



universität
wien

DIPLOMARBEIT

Titel der Diplomarbeit

Nahrungsergänzungsmittel und ihr Einsatz im Sporternährungsbereich

Georg Hofmeister

angestrebter akademischer Grad

Magister der Naturwissenschaften (Mag.rer.nat.)

Wien, 2012

Studienkennzahl lt.
Studienblatt:

A 474

Studienrichtung lt.
Studienblatt:

Diplomstudium Ernährungswissenschaften UniStG

Betreuerin / Betreuer:

Univ.-Prof. Dr. Karl-Heinz Wagner

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|----|
| I.Fragestellung..... | 1 |
| II.Definition Nahrungsergänzungsmittel (aus § 3 Z 4 LMSVG) | 1 |
| III.Einteilung der Produkte nach Wirksamkeit..... | 3 |
| A. Mögliche Leistungsverbesserung..... | 6 |
| A.1. Makronährstoffe..... | 6 |
| A.2. Energie und Makronährstoffe..... | 9 |
| A.3. Timing der Makronährstoffzufuhr..... | 12 |
| A.4. Kohlenhydrate..... | 14 |
| A.5. Sportgetränke..... | 15 |
| A.6. Elektrolytersatz..... | 17 |
| A.7. Natrium-Bicarbonat / Natrium-Citrat..... | 18 |
| A.8. Kreatin | 20 |
| A.9. Koffein..... | 28 |
| B. Datenlage unzureichend..... | 31 |
| B.1. Aminosäuren | 31 |
| B.2. Taurin..... | 32 |
| B.3. L-Glutamin | 33 |
| B.4. L-Arginin | 35 |
| B.5. Kolostrum..... | 38 |
| B.6. Aminosäuren und ihre Auswirkungen auf Wachstumshormone..... | 39 |
| B.7. Carnosin..... | 40 |
| B.8. BCAA und das Immunsystem..... | 43 |
| B.9. L-Ornithin..... | 44 |
| B.10. Citrullin..... | 46 |
| B.11. Eisen..... | 46 |
| B.12. Carnitin..... | 47 |
| B.13. GlycocarnTM..... | 49 |
| B.14. Oxidativer Stress..... | 50 |
| B.15. Antioxidative Supplemente, Entzündungen und oxidativer Stress..... | 52 |
| B.16. Antioxidantien und Ausdauerbelastung..... | 53 |
| B.17. Nitrat..... | 56 |
| C. Positive Wirkung unwahrscheinlich..... | 60 |
| C.1. HMB..... | 60 |
| C.2. Tribulus Terrestris..... | 62 |
| C.3. Maca..... | 63 |
| D. Auf der Dopingliste; Leistungen und/oder Gesundheit negativ beeinflusst..... | 63 |
| D.1. Synephrin..... | 63 |
| D.2. Schizandra | 64 |
| D.3. Preworkout Booster..... | 64 |
| D.4. Ephedra..... | 66 |
| IV.Placeboeffekt..... | 67 |
| V. Kontaminationen..... | 68 |
| VI. Nebenwirkungen..... | 69 |

| | |
|-----------------------------|----|
| VII.Schlussbetrachtung..... | 72 |
| VIII.Zusammenfassung..... | 75 |
| IX.Summary | 76 |
| X.Verwendete Literatur..... | 77 |
| XI.Lebenslauf..... | 89 |

I. Fragestellung

Der Markt für Sporternährungsprodukte ist in den letzten Jahren rapide gewachsen. Eine für den Laien unüberschaubare Menge an Substanzen und Kombinationen daraus werden beworben, vermarktet und verkauft. Doch welche Produkte sind sinnvoll, welche sind wertlos und welche sind vielleicht sogar schädlich? Diese Diplomarbeit soll sich mit der Frage bezüglich Wirksamkeit und unerwünschten Nebenwirkungen befassen, einen Überblick über angebotene Mittel geben. Behandelt werden Substanzen, die über das Internet in Onlineshops und im Handel vertrieben und speziell für Sportler beworben werden. Es werden zum Zeitpunkt der Literaturrecherche (Jänner 2012 – Mai 2012) beziehbare Produkte berücksichtigt. Die Beschränkung auf die ausgewählten Substanzen erfolgt aufgrund der Relevanz im Sporternährungsbereich. Desweiteren sollen auch rechtliche Grundlagen behandelt werden, um Informationen über Zulassung, Import etc. zu geben. Aus der Größe des aktuellen Produktumfanges resultiert die Durchführung der Arbeit als Literaturrecherche.

II. Definition Nahrungsergänzungsmittel (aus § 3 Z 4 LMSVG)

Nahrungsergänzungsmittel: Lebensmittel, die dazu bestimmt sind, die normale Ernährung zu ergänzen und die aus Einfach- oder Mehrfachkonzentraten von Nährstoffen oder sonstigen Stoffen mit ernährungsspezifischer oder physiologischer Wirkung bestehen und in dosierter Form in Verkehr gebracht werden, d.h. in Form von z.B. Kapseln, Pastillen, Tabletten, Pillen und anderen ähnlichen Darreichungsformen, Pulverbeuteln, Flüssigampullen, Flaschen mit Tropfeinsätzen und ähnlichen Darreichungsformen von Flüssigkeiten und Pulvern zur Aufnahme in abgemessenen kleinen Mengen. (aus § 3 Z 4 LMSVG)

Seit 2004 ist der (Internet-)Versandhandel von Nahrungsergänzungsmitteln in Österreich erlaubt.

In Europa gibt es keine einheitliche Regelung für Einstufung und Vertrieb von Nahrungsergänzungsmitteln (NEM). Nicht jedes in anderen EU-Ländern verkehrsfähiges NEM ist „automatisch“ in Österreich auch verkehrsfähig. Nicht jedes in Österreich verkehrsfähige NEM ist in anderen EU-Ländern automatisch verkehrsfähig.

NEM können aufgrund ihrer Inhaltsstoffe auch als Arzneimittel angesehen werden. Die Abgrenzung von diesen ist nicht immer leicht. Für diese Aufgabe wurde der Abgrenzungsbeirat beim Bundesministerium für Gesundheit eingerichtet (§ 49 a Arzneimittelgesetz). Ausschlaggebend sind die Zweckbestimmung, die Zielgruppe und vergleichbare Arzneyspezialitäten. Dabei handelt es sich immer um eine Einzelfallentscheidung, unabhängig ob ein vergleichbares Produkt auf dem Markt etabliert ist. Die Abgrenzung von Arzneimitteln bedeutet nicht automatisch, dass ein Produkt gemäß den rechtlichen Bestimmungen in Verkehr gebracht werden darf [www.ages.at, Zugriff am 1. März 2012].

Für das Inverkehrbringen von NEM ist ein Verkehrsfähigkeitsgutachten nötig, welches von der Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit AGES oder bei gemäß § 72 oder §73 LMSVG Berechtigten beantragt werden kann.

Rechtliche Grundlagen dafür sind:

Richtlinie 2002/46/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 10.06.2002 Nahrungsergänzungsmittelverordnung, BGBl. II 88/2004 zuletzt geändert durch BGBl. II Nr. 107/2010 (NEMV)

Lebensmittelsicherheits- und Verbraucherschutzgesetz, BGBl. I Nr. 125/2011 (LMSVG)

Lebensmittelkennzeichnungsverordnung, BGBl. II 72/1993 zuletzt geändert durch BGBl. II Nr. 165/2008

Nährwertkennzeichnungsverordnung, BGBl. II 896/1995 zuletzt geändert durch BGBl. II Nr. 186/2009

Arzneimittelgesetz, BGBl. I 185/1983 zuletzt geändert durch BGBl. I Nr. 146/2009

[portal.wko.at, Zugriff am 12. Februar 2012]

III. Einteilung der Produkte nach Wirksamkeit

Am Markt erhältliche Produkte werden von antidoping.ch und dem australischen Institut für Sport in 4 Kategorien eingestuft.

- A) Mögliche Leistungsverbesserung
- B) Datenlage unzureichend
- C) Positive Wirkung unwahrscheinlich
- D) Auf der Dopingliste, Leistungen und/oder Gesundheit negativ beeinflusst

[www.antidoping.ch, Zugriff am 10. Februar 2012]

Kreider et al. schrieben 2010 ein informatives Review über Sportsupplemente. Die Ergebnisse werden in folgenden Tabellen zusammengefasst und decken sich größtenteils mit den Empfehlungen des Schweizer Antidoping Instituts und des Australischen Sportinstituts. Es werden keine positiven Effekte von Vitaminsupplementation ausser für Vitamin E (reduzierter oxidativer Stress vor allem in Höhentrainingslagern), Vitamin K (besserer Knochenstoffwechsel bei Frauen), Vitamin B6 + Vitamin B12 (verbesserte Feinmotorik) und Vitamin C (reduziert das Auftreten von Infekten der oberen Atemwege). Vitamin B3 zeigte negative Auswirkungen auf die Trainingskapazität durch verminderte Fettsäuremobilisierung. Calciumsupplementation kann bei Calciummangel positive Auswirkungen auf die Knochendichte haben. Der Fettstoffwechsel konnte durch Calciumsupplementierung verbessert werden [KREIDER et al., 2010].

| Vitamin | Beworbene Wirkung | Effektive Wirkung |
|-----------------|--|---|
| Vitamin A | Bestandteil des Sehpigments, Verbesserte Sicht beim Sport | 0 |
| Vitamin D | Knochenwachstum und -mineralisation | 0 |
| Vitamin E | Antioxidans, Radikalschutz | Reduziert oxidativen Stress +in Höhentrainingslagern |
| Vitamin K | Blutgerinnung | 0 |
| | Knochenstoffwechsel bei postmenopausalen Frauen | + für Knochenstoffwechsel bei Frauen |
| Thiamin(B1) | Verbesserte anaerobe Ausdauer und CO2 Transport | 0 |
| Riboflavin (B2) | Verbesserte Energiebereitstellung im oxidativen Stoffwechsel | 0 |
| Niacin (B3) | Energiestoffwechsel | - Trainingskapazität (verminderte Fettsäuremobilisation) |
| Pyridoxin (B6) | Muskelaufbau, Kraft, Ausdauer | 0 |
| | | +Feinmotorik (in Kombination mit B1 und B12) |
| Cobalamin (B12) | Muskelaufbau, Sauerstofftransport | 0 |
| | | +Feinmotorik |
| Folsäure | Sauerstofftransport (vermehrte rote Blutkörperchen) | 0 |
| Pantothensäure | Verbesserung aerober Leistung | 0 |
| Beta-Carotin | Antioxidans, Schutz vor Lipidperoxidation | 0 |
| Vitamin C | Verbesserter Energiestoffwechsel | 0 |
| | Verbesserung des Immunsystems | +(Infekte der oberen Atemwege) wenn direkt nach Belastung supplementiert |

Modifiziert nach [KREIDER et al., 2010, Seiten 12-13]

0...keine Beeinflussung +...positive Veränderung -...negative Beeinflussung

| Nährstoff | Beworbene Wirkung | Leistungssteigernder Effekt |
|-----------|--|--|
| Bor | Muskelaufbau | 0 |
| Calcium | Knochendichte | + (bei Mangel) |
| | Fettstoffwechsel | + |
| | Leistungssteigerung | 0 |
| Chrom | Steigerung fettfreier Masse | 0 |
| Eisen | Steigerung aerober Leistung | 0 ohne Mangel |
| Kalium | Flüssigkeitsregulation, Nervenreizleitung, Säure- Basen-Haushalt | 0 |
| Magnesium | Verbesserte Enzymaktivität (Proteinsynthese, ATP Umsatz) | 0 0 ohne Mangel |
| Natrium | Flüssigkeitsregulation, Nervenreizleitung, Säure- Basen-Haushalt | Schutz vor Hyponatriämie |
| Phosphat | Verbesserte aerobe Kapazität | + |
| Selen | Steigerung aerober Leistung Radikalschutz | 0 Radikalschutz vorhanden |
| Vanadium | Insulinähnliche Effekte sind vanadiumabhängig | 0 |
| Zink | Enzymbestandteil im Immunsystem | +verringert trainingsinduzierte Immunsystemveränderung |

Modifiziert nach [KREIDER et al., 2010, Seite 14]

0...keine Beeinflussung

+...positive Veränderung

| | Muskelaufbau | Körperfettabbau | mögliche Leistungssteigerung |
|------------------------------------|--|--|---|
| Effektiv und sicher | Weight Gainer (Kombination aus Kohlenhydrat und Protein), Kreatin, Protein und essentielle Aminosäuren | Energiearme Lebensmittel, Mahlzeitenersatz und Fertiggetränke, Koffein | Wasser, Sportgetränke, Kreatin, Natriumphosphate, Natriumbicarbonat, Koffein, Beta-Alanin |
| Möglicherweise effektiv | HMB (f.untrainierte Personen) BCAA | Calcium, Grünteeextrakt, konjugierte Linolsäure | Convenience Supplemente (Makronährstoffe), essentielle Aminosäure, HMB, Glycerol |
| Noch nicht eindeutig | Alpha-Ketoglutarat, alpha-Ketoisocaproat, Ecdysteron, GHRP Ornithine alpha-Ketoglutarat, Zink/Magnesium Aspartat | Gymnema sylvestre, Chitosan, Betain, Phosphatidylcholin DHEA Psychotrope Nährstoffe | Mittelkettige Fettsäuren |
| Nicht effektiv und oder gefährlich | Glutamin, Smilax Isoflavone, Sulfopolysachharide, Bor, Chrom, CLA, Prohormone, Tribulus terrestris | Calcium Pyruvat, Chitosan, Chrom, HCA(Hydroxycitronensäure), L-Carnitin Phosphate, pflanzliche Diuretika | Glutamin Ribose Inosin |

Modifiziert nach [KREIDER et al., 2010, Seite 16]

Die Tabelle gibt einen Überblick über die Supplemente und ihre Effekte. Einige wenige Produkte können positive Wirkung zeigen, welche aber nicht für jede Sportart gleiche Notwendigkeit haben.

A. Mögliche Leistungsverbesserung

A.1. Makronährstoffe

Zur Leistungssteigerung im Sport werden Makronährstoffe in leicht

handhabbarer Form angeboten. Dazu zählen Kohlenhydrate, Eiweiß und Fett. Makronährstoffe werden im Sporternährungsbereich als Muskelschutz oder antikatabol beworben. Sie sollen eine raschere Regeneration fördern und Hyperkompensation und Anabolismus forcieren. Verabreichung von Kohlenhydraten nach sportlicher Belastung ist notwendig, um verbrauchte Glykogenreserven wiederherzustellen [BETTS et al., 2007; KERKSICK et al., 2008]. Sie vermögen aber auch in Kombination mit Protein nicht die Regeneration von Muskelbeschädigungen, die durch sportliche, mechanische und metabolische Belastung entstanden sind, zu beeinflussen [ROBERTS et al., 2011].

Die Verabreichung einer Kombination von Kohlenhydraten und Protein während der Regenerationsphase zeigte besseren Wiederaufbau der Laufkapazität als Kohlenhydrate alleine. Die zusätzliche Proteinmenge selbst ist aber nicht leistungsfördernd verglichen mit einer Lösung mit gleichem Energiegehalt aber höherer Kohlenhydratmenge [BETTS et al., 2007; JENTJENS et al., 2001], während Ivy et al. berichten, dass Proteinzusatz bei gleicher Energiemenge zur Regeneration von Muskelglykogen förderlich ist [IVY et al., 2002].

Der optimale Zeitpunkt der Einnahme von Makronährstoffen wird in der Literatur diskutiert. Die Ergebnisse sind uneinheitlich.

Baty et al. konnten an 34 untrainierten, männlichen Probanden keine Leistungssteigerung durch Verabreichung einer Kombination von Kohlenhydraten und Protein nachweisen. Muskelschädigungen konnten durch die Einnahme dieser Kombination reduziert werden. Eine Aussage über die langfristige Wirksamkeit wird nicht gemacht [BATY et al., 2007].

Betts et al. untersuchten 2009 ebenfalls die Auswirkungen von einer zusätzlichen Molkenproteingabe zur Unterstützung der Regeneration, konnten aber keine Auswirkungen auf Muskelschädigungen und -inflammation oder verbesserte Regeneration der Muskelfunktion feststellen [BETTS et al., 2009].

Makronährstoffe können auch als Convenience-Supplemente betrachtet werden. Es handelt sich um Mahlzeitenersatz, der für verschiedenste Zwecke

verwendet werden kann. Die beworbenen Wirkungen sind: Gewichtsreduktion, Gewichtszunahme, Leistungsverbesserung, Kompensation von Muskelkatabolismus, Regulation des Immunsystems und Wachstumshormonsekretion. Convenience-Supplemente werden in Form von Pulvern, Fertiggetränken, Gels und Snacks angeboten und können 30-50% der RDA an Vitaminen und Mineralstoffen ausmachen [DUBNOV-RAZ et al., 2011].

Supplemente, die hauptsächlich Makronährstoffe liefern werden von Antidoping.ch auch als Regenerationsprodukte oder Mahlzeitenersatz angesehen. Sie können auch Vitamine und Mineralstoffe enthalten und werden in Pulverform mit Wasser oder Milch zu einem Shake angerührt.

Als großer Vorteil ist die rasche Verfügbarkeit und leichte Verdaulichkeit von Nährstoffen gegeben, vor allem wenn eine bedarfsdeckende Mahlzeit nicht rasch eingenommen oder ausreichend resorbiert werden kann [www.antidoping.ch, Zugriff am 15. März 2012].

Es werden auch fertige Produkte angeboten. Das Kohlenhydrat: Proteinverhältnis liegt zwischen 5:1 (kohlenhydratbetont) und 1:1 (proteinbetont). Durch rasche Verabreichung nach körperlicher Belastung durch Training oder Wettkampf können die Kohlenhydratspeicher wieder aufgefüllt werden. Die Proteingabe regte den Proteinaufbau (Muskel, Zellstrukturen, Mitochondrien) an und liefert die dafür wichtigen Bausteine in Form von Aminosäuren. Werden Regenerationsprodukte in flüssiger Form eingenommen, können sie mithelfen, das bei körperlicher Betätigung entstandene Flüssigkeitsdefizit auszugleichen.

Das Schweizer Antidoping Institut empfiehlt je nach Belastung unterschiedliche Mengen an Kohlenhydrat und Protein:

1,0-1,2 g KH/kg KG/h um Glykogenreserven wiederaufzufüllen. Ca. 20 g Protein. Ist vor allem ein Auffüllen der Kohlenhydratspeicher erwünscht kann die Eiweissmenge auf 10 g reduziert werden, was durch 90 g eines Regenerationspulvers im Mischverhältnis 4:1 bis 5:1 (Kohlenhydrat:Protein)

zugeführt werden kann. Bei energieaufwändigen Trainingseinheiten werden kohlenhydratbetonte Regenerationsprodukte empfohlen. Auf intensives Kraftaufbautraining mit Fokus Muskelaufbau sollten mindestens 20 g Eiweiss und ausreichend Energie zugeführt werden. (ca. 110 g Pulver im Mischungsverhältnis 4:1 bis 5:1 KH:Protein) Bei geringerem Energieumsatz während des Trainings können bereits 20 g Kohlenhydrat und 20 g Protein ausreichend sein [www.antidoping.ch, Zugriff am 15. März 2012].

Nicht immer führt die Zufuhr einer Kombination aus Kohlenhydraten, Molkenprotein und Aminosäuren zu vermehrtem Muskelaufbau, verglichen mit Kohlendrydaten alleine [CHROMIAK et al., 2004].

A.2. Energie und Makronährstoffe

Eine Balance zwischen Energiebedarf und -zufuhr ist für körperliche Fitness unabdingbar.

Protein hat einen wichtigen Stellenwert am Markt für Sporternährungsprodukte.

Die täglich empfohlene Eiweissmenge beträgt 0,8g/kg KG [www.dge.de, Zugriff am 2. Mai 2012]. Ausdauerathleten wird bis 1,0 gProtein/kgKG/d empfohlen.

Top-Athleten können einen geschätzten Bedarf von bis zu 1,6 g/kgKG/d haben [TARNOPOLSKY, 2005]. Kraftsportlern wird bis zu 1,3 g/kgKG/d empfohlen.

Dieser Mehrbedarf kann durch vermehrte Proteinoxidation bei sportlicher Belastung, Muskelwachstum und -reparatur zustande kommen. In

Bodybuilderkreisen kursierende Gerüchte über Empfehlungen von 2,5-2,8 g/kg/d sollen eine positive Stickstoffbilanz von 8-20g/d ermöglichen. Was aber physiologisch unmöglich ist, da somit 50-125 g Protein oder 200-500 g fettfreie Masse aufgebaut werden würden [GENTON et al., 2010]. Dementsprechend ist die Empfehlung von 2,5-2,8 g Eiweiss/kg KG/d für Bodybuilder viel zu hoch.

Kraftsportler sollten wie die normale Population 12-15% der aufgenommenen Energie durch Protein decken, da für eine positive Energiebilanz vermehrte Kohlenhydrataufnahme ausreichend ist [PHILLIPS, 2004]. Von der DGE wird

der Mehrbedarf an Nahrungsprotein mit 0,03g/kgKG/d beziffert. Die durchschnittliche Ernährungsweise liefert mit ca 1,2g/kgKG/d mehr Protein als für Muskelaufbau benötigt [www.dge.de, Zugriff am 2. Mai 2012]. Dies wirft ein kritisches Licht auf Empfehlungen eines Vielfachen des eigentlichen Tagesbedarfs von 0,8g/kgKG/d.

