woche Pause dazwischen) auf dem Fahrrad absolvieren. Sie erhielten jeweils entweder nur Glukose (5% Kohlehydratlösung, G), Glukose in Kombination mit BCAA (5% Kohlehydratlösung + 18g BCAA, B) oder ein Placebo (P). Wie erwartet, stieg die BCAA-Konzentration nach Supplementation mit B (BCAA+Glukose) signifikant an, im Gegensatz zu G und P. Die Blutglukosekonzentration konnte mit G signifikant gesteigert werden, während zwischen B und P zu Beginn kein Unterschied festgestellt werden konnte. Erst nach längerer Belastung fiel der Glukosespiegel in P ab, während dies in B nicht der Fall war. Durch Supplementation von Glukose in Kombination mit BCAA, konnte ein Anstieg des Tryptophans, welches zur Muskelermüdung beiträgt, vermieden werden. Trotz dieser genannten Feststellungen konnte

keine Leistungsverbesserung durch Glukose- oder Glukose- und BCAA-Supplementation im Vergleich zum Placebo festgestellt werden. [Madsen K. et al. 1996]

Eine Leistungssteigerung konnte hier durch die Supplementation mit verzweigtkettigen Aminosäuren nicht festgestellt werden, auch wenn die Konzentration an BCAA signifikant gesteigert werden konnte und einem Abfall an Muskelglykogen vorgebeugt werden konnte.

Antonio J. et al. (2002) konnten eine signifikante Leistungssteigerung durch Proteinsupplementation (mit 51% Anteil an BCAA) auf dem Fahrradergometer feststellen, jedoch lässt dies keine Aussagen über den alleinigen Effekt der verzweigtkettigen Aminosäuren in diesem Fall machen [Antonio J. et al. 2000].

Auch Ivy J.L. et al. (2003) kamen zu dem Ergebnis, dass eine Protein-Kohlehydrat-Supplementation die Erschöpfung effektiver hinauszögern kann, als Kohlehydrat allein, was aber wieder keinen Einblick in die alleinige Wirkung der BCAA gibt [Ivy J.L. et al. 2003].

Diesen Daten zufolge ist eine Aussage über den Einfluss einer BCAA-Supplementation auf die Ausdauerleistung im intensiv aeroben Bereich sehr schwierig und es sind weitere Studien in diesem Gebiet erforderlich.

13.1.2.2. BCAA-Supplementation und Muskelregeneration

Da, wie bereits erwähnt, Aminosäuren am Muskelaufbau und der Gewebesynthese beteiligt sind [Mannhart C. und Kamber M. 1998], besteht die Hypothese, dass eine Gabe von BCAA, die primär in der Skelettmuskulatur oxidiert werden [Shimomura Y. et al. 2006], förderlich auf die Muskelregeneration wirkt und Muskelkater vorbeugen kann [Shimomura Y. et al. 2006],[Negro M. et al. 2008],[Shimomura Y. et al. 2010].

Shimomura Y. et al. (2006) testeten den Einfluss einer BCAA-Supplementation (92 \pm 2 mg/kg Körpergewicht für Frauen, 77 \pm 3 mg/kg Körpergewicht für

Männer), im Vergleich zum Placebo, auf die Muskeler schöpfung und die Entstehung von Muskelkater, nach einer Absolvierung von 7 Sets á 20 Kniebeugen. Die Grade der Erschöpfung bzw. des Muskelkaters wurden von den Probanden subjektiv beurteilt. Es zeigte sich, dass die Schwere des Muskelkaters bzw. der Muskeler schöpfung nach der BCAA-Gabe bei Frauen signifikant, im Vergleich zum Placebo, und bei Männer tendenziell geringer war (Abb. 35). [Shimomura Y. et al. 2006]

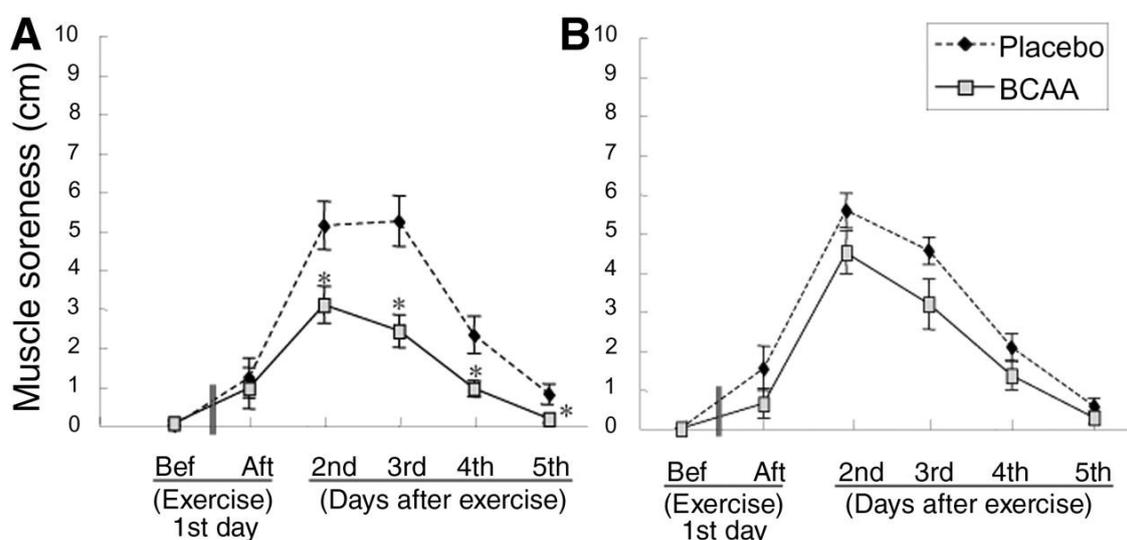


Abb. 35. Effekt einer BCAA-Supplementation auf Muskelkater nach Kniebeugensets; A Frauen, B Männer [in Shimomura Y. et al. 2006]