Von der American Dietetic Association wird der Tagesbedarf an Protein für Ausdauer- und Kraftsportlern zwischen 1,2 und 1,7g/kgKG/d gesehen. Ein Bedarf an Protein- oder Aminosäuresupplementen ist nicht gegeben. [J Am Diet Assoc., 2009]

Bei Energierestriktion durch verminderte Kohlenhydratzufuhr kann ein erhöhter Eiweißbedarf auftreten. Proteinsupplemente egal ob Molke, Kasein oder Soja zeigten anabole Wirkung verglichen zu einem Placebo. Es ist aber kein Unterschied in der Wirkung auf die körperliche Fitness auszumachen.

Proteinrestriktion kann Nebenwirkungen wie Verlust an fettfreier Körpermasse, verminderte Immunfunktionen und Verlust an Kraft bedeuten. Bei Sportlern mit gesunder Nierenfunktion sind negative Effekte einer kurzfristig (7 Tage) hohen (2,8g/kg/d) Eiweißaufnahme unwahrscheinlich [GENTON et al., 2010; POORTMANS und DELLALIEUX, 2000].

Von der EFSA wird bezüglich Sättigung und Zunahme der fettfreien Körpermasse durch Training und bei Energierestriktion, Erhalt des normalen Körpergewichts, Aufbau oder Erhalt von Muskelmasse, Aufbau von Muskelkraft, Reduktion von Körperfett bei Krafttraining und Energierestriktion, erhöhte Ausdauerkapazität, Reparatur von Muskelgewebe und schnellerer Erholung von Ermüdung nach körperlicher Betätigung kein Zusammenhang gesehen [www.efsa.europa.eu, Zugriff am 3. Mai 2012]. Somit ein ernüchterndes Ergebnis bezüglich der von Herstellern propagierten Nutzen von Molkenprotein. Obwohl von offizieller Stelle (DGE) bei normaler Ernährungsweise kaum Mehrbedarf an Protein existiert [www.dge.de, Zugriff am 2. Mai 2012], belegen Studien einen positiven Nutzen einer Proteinsupplementation. Intensives Training, vor allem ekzentrisches Krafttraining kann Muskelschäden, akute

Inflammation, Schmerz und Verlust an Muskelkraft hervorrufen. Eine Einzeldosis mit 25g Molkenproteinhydrolysat zeigte an Personen, die regelmäßig Fitnesstraining betreiben einen positiven Effekt auf die Wiederherstellung der Muskelkraft nach exzentrischer Belastung verglichen mit einem Placebo, während aber Kreatinkinaseaktivität und Kreatinkinase im Serum als Marker für Muskelbeschädigung wurden durch Supplementation nicht beeinflusst wurden [BUCKLEY et al., 2010].

Im Molkenprotein enthaltene Peptide und deren Wirkung auf das Immunsystem werden zwar diskutiert, ihre Wirksamkeit kann jedoch nicht eindeutig bewiesen werden [GAUTHIER et al., 2005]. Verbesserte Glykogensynthese durch Zusatz von Protein zu Kohlenhydratgabe (0,4gProtein/kg/h +1,2gKH/kg/h) nach Ausdauerbelastung, die zu verringerten Glykogenspeichern führte, konnte verglichen mit einer alleinigen Kohlenhydrataufnahme (1,2gKH/kg/h) nicht nachgewiesen werden [JENTJENSs et al., 2001]. Dieselbe Dosierung von KH und Protein in einem Regenerationsgetränk zeigte vermehrte Muskelproteinsynthese und verbesserte Ganzkörperproteinbilanz bei Proteinzusatz verglichen mit dem Kohlenhydrat alleine [HOWARTH et al., 2009]. 25g KH+10g Molkenprotein direkt nach Belastung und zusätzlich 30 Minuten zeitverzögert zeigten eine vermehrte Muskelproteinsynthese verglichen mit dem Kohlenhydrat alleine. Myofibrillensynthese war gesteigert, die Mitochondriensynthese aber nicht [BREEN et al., 2011].

Einer moderaten Proteinsupplementation können vereinzelte leistungsförderliche Effekte zwar zugesprochen werden. Eine generelle Empfehlung wird aber nicht gegeben. Es wurden auch keine Studien gefunden, die Supplemente mit „normalen Mahlzeiten“ verglichen.

Cribb et al. verglichen Molkenproteinsupplementation mit Kaseinsupplementen und zeigten einen besseren Effekt von Molke auf Entwicklung von Kraft, Magermasse und Körperfett [CRIBB et al., 2006]. Tipton et al. konnten keinen Unterschied bezüglich Muskelanabolismus zwischen Molke und Kasein feststellen [TIPTON et al., 2004]. Molke wird schneller resorbiert als Kasein und

könnte dementsprechend bessere Auswirkungen auf die Muskelproteinsynthese nach Krafttraining haben als Kasein [TANG et al., 2009].

A.3. Timing der Makronährstoffzufuhr

Die Zeitspanne 2 bis 4 Stunden vor körperlicher Betätigung ist für Leistungsfähigkeit wichtig um Glykogenspeicher zu füllen und Blutzucker während Belastung aufrecht zu erhalten [KERKSICK et al., 2008].

Eine Mahlzeit reich an Kohlenhydraten steigert Muskel- und Leberglykogen und erhält Blutglucose.

Eine kurze Zeitspanne von 15-75 Minuten zwischen einer Kohlenhydrateinnahme (75 g Glucose in 500 ml Wasser) und der Belastung beeinflusste die Leistungsfähigkeit trotz einer möglichen Hypoglykämie nicht. Ein Absinken des Blutzuckerspiegels auf unter 3,5mmol/l hatte keine Auswirkungen auf die Leistungsfähigkeit. Die unterschiedlichen Blutzucker (3,7±0,2 mmol/l bei 15 Zeitunterschied bis 6,6±0,6 mmol/l bei 75 Minuten Zeitunterschied) und Insulinspiegel (72,6±10,4 microU/ml bei 15 min. und 33,9±5,5 microU/ml 75 min. Zeitunterschied) waren nach 10-minütiger Belastung ausgeglichen [MOSELEY et al., 2003].

Für Sportler, die auf Glucose mit Hypoglykämie überreagieren, empfiehlt sich auf Fruktose oder Lebensmittel mit niedrigem glykämischen Index auszuweichen.

Protein oder Aminosäuren in Kombination mit Kohlenhydraten oder alleine können bei sportlicher Betätigung das Muskelwachstum forcieren. Es existieren jedoch auch kontroverse Ergebnisse, so dass die Autoren keine Empfehlung über den Proteinkonsum vor sportlicher Betätigung geben [GENTON et al., 2010].

Kohlenhydrate während sportlicher Betätigung können leistungssteigernd wirken, da sie die maximale Glucoseoxidation von 1,0g/min auf 1,2g/min steigern können. Vor allem eine Mischung aus Glucose, Fructose und Saccharose kann bei Ausdauerbelastungen förderlich sein. Fructose kann aber

zu gastrointestinalen Beschwerden führen [KERKSICK et al., 2008]. Clarke et al. konnten keinen Unterschied zwischen reiner Glucose oder Glucose+Fructose bezüglich der Leistungsfähigkeit bei einem simulierten Fußballmatch (90min.) feststellen [CLARKE et al., 2012].

Wird zusätzlich Protein während sportlicher Betätigung konsumiert kann die Leistung bei Ausdauerbelastungen gesteigert werden [STEARNS et al., 2010].

Für Krafttraining bedeutet ein Proteinzusatz verminderte Cortisolspiegel und Muskelproteinabbau und erhöhten Insulinspiegel. Creatinkinase und Myoglobin im Serum, als Marker für Muskelbeschädigung, werden durch Protein verringert, wodurch die Erholung verbessert sein kann. Die Evidenz dafür ist schwach und wird diskutiert [GENTON et al., 2010].

Betts et al. konnten keinen zusätzlichen Effekt einer Molkenproteinsupplementation zu Kohlenhydraten bezüglich verminderter Muskelschäden und Entzündungen und beschleunigter Wiederherstellung der Muskelfunktion nach Ausdauerbelastung von 90 Minuten feststellen [BETTS et al., 2009].

Vom amerikanischen College of Sportsmedicine, der american dietitian association und den Dietitians of Canada werden 30-60g Kohlenhydrate/h aufgeteilt auf 3-4 Portionen für Belastungen länger als eine Stunde und unter erschwerten Bedingungen (geringe Kohlenhydrataufnahme vor der Belastung, Hitze, Kälte, Höhenlage) empfohlen [J Am Diet Assoc., 2009].

Weiters kann auch Protein im Verhältnis 3-4/1 (KH:Pro) konsumiert werden, wodurch sowohl die Leistung gesteigert als auch Muskelschäden vermindert werden konnten [KERKSICK et al., 2008]. Ob die Effekte auf dem Proteinzusatz selbst oder nur der zusätzlichen Energie basieren, blieb offen.

Sofort nach sportlicher Betätigung konsumierte Kohlenhydrate liefern bessere Ergebnisse bezüglich Regeneration der Muskelglykogenspeicher als ein um 2h verzögerter Konsum [IVY et al., 1988]. Hochglykämische Kohlenhydrate (z.B. Cornflakes, Weißbrot und Sportgetränke) ermöglichen bessere

Glykogenregeneration als niedrigglykämische (z.B. Kleie, Äpfel, Apfelsaft). Eine langsamere Resorption der Kohlenhydrate könnte eine geringere Verfügbarkeit an Substrat zur Glykogenregeneration bewirken. Vermehrte Glukoseoxidation oder Malabsorption der Kohlenhydrate bei niedrigglykämischer Ernährung könnten ebenfalls die verminderte Glykogenregeneration verursachen [BURKE et al., 1996; WEE et al., 2005]. Eine Aufnahme hochglykämischer Kohlenhydrate vor der Belastung führte zu vermehrter Energiebereitstellung aus Kohlenhydraten [FEBBRAIO et al., 2000]. Niedrigglykämische Kohlenhydrate weisen einen glykogensparenden Effekt auf, vermutlich aufgrund vermehrter Fettoxidation [WEE et al., 2005] und für sorgen durch schwächeres Absinken des Blutzuckerspiegels bei Belastung für ein besseres metabolisches Milieu bei sportlicher Betätigung [STEVENSON et al., 2005].

Ein Zusatz von hydrolysiertem Molkenprotein oder Sojaprotein zeigte eine bessere Regeneration als bei Kaseinzusatz [GENTON et al., 2010].

Die Deutsche Gesellschaft für Ernährung (DGE) empfiehlt 2-4 Stunden vor sportlicher Betätigung eine Portion mit ca 80-120 g komplexen Kohlenhydraten. 60-90 min vor Belastung können auch noch kleinere Portionen aufgenommen werden [www.dge.de, Zugriff am 2. Mai 2012].

A.4. Kohlenhydrate

Kohlenhydrate sind die zweite wichtige Gruppe an Makronährstoffen, die die Leistungsfähigkeit beeinflusst. Mit dem Trainingsaufwand steigt auch der Bedarf an Kohlenhydraten an. Personen, die moderates Fitnesstraining absolvieren, benötigen etwa 45-55% KH. Das sind etwa 3-5g/kg KG/d.

Längere Belastungen (2-3 h pro Tag, 5-6 mal pro Woche) führen zu vermehrtem Bedarf 55-65 % KH (5-8g/kgKG/d). Bei noch längeren Belastungen können sogar 8-10g/kgKG/d notwendig sein was bis zu 2 kg Spaghetti entspräche. Solche Kohlenhydratmengen zu verzehren kann sich als schwierig herausstellen, weshalb Kohlenhydratsupplemente hilfreich sein können

[KREIDER et al., 2010].

Eine allgemeingültige Aussage bezüglich des Bedarfs einer Zufuhr an Kohlenhydraten wird nicht gegeben. Wichtig ist, den Bedarf mit nötigenfalls qualifizierter Hilfe zu eruieren. Zu beachtende Parameter sind allgemeine Ernährungsweise und -zustand, Dauer und Art der Belastung, Verträglichkeit der Supplemente, Trainings- oder Wettkampfbedingungen.

A.5. Sportgetränke

Eine ausgeglichene Flüssigkeitsbilanz ist für Sportler leistungsbeeinflussend. Selbst eine milde Dehydrierung (<2%) zeigt negative Effekte auf Ausdauerleistung verbunden mit erhöhter Körpertemperatur, empfindlicherer Wahrnehmung der Belastung und vermutlich vermehrter Abhängigkeit von Kohlenhydraten als Energiequelle. Verstärkt werden diese Effekte durch hohe Umgebungstemperaturen [BARR, 1999].

Sportgetränke werden heutzutage schon fast als „normales“ Lebensmittel angesehen und deshalb wird ihr Stellenwert unterschätzt. Einige Personen sollten aufgrund ihres Körpergewichts besser darauf verzichten, da sie neben der wichtigen Flüssigkeit auch zusätzliche Kalorien liefern.

Gezielte Kohlenhydratversorgung ist für sportliche Leistung ausschlaggebend und kann im Wettkampf wie im Training auch mithilfe von Sportgetränken erreicht werden [von DUVILLARD et al., 2004].

Ein industriell hergestelltes Sportgetränk muss nicht immer besser sein, als ein selbst gemischtes.

Sportgetränke werden als leistungssteigernd angesehen. In der normalen Ernährung besteht kein Bedarf an dieser Art der Darreichung von leicht verdaulichen und konzentrierten Kohlenhydraten. Deshalb können Sportgetränke durchaus als Supplemente angesehen werden.

Durch eine Kombination aus verschiedenen Kohlenhydraten kann die Leistungssteigerung noch weiter erhöht werden, vor allem wichtig für Ausdauerbelastungen [KERKSICK et al., 2008].

Die Aufgabe von Sportgetränken ist die gleichzeitige Versorgung mit Flüssigkeit und Energie während sportlicher Betätigung. Wichtig sind die Magenverträglichkeit und die Resorbierbarkeit. Für Belastungen mit einer Dauer von über 60 Minuten stellte sich heraus, dass die optimale Zusammensetzung aus 4-8% Kohlenhydraten (4-8g/100ml Getränk) und 0,5-0,7g/L Natrium besteht. Die Trinkmenge sollte 600-1200ml/h betragen [von DUVILLARD et al., 2004]. Diese Mischung könnte durch 1:1 Verdünnen von Apfelsaft erreicht werden.

Triathleten wird eine Aufnahme von 60-70gKH/h empfohlen, was durch ca. 1 L eines Sportgetränks erreicht werden kann [JEUKENDRUP et al., 2005]

Von der EFSA werden Kohlenhydrat-Elektrolytgetränke als positiv bezüglich gesteigerter Wasser- und ElektrolytabSORption und Ausdauerleistung angesehen. Dafür muss das Getränk 80-350kcal/L aus Kohlenhydraten (min. 75% davon mit hohem glykämischen Index) und 0,46-1,15g Natrium/L enthalten und eine Osmolalität von 200-300mOsm/kg Wasser haben [www.efsa.europa.eu, Zugriff am 10. Mai 2012].

Wenn höhere Energiemengen vonnöten sind, kann auf verschiedene Kohlenhydrate zurückgegriffen werden. Glucose und Fructose verwenden unterschiedliche intestinale Transporter (SGLT1 und GLUT-5) [JENTJENS et al., 2005]. Dadurch kann die Aufnahme größer sein als durch eine Komponente alleine. Die Kombination ergab höhere Kohlenhydratoxidationsraten [KERKSICK et al., 2008]. Die orale Verabreichung von 2,4g KH/min (1,2g Glucose +0,6g Fructose +0,6g Sucrose) steigerte die Oxidation auf 1,7g/min. 2,4g Glucose zeigte eine KH-Oxidation von ca. 1,2g/Minute [JENTJENS et al., 2004].

Einige Sportgetränke enthalten weiters Aminosäuren oder Proteine (2%). Diese können vor allem bei länger andauernden Belastungen leistungssteigernd wirken. Positive Eigenschaften bezüglich Leistungssteigerung können Protein zugeschrieben werden, vor allem wenn die Versorgung mit Kohlenhydraten suboptimal ausfällt. Ob von der zusätzlich zugeführten Energie oder vom

Protein selbst die Leistungssteigerung ausgeht wird diskutiert [STEARNS et al., 2010].

Hperydration ist auch nicht zielführend, da sie physische Fähigkeiten wie z.B. Sprung oder Sprint verschlechtern kann. Daneben besteht noch die Gefahr der Hyponatriämie. Natriumersatz ist für die Durstregulation relevant. Um eine optimale Hydrierung sicherzustellen, sollte die im Wettkampf verlorene Flüssigkeitsmenge durch Wiegen vor und nach Belastung bestimmt werden und durch Getränke ersetzt werden [DUBNOV-RAZ et al., 2011].

A.6. Elektrolytersatz

Elektrolytersatz durch Supplemente soll durch starkes Schwitzen verursachte Natrium- und Kaliumverluste ausgleichen. Während oder nach körperlicher Betätigung erlauben sie eine rasche Wiederherstellung der Flüssigkeitsbilanz. Die Natriumkonzentration im Plasma ist eng reguliert (135-150mmol/L). Bei sportlicher Betätigung kann es zu einer leichten Hyponatriämie kommen ohne offenkundige Symptome (<135mmol/L). Eine positive Flüssigkeitsbilanz oder Ersatz des Flüssigkeitsverlustes durch natriumarme Getränke können Risikofaktoren darstellen. Eine ernste Hyponatriämie (<130mmol/L) kann zu Verwirrtheit, Übelkeit, Kopfschmerzen bis zu cerebralen Ödemen führen. Ernste Hyponatriämie kann durch erhöhte Flüssigkeitsaufnahme im Vergleich zu Verlusten durch Schweiß und Harn verursacht werden. Verschlechtert werden kann dieser Zustand durch mangelnde Vasopressinaktivität. Natriumersatz während der Betätigung kann diese Beschwerden mildern.

Vom Australischen Sportinstitut werden 0,5-0,7 g Natrium pro Liter Flüssigkeit für Ausdauerbelastungen >1h empfohlen. Diese Menge kann unter bestimmten Umständen auch erhöht werden. (Personen mit „salzigem“ Schweiß, Ultraausdauerbelastung)

Wenn der Flüssigkeitsverlust nach körperlicher Belastung durch natriumarme Getränke (Wasser) ausgeglichen wird, kann der Plasmanatriumgehalt absinken,

was zu vermindertem Durstgefühl, und vermehrter Urinausscheidung führt. Dadurch wird die freiwillige Trinkmenge vermindert und es kommt zu unzureichender Flüssigkeitsaufnahme. Salzige Nahrungsmittel, natriumreiche Sportgetränke oder Elektrolytersatzsupplemente können dazu beitragen den Natriumverlust auszugleichen. Supplemente zur Rehydrierung werden den WHO Richtlinien zur Behandlung und Vermeidung von Dehydrierung bei Diarrhoe und Gastroenteritis entsprechend produziert [www.ausport.gov.au, Zugriff am 15. Februar 2012].

A.7. Natrium-Bicarbonat / Natrium-Citrat

Von Natrium-Bicarbonat wird eine leistungssteigernde Wirkung aufgrund der möglichen Steigerung der extrazellulären Pufferkapazität für möglich gehalten. Extrazelluläre Puffer sollen den durch intensive Kontraktion entstandenen Säureüberschuss in der Muskelzelle durch erleichterten H^+ -Ausstrom ermöglichen. H^+ Akkumulation in der Zelle kann möglicherweise Enzyme der oxidativen Phosphorylierung und Glykolyse sowie die sarkoplasmatische Ca^{2+} -ATPase inhibieren und Ca^{2+} Bindung an Troponin C reduzieren [WU et al., 2010].

Edge et al. konnten keine Veränderung der Pufferkapazität durch Bicarbonatsupplementation ($2 \cdot 0,2g/kgKG/d$) feststellen. Die Verbesserung der Laktatschwelle und der Ausdauerleistung bei hochintensiven Trainingseinheiten könnte auf eine verbesserte oxidative Kapazität zurückzuführen sein [EDGE et al., 2006]. $0,5g/kgKG/d$ Bicarbonatsupplementation zeigten bei einer einminütigen Maximalbelastung am Fahrradergometer eine signifikante Leistungssteigerung bezüglich der Maximalleistung [McNAUGHTON et al., 1999].

Natriumbicarbonat ($0,3g/kgKG/d$) steigerte die Leistung bei wiederholten Fahrrad-Sprints. Blutbicarbonatkonzentration war zwar signifikant gesteigert, der intrazelluläre pH war unverändert. Die Leistungssteigerung wird durch

verbesserte extrazelluläre Pufferkapazität und vermehrten H^+ -Ausstrom aus den Muskelzellen, sowie durch verbesserten anaeroben Energiestoffwechsel begründet [BISHOP et al., 2004]. $NaHCO_3$ Supplementierung (0,3g/kgKG/d) zeigte zwar einen leichten Anstieg des Blut pH von 7,40 auf 7,46, konnte aber die Leistung bei einer 3 minütigen Maximalbelastung nicht verbessern [VANHATALO et al., 2010].