Obwohl der Mechanismus nicht ganz geklärt ist und berücksichtigt werden muss, dass es sich hierbei um eine subjektive Beurteilung der Probanden handelt, kann man davon ausgehen, dass eine BCAA-Supplementation vor Belastung, einem Entstehen von Muskelkater und der Muskeler schöpfung entgegenwirken kann [Shimomura Y. et al. 2006].

13.1.3. Diskussion

Die beschriebenen Studien zeigen, dass, durch eine Supplementation an BCAA, deren Konzentration im Muskel und Plasma signifikant erhöht werden und auch dem Abfall des Muskelglykogens vorgebeugt werden kann. Leider konnten, trotz dieser Effekte, keine positiven Ergebnisse in Bezug auf die Leistungsverbesserung während der Belastung festgestellt werden.

Die Möglichkeit aber, dass BCAA die Muskelregeneration unterstützen und somit Muskelkater und -erschöpfung vermindern können, scheint wahrscheinlicher.

14. Abschlussbetrachtung

Das Ziel dieser Metaanalyse war es, die Wirkung ausgewählter, als ergogen angepriesener, Substanzen, in Verbindung mit ihrer natürlichen physiologischen Wirkung, auf die Leistung im Ausdauer-, Kraft- oder Schnelligkeitsbereich im Sport zu untersuchen.

Leider kann nicht über alle Substanzen eine klare Aussage zur positiven oder keinen Wirkung getroffen werden.

So konnte gezeigt werden, dass eine Kreatinsupplementation, im Bereich der alaktazid anaeroben Ausdauer, zu deutlich besserer Leistung, u.a. im Sprint-, Sprung- und Kraftbereich, führte.

Coenzym Q₁₀-Supplementation konnte zwar Tendenzen in Richtung verbesserten Durchhaltevermögens bei intensiver Belastung und verbesserter Regeneration nach Belastung zeigen, jedoch waren die Studienergebnisse sehr kontrovers und meist nicht signifikant.

Koffein führte zu signifikant besserer Leistung im Bereich der Mittel- und Langzeitausdauer, jedoch können noch keine Schlussfolgerungen über den Einfluss auf die Leistung im Sprintbereich getätigt werden.

Eine positive Wirkung im Langzeitausdauerbereich, nach langfristiger Supplementation, scheint durch L-Carnitin gegeben zu sein. Es konnten, vor allem bei Männern, deutliche bessere Ergebnisse nach Supplementation erreicht werden. Einzig problematisch an der Interpretation der Studien war leider die fehlende Angabe des L-Carnitin-Status vor der Supplementation. Ein Bei L-Carnitin-Spiegel unter der Norm, würde eine Supplementation nämlich zu deutlich positiveren Ergebnissen führen, als ohne.

Natriumhydrogencarbonat (NaHCO_3), als natürlicher Puffer, erleichterte, bei vermehrter Einnahme, den Abtransport des Laktats bei kurzzeitigen Höchstbelastungen von Sekunden bis Minuten und konnte somit eine Leistungssteigerung erzielen. Auch im Regenerationsbereich ist sein Einsatz durchaus denkbar.

Der Einsatz verzweigtkettiger Aminosäuren (BCAA) zur Leistungssteigerung erwies sich als unwirksam. Ihr Einsatz zur Vorbeugung von Muskelkater und Erschöpfung nach der körperlichen Belastung scheint wahrscheinlicher.

Zusammenfassend kann also gesagt werden, dass eine erhöhte Zufuhr einiger der beschriebenen Substanzen, in ihrem natürlichen physiologischen Wirkungsbereich, zu einer deutlichen Leistungssteigerung führte, was durch die beschriebenen Studien untermauert wurde. Andere jedoch konnten die Wirkungshypothese nicht bestätigen.

Sogar aber bei jenen Substanzen, die, laut dieser Arbeit, als leistungssteigernd bezeichnet werden können, fanden sich auch Studien, die keinen Effekt feststellen konnten bzw. manchmal traten auch Nebenwirkungen durch die gesteigerte Zufuhr auf.

Weitere Untersuchungen sind in jedem Fall zu empfehlen, um die Wirkungsmechanismen sowie einflussreiche Nebenfaktoren noch besser verstehen zu können und gesundheitlich unbedenkliche Einsätze ergogener Substanzen im Sport zu gewährleisten.