Die Studienergebnisse sind nicht einheitlich. Metabolische Alkalose konnte durch Supplementation mit Natriumbicarbonat zwar hervorgerufen werden, die erwartete Leistungssteigerung blieb aber aus [PRICE und SIMONS, 2010; ZABALA et al., 2011]. Weder die Verbesserung der Pufferkapazität noch eine Leistungssteigerung bei Intervallbelastungen wird von Natriumbicarbonat-Supplementation berichtet [SIEGLER et al., 2011]. Für gut trainierte Ausdauerathleten war eine Supplementation nicht mit einer Leistungssteigerung verbunden [STEPHENS et al., 2002].

Bei Bicarbonat handelt es sich um eine interessante Substanz, die teilweise positive Ergebnis bezüglich Leistungssteigerung liefert.

Natriumcitrat-supplementierung (0,5g/kgKG/d) kurz vor einem 5 km Lauf, zeigte an gut trainierten Läufern leistungssteigernde Wirkung. Der Wirkmechanismus ist nicht restlos geklärt. Er wird aber in der Erhöhung der extrazellulären Pufferkapazität vermutet. Dadurch dürften H^+ und Laktat schneller aus der Zelle transportiert werden. Verantwortlich dafür scheint der pH-abhängige Monocarboxylattransporter zu sein. Übelkeit und Kopfschmerzen wurden als Nebenwirkungen der Supplementation berichtet [OÖPIK et al., 2003].

Nebenwirkungen können Magendarmprobleme (Übelkeit und Durchfall), Alkalose durch Supplemente und damit verbundene Störungen des Elektrolythaushaltes (Hypokaliämie, Hypernatriämie) und Störungen des peripheren Nervensystems (Sensibilitätsstörungen, Kribbeln, Taubheitsgefühl) sein. Salzsensitiven Bluthochdruckpatienten und Personen mit eingeschränkter Nierenfunktion ist von einer Supplementation mit Natriumbicarbonat und Natriumcitrat abzuraten. Milch in Kombination mit einer Supplementation kann

zum Milch-Alkali-Syndrom führen, bei dem sich wegen der erhöhten Blutcalciumwerte Calcium in Niere und anderen Geweben ablagert [www.antidoping.ch, Zugriff am 19. März 2012]. Es besteht das Risiko von Niereninsuffizienz und Nierensteinen

Dosierung und Anwendung:

Vom Schweizer Antidopinginstitut werden 0,3g/kg Natriumbicarbonat und 0,3-0,5 g Natrium-citrat/kg Körpergewicht aufgelöst in 1 L Wasser empfohlen. Es werden Pulver oder Kapseln angeboten, welche ebenfalls mit 1 L Wasser 1-2 Stunden vor Belastung einzunehmen sind. Um Nebenwirkungen zu reduzieren, kann die Flüssigkeitsmenge erhöht und die Einnahme verteilt werden. Auf Milch und Milchprodukte sowie Calciumsupplemente und calciumreiche Mineralwasser sollte aufgrund des Milch-Alkali-Risikos verzichtet werden [www.antidoping.ch, Zugriff am 19. März 2012].

A.8. Kreatin

Kreatin wird als das effektivste Nahrungsergänzungsmittel zur Steigerung der Kraft, Muskelmasse und der Belastungstoleranz angesehen. Ebenfalls positive Auswirkungen hat es bei Myopathien, neurodegenerativen Erkrankungen, Krebs, rheumatischen Erkrankungen und Typ 2 Diabetes [GUALANO et al., 2011].

Gualano et al. schrieben 2011 ein sehr interessantes Review.

Physiologischer Hintergrund

Kreatin kommt in der gemischten Ernährung mit ca. 1-5g pro Tag vor, wird aber auch endogen in Leber, Niere und Pankreas synthetisiert. Der Transport in die Zelle wird durch Kreatin-Transporter gesteuert und erfolgt gegen das Konzentrationsgefälle Na- und Cl-abhängig. In der Zelle liegt Kreatin entweder frei oder in phosphorylierter Form (Phosphoryl-Kreatin, PCr) vor. Beide Formen können spontan und irreversibel in Kreatinin abgebaut werden, welches über die Niere ausgeschieden werden muss (ca. 2 g/d) [GUALANO et al., 2011].

Das Kreatin-Kreatinphosphat- System spielt eine wichtige Rolle im Energiestoffwechsel als zeitlich begrenzter Energiespeicher. Die zweite Aufgabe des Kreatin-Kreatinphosphat Systems ist der Transport zellulärer Energie von den Mitochondrien ins Cytosol, der sogenannte Kreatin-Phosphorylkreatin-Shuttle. Dadurch wird die zelluläre Energie vom Ort der ATP-Synthese (Mitochondrien) zum Ort des Verbrauchs transportiert. Möglich wird diese Funktion durch die unterschiedlichen Kreatinkinase Isoformen. Kreatin/Kreatinphosphat haben höhere Diffusionsraten als ATP und ADP und sind dadurch effizientere Energishuttles [WALLIMANN et al., 2011].

Im Sarkomer im Muskel werden wegen der Muskelkontraktion große Mengen an ATP hydrolysiert und ADP entsteht. Die MuskelKreatinKinase ermöglicht eine sofortige Phosphorylierung von ADP. Dadurch bleibt der ADP Spiegel niedrig, und es geht kein Ca^{2+} verloren. Ebenfalls wird das freie anorganische Phosphat P_i vermindert. Dadurch wird der P_i Einstrom ins Sarkoplasmatische Retikulum verlangsamt. Dort würde es Ca^{2+} ausfällen und für die Muskelkontraktion hemmen. In den Mitochondrien hält die Phosphorylierung von Kreatin ADP Spiegel hoch, was die Respirationsrate erhöht und den Bedarf an freier Energie für die ATP-Synthese vermindert. Durch die Kopplung von Kreatin und ATP in den Mitochondrien wird die Bildung von reaktiven Sauerstoffspezies abgeschwächt. Kreatin wird aufgrund der möglichen direkten und indirekten antioxidativen Eigenschaften zur Therapie verschiedenster vor allem neurodegenerativen Erkrankungen eingesetzt [GUALANO et al., 2011].

Anwendung:

Es werden unterschiedliche Strategien verfolgt um Kreatinspeicher aufzufüllen. Hochdosis-Kurzzeit-Supplementation mit einer „Ladephase“ von 20 g/Tag für 5 Tage oder länger, um die Muskelspeicher aufzufüllen (0,3g/kg/d) mit darauffolgender „Erhaltungsphase“ (0,1-0,2g/kgKG/d) um die erhöhten Körperspeicher aufrecht zu halten. Ebenfalls wird eine Niedrigdosis-Langzeit-

Supplementation von 3g/d oder 0,03g/kg/d erfolgreich angewendet [RAWSON et al., 2011]

Von der EFSA werden 3g/d eines mindestens 99,95% reinen Kreatinsupplements als nicht schädlich angesehen, während höhere Dosen für „Ladephase“ vermieden werden sollten [www.efsa.europa.eu, Zugriff am 8. April 2012]. Die meisten der angeführten Studien überschreiten diese 3g/d, die dem täglichen Umsatz an Kreatin entsprechen, deutlich. Die langfristige Sicherheit ist nicht gewährleistet.

20% des Kreatinspeichers im Muskel liegt in phosphorylierter Form vor. Das obere Limit für Kreatinspeicher im Muskel liegt bei 150-160 mmol/kg, welche durch Ernährung und Supplementation nicht nach oben verschoben werden kann. Was für Vegetarier von besonderem Vorteil sein kann, da diese durch die normale Ernährung normalerweise geringere Kreatinkonzentrationen im Muskel besitzen [GUALANO et al., 2011]. Wenn der Muskelkreatinegehalt durch Supplementation gesteigert werden kann, ist auch ein ergogener Effekt möglich [RAWSON et al., 2011].

Ergogene Eigenschaften einer Supplementation:

- erhöhtes PCr und Glykogen
- schnellere PCr-Resynthese
- Verstärkte Expression von Wachstumsfaktoren
- verminderter Muskelabbau und Entzündung
- dadurch erhöhtes Trainingsvolumen

zusammengefasst nach [RAWSON und PERSKY, 2007]

Unter Umständen kann Kreatin auch die Calcium Sensitivität der kontraktilen Proteine erhöhen. Dies geschieht durch die Reduktion der Ionenstärke, weil aufgrund von Kreatin auch osmotisch mehr Wasser gebunden wird. Es wird angenommen, dass die Leistungssteigerung aufgrund von erhöhter Resynthesierung von ATP durch erhöhtes PhosphorylKreatin geschieht.

[GUALANO et al., 2011].

Es gibt eine Vielzahl an Studien bezüglich seiner ergogenen Wirkung und der Großteil bestätigt sie [RAWSON et al., 2011; ZIEGENFUSS et al., 2002].

Laut EFSA besteht kein Zusammenhang zwischen Kreatinkonsumation und Ausdauerleistung- und belastbarkeit, aber für kurzzeitige, hochintensive, wiederholte Belastungsperioden [www.efsa.europa.eu, Zugriff am 10. April 2012].

Die Leistungssteigerung durch Kreatin erfolgt nicht sofort, sondern kann erst durch eine langsame Steigerung der Kreatinspeicher im Skelettmuskel erfolgen.

Sowohl die Hoch- als auch die Niedrigdosis Variante [HICKNER et al., 2010] der Kreatinsupplementation können die Kreatinspeicher im Muskel um 20% steigern und damit die Leistungsfähigkeit vor allem bei kurzen (<30 Sekunden) Belastungen, bei deren Energiebereitstellung das ATP-PCr System beteiligt ist [GUALANO et al., 2011].

Hickner et al. zeigten, dass eine hohe Ausgangskreatinkonzentration im Muskel (150mmol/kg) durch Kreatinsupplementation mit 3 g/d für 28 Tage weiter gesteigert werden konnte ($24 \pm 11\%$). Die Leistungssteigerung wurde für ein simuliertes Radrennen (2h) nicht bewiesen [HICKNER et al., 2010]. Levesque et al. konnten ebenfalls keinen leistungsfördernden Einfluss einer Kreatinsupplementation (20g/d für 6Tage) auf Sprintleistung während eines Radrennens berichten [LEVESQUE et al., 2007].

Positive Ergebnisse berichten Engelhardt et al. Die Sprintleistung von Rennradfahrern, gemessen bei Intervallbelastungen, kann durch 5 Tage Supplementation mit 6g Kreatin/d für gesteigert werden, gleich ob die Sprints während oder am Ende eines Rennens stattfinden [ENGELHARDT et al., 1998].

Bei hohen Ausgangskreatinkonzentration von Kreatin im Muskel kann eine Supplementation weniger Effekt zeigen, oder Kreatin hat aufgrund anderer Ursachen keine positiven Auswirkungen auf Ausdauerleistungen verbunden mit Sprints (erhöhte Körpermasse).

Die metabolischen, molekularen und physiologischen Effekte von Kreatinsupplementen in Kombination mit Krafttraining erhöhen die Muskelfasergröße mehr als Krafttraining alleine. Tennisspieler konnten in Tests keine verbesserte Schlagkraft erzielen, da es sich bei diesen Übungen mehr um Geschick und Technik handelt als um eine Frage der Energiebereitstellung [GUALANO et al., 2011].

Azizi zeigte, dass eine 6-tägige Kreatinsupplementation mit 4*5g/d Maximalkraft und Sprintleistung beim Laufen signifikant verbessern kann. 25- und 50 m Schwimmzeiten wurden nicht signifikant verbessert [AZIZI, 2011]. Dabei handelte es sich um eine kurzfristige Supplementierung. Eine längere Supplementierung könnte eventuell bessere Ergebnisse bezüglich der Schwimmleistung hervorbringen, oder beim Schwimmen handelt es sich nicht um eine Sportart die stark durch die Maximalkraft beeinflusst werden kann.

Generell kann von einer verbesserten sportlichen Leistung gesprochen werden, wenn die Athleten Kreatin supplementieren und Krafttraining betreiben, falls Krafttraining im Allgemeinen im Sport hilfreich ist, während es für gewichtsorientierte Sportarten leistungsvermindernd sein kann [GUALANO et al., 2011]

Nebenwirkungen

Die Sicherheit von Kreatin wird diskutiert.

Kreatin wird als sicheres, effektives und kostengünstiges Supplement angesehen mit positiven Wirkungen für Athleten verschiedener Sportarten, ältere Personen und Patienten [GUALANO et al., 2011].

Kreatin ist ein Derivat der Aminosäure Glycin. Es trägt zur Energieversorgung des Muskels bei. Die höchste Konzentration kommt im Skelettmuskel vor. Es soll Leistung erhöhen, Ermüdung verzögern, Regeneration des Energiestoffwechsels verbessern, Muskelwachstum und Kraft erhöhen. Auf der anderen Seite wird es auch mit gastrointestinalen Beschwerden, Muskelkrämpfen, Diarrhöen und renalen Dysfunktionen in Zusammenhang

gebracht [MORET et al., 2011].

Die verschiedenen Kreatin Formen (Kreatin-chelat, Kreatin-Malat, Kreatin Ethyl Ester, Kreatin alpha Ketoglutarat, Kreatin Citrat und Kreatin Pyruvat, Kreatin Phosphat) werden kommerziell entweder in reiner Form oder in Kombination mit anderen Substanzen angeboten [MORET et al., 2011].

Giese und Lecher berichten, dass Kreatin Ethyl Ester zu Kreatinin zyklisiert und nicht zu Kreatin hydrolysiert wird. Ein ergogener Effekt von Kreatinin ist nicht zu erwarten [GIESE und LECHER, 2009].

Es existieren zwei verschiedene Synthesemöglichkeiten für Kreatin.

Mangelnde Qualität der Ausgangsmaterialien der Synthese aus Natrium- oder Kaliumsarcosinat und Cyanamid, nicht optimale Reaktionsbedingungen und unzureichende Reinigung erhöhen das Auftreten von Verunreinigungen wie Kreatinin, Dicyandiamid (TDI= 1mg/kgKG/d) und Derivaten von Dihydro-1,3,5-triazin. Dicyanidine wird im sauren Milieu des Magens in Blausäure umgewandelt, welche toxischer wirkt. Auf dem alternativen Syntheseweg über Sarcosin und S-Methylisothiurea kann Thioharnstoff entstehen, welcher von der IARC aufgrund der Cancerogenität für den Menschen nicht klassifizierbar ist (Gruppe 3). Kreatinin entsteht sowohl im menschlichen Stoffwechsel als auch bei der Synthese durch Zyklisierung von Kreatin. Es verfügt über keine leistungssteigernde Fähigkeit. Ein ADI muss erst festgelegt werden.

Verunreinigungen wurden immer festgestellt. An erster Stelle Kreatinin.

Mittels HPLC wurden 33 auf dem italienischen Markt frei erhältliche Kreatinprodukte getestet. 50% der analysierten Produkte übertrafen die von der EFSA erlaubte Höchstmenge an mindestens einer Verunreinigung. Am häufigsten war Kreatinin erhöht (über 100mg/gkg). KRE-Akalyn R waren am häufigsten mit Dicyandiamid verunreinigt (über 50mg/kg)[MORET et al., 2011][monographs.iarc.fr, Zugriff am 8. Mai 2012].

Kreatin im Ausdauersport

Kreatin kann im Ausdauersport ebenfalls positive Eigenschaften aufweisen.

Santos et. al. haben die Effekte von Kreatinsupplementation in einer placebo-kontrollierten Doppelblindstudie auf Inflammation und Muskelkater untersucht. Die Marker dafür waren Kreatinkinase (CK), Laktatdehydrogenase (LDH), Prostaglandin E2 (PGE2) und Tumor Nekrose Faktor (TNF- α). Diese wurden an trainierten Ausdauerathleten (Marathonbestzeit zwischen 2,5 und 3 Stunden) gemessen. Es wurde ein 30 km Wettlauf absolviert. Die Supplementation (n=18) betrug 5 Tage vor dem Rennen 4*5g Kreatin mit Maltodextrin täglich. Die Kontrollgruppe (n=16) erhielt dieselbe Menge an Maltodextrin. Blutproben wurden direkt vor dem Rennen und 24 Stunden nach Beendigung des Rennens genommen. Nach dieser Zeit werden die stärksten Anzeichen von Muskelkater und die höchsten CK-Werte erwartet. Die Kontrollgruppe zeigte 4,4-fach erhöhte CK Werte, 6,6-fach erhöhte PGE2 und 2,34-fach erhöhte TNF- α . LDH war um 43% erhöht, was für ein hohes Maß an Zellschädigung und Inflammation spricht. Die Kreatinsupplementation milderte den Anstieg von CK um 19%, PGE2 um 60,9%, TNF- α um 33,7% (p<0,05). Kreatin konnte den LDH Anstieg ausgleichen. Die Athleten beider Gruppen absolvierten die 30 km in Zeiten nahe ihren persönlichen Bestleistungen (+/- 5,8%). Es wurden während der Supplementation und dem Rennen keine Nebenwirkungen wie Krämpfe, Dehydrierung oder Durchfall beobachtet. Eine leistungssteigernde Wirkung im Ausdauersport wurde nicht bewiesen [SANTOS et al., 2004].

Van Schuylenbergh et al. untersuchten die Effekte einer einwöchigen Supplementierung mit 2*3,5g Kreatinpyruvat/d an 14 gut trainierten Radfahrern. Leistung und Blutlaktat waren bei Test- und Kontrollgruppe ähnlich. Es konnte keine Veränderung der Ausdauer und der Sprintleistung festgestellt werden. [Van SCHUYLENBERGH et al., 2003]. Kreatinsupplementation könnte generell oder nur für die Belastungen beim Radfahren wirkungslos sein oder das

gewählte Supplementierungsschema war zu kurzfristig.

Rawson et al. zeigten, dass eine niedrigdosierte Kreatinsupplementation mit 2,3g/d über 6 Wochen die Kreatinkonzentration im Plasma signifikant (+182%) steigern kann. Es wurden keine Gewichtszunahme oder Veränderungen der Körperzusammensetzung berichtet. Die Maximalkraft wurde nicht beeinflusst, während Resistenz gegen Ermüdung bei wiederholten Krafttrainingssätzen verbessert war. Für das Ziel der verbesserten Ermüdungsresistenz sind hohe Dosierungen, sog. "Ladephase" von 20g über 5 Tage nicht notwendig [RAWSON et al., 2011]. Ob und wie stark der Muskelkreatin Gehalt verändert wurde, wird nicht berichtet.

Auswirkungen von Kreatin auf Myostatin

Myostatin, als Teil der TGF- β Familie, wirkt auf Muskeln als Wachstumsinhibitor. Skelettmuskeln reagieren auf durch Genmutation verursachten Myostatinmangel mit Hypertrophie [SCHUELKE et al., 2004]. Myostatinüberschuss wird begleitet von Muskelatrophie [ZIMMERS et al., 2002].

GASP-1 ist ein Proteaseinhibitor der an Myostatin und seinem Propeptid bindet und kann dadurch die Funktion von Myostatin regulieren. GASP-1 ist ein Myostatininhibitor. Saremi et al. haben die Auswirkungen von Krafttraining und oraler Kreatinsupplementation auf Myostatin, GASP-1, Muskelkraft und die Körperzusammensetzung von 27 gesunden, männlichen Probanden in einer Doppelblinden placebokontrollierten Studie untersucht.

Die Probanden wurden in 3 Gruppen aufgeteilt. Kontrollgruppe: Kein Krafttraining plus Placebo oder Kreatin (CON, n=8); Krafttraininggruppe plus Kreatin (RT+CR, n=8) und eine Krafttrainingsgruppe plus Placebo (RT+PL, N=8). Die Untersuchungen wurden nach 0, 4 und 8 Wochen durchgeführt. Kreatinmonohydrat wurde in Kapselform eine Woche 0,3g/kg/d aufgeteilt auf 3 Rationen und die restlichen 7 Wochen 0,05g/kg/d supplementiert. Das Placebo

(Cellulosekapseln) wurde in derselben Menge verabreicht. Während der Kreatinsupplementation wurden keine Nebenwirkungen berichtet.

Bei den Probanden handelte es sich um körperlich aktive Personen, die aber in den letzten 6 Monaten kein strukturiertes Gewichtstraining absolviert haben. Es konnten in der RT+CR Gruppe sowohl fettfreie Körpermasse als auch Körperkraft im Vergleich zur RT+PL Gruppe signifikant gesteigert werden.

Myostatin im Serum nahm in RT+CR und RT+PL Gruppe ab, wobei die Abnahme bei RT+CR signifikant grösser ausfiel. GASP-1 stieg bei beiden Krafttrainingsgruppen an, wobei aber kein Unterschied war ob Placebo oder Kreatin eingenommen wurde. Kreatinsupplementation kann in Kombination mit Krafttraining die Abnahme am Serummyostatin verstärken. Dadurch wird die Kraftleistung und Muskelmasse erhöht. Um den Effekt der höheren möglichen Trainingsbelastung durch Kreatin auszuschalten wurden im Versuch gleiche Trainingsbelastungen für alle Gruppen gewählt. Somit sind die Veränderungen nur auf die Substanz Kreatin selbst und nicht auf die vermehrte Trainingsbelastung zurückzuführen. Ein signifikanter Anstieg der Kreatininkonzentration im Harn bei RT+CR wurde beobachtet. Der physiologische Stoffwechselweg über den Kreatin die Myostatinkonzentration beeinflusst ist in der Studie nicht geklärt worden [SAREMI et al., 2010].

Kreatin kann sogar die Inzidenz von Trainingsverletzungen verringern [KREIDER et al., 2010].

A.9. Koffein

Koffein zählt zu den ältesten Genuss- und Arzneimitteln. Enthalten ist es in Kaffee (50-175 mg/Portion zu 250ml), Schwarztee (40-60mg/Portion zu 250 ml), Energydrinks (80-150mg/Portion zu 250 ml) und Colagetränken (35-50mg/Portion zu 355ml). Die Konzentrationen können in Naturprodukten und durch die Art der Zubereitung schwanken. Neuerdings werden auch Sportgetränke und energieliefernde Gels mit Koffein versetzt [TARNOPOLSKY,

2010].

Im Jahr 2004 wurde Koffein von der WADA-Doping Liste entfernt und sein Einsatz im Sport ist damit nicht mehr verboten [www.wada-ama.org, Zugriff am 22. Februar 2012].

Cox et al. untersuchten die Auswirkungen unterschiedlicher Koffeindosierungen (6mg/kg KG 60 Minuten vor oder während der Belastung) auf den Stoffwechsel und die Leistungsfähigkeit beim Fahrradfahren bei den Empfehlungen für Ausdauersportlern entsprechender Energie- und Flüssigkeitsversorgung an 18 guttrainierten Triathleten ($VO_{2max} > 60 \text{ml/kgKG/min}$). Die Effekte wurden im Vergleich zu Konsumation von Coca-Cola untersucht. Es wurde ein leistungssteigernder Effekt nachgewiesen, sowohl bei Supplementierung vor und während der Belastung. Coca Cola Konsumation zeigte ebenfalls einen leistungssteigernden Effekt, der auf die Kombination der verabreichten Kohlenhydrate und des Koffeins zurückgeführt wird. Es wurden keine Unterschiede bezüglich der oxidierten Substrate durch Messung des respiratorischen Quotienten festgestellt. Die beobachtete Leistungssteigerung wird mit der Wirkung von Koffein auf das ZNS (Aktivierung größerer motorischer Einheiten, Verminderung der Müdigkeitssignale) und direkte Wirkung auf die Skelettmuskeln begründet [COX et al., 2002].

Del Coso et. al. Untersuchten die Auswirkungen von Koffein auf die Maximalkraft in den Übungen Bankdrücken und Halbkniebeuge an Personen, die die letzten 3 Monate kein Krafttraining absolviert haben in einer doppelblinden, placebokontrollierten Studie. 1mg/kgKG reichte nicht aus, um die Maximalkraft zu steigern. 3mg/kgKG konsumiert 60 Minuten vor Belastung konnten die Muskelkraft signifikant steigern [Del COSO et al., 2012].

Durch Koffein können die Wahrnehmung von Müdigkeit, Belastung und Schmerzen reduziert werden [GANIO et al., 2011].

Tarnopolsky fasst in seinem Review folgendes zusammen. Nach 30-90 Minuten ist die höchste Konzentration im Plasma erreicht. Die Halbwertszeit beträgt ca. 5 h. Koffein wirkt als Stimulans generell anregend. Der Abbau von Koffein erfolgt in der Leber. Die Ausscheidung erfolgt über die Nieren. Auf zellulärer

Ebene kann Koffein die Aktivität der Na-K-Pumpe beeinflussen, cAMP erhöhen, direkt Enzyme beeinflussen und die Adrenalinwirkung verstärken [TARNOPOLSKY, 2010].

Bell et al. verglichen die unterschiedlichen Effekte einer Koffeinsupplementierung von 5mg/kgKG bezüglich Leistungssteigerung an Personen, die regelmässig Koffein konsumierten (>300mg Koffein/d; n=13), und Personen die weniger Koffein konsumierten (<50mg Koffein/d; n=8) 1, 3 und 6 Stunden nach der Supplementierung. Beide Gruppen waren regelmässig körperlich aktiv (VO₂max 51±8 ml/kg/min). Koffein verlängerte die Zeit zur Erschöpfung signifikant. Bei Personen, die nicht regelmässig Koffein konsumierten waren die Auswirkungen größer und nach 6 Stunden noch nachweisbar, die Leistungssteigerung war bei den regelmässigen Konsumenten nach 6 Stunden nicht mehr so stark ausgeprägt. 5 mg Koffein pro kg Körpergewicht dürften für Personen, die wenig Koffein konsumieren, bessere Effekte bezüglich einer Leistungssteigerung haben als für regelmässige Konsumenten [BELL et al., 2002].

Ganio et al. untersuchten die Effekte einer moderaten Koffeinsupplementation (3mg/kgKG/d) an elf gut trainierten Radfahren, die an Wettkämpfen teilnehmen und täglich geringe Mengen Koffein konsumieren (durchschnittlich ca.50mg). Koffein kann Leistungssteigerung bewirken, da es die Wahrnehmung der Anstrengung und Muskelschmerzen verändert. Der Hauptwirkungsort ist das zentrale Nervensystem. Thermoregulation, Hydratationsstatus, Temperaturempfinden und Durst werden durch moderate Koffeingabe nicht beeinflusst. Hohe Temperaturen wirken sich negativ auf körperliche Leistungsfähigkeit aus, da das Schmerzempfinden höher ist. Eine moderate Koffeinsupplementation (3mg/kgKG/d) zeigte aber leistungssteigernde, stimmungsaufhellende Wirkung [GANIO et al., 2011].

5mg Koffein pro Tag zeigten eine signifikante Leistungssteigerung an 7 von 9 Personen, die wöchentlich mindestens 5 Stunden trainierten, an 2 separaten Tagen bei einem 10km Fahrradzeitfahren [ASTORINO et al., 2012].

Nebenwirkungen von Koffein können Beklemmung, Nervosität, erhöhte

Herzfrequenz, gastrointestinale Störungen und Schlaflosigkeit sein. Unerfahrene Anwender können durch Supplementation leistungshemmende Effekte erfahren [DUBNOV-RAZ et al., 2011].

B. Datenlage unzureichend

B.1. Aminosäuren

Kraemer et al. untersuchten die Auswirkungen von 0,4g/kgKG/d Aminosäuresupplement (aufgeteilt auf 4 Dosen) auf die Kraftleistung und Muskelschädigung in einer doppelblinden, placebokontrollierten Studie an Personen mit mindestens 2 Jahren Krafttrainingserfahrung. Einwiederholungsmaximum (1RM) beim Kniebeugen konnte durch Supplementation gesteigert werden. Hämoglobinwerte waren nur in der Kontrollgruppe vermindert. Harnsäurewerte stiegen bei Supplementation nicht an, während sie in der Kontrollgruppe anstiegen, was aber keine Bedeutung für die Leistung hatte. Der Anstieg an Kreatinkinase fiel bei Supplementation signifikant geringer aus. Erhöhte Kreatinkinasewerte waren mit verminderter 1RM verbunden. Der Verlust an Muskelkraft konnte durch Supplementation ausgeglichen werden. Erhöhte Harnsäurewerte können auf intrazelluläres Energiedefizit (durch verstärkte Stimulation des Purin-Nukleotid-Zyklus) rückschließen lassen und können als Indikator für Trainingsstress angesehen werden. Die supplementierten Aminosäuren zeigten auch einen positiven Effekt auf die freien Androgene, wie z.B. Testosteron, die für Muskelaufbau und Regeneration wichtig sind, und Bluthämoglobinkonzentration [KRAEMER et al., 2006]. Die Zufuhr von 3 bis 6g an essentiellen Aminosäuren vor oder nach dem Training stimuliert die Proteinsynthese, was zu einem vermehrte Muskelaufbau führen kann. Eine, an im Wachstum befindlichen Ratten durchgeführte Studie ergab, dass BCAA und die Supplementation von essentiellen Aminosäuren in der gleichen Steigerung der Proteinsynthese resultierte. BCAA werden als

Schlüsselaminosäuren der Proteinsynthese angesehen. ISSN sieht BCAA als Stimulator der Proteinsynthese und der Glykogenresynthese an [KREIDER et al., 2010].

Ebenfalls wird davon ausgegangen, dass BCAAs den Müdigkeitseinbruch verzögert und Mentalfunktionen bei aerober Belastung aufrecht erhält [BLOMSTRAND et al., 1991]. BCAA in Kombination mit Kohlenhydraten vor, während und nach der Belastung werden als sicher und effektiv angesehen. [KREIDER et al., 2010], während aber kein leistungssteigernder Effekt auf Ausdauerbelastungen einer BCAA-Supplementation berichtet wird [UCHIDA et al., 2008; WATSON et al., 2004].

Die Datenlage scheint diffus zu sein.

Von der EFSA wird kein Zusammenhang zwischen BCAA-Supplementierung und Muskelaufbau bzw. -erhalt und -kraft, rascherer Regeneration, verminderter Belastungswahrnehmung und verbessertem Immunsystem gesehen [www.efsa.europa.eu, Zugriff am 9. März 2012].

Aminosäuren Taurin, L-Glutamin und L-Arginin

Dabei handelt es sich um drei Aminosäuren, die in der Sporternährung häufig als Supplemente eingesetzt werden. Tier- und Humanstudien deuten darauf hin, dass eine Supplementierung dieser Aminosäuren bessere gesundheits- und leistungsfördernde Wirkung haben, als die Konsumation dieser aus normalem Protein [SHAO und HATHCOCK, 2007].

B.2. Taurin

ist zwar keine proteinogene Aminosäure, aber wichtig für die Konjugation der Gallensäure, Retina und neurologische Entwicklung, Osmoregulation und das Immunsystem. Taurin gilt als nicht-essentiell oder bedingt-essentiell z.B. für

Kleinkinder. Gute Quellen für Taurin sind Muttermilch [BROSNAN und BROSNAN, 2006], Fleisch und Fisch [RANA und SANDERS, 1985].

Positive Eigenschaften werden Taurinsupplementation zugesprochen bei Diabetes, Bluthochdruck, Herzinsuffizienz, Retinadegeneration und Muskelerkrankungen. Der hohe Gehalt an Taurin im Muskelgewebe und die Funktion der Osmo- und Calciumregulation sind Grund für das häufige Vorkommen in Sporternährung und „EnergyDrinks“ [SHAO und HATHCOCK, 2007].

Die tägliche Aufnahme aus der durchschnittlichen Ernährung beträgt ca. 40-400mg/d. Außer für strikte Vegetarier, deren Aufnahme durch die tägliche Ernährung sehr gering sein kann, oder zur Leistungssteigerung ist eine Supplementation nicht notwendig [SHAO und HATHCOCK, 2007]. Nähere Erklärungen bezüglich der Leistungssteigerung werden nicht gegeben.

Zhang et al. berichten über einen signifikanten Zusammenhang zwischen durch Supplementation erhöhter Taurinspiegeln und VO_{2Max} und Zeit zur Erschöpfung. Taurin könnte durch zellprotektive Eigenschaften belastungsinduzierte DNA-Schäden abschwächen [ZHANG et al., 2004].

Von der EFSA wird kein Zusammenhang zwischen Taurinsupplementation und Verzögerung der Müdigkeit bei körperlicher Aktivität, Herzfunktion und kognitiver Fähigkeit gesehen [www.efsa.europa.eu, Zugriff am 2. April 2012].

B.3. L-Glutamin

Glutamin ist die im Muskel und Plasma am häufigsten vorkommende Aminosäure. Sie ist wichtig für den Stickstoffmetabolismus (Aminotransfer, Gluconeogenese, Synthese von Harnstoff und Nukleotiden und Neurotransmitter Ausgangsstoffen). Es gilt als anaboler Precursor, spielt im Säure-Basenhaushalt der Niere eine wichtige Rolle, und liefert dem Darm und Immunsystem Energie. Ort der Synthese aus Glutamat sind vor allem Muskel, Lunge, Gehirn, Fettgewebe und Leber [SHAO und HATHCOCK, 2007]. Haub et

al. konnten keinen Effekt von L-Glutamin auf Blutpufferkapazität oder Leistung am Fahrradergometer nachweisen [HAUB et al., 1998].

Antonio et al. untersuchten die Wirkung von hochdosierter Glutaminsupplementation (0,3g/kg KG/d) an 6 trainierten Athleten bezüglich Steigerung der Krafftleistung, konnten aber keinen Effekt über die kurze Supplementierungsphase feststellen. [ANTONIO et al., 2002].

Eine Langzeit-supplementation führte auch nicht zu verbesserten Trainingsadaptionen. Candow et al. untersuchten die Auswirkungen einer 6-wöchigen L-Glutaminsupplementation (0,9g/kg Magermasse/d) an 31 Probanden auf die Kraftentwicklung und den Proteinabbau (anhand von 3-Methylhistidin im Harn) und konnten keinen leistungssteigernden oder muskelsparenden Effekt feststellen [CANDOW et al., 2001].

Glutamin gilt für manche als bedingt essentielle Aminosäure aufgrund seiner Funktion für Schwerkranke oder Traumapatienten [TAPIERO et al., 2002].

Gute Quellen für Glutamin sind Fleisch, Fisch, Geflügel, Bohnen und Milchprodukte. Die tägliche Aufnahme beträgt ca 5g/d. Neben den antikatabolen Eigenschaften bei Kachexie, Trauma oder Marasmus sind auch andere therapeutische und ergogene Eigenschaften (vor allem bei Krafttraining) diskutiert [SHAO und HATHCOCK, 2007].

Viele Hersteller empfehlen L-Glutaminsupplementation in der Höhe von 1g/d. Diese Empfehlungen basieren aber auf unkritischer Evaluierung der Literatur. Keine positiven Auswirkungen auf das Immunsystem, Glykogensynthese, Muskelkatabolismus werden an ausgewogen ernährten Personen später berichtet [GLEESON, 2008].

Glutamin steigerte die Proteinsynthese und das Zellvolumen zwar bei Ratten in vitro [LOW et al., 1996] und stimulierte Glykogensynthese [KREIDER et al., 2010; VARNIER et al., 1995]. Kreider et al. schreiben über Glutamin, dass kaum Beweise für den Aufbau fettfreier Masse bestehen und Empfehlungen für eine anabole Wirkung von L-Glutamin auf eine Studie von Colker [COLKER et

al., 2000] beziehen. Colker et al. haben einen anabolen Effekt von Molkenprotein angereicht mit 5 g Glutamin und 3 g BCAA festgestellt. Dieser anabole Effekt dürfte aber auf die BCAA-Anreicherung zurückzuführen sein [KREIDER et al., 2010]. Ein zusätzlicher Nutzen bezüglich Muskelproteinsynthese einer Glutaminverabreichung konnte nicht festgestellt werden [ZACHWIEJA et al., 2000].

Von der EFSA wird kein Zusammenhang zwischen Glutaminsupplementation und einer Verbesserung des Immunsystems allgemein und nach körperlicher Betätigung gesehen [www.efsa.europa.eu, Zugriff am 23. März 2012].

B.4. L-Arginin

L-Arginin ist eine bedingt essentielle Aminosäure. Sie übt wichtige Funktionen in der Bildung von physiologischen Faktoren, wie NO (Stickoxid, Vasodilator) Harnstoff, Kreatin, Proteinen, Wachstumshormon aus. Ort der Synthese aus Aspartat und Citrullin sind Niere und Leber. Gute Quellen sind pflanzliche Proteine wie Soja. Über die tägliche Ernährung werden ca. 3-6g/d aufgenommen. Die tägliche Proteinaufnahme reicht aus um die endogene Synthese bedarfsdeckend zu gestalten [SHAO und HATHCOCK, 2007].

Bei Erkrankungen, die mit Katabolie einhergehen, oder Wachstumsschüben kann der Bedarf höher sein als die endogene Synthese. Für solche Fälle kann eine orale oder parenterale Supplementation hilfreich sein, magere Körpermasse zu erhalten und Wundheilung zu verbessern. Ebenfalls von Vorteil können ihre Eigenschaften bezüglich NO-Synthese und Wachstumshormonsekretion und Proteinsynthese sein. Diese Eigenschaften sind unter anderem Grund dafür, weshalb L-Arginin Einzug in die Sporternährung gefunden hat [PADDON-JONES et al., 2004].

Bis zu 30 g/d wurden in Studien als Supplement ohne Nebenwirkungen eingesetzt [HURSON et al., 1995].

Shao und Hathcock erwähnen als mögliche Nebenwirkungen von Arginin

arterielle Hypotonie, Tumor-Stimulation, Acidose, Hyperkaliämie und Herzstillstand. Diese beruhen aber auf Case reports, unkontrollierten Studien, parenteraler Ernährung oder bestätigter Überdosis. Shao und Hathcock stellten aber keine negativen Effekte bei keiner Dosierung fest, ausser gastrointestinale Beschwerden, die in unkontrollierten Studien beobachtet wurden [SHAO und HATHCOCK, 2007].

Arginin Alpha Ketoglutarat

Arginin ist eine glucogene Aminosäure, da sie metabolisiert zu Alpha-Ketoglutarat in den Citronensäurezyklus eingeschleust werden kann.

Campbell und sein Team untersuchten die Effekte einer L-Arginin alpha-Ketoglutarat Supplementation bezüglich Steigerung der Maximalkraft und isokinetischer Quadrizeps Kraftausdauer an trainierten Personen.

Supplementiert wurden 3*4g/d über 8 Wochen. Es konnte für Arginin Alpha Ketoglutarat eine signifikante Steigerung der Maximalkraft nachgewiesen werden (AAKG 8,82 +-7,33; PLA 2,67+-9,11). Blutglucose und Plasmaargininspiegel konnten gesteigert werden, während die Körperzusammensetzung, Muskelhypertrophie, Körperwasser, Kraftausdauer und aerobe Kapazität nicht beeinflusst wurden. Die Autoren fassen die Ergebnisse als leistungssteigernd zusammen, verweisen aber auf die Notwendigkeit weiterer Untersuchungen an sowohl trainierten als auch untrainierten Personen um die leistungssteigernden Eigenschaften abzusichern. Es wurden durch Supplementationen keine klinischen Parameter verändert und die Autoren gehen von einer Sicherheit der Substanz aus. Das Supplement zeigte positive Auswirkungen bezüglich Hämoglobin, da in der Kontrollgruppe die Hämoglobinkonzentration abnahm und bei Supplementation keine Veränderung eintrat. Die leistungssteigernde Wirkung kann auch auf vermehrter Kreatinsynthese basieren, da Arginin eine von drei beteiligten Aminosäuren ist [CAMPBELL et al., 2006]. Die in der Kontrollgruppe

aufgetretene Verminderung der Hämoglobinkonzentration könnte aus dem vermehrten muskulären Stress resultieren. Dieser Stress könnte durch die Gabe von Arginin-Alpha-Ketoglutarat kompensiert worden sein.

Die Hämoglobin-senkenden Auswirkungen von Krafttraining wurden durch Supplementation mit 0,4g/kgKG/d an essentiellen und bedingt essentiellen Aminosäuren kompensiert. Es wurde eine „naehzu typisch amerikanische Ernährungsweise“ mit 55% Kohlenhydraten, 30% Fett und 15% Protein gewählt [KRAEMER et al., 2006]. Weitere Aussagen zur Zusammensetzung der Diät wurden nicht getroffen.

Eine Argininsupplementation zeigte positive Effekte auf endotheliale Dysfunktionen und Leistungssteigerung durch vermehrte Stickstoffmonoxidsynthese bei Patienten mit cardiopulmonaren Erkrankungen. Laktat und Ammoniakspiegel konnten durch Supplementation von Arginin gesenkt und Ermüdung dadurch verringert werden [LIU et al., 2009].

Liu et al. untersuchten die Auswirkungen einer Kurzzeitsupplementation auf aerobe Leistungen an trainierten Personen. Es wurden 6g/d Arginin für 3 Tage supplementiert und die Leistung am Fahrradergometer überprüft. Diese unterschied sich aber nicht von der Kontrollgruppe. Es konnte keine Leistungssteigerung durch Kurzzeitsupplementation festgestellt werden. In beiden Gruppen wurde eine Steigerung der Konzentrationen an Nitrit, Nitrat und Citrullin im Plasma festgestellt. Die Werte der Supplementgruppe unterschieden sich nicht von denen der Testgruppe. Weder Leistung noch Laktat oder Ammoniakspiegel veränderten sich durch Kurzzeitsupplementation mit Arginin. Für gut trainierte Athleten ist die Wirkung der Argininsupplementation bezüglich einer vermehrten NO-Synthese und Verminderung von Ammoniak und Laktat noch weiter zu untersuchen [LIU et al., 2009].

Die EFSA sieht keinen kausalen Zusammenhang zwischen Argininsupplementation und Vasodilatation, Erhaltung eines normalen Blutdruckes und Wachstum oder Erhalt von Muskelmasse [www.efsa.europa.eu, Zugriff am 10. März 2012].

B.5. Kolostrum

Kolostrum ist die Milch, die innerhalb der ersten Tage nach der Kalbung von der Kuh gebildet wird. Es enthält viel Protein und neben Wachstumsfaktoren, Immunoglobuline und Hormone. Das Kolostrum des ersten Tages enthält die höchste Konzentration an Hormonen und Wachstumsfaktoren.