15. Zusammenfassung

Die vorliegende Diplomarbeit beschäftigt sich mit dem Thema leistungssteigernde (ergogene) Substanzen und ihrem Einsatz im Sport. Es wurde eine Metaanalyse erstellt, in der die natürliche Wirkung ausgewählter Substanzen auf den menschlichen Körper beschrieben wurde und somit Möglichkeiten aufgezeigt werden sollten, wie diese Substanzen im Bereich der Ausdauer, Kraft oder Schnelligkeit wirken könnten.

Zu diesem Zweck wurden ausgewählte Substanzen den vier Energiebereitstellungsformen der Muskulatur zugewiesen: alaktazid anaerob, laktazid anaerob, intensiv aerob, extensiv aerob. Ihre natürliche Funktion in diesem Energiebereitstellungsbereich wurde erläutert und sodann nach Möglichkeiten gesucht, wie man sich diesen natürlichen Vorgang durch vermehrte Zufuhr (in Form von Supplementen) im Sport zunutze machen könnte. Auch etwaige negative Effekte aufgrund vermehrter Zufuhr wurden dokumentiert.

Kreatin zeigte in Sportarten, wo rasche Energiebereitstellung notwendig ist, wie im Sprint-, Sprung- und Kraftbereich, deutlich positive Ergebnisse. Koffein und L-Carnitin führten im Mittel- und Langzeitausdauerbereich zu signifikant besseren Leistungen und längerem Durchhaltevermögen der Probanden. Natriumhydrogencarbonat (NaHCO_3) zeigte, bei vermehrter Zufuhr, im laktazid anaeroben Ausdauerbereich, einen deutlich verbesserten Abtransport des Laktats, was eine verbesserte Leistung bei kurzzeitigen Belastung und eine deutlich bessere Muskelregeneration nach der Belastung zur Folge hatte. Auch der Einsatz verzweigtkettiger Aminosäuren (BCAA) zur Vorbeugung von Muskelkater und zur Förderung der Regeneration ist denkbar. Coenzym Q_{10} zeigte zwar Tendenzen im Bereich verbesserter Leistung und Regeneration, jedoch waren die Ergebnisse nicht signifikant.

Diese Arbeit zeigt auf, dass ein Supplementeinsatz in vielen sportlichen Bereichen zur Leistungs- oder Regenerationsverbesserung führen kann, jedoch sind weiter Untersuchungen zu empfehlen.

16. Summary

This thesis deals with the issue of ergogenic substances and their use in sports. A metaanalysis was established which contains the natural effects of selected substances on the human body and the possibilities of their use in endurance-, energy force- and speed-sports.

For these purposes the selected substances were allocated to the four mechanisms of energy supply in the human muscle: non-lactate anaerobic, lactate anaerobic, intensive aerobic, extensive aerobic. Their natural function in a type of energy supply was defined and then possibilities were described how to take advantage of an enhanced supply (supplementation) in sports. Also possible negative effects due to an enhanced supply were documented.

Creatine use showed positive effects in sports where fast energy supply is necessary, like sprinting, jumping and energy force. Caffeine and L-carnitine supply caused significant improved performance and time to exhaustion in middle- and long distance endurance sports. Sodium bicarbonate (NaHCO_3) use resulted in a better evacuation of lactate acid out of the muscle cells in short-time exposure and caused a better muscle-recovery after exercise. Also branched chain aminosacids (BCAA) can prevent muscle soreness and enhance muscle-recovery. Ubiquinone 10 showed tendencies to enhance performance and recovery but the study-results were not significant.

This thesis shows that supplement-use can possibly cause better performance and enhance recovery but further studies are recommended.

Literaturverzeichnis

Bücher

ANTONIO Jose, KALMAN Douglas, STOUT Jeffrey R., GREENWOOD Mike, WILLOUGHBY Darryn S., HAFF G. Gregory „Essentials of Sports Nutrition and Supplements“, 2008, Humana Press

ARNDT Klaus „Handbuch Nahrungsergänzungen“, 1. Auflage 2001, Novagenics Verlag

BERG Aloys, KÖNIG Daniel „Optimale Ernährung des Sportlers“, 4. Auflage 2008, S. Hirzel Verlag Stuttgart

BIESALSKI Hans Konrad, FÜRST Peter, KASPER Heinrich, KLUTHE Reinhold, PÖLERT Wolfgang, PUCHSTEIN Christoph, STÄHELIN Hannes B. „Ernährungsmedizin“, 2. Auflage 1999, Georg Thieme Verlag Stuttgart

ELMADFA Ibrahim „Ernährungslehre“ 2004, Verlag Eugen Ulmer Stuttgart

ELMADFA Ibrahim, LEITZMANN Claus „Ernährung des Menschen“, 4. Auflage 2004, Verlag Eugen Ulmer Stuttgart

HABER Paul „Leitfaden zur medizinischen Trainingsberatung“, 3. Auflage 2009, Springer Verlag

LÖFFLER Georg, PETRIDES Petro E., HEINRICH Peter C. „Biochemie und Pathobiochemie“, 8. Auflage 2007, Springer Medizin Verlag Heidelberg

SINNER D. „Der Steroidersatz 2006“, 1. Auflage 2006, BMS Verlag

THIEWS, MUTSCHLER, VAUPEL „Anatomie, Physiologie und Pathophysiologie des Menschen“, 5. Auflage 1999, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH Stuttgart