Von der schweizer Dopingagentur wird es als Klasse B Supplement geführt. Es zeigte positive Eigenschaften bezüglich der Regeneration nach Ausdauerbelastung. Die Ergebnisse hinsichtlich Kraftentwicklung, Muskelaufbau und Körperzusammensetzung und Immunfunktion sind diffus. Dementsprechend wird dafür keine Empfehlung abgegeben.

[www.antidoping.ch, Zugriff am 20. Jänner 2012].

Die Anzahl der Studien bezüglich eines leistungssteigernden Effekts von bovinem Kolostrum ist relativ gering.

Brinkworth et al. untersuchten die Wirkung von 60 g Kolostrumsupplementierung pro Tag an trainierten und untrainierten Personen, konnten aber keine Veränderung der Körperkompartimente feststellen. Lediglich eine Zunahme der Gliedmaßen, welche aber durch vermehrte subcutane Fetteinlagerung und Verdickung der Haut zurückgeführt wird, konnte festgestellt werden [BRINKWORTH et al. 2003].

Antonio et al. untersuchten die Wirkung von 20 g Kolostrum pro Tag auf Körperzusammensetzung und Leistungssteigerung verglichen mit einer Molkenproteinsupplementierung. Es konnte eine Vermehrung der knochenfreien Magermasse festgestellt werden. Die untersuchten Leistungsparameter für Maximalkraft, Kraftausdauer und Ausdauer wurden nicht beeinflusst [ANTONIO et al., 2001].

Coombes et al. konnten eine kleine aber signifikante Leistungssteigerung bei einem 2-stündigen Fahrradrennen bei 65% der VO₂ max nachweisen. Körperzusammensetzung wurde nicht kontrolliert. Sowohl 20g als auch 60g

Kolostrum täglich über 8 Wochen zeigten positive Leistungsbeeinflussung verglichen mit Molkenproteinsupplementierung [COOMBES et al. 2002].

Hofman et al. untersuchten die Wirkung von täglich 60g Colostrumsupplementation an 17 weiblichen und 18 männlichen Elite-Feldhockeyspielern. Es konnten keine Unterschiede in der Ausdauerleistung und der Körperzusammensetzung beobachtet werden. Signifikant verbessert wurden nur die Ergebnisse im 5*10 m Sprint Test [HOFMAN et al., 2002].

Da die spezifischen Wirkmechanismen nicht geklärt sind, sind Studien notwendig. Berichte über negative Begleiterscheinungen einer Kolostrumsupplementation sind nicht bekannt. Bei Kolostrum handelt es sich um ein kostenintensives Supplement, von dem die Wirkung nicht abgesichert ist [www.antidoping.ch, Zugriff am 20. Jänner 2012].

B.6. Aminosäuren und ihre Auswirkungen auf Wachstumshormone

Chromiak und Antonio haben 2002 ein Review bezüglich des Einflusses von Aminosäuren auf die Wachstumshormonausschüttung verfasst.

Dem ambitionierten Athleten wird eine Fülle an Aminosäurenpräparaten mit dem propagierten Nutzen vermehrter Wachstumshormonausschüttung, die zu Zunahme an Muskelmasse und Kraft führen soll, angeboten. Sie können vor dem Training eingesetzt werden um eine trainingsinduzierte Wachstumshormonsekretion zu verstärken [CHROMIAK und ANTONIO, 2002].

Intravenöse L-Argininverabreichung zeigte die Steigerung der Wachstumshormonsekretion um ein vielfaches durch vermutete Unterdrückung der endogenen Somatostatinsekretion [CHROMIAK und ANTONIO, 2002].

Chromiak und Antonio verweisen auf alte Studien [MERIMEE et al., 1969; ROTH et al., 1988]. Dass ebenfalls Wachstumshormon-Releasing-Hormon und Diethylstilbestrol infundiert wurden, wird nicht erwähnt.

Andere infundierte Aminosäuren (Methionin, Phenylalanin, Lysin, Histidin,

Ornithin) zeigten ebenfalls eine starke Wirkung auf die GH-Sekretion. Wenig bis gar kein Effekt war bei Leucin, Isoleucin, Glutaminsäure, Asparaginsäure und Cystein auszumachen. Am häufigsten eingesetzt werden Arginin, Lysin und Ornithin. Der Effekt auf die Wachstumshormonsekretion einer oralen Supplementation scheint sehr gering zu sein, nimmt mit dem Alter ab und ist bei Männern kleiner als bei Frauen. Die Wachstumshormonsteigerung durch spezifische Aminosäuren fällt bei proteinreicher Ernährungsweise ebenfalls geringer aus. Körperliche Betätigung selbst zeigt positiven Einfluss auf die Wachstumshormonsekretion und Körperzusammensetzung welcher durch orale Supplementation aber nicht weiter gesteigert werden konnte. Die Autoren geben keine Empfehlung für den Einsatz oraler Aminosäuresupplement zur Steigerung von Muskelmasse und Kraft durch erhöhte Wachstumshormonsekretion [CHROMIAK und ANTONIO, 2002].

Es können sogar unerwünschte Resultate bezüglich vermehrter Ausscheidung von Wachstumshormonen auftreten. Collier et al. berichten über einen abschwächenden Effekt einer Argininsupplementation auf die wachstumshormonausschüttende Wirkung von Krafttraining [COLLIER et al., 2006]. Kreider et al. schreiben in ihrem Review, dass Wachstumshormon sezernierende Peptide und nicht-Peptide und andere Substanzen die Wachstumshormonausschüttung regulieren. Wachstumshormonausschüttende Peptide können in pharmazeutischer Qualität Wachstumshormone und den insulinähnlichen Wachstumsfaktor steigern. Durch diese Steigerung kommt es aber zu keinem vermehrten Muskelaufbau [KREIDER et al., 2010].

B.7. Carnosin

Carnosin besteht aus Beta-Alanin und Histidin. Bei beiden handelt es sich um Aminosäuren. Histidin ist eine proteinogene, nicht essentielle Aminosäure. Beta-Alanin wird vom Körper nicht in Proteine eingebaut. Bei Beta-Alanin handelt es sich um den limitierenden Faktor zur Carnosin-Synthese. Die Histidinversorgung wäre ausreichend. Daher kann durch eine beta-Alanin-

Supplementierung die Carnosin-Synthese angehoben werden. Eine Carnosin-Supplementierung ist weniger ratsam, da es bei der Verdauung wieder in beta-Alanin und in Histidin aufgespalten wird. Eine beta-Alanin Supplementierung reicht dementsprechend aus [HOFFMANN et al., 2008].

Im menschlichen Muskel finden sich ca. 1g/kg. Dieser Wert kann aber je nach Muskelfasertyp (schnelle Fasern haben höheren Gehalt), Ernährungsweise (Vegetarier haben niedrigere Werte), Geschlecht (Männer haben mehr Carnosin im Muskel), Alter (Jüngere haben mehr) und Trainingsstatus (Ausdauersportler niedrigere Werte als z.B. Sprinter) variieren. Carnosin findet sich vor allem in Muskelfasern des schnellen Typs (weiße Muskelfasern). Auch im Tierreich ist diese Verteilung relevant. Weißes Fleisch (z.B. Hühnerbrust) hat einen sehr hohen Gehalt. Beim Menschen finden sich in anaerob trainierten Sportlern die höheren Carnosin-Werte. Allerdings müssen diese Werte dahingehend untersucht werden, ob es sich dabei um Anpassungsreaktionen an das spezifische Training oder um eine genetisch bedingte Grundlage handelt [www.ausport.gov.au, Zugriff am 15. Februar 2012].

Die wichtigste Eigenschaft von Carnosin ist die Säurepufferung. Die intrazelluläre Pufferkapazität wird zu ca. 7% durch Carnosin beeinflusst [MANNION et al., 1992].

Derave et al. untersuchten die Auswirkungen einer 4-wöchigen Beta-Alanin Supplementierung (4 Tage 2,4g; weitere 4 Tage 3,6g; danach 4,8g täglich aufgeteilt auf mindestens 6 Einzelgaben zu 400mg) auf den Carnosingehalt und die Leistungsbeeinflussung an 15 gut trainierten Sprintern. Die Sprinter verfügen über hohe Ausgangskonzentrationen (>12 mmol/l) an Carnosin im Muskel. Daher kann die Steigerung der Carnosinkonzentration unabhängig von der Veränderung des Trainingszustandes beobachtet werden. Die Carnosinkonzentration konnte durch Supplementation signifikant (+47% im M. soleus, +37% im M. gastrocnemius) gesteigert werden. Die Kraftsteigerung konnte anhand von isokinetischer Kniestreckung signifikant nachgewiesen werden. Im 400 m Sprint zeigte sich keine Leistungsverbesserung. Es wird aber

vermutet dass bei einem 400 m Rennen der pH-Abfall nicht der limitierende Faktor ist. Die Säurepufferung wird als wichtige Funktion von Carnosin genannt [DERAVE et al., 2007].

Baquet et al. bewiesen eine starke signifikante Korrelation zwischen Carnosin Gehalt und Ruderleistung bei 100, 500 und 6000 m. Eine Supplementierung mit 5 g beta-Alanin pro Tag über 7 Wochen resultierte in einem Anstieg (+45%) der Carnosinkonzentration im M. soleus. Ein hoher Carnosin Gehalt war auch mit der Fähigkeit verbunden, hohe Leistungen länger durchzuhalten. Carnosin kann dementsprechend helfen, eine Acidose besser zu ertragen. Es wurden keine Nebenwirkungen berichtet [BAQUET et al., 2010; TARNOPOLSKY, 2010].

Baquet et al. deuten an, dass positive Eigenschaften erst bei Belastungen über mehrere Minuten beobachtet werden [BAQUET et al., 2010]. Suzuki et al. konnten positive Effekte bereits nach 20 Sekunden maximaler Belastung am Fahrradergometer nachweisen [SUZUKI et al., 2002].

Ebenfalls konnte die Sprintleistung am Ende einer Ausdauerbelastung verbessert werden [Van THIENE et al., 2009].

Bei der einmaligen Einnahme von 10mg/kg kommt es nur zu einer geringen Erhöhung der Blutkonzentration. Höhere Dosierung und ein damit verbundener stärkerer Anstieg kann aber zu Parästhesie (Kribbeln, Hitzewallungen, Sensibilitätsstörungen) führen. Vorteilhaft ist daher die zeitliche Trennung der Supplementierung oder die Verwendung von „slow-release-Supplementen“, falls höhere Dosierungen verwendet werden sollten [HARRIS et al., 2008].

Dabei handelt es sich um eine Studie an 3 Probanden, die mit einem Markenprodukt durchgeführt wurde. Berichte über Nebenwirkungen wurden in den anderen erwähnten Studien nicht gefunden.

Als Alternative zu Bicarbonat/Citrat als Supplement findet Carnosin/B-Alanin Verwendung, kann aber auch zusätzlich eingesetzt werden, da Carnosin die intrazelluläre Pufferkapazität und Bicarbonat/Citrat die extrazelluläre

Pufferkapazität steigern kann [www.ausport.gov.au, Zugriff am 15. Februar 2012].

Keine Leistungssteigerung wurde bei Sprinttests [SAUNDERS et al., 2012] und bei 4 minütigen Radsprints [BELLINGER et al., 2012] beobachtet.

Die Datenlage deutet auf eine Steigerung des Carnosingehalts durch beta-Alanin Supplementierung hin. Bezüglich der effektiven Leistungssteigerung müssen weitere Studien durchgeführt werden, um Klarheit zu schaffen.

B.8. BCAA und das Immunsystem

Immunsuppression kann bei langen Ausdauertrainingseinheiten auftreten. Natürliche Killerzellen, lymphokinaktivierte Killerzellen und Lymphozyten können betroffen sein. Verminderte cytolytische Aktivität neutraler Killerzellen, verminderte Zahl an T-Lymphozyten 3-4 h nach Belastung, verminderte proliferative Fähigkeit der Lymphozyten und reduziertes Verhältnis von T-Helferzellen zu T-Suppressorzellen. Es gibt verschiedene Ursachen dafür. Veränderungen im endokrinen System und des Plasmaglutaminlevels können involviert sein. Glutamin liefert Makrophagen und Lymphozyten Energie und ist dadurch für immunostimulatorische Effekte mitverantwortlich. Nach langen Belastungen sinkt der Plasmaglutamingehalt. Daher wird vermutet, dass die orale Supplementation von Glutamin positive Auswirkungen auf das Immunsystem von Ausdauerathleten hat [CASTELL und NEWSHOLME, 1997]. BCAA sind Ausgangsstoffe in der Glutaminsynthese und können dadurch als Supplemente Auswirkungen auf die Immunantwort von Langstreckenläufern haben. An 12 Triathleten wurden die Auswirkungen einer 30 tägigen Supplementation vor und einer einwöchigen Supplementation nach einem Wettkampf untersucht. An 24 Marathonläufern wurde die Wirkung einer 15 tägigen Supplementation vor dem Wettkampf untersucht. Die Triathleten erhielten 2 mal täglich 6 g BCAA (60% L-Leucin, 20% L-Valin, 20% I-Isoleucin)

die Läufer erhielten dasselbe Supplement einmal täglich. In der Placebogruppe sank die Plasmakonzentration ab. Durch BCAA Supplementation konnte dies abgeschwächt werden. Ein verminderter Plasmaglutamingehalt war mit einer signifikanten Verminderung der proliferativen Antwort von Lymphozyten verbunden. Über eine Veränderung der Leistungsfähigkeit wurde keine Aussage getroffen [BASSIT et al., 2002].

B.9. L-Ornithin

Bei L-Ornithin handelt es sich um eine freie Aminosäure, die weder proteinogen ist noch von DNA kodiert ist. Sie soll die Wachstumshormonsekretion in der Hypophyse stimulieren. Die Wachstumshormone verstärken den Stoffwechsel von Kohlenhydraten, Fetten und Eiweiss. L-Ornithin entsteht durch das Enzym Arginase aus L-Arginin. Es ist somit im Harnstoffzyklus eingebunden und erlaubt die Beseitigung von überschüssigem Stickstoff. Von L-Ornithin wird angenommen, dass es erhöhte Blutammoniakwerte verhindert, die durch erhöhte körperliche Belastungen entstehen können. L-Ornithin kommt in der normalen Ernährung nur in sehr geringen Mengen in Fisch und Fleisch vor. Daher ist es schwierig die gewünschte ermüdungshemmende Menge ohne Supplemente zuzuführen. Die körperliche Leistungsfähigkeit kann durch Ermüdung vermindert werden. Sportliche Betätigung verursacht erhöhten ATP Verbrauch und höhere Blutammoniakwerte. Die Ammoniakaufnahme im Gehirn verursacht ebenfalls Ermüdung. Eine Supplementierung von Substanzen, die die ATP Produktion und Ammoniakentgiftung induzieren, sollte daher die Ermüdung vermindern. In einer placebokontrollierten Doppelblindstudie an 17 gesunden Probanden wurden die Auswirkungen von L-Ornithin getestet. Es wurden 2000mg/d an 7 Tagen und 6000mg an 1 Tag vor Belastung oder jeweils Placebo verabreicht [SUGINO et al., 2008]. Sugino et al. verweisen zwar auf eine ermüdungshemmende Menge an Ornithin, erwähnen aber nicht wie hoch die tägliche Aufnahme sein sollte. Wobei von Sikorska et al. 1g/d (L-Ornithin-L-

Aspartat) bei bestehendem Ornithinmangel als sicher gesehen wird [SIKORSKA et al., 2010]. Der Blutdruck hat sich nicht verändert. Herzfrequenz war in der L-Ornithin Gruppe höher. Serum Triglyceride sanken während freie Fettsäuren im Serum anstiegen, was auf die erhöhte Wachstumshormonsekretion zurückzuführen sein kann. Wachstumshormone können im Nüchternzustand Lipidoxidation bewirken [MØLLER und JØRGENSEN, 2009]. Plasma Ornithin und Harnstoffgehalte waren höher. Der Blutammoniak stieg bei Ornithinsupplementation weniger an. Diese Resultate lassen vermuten dass L-Ornithin den Harnstoffzyklus ankurbeln und den Anstieg von Blutammoniak bremsen kann. Ebenfalls höher waren die Blutalanin- und Harnstoffwerte. Diese sind Endprodukte bei der Ammoniakentgiftung. Die BCAA waren bei Ornithinsupplementation höher. BCAA werden zur Energiebereitstellung im Muskel herangezogen. Tryptophan, ein Vorläufer von Serotonin, das wiederum Müdigkeit auslöst, war bei Ornithinsupplementation niedriger [SUGINO et al., 2008]. Erhöhte BCAA Werte im Plasma können das Müdigkeitsempfinden verringern, da sie um die Transporter für Tryptophan konkurrieren [BLOMSTRAND, 2006]. Die Leistungsfähigkeit wurde am Fahrradergometer in Form der maximalen 10 Sekunden Tests durchgeführt. Dabei werden die Probanden aufgefordert 10 Sekunden lang mit maximaler Trittfrequenz zu treten (nach 0,5 Stunden und nach 3,5h während einer 4 stündigen Belastung). Die OrnithinGruppe schnitt besser ab. Bei weiblichen Probanden war die subjektive Müdigkeitwahrnehmung geringer unter Supplementation. Die Autoren empfehlen eine Ornithinsupplementation um akkumulierte physische Müdigkeit zu vermeiden, da Ornithin in der Nahrung nur in geringen Mengen vorkommt. Die Studie wurde von Kyowa Hakko Kogyo Co, Ltd unterstützt. Diese Firma produziert Medikamente, Aminosäuren, Feinchemikalien, Nahrungszusätze [SUGINO et al., 2008]. Diese Studie zu beurteilen ist schwierig, da die positiven Ergebnisse bezüglich Müdigkeitwahrnehmung subjektiv sind und eine finanzielle Unabhängigkeit der Autoren nicht gewährleistet ist. Ebenfalls werden einige Vermutungen angestellt: „verbesserte Energiebereitstellung für die Ammoniakentgiftung“, „ermüdungshemmende

Menge L-Ornithin schwer über Ernährung ohne Supplemente bereitzustellen“, „L-Ornithinsupplementation kurbelt den Harnstoffzyklus an und bremst den Anstieg von Blutammoniak signifikant“ [SUGINO et al., 2008].

Durch eine vermutlich vermehrte Wachstumshormonausschüttung konnte keine Veränderung der Körperzusammensetzung nach Ornithinsupplementation festgestellt werden [CHROMIAK und ANTONIO, 2002] Chetlin et al. konnten keine Unterschiede der Insulin und Wachstumshormwerte nach sechswöchiger Ornithine-Alpha-Ketoglutarat-Supplementation mit 10g/d feststellen. Es handelte sich bei den Probanden um erfahrene Kraftsportler (min. 1 Jahr Training mit 6 Stunden Training pro Tag). Verbesserungen von Trainingsintensität- und volumen und Muskelmasse blieben aus. Einzig die Bankdrückleistung konnte signifikant verbessert werden, während die Kniebeugenleistung gleich blieb [CHETLIN et al., 2000].

B.10. Citrullin

Bei Citrullin handelt es sich um eine nicht essentielle, nicht proteinogene Aminosäure. Sie wird im Dünndarm aus Glutamin synthetisiert und in der Niere zu L-Arginin metabolisiert. Da Arginin einen anabolen Effekt haben kann, könnte Citrullin indirekt anabol wirken. Thibault et al. stellten bei wohlgenährten Personen keinen positiven Effekt einer Citrulinsupplementation auf Proteinsynthese fest, obwohl Bioverfügbarkeit von Citrullin und Arginin verbessert werden konnten. Citrulinsupplementation zeigte nur im Tiermodell bei Citrullinmangel anabole Effekte [THIBAULT et al., 2011].

B.11. Eisen

Eisen spielt im menschlichen Organismus eine wichtige Rolle (Gehirn, Muskel, Immunsystem). Es ist ein essentieller Bestandteil von Hämoglobin und Myoglobin und damit am Sauerstofftransport im Blut und Muskel beteiligt. Dementsprechend wird durch Eisen auch die Trainingskapazität und -leistung

beeinflusst. Eisenmangel ist die häufigste Mangelerkrankung. Er resultiert aus nicht bedarfsdeckender Zufuhr. Die 3 Mangelstadien sind:

1. Depletion der Eisenspeicher: niedriges Serum Ferritin,
2. Eisen Defizienz: erhöhte Transferrin-Rezeptoren, verminderte Transferrin Sättigung
3. Frank Anämie: niedriges Hämoglobin, Abnahme des MCV

Am häufigsten tritt bei Athleten Stadium 1 des Eisenmangels auf und kann die Leistungsfähigkeit vermindern [www.ausport.gov.au, Zugriff am 12. Februar 2012].

Vegetarische oder vegane Nahrungsmittel beinhalten Komponenten, die die Eisenresorption behindern und haben geringe Mengen an Häm-Eisen, welches am besten resorbiert wird. Mit sportlicher Aktivität verbundene Entzündungen, gastrointestinale Blutungen, Menstruation und Schwitzen können Eisenverluste verursachen [McCLUNG, 2012].

Vor allem für Sportlerinnen besteht die Möglichkeit einer positiven Leistungsbeeinflussung durch Eisensupplementation. Die alleinige zusätzliche Zufuhr von Eisen ist nicht zielführend. Auch die Ursache des Eisenmangels soll untersucht werden. Eisen wird häufig in Fumarat, Sulfat und Gluconat Salzform supplementiert, da die Absorptionsraten höher sind. Höchste Absorptionsraten werden ohne gleichzeitiger Nahrungszufuhr oder in Kombination mit Vitamin C erreicht. Dabei kann es aber zu unerwünschten Nebenwirkungen wie Krämpfen, Konstipation und schwarzem Stuhl kommen. Bei gleichzeitiger Nahrungszufuhr nehmen diese aber wieder ab. Um verminderte Eisenspeicher wieder aufzufüllen können bis zu 3 Monate 100mg Eisen supplementiert werden. Dies sollte aber nur unter medizinischer und ernährungswissenschaftlicher Betreuung erfolgen [www.ausport.gov.au, Zugriff am 12. Februar 2012].

B.12. Carnitin

Neben der Funktion des Transportes von Fettsäuren durch die innere Mitochondrienmembran verfügt Carnitin noch über Funktionen bezüglich Schutz der Membranintegrität und Stabilisierung eines physiologischen Verhältnisses von Coenzym A zu Acetyl Coenzym A (CoASH/CoA) in den Mitochondrien und verminderter Laktatproduktion. Organische Kationen Transporter beeinflussen die Absorption über Darm und Reabsorption über Niere und sind mit Membrantransportern für die Intrazelluläre Homöostase von Carnitin verantwortlich. Defekte der Carnitin Transportmechanismen können zu Carnitinmangel führen. Gerüchten zufolge soll die Carnitinsupplementation 1982 zum Weltmeistertitel der italienischen Fussballnationalmannschaft beigetragen haben, was zur Popularität von Carnitin beigetragen haben kann [KARLIC und LOHNINGER, 2004].

L-Carnitin ist eine quarternäre Ammoniumverbindung und wird endogen aus den Aminosäuren Lysin und Methionin synthetisiert. Es fungiert als Biocarrier und transportiert langkettige Fettsäuren in die Mitochondrienmembran. Weiters ist es Bestandteil von in der Mitochondrienmembran lokalisierter Enzymen.

Es wird als „fat-burner“ angepriesen und soll Ausdauerleistung durch vermehrte Fettverbrennung verbessern. Gute Quellen für L-Carnitin sind Fleisch und Milchprodukte [MOJITABA et al., 2008], wodurch täglich geschätzte 20-200mg/d aufgenommen werden. Vegane Ernährungsweise reduziert die aufgenommene Menge bis auf Null. Vegane Ernährungsweise führt zu 20% niedrigeren Carnitinspeichern. Männer haben meist höhere Carnitinspeicher als Frauen [www.antidoping.ch, Zugriff am 20. Jänner 2012].

Die Synthese von Carnitin erfolgt im menschlichen Körper in Leber und Niere. Ausgangsstoffe dafür sind Methionin und Lysin. Es wird in der Skelettmuskulatur gespeichert. Trotz einer Diät die kaum Carnitin liefert, können gesunde Personen ausreichend Carnitin synthetisieren. Die Hauptaufgabe von Carnitin ist der Transport von Fettsäuren in die Mitochondrien, wo sie

verstoffwechselt werden und in der β -Oxidation zur Energiebereitstellung beitragen [KARLIC und LOHNINGER, 2004].

Die Eigenschaft Fettsäuren in die Mitochondrien zu transportieren ist der Grund für die Verwendung im Sport. Es soll die Fettverbrennung fördern. Davon wird eine Gewichtsreduktion und verbesserte Leistung bei Ausdauerbelastungen erwartet durch vermehrten Fettstoffwechsel und Verzögerung der Entleerung der Muskelglykogenspeicher. Eine Verbesserung dieser Funktionen wurde stark bezweifelt, da Carnitinsupplemente die Muskelkonzentration nicht zu beeinflussen vermochten [WALL et al., 2011].

Wall et al. untersuchten den Zusammenhang zwischen Kohlenhydratgabe, Carnitineinlagerung im Muskel und Leistungsfähigkeit an 14 Personen, die 3-5 mal pro Woche Triathlon trainierten. Es wurden 2 mal täglich während 24 Wochen 2 g Carnitin zusammen mit 80g Kohlenhydraten supplementiert. Es konnte nachgewiesen werden, dass zur Erhöhung der Carnitinspeicher im Muskel sehr hohe Insulinwerte Voraussetzung sind. Es konnten leichte Leistungssteigerung und vermehrte Fettverbrennung nachgewiesen werden. Durch erhöhte Fettverbrennung kann Glykogen eingespart werden. Diese Ergebnisse wurden allerdings vor dem Hintergrund dreier, die Fettverbrennung beeinflussender Faktoren beobachtet. Die Ernährung an den Tagen vor den Tests wurde nicht kontrolliert, die Tests wurden nüchtern durchgeführt und während der Tests gab es keine Kohlenhydratversorgung [STEPHENS et al., 2007; Wall et al., 2011] Dabei handelte es sich um nicht optimale Testbedingungen, da die Ernährung auch Tage vor sportlicher Betätigung leistungsbeeinflussend ist. Keine Kohlenhydratverabreichung während Belastung entspricht nicht der empfohlenen Handhabung. Für L-Carnitin sind keine Nebenwirkungen bekannt [www.antidoping.ch, Zugriff am 20. Jänner 2012].

B.13. Glycocarn™

Dabei handelt es sich um den Markennamen eines Supplements welches aus Glycin Propionyl-L-Carnitin besteht. In einer randomisierten, placebokontrollierten Doppelblindstudie an 19 trainierten Personen wurden die Werte für Sauerstoffsättigung, Blutnitrat/nitrit (Nox), Lactat und Malondialdehyd getestet. Die Leistungssteigerung wurde anhand von der Kraftübung Bankdrücken in der Einzelwiederholung als auch in der Ausdauerbelastung in 10 Sätzen bis zum Muskelversagen überprüft. Es wurden 4,5g Glycocarn mit 16 g Maltodextrin, oder 16g Maltodextrin alleine als Placebo verabreicht. Die Testphase erstreckte sich über sechs Wochen.

Es konnten keine statistisch signifikanten Unterschiede bei der Gesamtleistung, Muskeldurchblutung, Laktat oder Nitrit/Nitrat festgestellt werden.

Möglicherweise sind die erwünschten Effekte der Glycocarn-Supplementierung über längere Zeiträume zu erreichen oder es handelt sich um Effekte wie verbesserte Erholung, Beinkraft, oder Effekte die erst bei höherer Belastung auftreten. Die Gesamtbelastung beim Bankdrücken konnte im Vergleich zu den anderen Supplementen oder Placebo durch Glycocarn statistisch signifikant um 3,3% gesteigert werden. Für ernsthafte Athleten wären diese kleinen Erfolge aber möglicherweise erstrebenswert. Bei Glycocarn-Supplementierung konnte ein reduzierter Lipid-spezifischer oxidativer Stress (anhand von Malondialdehyd) festgestellt werden, was für Athleten, die nach einem Antioxidans in einem Pre-Workout-Supplement suchen interessant sein könnte.

[BLOOMER et al., 2010]. Die beobachteten Resultate sind eher bescheiden. Es wurde auf eine mögliche Verbesserung der Leistung durch längerfristige Supplementierung vermutet. Die Studie wurde vom Hersteller des Supplements finanziell unterstützt.

B.14. Oxidativer Stress

Im Stoffwechsel werden vom Körper ständig freie Radikale und Reaktive Sauerstoffspezies (ROS) gebildet. Freie Radikale werden unter anderem durch ein antioxidativ wirkendes System im Organismus neutralisiert. Es besteht aus Enzymen (Katalase, Superoxiddismutase, Glutathion Peroxidase) und nicht-enzymatischen Antioxidantien (Vitamin A, E, C, Glutathion, Ubiquinon und Flavonoide). Durch sportliche Betätigung kann es bedingt durch die erhöhte Sauerstoffaufnahme zu oxidativem Stress kommen, einer Verschiebung des Gleichgewichts in Richtung ROS. Am Markt für Sporternährungsprodukte werden viele antioxidativ wirksame Supplemente angeboten. Ob ein erhöhter Bedarf für Antioxidantien gegeben ist, ist bis heute nicht eindeutig geklärt.

Urso und Clarkson haben in ihrem Review 2003 die Marker für oxidativen Stress (Lipidperoxidation, Malondialdehyd, ausgeatmete Pentane, F2-Isoprostane, konjugierte Diene und 8-Hydroxy-2-Deoxyguanosin, 8-OHdG) deren Beeinflussung durch Sport und den Bedarf von Sportlern an Antioxidantien unter die Lupe genommen. Zwei bis fünf Prozent des in den Mitochondrien verbrauchten Sauerstoffs produzieren freie Radikale. Die oxidative Phosphorylierung nimmt mit körperlicher Aktivität zu.

Dementsprechend nimmt auch die Radikalbildung zu. Weitere Quellen für freie Radikale sind Prostanoid Stoffwechsel, Xanthinoxidase, NAD(P)H Oxidase. Bei der Reparatur von beschädigtem Gewebe durch Makrophagen entstehen ebenfalls freie Radikale. Wenn die Bildung von freien Radikalen die Kapazität sie zu neutralisieren übersteigt, werden zelluläre Komponenten, vor allem Lipide angegriffen. Lipidperoxidation ist ein resultierendes Phänomen und kann zur weiteren Bildung von freien Radikalen und ROS beitragen. ROS sind aber auch für die Anpassungsreaktionen des Körpers notwendig. Einige Studien haben sich mit der Leistungssteigerung durch antioxidative Supplemente beschäftigt. Definierte Ergebnisse lassen sich aber aufgrund der unterschiedlichen Dosierungen oder Supplementtypen und Supplementierungsdauern schwer feststellen. Urso und ihr Team betrachten die

Ergebnisse kritisch. Sie sehen es als unsicher ob Erhöhung des oxidativen Stresses durch sportliche Betätigung für Muskeladaption notwendig oder schädigend ist. Es besteht immer größer werdende Evidenz, dass freie Radikale Adaptionenprozesse stimulieren. Bei welchem Level erhöhter oxidativer Stress mehr positive als negative Auswirkungen hat ist nicht bekannt. Allerdings geben sie die Empfehlung Antioxidantien lieber über die normale Ernährung als über Supplemente zuzuführen [URSO und CLARKSON, 2003].

B.15. Antioxidative Supplemente, Entzündungen und oxidativer Stress

Sport kann präventive und therapeutische Einflüsse auf Diabetes mellitus, Dyslipidämie, Bluthochdruck, Übergewicht, kardivasculäre und pulmonale Erkrankungen, Probleme des Bewegungsapparates, Depression und Krebs haben [PEDERSEN und SALTIN, 2006]. Diese Erkrankungen zeigen permanente leichte Entzündungen und eine vermehrte Produktion von ROS und Stickstoffspezies (RNS). Die vorteilhaften Auswirkungen von regelmäßigem Sport können auf die reduzierten Entzündungs- und RONS Spiegel zurückzuführen sein. Die positiven Auswirkungen von Sport werden durch eine gesunde Ernährungsweise verstärkt [PEAKE et al., 2007].

Wie Inflammation, oxidativer Stress, sportliche Leistung und Adaptionenreaktionen des Körpers durch Antioxidantien beeinflusst werden, haben Peake et al 2007 in einem Review zusammengefasst. Es besteht ein Einfluss von Antioxidantien auf die Auswirkungen von RONS. RONS beschädigen Zellproteine, DNA und verursachen Lipidperoxidation. Antioxidative Supplemente können sport-induzierte Zellsignale abschwächen, die Adaptionenmechanismen in Gefäßen und Muskelgewebe auslösen. Die Aufnahme von Antioxidantien über die Nahrung beeinflusst die Aufnahme aus Supplementen. Ab einer gewissen Resorption aus Nahrungsmitteln ist eine

Sättigung des Organismus erreicht. Dementsprechend profitieren vor allem Sportler mit niedriger Zufuhr aus normaler Ernährung von einer Antioxidantien Supplementation [PEAKE et al., 2007].

Supplementation mit Antioxidantien kann bei diagnostizierter verminderter antioxidativen Kapazität sinnvoll sein. Die Studienlage ist uneinheitlich und es wird von Peake et al. in ihrem Review keine einheitliche Empfehlung über Supplementation mit Antioxidantien gegeben [PEAKE et al., 2007]

Die Internationale Gesellschaft für Sporternährung ISSN und das amerikanische College für Sportmedizin ACSM sind der Meinung, dass für bedarfsgerecht ernährte Athleten kein zusätzlicher Nutzen einer Supplementation mit Antioxidantien wie Vitamin A, C und E besteht [GROSS et al., 2011].

Hohe Dosierungen können aber Adaptionenmechanismen ausschalten. Positive Eigenschaften von Sport auf das cardiovasculäre Risiko können durch Vitamin E reduziert werden. Dazu zählen die Progression von atherogenen Läsionen, Plasma Cholesterin , Aorten CAT Aktivität und Expression der endothelialien NO-Synthase [PEAKE et al., 2007].

Allopurinol blockiert die durch Sport hervorgerufene Oxidation von Glutathion, die Phosphorylierung von p38, ERK1 und ERK2 MAPks, die mRNA Expression von Mn-SOD, induzierbare NOS und eNOS und die Aktivierung von NF- κ B im Skelettmuskel [GOMEZ-CABRERA et al., 2008].

Hohe Dosen Vitamin C und E können, wenn nicht ineffektiv, unter Umständen sogar gesundheitsschädlich sein [PEAKE et al., 2007]. Vitamin E Supplementation zeigte negative Auswirkungen auf den durch Ausdauertraining induzierten oxidativen Stress und die damit verbundenen Nutzen bezüglich des cardiovasculären Risikos [GARELNABI et al., 2011].

Akute Supplementation von Vitamin C (1g) und Vitamin E (600 IE) zeigte negative Auswirkungen auf den vasodilatativen Effekt von Ausdauertraining, was in erhöhtem Bluthochdruck resultierte [WRAY et al., 2009].

B.16. Antioxidantien und Ausdauerbelastung

ROS und RNS verfügen über hohe Reaktivität und können Zellstrukturen zerstören und Zellfunktionen blockieren. Lipidperoxidation wird durch $\cdot\text{OH}$ und H_2O_2 initiiert und beeinträchtigt die Funktion von Zellmembranen. $\cdot\text{OH}$, $\text{NO}\cdot$ und $\text{ONOO}\cdot$ oxidieren Nukleotide und beschädigen dadurch DNA, wodurch die Tumorgefahr steigt. Stickoxid (nitric oxid) bindet an Cysteingruppen von Proteinen, denaturiert sie und verändert ihre Funktion und kann kontraktile Filamente in Muskelfasern blockieren. $\text{ONOO}\cdot$ kann Proteine irreversibel denaturieren. Diese als gefährlich angesehenen Moleküle können aber auch wichtige signalgebende Eigenschaften besitzen. Durch aerobes Ausdauertraing wird der MAP KINASE- Signalweg aktiviert und die Vermehrung der Mitochondrienmasse, Kapillarisation, Muskel- und Herzhypertrophie und Glucosetransportfähigkeit forciert. H_2O_2 , das durch SOD3 aus $\text{O}_2^{\cdot-}$ im Extrazellulärraum entsteht, fungiert als Vasodilator. Es erhöht damit den Blutfluss. Ebenfalls vasodialatativ und durchblutungsfördernd wirkt Stickoxid, das in Endothelzellen von eNOS gebildet wird. Dadurch wird die Angiogenese gefördert. Endogene Oxidantienabwehr wird angekurbelt, wenn das negative Feedback von ROS kommt. Bei der Phagozytose entstehen $\text{O}_2^{\cdot-}$, H_2O_2 und NO , welche den Reparaturprozess beschleunigen. Unter bestimmten Bedingungen können exogene Antioxidantien zu Pro-Oxidantien werden. Beta-Carotin kann bei erhöhtem Sauerstoffpartialdruck zu einem Peroxylradikal oxidieren und Vitamin C in Gegenwart von Übergangsmetallionen DNA-schädigende Genotoxine aus Hydroperoxiden bilden [GROSS et al., 2011].

Negative Auswirkungen von Antioxidantiensupplementation

ROS bewirken endogene Oxidantienabwehr, Angiogenese und Mitochondrienvermehrung. Wenn ROS durch Antioxidantien unterdrückt werden, kann ihre Signalwirkung vermindert sein [GROSS et al., 2011].

Der oxidative Stress, gemessen an Malondialdehyd, war z. B. bei Triathleten, die antioxidative Supplemente konsumierten, signifikant höher als bei Triathleten, die keine derartigen Nahrungsergänzungsmittel einnahmen [KNEZ et al., 2007]. Eine Vitamin C Supplementation von 1g/d zeigte auch eine inhibierende Wirkung auf periphere Adaptationen wie Mitochondrienvermehrung. Ebenfalls waren nach der Vitamin C Supplementation die Expression von SOD und Glutathionperoxidase vermindert [GOMEZ-CABRERA et al., 2008].

Auch die Regeneration von Muskelschäden, die durch exzentrisches Training verursacht wurden, konnte durch Vitamin C und E verzögert werden [GROSS et al., 2011].

Die Autoren wollen Antioxidantiensupplemente nicht pauschal verurteilen, aber sie sollen kritischer betrachtet werden. Bei diagnostiziertem Antioxidantienmangel, kann eine Supplementation hilfreich sein, genauso wie in Höhentrainingslagern, da dabei höhere Mengen an ROS gebildet werden und die endogene Abwehr besonders geschwächt ist. Ein ausgeglichenes Verhältnis zwischen Antioxidantien und ROS ist für die Gesundheit, körperliche Leistungsfähigkeit und Trainingsanpassungen nötig. Es müssen weitere Studien bezüglich Antioxidantiensupplementation, deren Dosis und Timing und die Wirkung auf die Radikalsignalwege angestellt werden. Für Antioxidantien kann keine pauschale Empfehlung gegeben werden. Trotzdem gilt nicht immer „je mehr, desto besser“ [GROSS et al., 2011].

Vitamine und Mineralstoffe sind an Energiestoffwechsel, Zellwachstum und -reparatur, Schutz vor freien Radikalen, Muskel- und Nervenfunktion beteiligt. Bei einem Ungleichgewicht zwischen Aufnahme und Verbrauch kann es zu einem Mangel im Gewebe kommen, was negative Auswirkungen auf Gesundheit und Leistung haben kann. Eine unzureichende Aufnahme kann durch Energierestriktion (z.B: Erreichen bzw. Erhalten von niedrigen Gewichtsklassen, Sportarten, in denen niedrigeres Gewicht von Vorteil ist: Gymnastik, Turnen), verminderte Verfügbarkeit der Nährstoffe,

Nahrungsintoleranzen etc. verursacht sein. Supplemente enthalten nicht das gesamte Spektrum an wirksamen Substanzen (phytochemicals), die in natürlichen Lebensmitteln vorhanden sind. Sie werden als Ausgleich für unausgeglichene Ernährungsweise herangezogen. Ein zusätzlicher Nutzen bei bedarfsdeckender Versorgung ist unwahrscheinlich [www.ausport.gov.au, Zugriff 4. März 2012].

B.17. Nitrat

Nitrat (NO_3^-) besteht aus Sauerstoff und Stickstoff, kommt in der menschlichen Ernährung vor und wird vom menschlichen Organismus über den L-Arginin-NO Syntheseweg produziert. Dabei wird durch Stickstoffmonoxidase (NOS) Stickstoffmonoxid (NO) aus der Aminosäure L-Arginin und molekularem Sauerstoff synthetisiert. Quellen sind Gemüse, verarbeitetes Fleisch (Nitrat als Haltbarmacher) und Trinkwasser [www.efsa.europa.eu, Zugriff am 17. April 2012]. Die geschätzte Aufnahme beträgt täglich 60-120mg wovon ca 80% auf Gemüse entfallen. Vegetarier nehmen dementsprechend mehr Nitrat zu sich, ebenso wie DASH-Diät Konsumenten. Es kann das Fünffache des ADI für Nitrat über eine Diät reich an Gemüse aufgenommen werden [GILCHRIST et al., 2010]. Der Nitratgehalt ist besonders hoch in grünem Blattgemüse, das in dunkler Umgebung wächst sowie in Wurzeln und Knollen. Der Nitratgehalt kann von Pflanze zu Pflanze variieren. Im Wasser ist er abhängig von organischen Substanzen in der Erde, Bakterienaktivität und der Verwendung von stickstoffhaltigen Düngern. In den 1960er Jahren wurde Nitrit und Nitrat in Lebensmitteln für verschiedene gesundheitliche Probleme verantwortlich gemacht u.a Zyanose [www.ausport.gov.au, Zugriff 10. Februar 2012]. Daher gibt es Höchstgrenzen für den Nitratgehalt in Lebensmitteln und Trinkwasser. Der ADI beträgt laut EFSA 3,7mg/kgKG/d. Diesen Risiken stehen Theorien gegenüber, dass gesundheitliche Vorteile aus Diäten reich an Gemüse auch auf den Nitratgehalt zurückzuführen sind [www.efsa.europa.eu, Zugriff am 17. April 2012]. Nahrungsnitrat wird im Magen und Dünndarm relativ rasch absorbiert.