WEINECK Jürgen „Sportbiologie“, 9. Auflage 2004, Spitta Verlag & Co. KG

WEINECK Jürgen „Optimales Training“, 14. Auflage 2004, Spitta Verlag & Co. KG

Studien

- ACHTEN Juul und JEUKENDRUP Asker E. „Optimizing Fat Oxidation Through Exercise and Diet“, Nutrition 2004, Vol. 20, S. 716-727
- American Dietetic Association „Position of the American Dietetic Association, Dietitians of Canada, and the American College of Sports Medicine: Nutrition and Athletic Performance“ Journal of the American Dietetic Association Vol. 109, Issue 3, March 2009, p. 509-527
- ANTONIO Jose, SANDERS Michael S., EHLER Lorie A., UELMEN John, RAETHER Joel B., STOUT Jeffrey R. „Effects of Exercise Training and Amino-Acid Supplementation on Body Composition and Physical Performance in untrained Women“, Nutrition 2000, Vol. 16, S. 1043-1046
- ARENAS Joaquín, HUERTAS Rosa, CAMPOS Jolanda, DÍAZ Enrique A., VILLALÓN José María, VILAS Esther „Effects of L-carnitine on the pyruvate dehydrogenase complex and carnitine palmitoyl transferase activities in muscle of endurance athletes“, FEBS Letters, März 1994, Vol. 341, S. 91-93
- BACURAN Reury F.P., NAVARRO Francisco, BASSIT Reinaldo A., MENEGUELLO Marcela O., SANTOS Ronaldo V.T., ALMEIDA André L.R., COSTA ROSA Luís F.B.P. „Does Exercise Training Interfere With the Effects of L-Carnitine Supplementation?“, Nutrition, April 2003, Vol. 19, Issue 4, S. 337-341
- BANGSBO J., JACOBSEN K., NORDBERG N., CHRISTENSEN N.J., GRAHAM T. „Acute and habitual caffeine ingestion and metabolic responses to steady-state exercise“, Journal of Applied Physiology 1992, Vol. 71, Issue 4, S. 1297-1303
- BASSIT Reinaldo A., SAWADA Leticia A., BACURAU Reury F.P., NAVARRO Francisco, MARTIUS Eivor, SANTOS Ronaldo V.T., CAPERUTO Erico C., ROGERI Patricia, COSTA Rosa Luís F.B.P. „BCAA-Supplementation and the Immune Response of Long-Distance Athletes“, Nutrition 2002, Vol. 18, S. 376-379
- BENZI Gianni „Is there a rationale use of creatine either as nutritional supplementation or drug administration in humans participating in a sport?“, Pharmacological Research, Vol. 41, No. 3, 2000, S. 255-264

- BLOMSTRAND Eva und SALTIN Bengt „BCAA intake effects proteine metabolism in muscle after but not during exercise in humans“, American Journal of Physiology 2001, Vol. 281, S. 365-374
- BLOMSTRAND Eva, EK Sonja, NEWSHOLME Eric A. „Influence of Ingesting a Solution of BCAA on Plasma and Muscle Concentrations of Amino Acids During Prolonged submaximal Exercise“, Nutrition 1996, Vol. 12, S. 485-490
- BRASS Eric P. „Supplemental Carnitine and Exercise“, American Journal of Clinical Nutrition 2000, Vol. 72, S. 618-623
- BRASS Eric P. und HIATT William R. „The Role of Carnitine and Carnitine Supplementation During Exercise in Man and in Individuals with special Needs“, Journal of the American College of Nutrition 1998, Vol. 17, No. 3, S. 207-215
- BRIDGE C.A. und JONES M.A. „The effect of caffeine ingestion on 8km run performance in a field setting“, Journal of Sports Sciences 2006, Vol. 24, Issue 4, S. 433-439
- BRUDNAK Mark A. „Creatine: Are the benefits worth the risk?“, Toxicology Letters, Vol. 150, 2004, S. 123-130
- BURKE Louise M. „Caffeine and sports performance“, Applied Physiology, Nutrition and Metabolism 2008, Vol. 33 (6), S. 1319-1334
- CASEY Anna und GREENHAFF Paul L. „Does dietary creatine supplementation play a role in skeletal muscle metabolism and performance?“, American Journal of Clinical Nutrition 2002
- COLLOMP K., AHMAIDI S. CHATARD J.C., ANDRAN M., PRÉFANT Ch. „Benefits of caffeine ingestion on sprint performance in trained and untrained swimmers“, European Journal of Applied Physiology 1992, Vol. 64, S. 377-380
- COOKE Matthew, IOSIA Mike, BUFORD Thomas, SHELMADINE Brian, HUDSON Geoffrey, KERSICK Chad, RASMUSSEN Christopher, GREENWOOD Mike, LEUTHOLLTZ Brian, WILLOUGHBY Darryn, KREIDER Richard „Effects of acute and 14 day coenzyme Q₁₀ supplementation on exercise performance in both trained and untrained individuals“ Journal of the international society of sports nutrition 2008