Der Plasmapeak ist nach ca. 1h erreicht. Ein Teil des Nitrats wird im Speichel bei Bakterienbesiedelung extrahiert und in einer sauerstoffabhängigen Reaktion zu Nitrit konvertiert. Nitrit wird im sauren Milieu des Magens in RNS abgebaut (u.a. NO). Die höchsten Plasmanitritwerte werden nach ca. 2,5 Stunden erreicht. Antibakterielle Mundspülungen und Kaugummi oder das Vermeiden Speichel zu schlucken, reduzieren den Nitritanstieg im Plasma [www.ausport.gov.au, Zugriff 10. Februar 2012].

NO spielt im menschlichen Körper eine wichtige Rolle. Entspannung der Blutgefäße (Blutdruck und Anfälligkeit von Gefäßen für vaskuläre Erkrankungen und Oxygenierung von Gewebe werden reguliert), Regulation der Blutplättchenaggregation (reduziert das Atheroskleroserisiko) und Versorgung mit Immunaktivitäten (reduziert Entzündungen im Mund, innere Organe und Haut) sind mit NO verbunden [GILCHRIST et al., 2010].

NO kann in Blut und Gewebe zu Nitrat und Nitrit oxidiert und dadurch stabilisiert werden. Eine Konvertierung zurück zu NO ist möglich. Die Erforschung dieses Stoffwechselweges unterstützt die Theorie, dass Nitrat weniger toxisch als förderlich ist [LUNDBERG et al., 2008].

Eine Nitratsupplementation durch 500 ml Beetesaft zeigte eine verbesserte NO Wirkung z.B. Blutdrucksenkung sogar an Personen mit normalem Blutdruck [WEBB et al., 2008].

Nitratreduzierte Beete ermöglichte es, die positiven Eigenschaften von Beete auf das Nitrat selbst zu fokussieren. Nitrat ist die wirksamste Substanz im Saft der Beete, was die NO-Funktion betrifft. Es konnte der Sauerstoffbedarf beim Gehen und Laufen reduziert werden [LANSELEY et al., 2010].

Ein typisches Nitratsupplement kann Beetensaft mit ca. 300mg Nitrat sein. Diese Supplementierung liegt über dem ADI-Wert. Konsumiert wird es 2-2,5 Stunden vor der Belastung. Bei der Dosierung über selbstgemachte Gemüsesäfte etc. muss die gewünschte Menge an Nitrat nicht erreicht werden. Positive Ergebnisse werden für Nitrat beim Einsatz im Training unter geringer

Sauerstoffverfügbarkeit erwartet. (z.B. Höhentraining) [www.ausport.gov.au, Zugriff 10. Februar 2012].

Risiken Nitrit/Nitrat

Nitrat spielt eine wichtige Rolle als Vasodilator und wird in der Therapie eingesetzt. Neben etablierten Substanzen wie Nitroglycerin wird Nitrit als Vorläufer von NO immer wichtiger. Nitrit kann protektive Effekte auf cardiovasculäre Probleme haben, u.a. Myokardinfarkt. Nitrit wird für die Behandlung von Cyanidvergiftungen eingesetzt [PETRÓCZI und NAUGHTON, 2010]. Es ist verständlich, dass viele Sportler Vasodilatoren zur Leistungsverbesserung einsetzen möchten. Die einfache Verfügbarkeit über das Internet stellt eine Gefahrenquelle dar. Der Schritt vom „harmlosen“ Supplement zum verschreibungspflichtigen Medikament kann unwissend gemacht werden. Viele Athleten verwenden nicht nur ein einziges Supplement, sondern mehrere gleichzeitig. Die englische Drug Information Datenbank stellt ein Überprüfungsprogramm bereit. Seit 2006 werden die anonymen Anfragen dokumentiert. Es können sowohl Markennamen als auch aktive Substanzen überprüft werden. Bis zu den olympischen Spielen 2008 stiegen die Anfragen bezüglich verschreibungspflichtiger Phosphodiesterasehemmer Typ 5 (PDE-5 Inhibitoren) und NO-Vorläufern an. Diese Substanzen unterscheiden sich in der gesetzlichen Regelung. PDE-5 Inhibitoren wurden in klinischen Studien getestet, während NO-Vorläufer weniger gut bezüglich ihrer Wirkung auf den Menschen dokumentiert sind. Für verschreibungspflichtige Medikamente bestehen offizielle Regelungen, die für den Graubereich der NO-Precursor-Supplemente fehlen. NO-Supplemente bestehen aus einer variablen Zusammensetzung. Sie können den NO-Syntheseweg über L-Arginin ausnützen oder Nitrat/Nitrit enthalten. Für den Konsumenten ist der Unterschied schwer festzustellen, kann aber verschiedene gesundheitliche Nebenwirkungen ausmachen. Nachdem professionelle Athleten verschreibungspflichtige Vasodilatoren zur Leistungsverbesserung illegal einsetzen, steigt das Interesse

des Breitensportlers an nicht verschreibungspflichtigen Substanzen (Nitrit Supplementen). Nicht alle Supplemente, die die Bluteigenschaften verändern sollen, beinhalten Natriumnitrit. Nitrit/Nitrat stehen als vom Körper produzierte Stoffe und Nahrungszusätze nicht auf der WADA-Dopingliste. Athleten sind bereit, nicht verbotene Substanzen zur Leistungsverbesserung einzusetzen. Ohne medizinische Betreuung ist der Einsatz von Vasodilatoren gefährlich. Weitere Forschung bezüglich der Nebeneffekte sind notwendig. [Petroczi et al., 2010]

Es wird über einen protektiven Einfluss von Nitrit auf das cardiovasculäre System, aufgrund von Veränderungen des Proteoms, berichtet. Positive Effekte werden bei niedriger (0,1mg/kg) und hoher (10mg/kg) aber nicht bei mittlerer (1mg/kg) Nitritdosierung berichtet. Es handelt sich um einen komplexen Zusammenhang aus oxidativem Stress und reduziertem Ascorbat und Glutathion. Vermutet wird, dass ein veränderter REDOX-Status und Proteinveränderungen kardioprotektiv sein können [PERLMAN et al., 2009].

Nitrit und Mitochondrien

Eine kurzfristige (3d) Supplementation von Natriumnitrat (8,5mg/kgKG/d) verbesserte die Leistungsökonomie (weniger Sauerstoffbedarf des Organismus sowie der Mitochondrien). Ein verbesserter aerober Stoffwechsel oder eine effizientere ATP Produktion können die Ursache dafür sein. Verbesserte Sauerstoffeffizienz ging mit gleichen Laktatspiegeln und gleicher oder sogar verbesserter körperlicher Leistung einher. Nitratsupplementation beeinflusste aber nicht die Mitochondriendichte und -neubildung [LARSEN et al., 2011].

Dreißigacker und ihr Team untersuchten den Zusammenhang zwischen NO Synthese und Bioverfügbarkeit und oxidativem Stress und hochintensiver Ausdauerbelastung an 22 gesunden männlichen Erwachsenen. 15(S)-8-iso-PGF_{2a}, als Marker im Plasma für oxidativen Stress, veränderte sich während Belastung kaum, was auf den trainingsinduzierten höheren Blutfluss zurückzuführen sein kann, der den Stoffwechsel und die Ausscheidung von

15(S)-8-iso-PGF₂a anregen könnte. 15(S)-8-iso-PGF₂a kann auch auf Protonenakkumulation zurückzuführen sein und auf oxidativen Stress hindeuten. 15(S)-8-iso-PGF₂a war trotz erhöhter Milchsäurekonzentration nicht erhöht, sondern sogar leicht niedriger nach der Belastung. Während der intensiven Belastung verringerte sich die Nitrit-Konzentration im Plasma. Nitrit kann NO liefern. NO dient als Vasodilator. Die Abnahme der Nitritkonzentration kann auf der vermehrten NO-Synthese während der Belastung vor allem in Erythrozyten basieren. NO, das aus Plasmanitrit synthetisiert wird, erhöht den Blutfluss um Sauerstoff- und Substrattransport zum Muskel zu gewährleisten [DREIßIGACKER et al., 2010].

Zand et al. untersuchten die Auswirkung einer Nitritsupplementation (100mg eines Supplements mit nicht angegebener Nitritkonzentration) an Patienten im Alter von über 40 Jahren, mit mindestens 3 von folgenden Risikofaktoren: Bluthochdruck, Übergewicht, Hyperlipidämie, familiärer Vorbelastung an KHK, Diabetes. Es wurde 30 Tage lang ein Nitritsupplement verabreicht, um die NO Homöostase wiederherzustellen. Nitrat- und Nitritgehalt im Plasma stiegen signifikant an. An 72% der Patienten mit erhöhten Triglyceridspiegeln (>150mg/dl) konnte eine signifikante Reduktion festgestellt werden [ZAND et al., 2011].

Chronische Überdosierungen und deren Nebenwirkungen müssen weiter erforscht werden. Toxische Nebenwirkungen bei exzessiver Einnahme von Natriumnitrat und Natriumnitrit kann Methhämoglobinbildung sein.

Weitere Untersuchungen bezüglich Zeitpunkt und Dosierung müssen an gut trainierten Personen durchgeführt werden [www.ausport.gov.au, Zugriff 10. Februar 2012].

Die Datenlage deutet für Nitrat auf eine interessante Substanz hin. Vor allem da die negativen Auswirkungen im Vordergrund standen. Dosierungen mit einem Vielfachen des ADI lieferten positive Ergebnisse. Die Langzeitsicherheit muss aber weiter erforscht werden.

Es wird Nitrat zwar positive Wirkung nachgesagt [LUNDBERG et al., 2006].

Nitratsupplementation wird nicht als Ersatz für abwechslungsreiche Ernährung mit viel Obst und Gemüse empfohlen.

C. Positive Wirkung unwahrscheinlich

C.1. HMB

Hydroxymethylbutyrat als Supplement wird in der Sporternährung eingesetzt, weil es fettfreie Masse und Kraftzuwächse bei Widerstandstraining begünstigen soll. Es ist ein Abbauprodukt der essentiellen verzweigtkettigen Aminosäure Leucin. Leucin soll mit seinem Metaboliten Ketoisocaproat Proteinabbau unterbinden. Dieser Effekt soll durch HMB übertragen werden. HMB soll seine antiproteolytische Wirkung durch protektive, antikatabole Mechanismen ausüben und direkt die Proteinsynthese stimulieren. Reduzierter Muskelabbau durch Stabilisierung der Muskelzellmembran, Inhibierung des Ubiquitin-Proteosom Systems und dadurch Modulation des Proteinabbaus, verstärkte IGF-1 Genexpression im Skelettmuskel und der mTOR Pathway sollen durch HMB zu einer verstärkten Proteinsynthese führen. Es werden vor allem für untrainierte Personen Zuwächse der fettfreien Muskelmasse nach Supplementation verzeichnet [WILSON et al., 2008].

Für trainierte Personen werden Zuwächse in der Muskelkraft nach 9 Wochen Supplementation mit 3g/d HMB, aber keine Veränderung der Körperzusammensetzung berichtet [THOMSON et al., 2009].

Es werden aber auch widersprüchliche Ergebnisse dokumentiert. In einer randomisierten doppelblinden, placebokontrollierten Studie wurden Fitness, Anabolismushormone (IGF-1, Testosterone) Katabolismushormone (Cortisol) und Entzündungsmediatoren (Interleukin 6) an 29 Probanden nach HMB Supplementation untersucht. Das Ergebnis war, dass HMB-Supplemente einen signifikanten Anstieg an fettfreier Muskelmasse und eine signifikante Verminderung des Körperfetts ermöglichte. Die Anstiege an Kraft in Mehrgelenksübungen mit 6 Wiederholungen waren bei der HMB Gruppe

signifikant höher und in Relation zur Veränderung der Körperzusammensetzung ebenso wie anaerobe und aerobe Leistungsfähigkeit. Bei Isolationsübungen waren keine Unterschiede auszumachen. Durch HMB Supplementation wurde keine Veränderung der anabolen und katabolen pro/anti-inflammatorischen Hormonlage festgestellt. [PORTAL et al.,2011]

Wilson et al. fassen in ihrem Review die Auswirkungen von HMB-Supplementation zusammen. An untrainierten Personen zeigte eine HMB-Supplementation positive Effekte bezüglich Muskelschäden, Proteinabbau, Gesamtbelastung im Krafttraining und Maximalkraft. Vor allem an trainierten Personen konnten keine sportartspezifischen Effekte erzielt werden. Daher wird vermutet, dass HMB positive Eigenschaften bei untrainierten oder unspezifisch trainierten Personen haben kann. Diesbezüglich müssen aber noch weitere Erhebungen durchgeführt werden. Bis zur Menge von 6g/d durch Supplementation sind keine Nebenwirkungen bekannt [WILSON et al., 2008].

Weitere Untersuchungen über die mittel- und langfristige Sicherheit müssen durchgeführt werden. Da die positiven Ergebnisse auf Veränderungen sportartunspezifischer Parameter beruhen, wären weitere Untersuchungen bezüglich sportartspezifischer Vorteile interessant.

C.2. Tribulus Terrestris

Tribulus Terrestris wird vom australischen Institut für Sport als „Gruppe D-Supplement“ geführt. Diese Supplemente sind verboten oder mit hohem Risiko einer Kontamination mit Substanzen, die einen positiven Dopingtest verursachen können, verbunden [www.ausport.gov.au, Zugriff 9. März 2012].

Tribulus Terrestris, eine Kräuterpflanze, wird eine testosteronsteigernde Funktion nachgesagt. Es soll die endogene Testosteronproduktion anregen. Obwohl dieses Phänomen noch nicht gänzlich erforscht ist, wird es häufig von Athleten verwendet. Tribulus Terrestris enthält Protodioscin, ein steroidales Saponin, welches Testosteron-, Dehydroepiandrosterone-(DHEA) und LH-

(Luteinisierendes Hormon) Spiegel steigert. DHEA ist ein Precursor von Testosteron. Es sollen ca. 1,5% davon in Testosteron umgewandelt werden. Eine orale Einzelgabe von Tribulus Terrestris verändert das Testosteron/Östrogen-Verhältnis nicht. Eine Kurzzeitsupplementation veränderte weder die Ausscheidung von DHEA oder LH. Dementsprechend wurde davon ausgegangen, dass Tribulus Terrestris Extrakt keinen Precursor von Testosteron oder ein Testosteron Prohormon enthält. Tribulus wird von den Autoren nicht als Stimulator für die endogene Testosteronproduktion angesehen [SAUDAN et al., 2008].

C.3. Maca

Maca (*Lepidium meyenii*) soll für Kraft- und Ausdauersportler leistungssteigernd wirken und generell zur Verbesserung des Sexualtriebs dienen. Stone et al. haben die Auswirkungen einer 14-tägigen Maca Supplementation auf die Leistungsfähigkeit bei einem 40 km Radrennen untersucht. 8 erfahrenen Athleten wurden täglich 2000mg Maca Extrakt, aufgeteilt auf vier Einzelgaben, supplementiert. Eine Verbesserung der für die 40 km benötigten Zeit konnte bei allen 8 Athleten beobachtet werden. Es war aber kein Unterschied zur Placebogruppe auszumachen. In der Supplementengruppe trat auch vermehrter selbstbeurteilter Sexualtrieb auf, was eventuell auf vermehrte Testosteronproduktion zurückzuführen sein kann. Die Autoren verweisen aber auf nötige Studien bezüglich der Wirkmechanismen von Macaextrakt speziell auf Testosteronproduktion. [STONE et al., 2009] Diese Ergebnisse sind wenig aussagekräftig, da kein Unterschied zur Placebogruppe aufgezeigt wird.

D. Auf der Dopingliste; Leistungen und/oder Gesundheit negativ beeinflusst.

D.1. Synephrin

Bei Synephrin handelt es sich um ein sympathomimetisches Amin aus Bitterorangen. Es wird aufgrund seiner möglichen thermogenetischen und lipolytischen Eigenschaften in Abnehmsupplementen eingesetzt. Es hat Ephedra aufgrund seiner Nebenwirkungen abgelöst. Es existieren drei Isomere von Synephrin: o-Synephrin, m-Synephrin, p-Synephrin, die eine andere pharmakologische Wirkung ausüben. p-Synephrin und m-Synephrin sind alpha-adrenerge Agonisten und wirken vasoconstrictiv, wodurch der Blutdruck erhöht wird, m-Synephrin wirkt allerdings stärker als p-Synephrin. o-Synephrin findet kaum Verwendung. Synephrin kann Bluthochdruck, Migräne und Kopfschmerzen verursachen [SANTANA et al., 2008].

D.2. Schizandra

Bei Schizandra handelt es sich um ein pflanzliches Adaptogen. Adaptogene passen den Körper an Stress an. Sie sollen dem Konsumenten zu verbesserter Widerstandskraft, sportlicher und körperlicher Leistungsfähigkeit verhelfen. NO kann als Marker für die nichtspezifische Immunabwehr gesehen werden und kann in der Atemluft nachgewiesen werden. Stickstoffmonoxid reguliert auch den Blutdruck und die Fließeigenschaften des Blutes. Vermehrte NO-Synthese wird durch körperliche Belastung ausgelöst und kann im Speichel als Nitrit nachgewiesen werden. Der Anstieg ist aber nur bei untrainierten Personen signifikant. NO im Speichel kann als Maß für Adaption gelten. Panossian et al. untersuchten die Auswirkungen einer Shizandrasupplementation auf NO und Leistung. Shizandrasupplementation ergab einen signifikant höheren NO-Gehalt im Speichel und wirkte auch leistungssteigernd. Nach körperlicher Belastung stieg der NO-Gehalt im Speichel nicht weiter an. Schizandra kann durch vermehrte NO-Synthese körperliche Leistung verbessern und die Adaption des Körpers verstärken. Wenn schwere körperliche Belastung nach Adaptogenverabreichung erfolgt, steigert sich der NO-Gehalt im Speichel nicht weiter. [PANOSSIAN et al., 1999] Weitere Studien hinsichtlich einer Leistungssteigerung wurden nicht gefunden.

D.3. Preworkout Booster

Bei Preworkout Boostern handelt es sich um eine relativ neue Klasse an Sportsupplementen, die eingesetzt werden um Trainingsleistungen zu erhöhen und damit verstärkte Anpassungsreaktionen zu ermöglichen.

Ein prominenter Vertreter ist Jack3d TM hergestellt von usp labs. Laut Verpackung ist das Produkt an einer Universität getestet worden.

Da es relativ schwierig ist an neutrale wissenschaftliche Veröffentlichungen zu gelangen, liegt es nahe das Internet zu konsultieren. Leider kursieren dort auch Meinungen, die nicht immer aus seriösen Quellen stammen.

Der Inhaltsstoff von Geranium 1,2 Dimethylamylamin wird häufig in Pre-Workout Boostern eingesetzt. Ebenfalls kann Koffein enthalten sein. Die Langzeiteffekte wurden an 7 Personen (jack3d) und 6 Personen (OxyElite Pro) bei täglicher Einnahme über 2 Wochen untersucht. Um die hämodynamischen Effekte zu untersuchen wurden Blutdruck und Puls gemessen, die nach 14 Tagen Supplementation keine signifikanten Anstiege zeigten. Nur bei OxyElite Pro zeigte sich ein Anstieg des systolischen Blutdrucks. Diese Studie wurde durch den Produzenten eines 1,3 Dimethylhexanam-haltigen Supplements finanziell unterstützt [FARNEY et al., 2012]. Ob die unternommene Studie glaubwürdige Ergebnisse liefert, kann bezweifelt werden. Welchen Zweck der Zusatz am Verpackungsetikett „university-studied“ verfolgt, wird nicht weiter kommentiert.

Eine in letzter Zeit viel diskutierte Substanz ist Geraniumöl mit seinem Inhaltsstoff Methylhexanamin. Es wird als Alternative zu Ephedrin eingesetzt und soll über appetitzügelnde und grundumsatzerhöhende Eigenschaften verfügen. Die Wirkung von Methylhexanamin kommt der von Stimulanzien sehr nahe. Diese wirken auf das zentrale Nervensystem und können den Energieumsatz erhöhen. Herzschlag, Körpertemperatur und Blutdruck werden gesteigert. Ermüdung wird verzögert und Euphorie hervorgerufen. Nebenwirkungen können sein: Stress, Unruhe, Aggression, oder psychische

Störungen wie etwa Depression. Gewarnt wird vor Methylhexanamin, da sie auf der Supplementverpackung als „Geraniumöl“ oder „Geraniumölextrakt“ getarnt wird. Diese Substanz steht seit 2010 auf der WADA Dopingliste. Sie hat stimulierende Wirkung und wird sogar in Partydrogen eingesetzt. Ein positiver Dopingtest kann somit durch die Falschbezeichnung leicht erfolgen. Um die Inhaltsstoffe zu verschleiern, werden von den Herstellern analoge Bezeichnungen gewählt, die auf den ersten Blick nicht als Dopingmittel zu erkennen sind und nicht namentlich auf der Dopingliste stehen.

[www.antidoping.ch, Zugriff am 7. März 2012]

| | |
|---------------------------|-----------------------------|
| 4-Methyl-2-hexanamin(e) | Forthan(e) |
| 4-Methyl-2-hexylamin(e) | 2-Hexanamine, 4-methyl- |
| 2-Methyl-4-methylhexan | Floradrene |
| 1,3-Dimethylamylamin(e) | DMAA |
| 1,3-Dimethylpentylamin(e) | Geranamin(e) |
| 2-Amino-4-methylhexan(e) | Pentylamine, 1, 3-dimethyl- |

modifiziert nach [www.dopinginfo.de, Zugriff am 20 März 2012]

2008 wurde weltweit ein einziger Athlet positiv auf Methylhexanamin getestet.