- CURTIN Rob, GOODMAN Gary, PERRY Darren, TURNER Brian, SHOWEL Chris
 „Anaerobic work and power output during cycle ergometer exercise: Effects of bicarbonate loading“, Journal of Sports Sciences 1991, Vol. 9, Issue 2, S. 151-160
- DASCOMBE B.J., KARANURATNA M., CARTOON J., FERGIE B., GOODMAN C.
 „Nutritional supplementation habits and perceptions of elite athletes within a state-based sporting institute“, Journal of Science and Medicine in Sport, Vol. 13, S. 274-280
- DEVEGOWDA G. 1998 Journal of Equine Veterinary Science, Vol. 18, Issue 6, June 1998, S. 382-383
- DWYER D., ROSS R. „Caffeine increases sprint performance after prolonged exercise in trained cyclists“, Journal of Science and Medicine in Sport 2003, Vol. 6, Issue 4, S. 77
- FIKENZER S., ANKE R., FALZ R., TEGTBUR U., THOMAS M., DRECHSLER K., SCHULZE A., HOPPE St., BUSSE M. „Einfluss einer Kreatinsupplementation auf Leistung, maximale Sauerstoffaufnahme, Atemminutenvolumen und Laktat im maximalen Belastungstest“, Klinische Sportmedizin/Clinical Sports Medicine-Germany (KCS) 2007, Vol. 8, Issue 3, S. 22-27
- FRENCH C., MCNAUGHTON L., TRISTAM S. „Caffeine ingestion during exercise to exhaustion in elite distance runners“, The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness 1991, Vol. 31 (3), S. 425-432
- GALLOWAY Stuart D.R. und BROAD Elizabeth M. „Oral L-Carnitine Supplementation and Exercise Metabolism“, Monatshefte für Chemie 2005, Vol. 136, S. 1391-1410
- GAO Jiaping, COSTILL David L., HORSWILL Craig A., PARK Sung H. „Sodium bicarbonate ingestion improves performance in intervall swimming“ European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology 1988, Nr. 58, S. 171-174
- GOLDFINCH Jo, MCNAUGHTON LARS, DAVIES PETER „Induced metabolic alkalosis and ist effects on 400m-racing time“, European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology 1988, Nr. 57, S. 45-48

- GREBE Wolfgang „Kaffee und physische Leistungsfähigkeit. Wirkungen auf die Gesundheit“ [www.kaffee-wirkungen.de, letzte Aktualisierung 05.07.2010]
- GREENHAFF Paul „Renal dysfunction accompanying oral creatine supplements“, The Lancet, Vol. 352, Juli 1998, Issue 9123, S. 233
- GREENHAFF Paul L. „Review: The nutritional biochemistry of creatine“, The Journal of Nutritional Biochemistry, Vol. 8, Issue 11, Nov. 1997, S. 610-618
- HARBANS Lal und KIRAN Chough „metabolic and regulatory effects of BCAA-supplementation“, Nutrition Research 1995, Vol. 15, S. 1717-1733
- HATHCOCK John N. und SHAO Andrew „Risk assesment for Coe. Q10 (Ubiquinone)“, Regulatory Toxicology and Pharmacology, August 2006, Vol. 45, S. 282-288
- HELD Ulla „L-Carnitin und die Fettsäureoxidation“, Schweizer Zeitschrift für Ganzheitsmedizin, November 2004, Jahrgang 16, Heft 7/8
- HORSWILL C.A., COSTILL D.L., FINK W.J., FLYNN M.G., KIRWAN J.P., MITCHELL J.B., HOUMARD J.A. „Influence of sodium bicarbonate on sprint performance: relationship to dosage“, Medicine & Science ind Sporty & Exercise 1988, Vol. 20, Issue 6, S. 566-569
- IVY John L., RES Peter T., SPRAGUE Robert C., WIDZER Matthew O. „Effect of carbohydrate-protein-supplements on endurance performance during exercise of varying intensity“, International Journal of Sports Nutrition and Exercise Metabolism 2003, Vol. 13, S. 382-395
- IZADI Mojtaba, CHERAGHYDOCHESHMEH Maryam, KHORSHIDI Davood, KIANI Fatemeh „The effect of chronic L-carnitine-L-tartrate supplementation on glucose and lactate concentration and aerobic capacity“, Procedia Social and Behavioral Sciences 2009, Vol. 1, Issue 1, S. 2692-2695
- KARLIC Heidrun und LOHNINGER Alfred „Supplementation of L-Carnitine in Athletes:Does it make sense?“, Nutrition 2004, Vol. 20, Issue 7-8, S. 709-715
- KAVIANI Mojtaba, NOURSHAHI Maryann, SHOKOOHI Farhad „The effects of acute L-Carnitine administration on ventilatory breakpoint and exercise performance during incremental exercise“, Journal of Mazand University of Medical Science 2009, Vol. 19, S. 43-50

- KOZAK-COLLINS Kathryn, BURKE Edmond R., SCHOENE Robert B. „Sodium bicarbonate ingestion does not improve performance in women cyclists“, *Medicine & Science in Sports & Exercise* 1994, Vol. 26, Issue 12, S. 1510-1515
- KRAEMER William J., VOLEK Jeff S., SPIERING Barry A., VINGREN Jakob L. „L-Carnitine Supplementation: A New Paradigm for its Role in Exercise“, *Monatshefte für Chemie* 2005, Vol. 136, S. 1383-1390
- KREIDER Richard B., FERREIRA Maria, WILSON Michael, GRINDSTAFF Pamela, PLISK Steven, REINARDY Jeff, COUTLER Edward, ALMADA A.L. „Effects of creatine supplementation on body composition, strength and sprint performance“, *Medicine and Science in Sports & Exercise*, Jänner 1998, Vol. 30, Issue 1, S. 73-82
- LANCHA A.H. Jr., RECCO M.B., ABDALLA D.S.P., CURI R. „Effect of Aspartate, Asparagine and Carnitine Supplementation in the Diet on Metabolism of Skeletal Muscle During a Moderate Exercise“, *Physiology & Behavior* 1995, Vol. 57, No. 2, S. 367-371
- LAVENDER G. und BIRD S.R. „Effect of sodium bicarbonate ingestion upon repeated sprints“, *British Journal of Sports Medicine* 1989, Nr. 23, S. 41-45
- LIGUORI Anthony, HUGHES John R., GRASS Jacob A. „Absorption and Subjective Effects of Caffeine from Coffee, Cola and Capsules“, *Pharmacology Biochemistry and Behavior* 1997, Vol. 58, Nr. 3, S. 721-726
- LITTARU Gian Paolo und TIANO Luca „Clinical aspects of Coenzym Q₁₀: An update“, *Nutrition*, März 2010, Vol. 26, Issue 3, S. 250-254
- LUPPA D. „Beteiligung von L-Carnitin an der Regulation des Fett- und Kohlenhydratestoffwechsels“, *Klinische Sportmedizin* 2004, Vol. 5 (1), S. 25-34
- MACHADO M., ANTUNES Welton D., TAMY André Luiz M., AZEVEDO Pedro G., BARRETO Juliano G., HACKNEY Anthony C. „Effect of a single dose of caffeine supplementation and intermittent-interval exercise on muscle damage markers in soccer players“, *Journal of Exercise Science & Fitness* 2009, Vol. 7, No. 2, S. 91-97

- MADSEN Klavs, MACLEAN Dave A., KIENS Bente, CHRISTENSEN Dirk „Effects of glucose, glucose + BCAA or placebo on bike performance over 100km“, Journal of Applied Physiology 1996, Vol. 81, S. 2644-2650
- MALM C., SVENSSON M., EKBLOM B., SJÖDIN B. „Effects of Ubiquinone-10 supplementation and high intensity training on physical performance in humans“, Acta Physiologica Scandinavica 1997, Vol. 161, S. 379-384
- MANNHART Christof und KAMBER Matthias „Supplementguide. Ein Ratgeber für Zusatzpräparate im Sport“, Eidgenössische Sportschule Magglingen 1998
- MAUGHAN Roland J. 2001 „Nutrition and Physical Activity“ Nutrition Vol. 17, Issue 3, March 2001, p. 270
- MCNAUGHTON Lars R. „Bicarbonate Ingestion: Effect of dosage on 60s cycle ergometry“, Journal of Sport Sciences 1992, Vol. 10, Issue 5, S. 415-423
- MCNAUGHTON Lars „Sodium bicarbonate ingestion and its effects on anaerobic exercise of various durations“, Journal of Sports Sciences 1992, Vol. 10, Issue 5, S. 425-435
- MCNAUGHTON Lars, DALTON Brad, PALMER Gerry „Sodium bicarbonate can be used as an ergogenic aid in high-intensity competitive cycle ergometry of 1h duration“, European Journal of Applied Physiology 1999, Nr. 80, S. 64-69
- MCNAUGHTON Lars R., FORD Selena, NEWBOLD Christian „Effect of Sodium Bicarbonate Ingestion in High Intensity Exercise in Moderately Trained Women“, Journal of Strength & Conditioning Research 1997, Vol. 11, Issue 2, S. 98-102
- MCNAUGHTON Lars und THOMPSON D. in „Leistungsfähigkeit nach einmaliger und mehrtägiger Einnahme von Natriumbikarbonat“, Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 2002, Nr. 1, S. 30
- MILES Michael V., HORN Paul, MILES Lili, TANG Peter, STEELE Paul DEGRAUW Ton „Bioequivalence of coenzyme Q₁₀ from over-the-counter-supplements“, Nutrition research, August 2002, Vol. 22, Issue 8, S. 919-929
- MIZUNO Kei, TANAKA Masaaki, NOZAKI Satoshi, MIZUMA Hiroshi, ATAKA Suzuka, TAHARA Tsuyoshi, SUGINO Tomohiro, SHIRAI Tomoko, KAJIMOTO

- Yoshitaka, KURATSUNE Hirohiko, KAJIMOTO Osami, WATANABE Yasuyoshi
 „Antifatigue effects of Coenzym Q₁₀ during physical fatigue“, Nutrition 2008, Vol.
 24, S. 293-299
- NEBEL Roland „Creatin im Sport – Ergogenes Supplement“, Deutsche Zeitschrift für
 Sportmedizin, Nr. 7+8, 2002
- NEGRO M., GIARDINA S., MARZANI B., MARZATICO F. „BCAA supplementation
 does not enhance athletic performance but effects muscle recovery and the
 immune system“, Journal of Sports Medicine and Physical Fitness 2008, Vol.
 48, S. 347-351
- NEUMANN Georg und HOTTENROTT Kuno „Einfluss essentieller Aminosäuren auf
 die Muskelkraft“, www.kuno-hottenrott.de (Stand August 2010)
- OLCINA G.J., TIMÓN R., MUNOZ D., MAYNAR J.I., CABALLERO M.J., MAYNAR M.
 „Caffeine ingestion effects on oxidative stress in a steady-state test at
 75%VO_{2max}“, Science and Sports 2008, Vol. 23, S.87-90
- O'ROURKE Matthew P., O'BRIAN Brendan J., KUEZ Wade L., PATON Carl D.
 „Caffeine has a small effect on 5km running performance of well training
 recreational runners“, Journal of Science and Medicine in Sport 2008, Vol. 11,
 S. 231-233
- PALAZZO Mark G.A. „Sodium bicarbonate – the bicarbonate challenge test in metabolic
 acidosis: A practical consideration“, Current Anaesthesia & Critical Care 2009,
 Vol. 20, S. 259-263
- PALUSKA Scott A. „Caffeine and Exercise“, Current Sport Medicine Reports 2003, Vol.
 2, Issue 4
- PANJWANI Usha, THAKUR Lalam, ANAND Jag Parvesh, SINGH Som Nath,
 AMITABH, SINGH Shashi Bala, BANERJEE Pratul Kumar „ Effect of L-
 Carnitine Supplementation on Endurance Exercise in Normobaric/Hypoxic
 Conditions“, Wilderness and Environmental Medicine 2007, Vol. 18, S. 169-176
- PARRY-BILLINGS M., MCLAREN D.P.M. „The effect of Sodium Bicarbonate and
 Sodium Citrate ingestion on anaerobic power during intermittent exercise“,

European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology 1986,
Vol. 55, S. 524-529

REBELLO Mendes Renata, PIRES Ivanir, OLIVEIRA Althair, TIRAPÉGUI Julio „Effects of creatine supplementation on the performance and body composition of competitive swimmers“, Journal of Nutritional Biochemistry Vol. 15, August 2004, S. 473-478

ROSSOUW F., KRÜGER P.E., ROSSOUW J. „The effect of creatinemonohydrate loading on maximal intermitted exercise and sport-specific strenght in well trained power lifters“, Nutrition research, Vol. 20, Issue 4, April 2000, S. 505-514

SHIMOMURA Y., INAGUMA A., WATANABE S., YAMAMOTO Y., MURAMATSU S., BAJOTTO G., SATO J., SHIMOMURA M., KOBAYASHI H., MAWATARI K. „BCAA supplementation before squat exercise and delayed-onset muscle soreness“, International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism 2010, Vol. 30, S. 236-244

SHIMOMURA Yoshiharu, YAMAMOTO Yuko, BAJOTTO Gustavo, SATO Juichi, MURAKAMI Taro, SHIMOMURA Noriko, KOBAYASHI Hisamine, MAWATARI Kazunori „Nutritional effects of BCAA on Skeletal Muscle“, The Journal of Nutrition 2006, Vol. 136, S. 529-532

SKINNER T., JENKINS D., LEVERITT M., COOMBES J. „The effects of caffeine on 2000m rowing performance“, Journal of Science and Medicine in Sport 2009, Vol. 12, S. 71

SMEKAL Gerhard, VON DUVILLARD Serge P., POKAU Rochus, TSCHAN Harald, BARON Ramon, HOFMANN Peter, WONISCH Manfred, BACHL Norbert „Effect of Endurance Training an Muscle Fat Metabolism During Prolonged Exercise: Agreements and Disagreements“, Nutrition 2003, Vol. 19, S. 891-900

SNOW R.J., MC KENNA M.J., SELIG S.E., KEMP J., STATHIS C.G., ZHAO S. „Effect of creatine supplementation on sprint exercise performance and muscle metabolism“, Journal of Applied Physiology 1998, Nr. 84, S. 1667-1673

SPIERING Barry A., KRAEMER William J., HATFIELD Disa L., VINGREN Jakob L., FRAGALA Maren S., HO Jen-Yu, THOMAS Gwendolyn A., HÄKKINEN Keijo,

- VOLEK Jeff S. „Effects of L-Carnitine L-Tartrate Supplementation on Muscle Oxygenation Responses to Resistance Exercise“, Journal of Strength & Conditioning Research, Juli 2008, Vol. 22, Issue 4, S.1130-1135
- SPIERING Barry A., KRAEMER William J., VINGREN Jakob L. HATFIELD Disa L., FRAGALA Maren S., HO Jen-Yu, MARESH Carl M., ANDERSON Jeffrey M., VOLEK Jeff S. „Responses of Criterion Variables To Different Supplementation Doses of L-Carnitine L-Tartrate“, The Journal of Strenght & Conditioning Research 2007, Vol. 21, Issue 1
- STOUT Jeffrey, ECKERSON Joan, NOONAN David, MOORE Geri, CULLEN Diane „Effects of 8 weeks of creatine supplementation on exercise performance and fat free weight in football players during training“, Nutrition Research, Vol. 19, No. 2, 1999, S. 217-225
- SWART I., ROSSOUW J., LOOTS J.M., KRUGER M.C. „The effect of L-Carnitine supplementation on plasma carnitine levels and various performance parameters of male marathon athletes“, Nutrition research 1997, Vol. 17, No.3, S. 405-414
- TARNOPOLSKY Mark „Proteine Requirements for Endurance Athletes“, Nutrition 2004, Vol. 20, S. 662-668
- TARNOPOLSKY Mark A., ATKINSON Stephanie A., MACDOUGALL J. Duncan, SALE Digby G., SUTTON John R. „Physiological responses to caffeine during endurance running in habitual caffeine users“, Medicine & Science in Sports & Exercise 1989, Vol. 21, Issue 4, S. 418-424
- VERBITSKY O., MIZRAHI J., ISAKOV E. „Effect of ingested sodium bicarbonate on muscle force, fatigue and recovery“, Journal of Applied Physiology 1997, Vol. 83, S. 333-337
- WALLMANN K., DAWSON B., PONTIFEX K., GOODMAN C., EASTWOOD P. „Influence of caffeine on performance and sleep quality in team sport athletes“, Journal of Science and Medicine in Sport 2009, Vol. 12, S. 1-83
- WÄCHTER Sandra, VOGT Michael, KREIS Roland, BOESCH Chris, BIGLER Peter, HOPPELER Hans, KRÄHENBÜHL Stephan „Long-term administration of L-

- carnitine to humans: effect on skeletal muscle carnitine content and physical performance“, Clinica Chimica Acta, April 2002, Vol. 318, Issue 1-2, S. 51-61
- WESTERTERP-PLANTENGA M.S. „Green tea catechins, caffeine and body weight regulation“, Physiology & Behavior 2010, Vol. 100, S. 42-46
- WESTERTERP-PLANTENGA Margit, DIEPVENS Kristel, JOOSEN Annemiek, BÉRUBÉ-PARENT Sonia, TREMBLAY Angelo „Metabolic effects of spices, tea and caffeine“, Physiology & Behavior 2006, Vol. 89, S. 85-91
- WILES J.D., BIRD S.R., HOPKINS J., RILEY M. „Effect of caffeinated coffee on running speed, respiratory factors, blood lactate and perceived exertion during 1500m treadmill running“, British Journal of Sports Medicine 1992, Vol. 26, S. 116-120
- WILES J., ROBBINS J. „The effect of sodium bicarbonate ingestion on 1500m racing time“, Journal of Sports Sciences 1995, Vol.13, Issue 5, S.399-403
- WILKES D., GLEDHILL N., SMYTH R. „Effect of acute induced metabolic alkalosis on 800-m racing time“, Medicine & Science in Sports & Exercise 1983, Vol. 15, Issue 4, S. 277-280
- YLIKOSKI T., PIIRAINEN J., HANNINEN O., PENTTINEN J. „The effect of Coenzyme Q₁₀ on the Exercise Performance of Cross-country Skiers“, Molecular Aspects of Medicine 1997, Vol. 18, S. 283-290
- ZIEGENFUSS Tim N., ROGERS Michael, LOWERY Lonnie, MULLINS Nicole, MENDEL Ronald, ANTONIO Jose, LEMON Peter „Effect of creatine loading on anaerobic performance and skeletal muscle volume in NCAA Division I Athletes“, Nutrition, Vol. 18, Mai 2002, S. 397-402

Lebenslauf

Name: **Cornelia Führer**

Geburtsdatum: 16.06.1987

Geburtsort: Hollabrunn, NÖ

Geschlecht: weiblich

Familienstand: ledig

Staatsangehörigkeit: Österreich

Ausbildung:

Schulische Ausbildung: 1993-1997 Volksschule Koliskoplatz Hollabrunn
1997-2001 BG/BRG Hollabrunn

2001-2005 Erzbischöfliches Real- und
Aufbaugymnasium (AG/ARG) Hollabrunn
(humanbiologischer und –psychologischer
Schwerpunkt, Abschluss mit ausgezeichnetem
Erfolg)

Studium: Seit dem Wintersemester 2005 Diplomstudium
Ernährungswissenschaften an der Universität
Wien

Im Wintersemester 2006 und Sommersemester
2007 zusätzlich Studium Pharmazie (wieder
geschlossen)

Berufsbildende Praktika: 01.09-12.09.2008 Landeskrankenhaus Wien
Hollabrunn (Küche, Diabetesambulanz)

29.09.-29.10.2008 IMSB Austria (Olympiazentrum
Südstadt)

September 2009 (2 Wochen) Andrea Miksch,
Gesundheitsteam Ernährungsberatung

02.11.-11.12.2009 Universität Wien, Fakultät für
Lebenswissenschaften, Jürgen König

Sprachkenntnisse: Deutsch (Muttersprache)

Englisch (Maturaniveau)

Besondere Fähigkeiten: EDV-Kenntnisse in Microsoft Word, Excel und
Powerpoint

Führerschein B

Hobbies: Handball (UHC Stockerau – Women Handball
Austria, WHA)