2009 wurden 31 und 2010 123 positive Befunde berichtet. Für 2010 bedeutet das 21,4 % aller Dopingbefunde mit Stimulanzien entfallen auf Methylhexanamin [www.dopinginfo.de, Zugriff am 20 März 2012].

D.4. Ephedra

Ephedrin der Wirkstoff von Ephedra wird zur Diätunterstützung eingesetzt. Es soll Hunger unterdrücken, Fettverbrennung forcieren und Leistung steigern.

Generell wird der Energieverbrauch angekurbelt, was zu einer Abnahme an Körperfett führen soll. Am Markt sind Kombinationen mit Koffein und Acetylsalicylsäure (Wirkstoff von Aspirin) erhältlich. Durch Koffeinzusatz werden sowohl positive als auch negative Effekte verstärkt. Es regt den Kreislauf an, erhöht Blutdruck und Puls und dämpft den Appetit. Negative Auswirkungen sind Nervosität, Herzklopfen, Schlafprobleme, Kopfschmerzen, Erbrechen,

Herzrhythmusstörungen bis zum Herzinfarkt. Vor allem für Übergewichtige mit Vorbelastungen ist das Risiko von Nebenwirkungen erhöht. Ephedrin steht auf der Dopingliste. Es wird von appetitzügelnden Präparaten gewarnt, da sie Ephedrin enthalten und positive Dopingkontrollen verursachen und Nebenwirkungen hervorrufen können. Ephedrinfreie Produkte enthalten Bitterorangenextrakte, die dem Ephedrin in Struktur und Wirkung und Nebenwirkung sehr ähnlich sind und sollten ebenfalls gemieden werden. Ephedra gehört nicht mehr zu den Inhaltsstoffen von Nahrungsergänzungsmitteln [KREIDER et al., 2010]. Für den Konsumenten ist es nicht ratsam, sich auf darauf bei Supplementen zur Gewichtsreduktion zu verlassen. Ersatzprodukte für Ephedrin können ebenfalls gesundheitsschädlich sein. Daher ist von derartigen Supplementen abzuraten.

IV. Placeboeffekt

Während einige Supplemente einen wissenschaftlich nachgewiesenen leistungssteigernden Effekt aufweisen können, ist der Markt voll an Supplementen, die diesen Effekt nicht hervorrufen oder sogar negative Auswirkungen auf Leistung und Gesundheit haben können. Physiologisch unwirksame Supplemente können aber dennoch positiv wirken. Psychologisch können Supplemente ebenfalls die Leistung beeinflussen. Wenn der Sportler an die Wirkung des Produktes glaubt, kann es ihm einen Vorteil verschaffen. Überwiegen die negativen Vorurteile, können die negativen Effekte überwiegen. Solche positiven Leistungsbeeinflussungen können für eigentlich unwirksame Produkte aber auch Risiken in sich bergen. Sollte ein Athlet mit einem Placebo bessere Ergebnisse erreichen und die Einnahme des Supplements vergessen, können negative Beeinflussungen auftreten. Der Sportler meint, seine Leistung nicht ohne Supplemente erreichen zu können und versagt dementsprechend. Dieses Phänomen kann als „Nocebo-Effekt“ beschrieben werden und kommt einem negativen Placeboeffekt gleich. Verlässt sich der Sportler zu sehr auf die Leistungssteigerung des Produktes, kann es zu einer Abhängigkeit kommen.

Die positive Beeinflussung wird durch Werbung mit erfolgreichen Athleten genutzt. Gefährlich kann die Dosis-Wirkungsbeziehung sein. Die Versuchung, größere Mengen eines Supplements einzunehmen, um damit noch bessere Effekte zu erzielen, ist groß [www.antidoping.ch, Zugriff am 7. März 2012].

V. Kontaminationen

Die Vertriebswege für Sportsupplemente sind Geschäfte, das Internet und Fitnessstudios. Bei Untersuchungen stellte sich heraus, dass sowohl hormonelle als auch nicht-hormonelle Nahrungsergänzungsmittel anabol androgene Steroide oder Prohormone, die in verbotene Substanzen metabolisiert werden können, enthalten können. Supplemente können auch falsch etikettiert sein. Dieses Phänomen der „Verunreinigung“ kann nicht nur gesundheitliche Nebenwirkungen, sondern auch positive Dopingtests zur Folge haben. Supplemente können auch mit anderen Substanzen verunreinigt sein (Koffein, Ephedrin). Vor Supplementen aus unauthorisierten Quellen wird gewarnt. Im Jahr 2000 wurde die erste Studie vom Schweizer Antidopinginstitut bezüglich Verunreinigungen in Nahrungsergänzungsmitteln durchgeführt.

Ende 2002 wurden 103 in der Schweiz online (aus US und EU onlineshops) verfügbare Supplemente überprüft. (37 Prohormone, 42 Kreatin, 12 „mental enhancers“, 12 BCAA). Es wurden in der Gruppe der „mental Enhancers“ nur deklarierte Stimulanzien wie Koffein, Ephedrin und Synephrin nachgewiesen.

In 3 Supplementen wurde Metandienone im Supplement festgestellt, ebenfalls konnten Metaboliten davon im Urin nachgewiesen werden. 18 Produkte waren mit Vorläufern und Metaboliten von Testosteron und Nandrolon verunreinigt. 18% der Produkte waren falsch ausgezeichnet. Je nach Zeitpunkt der Einnahme kontaminierter Supplemente können sich unerwünschte Nebenwirkungen einstellen. Auf psychologischer und physiologischer Ebene kann es zu gefährlichen und irreversiblen Effekten kommen. Ein mit Nandrostenedione kontaminiertes Kreatinprodukt führt innerhalb von 3

Verabreichungstagen zu zwei Metaboliten von Nandrolon im Urin mit Konzentrationen nahe dem Limit von 2 ng/mL. Längere Supplementation damit kann zu einem Überschreiten des Limits und einem positiven Dopingtest führen. Die Hoden-Hypophysen-Hypothalamus Achse wurde aber durch kurzfristige Supplementation nicht beeinträchtigt. Eine längerfristige Supplementation könnte aber andere Auswirkungen haben. Eine dreitägige Supplementation mit einem Koffeinpräparat, welches mit Norandrosterone kontaminiert ist, zeigte ähnliche Resultate. 19-Norandrosterone und 19-Noretiocholanolone wurden mit ca 1ng/mL nachgewiesen. Möglicherweise könnte eine längere Verabreichung ein positives Dopingresultat verursachen. Kontaminationen in Nahrungsergänzungsmitteln, entweder zufällig oder gewollt, oder durch falsche Etikettierung, sind ein Problem für Sportler [BAUME et al., 2006].

VI. Nebenwirkungen

Es gibt viele Gründe für die Einnahme von Supplementen (kosmetische Gründe, Leistungssteigerung, Ausgleich der Nahrung während einer Diät oder körperlicher Betätigung, Gesundheit und mentales Wohlbefinden). Das Bewusstsein über gesundheitliche Risiken, die mit Hormonen und Stimulanzien einhergehen, lässt Konsumenten zu Produkten greifen, welche frei davon sind. Über viele Supplemente wird ein potenzielles Gesundheitsrisiko berichtet. Große Mengen werden konsumiert, ohne über die möglichen Kreuzreaktionen mit anderen Supplementen Bescheid zu wissen. Es bestehen keine Mechanismen, die vor Interaktionen mit verschreibungspflichtigen Medikamenten warnen. Negative Auswirkungen durch Supplemente werden nicht dokumentiert. Viele Supplemente sind mit Kontaminantien verunreinigt, die kurz- oder langfristig schädliche Nebenwirkungen verursachen können. Olympiateilnehmer wenden über 2-3 bis hin zu 20 Supplemente gleichzeitig an. Als Kontamination ist eine Abweichung von der Information auf der Verpackung anzusehen. Sie kann zufällig oder absichtlich erfolgen. Gründe dafür sind Verunreinigung des Ausgangsmaterials, Verunreinigung während der

Verarbeitung (Kreuzkontamination verwendeter Geräte, unzureichende Reinigung). Sie können während Transport, Verpackung und Lagerung entstehen. Abweichende Konzentrationen als auf der Verpackung angegeben. Absichtliche Kontamination unterscheidet sich von der unabsichtlichen durch das Verbessern eines beworbenen Nutzens. Ein Supplement von 4 war mit den Steroiden oder Ephedrine verunreinigt. Diese zählen zu den häufigsten Kontaminantien. Abnehmsupplemente: Ephedrinfreie Supplemente enthielten zwar kein Ephedrin aber Methylxanthine, Synephrin und Schwermetalle. Es wurden auch Fälle von hepatotoxischer Wirkung von Abnehmsupplementen berichtet. [PETROCZI et al., 2011]

Um das Risiko von Kontaminationen und damit verbundenen unerwünschten Nebenwirkungen zu reduzieren, ist Vorsicht geboten. Der Konsument sollte sich auf renommierte Produkte beschränken. Die schwarzen Schafe zu identifizieren und dementsprechend zu meiden, ist nicht leicht. Die „kölner Liste“ bietet eine Plattform auf der Supplemente, die auf Dopingsubstanzen getestet wurden, allerdings kann keine absolute Sicherheit gegeben werden, sondern nur das Risiko einer positiven Dopingkontrolle vermindert werden [www.koelnerliste.com, Zugriff am 2. Juni 2012].

Die USADA hat eine spezielle Homepage über das Risiko von Nahrungsergänzungsmitteln [www.usada.org/supplement411, Zugriff am 7. März 2012].

Die ungenügende Datenlage zu Nebenwirkungen ist problematisch. Nebenwirkungen müssen nicht unmittelbar auftreten

Antioxidantien wie z.B. Vitamin C wurde eine positive Wirkung nachgesagt, was die Abpufferung von freien Radikalen, die bei sportlicher Betätigung vermehrt entstehen, betrifft. Freie Radikale wurden als schädliches Nebenprodukt und die Verminderung ihrer Konzentration wurde als positiv angesehen. Freie Radikale können aber auch als Signalmoleküle wirken und damit Gene und Stoffwechselwege regulieren. Dadurch kommt es zu körperlichen Anpassungsreaktionen, die nach dem Training in Leistungsverbesserung

resultieren. Werden diese Signalwege unterbrochen, laufen die Anpassungsmechanismen nicht mehr wie üblich ab, was die Leistungsfähigkeit negativ beeinflussen kann. Die Supplementierung von Antioxidantien und die Langzeiteffekte für die Gesundheit müssen daher hinterfragt werden [POWERS et al., 2009].

Ein weiteres Problem an der Supplementation generell ist der Zeitpunkt der Anwendung. Sollte ein neues Produkt auf den Markt kommen, ist es verlockend als einer der Ersten davon profitieren zu wollen. Der Athlet sollte sich aber gut über die möglichen Nebenwirkungen informieren, was aber nicht immer leicht ist. Bevor neuartige Substanzen eingesetzt werden, sollten alle Mittel, von denen gesichert bekannt ist, dass sie Leistungssteigerung hervorrufen, optimiert werden. Dabei muss es sich nicht nur um Ernährung handeln. Im Allgemeinen sind Athleten wenig über Supplemente und Regenerationsmaßnahmen informiert. Die einfachen Optimierungsmaßnahmen sollten forciert und eventuell riskante Selbstversuche mit neuartigen Produkten sollten aus Sicherheitsgründen unterlassen werden [www.antidoping.ch, Zugriff am 7. März 2012]. Sport- und ernährungswissenschaftliche Beratungen können helfen sportliche Leistungen zu verbessern.

VII. Schlussbetrachtung

Diese Diplomarbeit soll einen kritischen Blick auf die Notwendigkeit, Wirksamkeit und Gefahren von Supplementen im Sporternährungsbereich ermöglichen.

Bewährte Supplemente sind Makronährstoffe bzw. Kombinationen daraus („Weight gainer“), da sie als rasche Mahlzeit nach dem Training/Wettkampf eingesetzt werden können, um eine rasche Regeneration zu ermöglichen. Sie sind leicht zu dosieren, transportieren, mischen, konsumieren und zu verdauen. Sie können die Nahrungskarenz bis zu einer ausgewogenen Mahlzeit überbrücken helfen.

Nicht jeder beworbene Nutzen eines einzelnen Produktes trifft zu. Als Beispiel sei Carnitin als Fatburner genannt. Es wird als Unterstützung beim Abnehmen beworben. Da es über längere Zeiträume (24 Wochen) mit großen Kohlenhydratmengen eingenommen werden muss, um in der Muskelzelle angereichert zu werden [WALL et al., 2011], dürfte dieser Effekt durch die zusätzliche Energie kompensiert werden. Dennoch zeigen sich positive Eigenschaften für eine andere Zielgruppe. Ausdauerathleten können von einer Leistungssteigerung profitieren.

Substanzen mit vermeintlich positiver Auswirkung (Vitaminsupplemente) können etwa Anpassungsreaktionen des Körpers auf körperliches Training mindern, indem sie den oxidativen Stress abdämpfen, welcher in geringer Dosierung für Adaptation notwendig ist [GARELNABI et al., 2011; PEAKE et al., 2007].

Früher als gesundheitsschädlich angesehene Substanzen (Nitrat) zeigen positive Eigenschaften im Hinblick auf die Durchblutung, wobei zur Absicherung weitere Forschungen angestellt werden müssen. Nitrat aus einer Ernährung, die reich an grünem Blattgemüse ist, kann gesundheits- und leistungsfördernd sein, da sogar Nitratsupplemente positive Eigenschaften zeigen [GILCHRIST et al.,

2010].

Trügerisch ist die Deklaration von „natürlichen Inhaltsstoffen“.

Bitterorangenextrakt in Diätsupplementen kann aufgrund seiner Inhaltsstoffe m-Synephrin und p-Synephrin und deren Ähnlichkeit zu Ephedrin Blutdruck erhöhen und dadurch negative Auswirkung auf das cardiovasculäre Risiko haben [SANTANA et al., 2008].

Der Markt ist voll von Produkten, die keine Wirkung zeigen. Sie belasten den Athleten finanziell.

Für Athleten besteht immer die Gefahr einer Kontamination, sei es vom Hersteller gewollt oder unbeabsichtigt. Professionelle Athleten riskieren nicht nur gesundheitliche Nebenwirkungen sondern auch positive Dopingkontrollen. Gewollte Kontaminationen sollen die propagierten Effekte verstärken.

Von Internetshops bestätigte Dopingfreiheit der angebotenen Produkte ist trügerisch und kann falsch sein. Methylhexanamin wird in aufputschenden „pre-workout Boostern“ und Abnehmprodukten eingesetzt, steht jedoch auf der Dopingliste. Diese Substanz ist zwar (noch) verkehrsfähig, aber im Wettkampf verboten [www.dopinginfo.de, Zugriff am 20 März 2012].

Für den Athleten kann die Recherche des optimalen Supplements aufgrund des mangelnden Zugangs schwierig sein. Das Informationsmedium Internet bietet eine Vielzahl von Berichten über Sporternährungsprodukte, die auf Erfahrungsberichten, persönlichen Empfehlungen aber nicht auf wissenschaftlicher Sichtweise basieren oder bewusst erfunden sind.

Wenig Literatur findet sich zu möglichen Nebenwirkungen der gleichzeitigen Einnahme mehrerer Supplemente. Durch die Kombination eines Aufputschers mit einem Fatburner kann die vom Hersteller empfohlene Menge einer Substanz leicht überschritten werden und negative Effekte möglich machen.

Die amerikanische Antidoping Agentur (USADA) steht Supplementierung im Sport sehr kritisch gegenüber:

- Die Mehrheit der Supplemente zeigt keinen leistungssteigernden Effekt

- Positive Studienergebnisse beruhen auf geringen oder sehr spezifischen Effekten auf einzelne Übungen oder Muskelgruppen
- Die Beurteilung einer Studie bezüglich des Designs und der eventuellen finanziellen Abhängigkeit der Autoren ist sehr wichtig
- Beste Ergebnisse für Supplemente wurden bei Nährstoffmangel beobachtet. Ohne Mangel muss keine Leistungssteigerung auftreten.
- Absichtliche Verunreinigungen, um die beworbene Wirkung zu erreichen, sind möglich.

[www.wada-ama.org, Zugriff am 22. Februar 2012]

VIII. Zusammenfassung

Ziel dieser Diplomarbeit war es, einen Blick auf den wissenschaftlichen Hintergrund von Sporternährungsprodukten zu werfen. Notwendigkeit, Sinnhaftigkeit und Sicherheit der Produkte sollten erörtert werden, während Empfehlungen und Werbeaussagen kritisch betrachtet wurden. Von wissenschaftlicher Seite wird kaum Bedarf an Supplementen gesehen. Eine Leistungssteigerung von einigen Substanzen wird berichtet (z.B. Kreatin, Sportgetränke), die Datenlage ist aber nicht immer einheitlich. Es werden meist positive und negative Resultate beschrieben. Keinesfalls kann eine pauschale Empfehlung zum Einsatz von Sporternährungsprodukten gegeben werden. Sportler können eventuell je nach Sportart von Supplementen profitieren (z.B. Kreatin im Kraftsport). Gegen Nahrungsergänzungsmittel spricht die Gefahr einer Kontamination und das damit verbundene gesundheitliche Risiko. Gesetzliche Regelungen werden nicht immer eingehalten.

Für viele neuartige Substanzen ist die Datenlage schwach. Da von der Industrie ständig neue Supplemente entwickelt werden, stellt sich für die enormes Potential dar. Für die Zukunft bedeutet das, viele Produkte überprüfen zu müssen, um negative gesundheitliche Auswirkungen auszuschließen und die Sportler zu schützen.

IX. Summary

The aim of this diplomathesis was the evaluation of the scientific background of products used for sports nutrition. Need, efficacy and security of the products should be discussed, while recommendations and advertising statements have to be seen critically. The need of supplements is hardly seen by scientific organisations. Ergogenic effects of some substances are reported, however, the data is not always consistent, very often positive and negative results are described for the same substance. Therefore a general recommendation can not be given for the application of supplements in sports science. However, for some types of exercise (creatine in wheightlifting) specific supplementation might be needed. Furthermore, an uncertain contaminationrisk for potentially ergogenic supplements is existing. Legal regulations are not always kept. For many „new“ substances the data is weak. Constantly new supplements are developed by the industry and are rushing the market. Therefore this topic is of huge importance. For the future this means, that many products have to be checked regularly to exclude negative health effects and to protect athletes.

X. Verwendete Literatur

- ANTONIO J, SANDERS MS, KALMAN D, WOODGATE D, STREET C. The Effects of High-Dose Glutamine Ingestion on Weightlifting Performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2002; 16: 157-160.
- ANTONIO J, SANDERS MS, VAN GAMMEREN D. The Effects of Bovine Colostrum Supplementation on Body Composition and Exercise Performance in Active Men and Women. *Nutrition*, 2001; 17: 243-247.
- ASTORINO TA, COTTRELL T, LOZANO AT, ABURTO-PRATT K, DUHON J. Increases in cycling performance in response to caffeine ingestion are repeatable. *Nutrition Research*, 2012; 32: 78-84.
- AZIZI M. The effect of a short-term creatine supplementation on some of the anaerobic performance and sprint swimming records of female competitive swimmers. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 2011; 15: 1626-1629.
- BAQUET A, BOURGOIS J, VANHEE L, ACHTEN E, DERAIVE W. Important role of muscle carnosine in rowing performance. *J Appl Physiol.*, 2010; 109: 1096-1101.
- BAQUET A, BOURGOIS J, VANHEE L, ACHTEN E, DERAIVE W. Important role of muscle carnosine in rowing performance. *J Appl Physiol.*, 2010; 109: 1096-1101.
- BARR SI. Effects of dehydration on exercise performance. *Can J Appl Physiol.*, 1999; 24: 164-172.
- BASSIT RA, SAWADAL A, BACUARAU RFP, NAVARRO F, MARTINS E Jr., SANTOS R, CAPERUTO EC, ROGERI P, COSTA ROSA LFBP. Branched-Chain Amino Acid Supplementation and the Immune Response of Long-Distance Athletes. *Nutrition*, 2002; 18: 376-379.
- BATY JJ, HWANG H, DING Z, BERNARD JR, WANG B, KWON B, IVY JL. The effect of a carbohydrate and protein supplement on resistance exercise performance, hormonal response, and muscle damage. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2007; 21: 321-329.
- BAUME N, MAHLERN, KAMBER M, MANGIN P, SAUGY M. Research of stimulants and anabolic steroids in dietary supplements. *Scand J Med Sci Sports*, 2006; 16: 41-48.
- BELL DG, McLELLAN TM. Exercise endurance 1, 3, and 6 h after caffeine ingestion in caffeine users and nonusers. *J Appl Physiol*, 2002; 93: 1227-1234.
- BELLINGER PM, HOWE ST, SHING CM, FELL JW. The Effect of Combined beta-Alanine and NaHCO₃ Supplementation on Cycling Performance. *Med Sci Sports Exerc.*, 2012.
- BETTS JA, WILLIAMS C, DUFFY K, GUNNER F. The influence of carbohydrate and protein ingestion during recovery from prolonged exercise on subsequent endurance performance. *Journal of Sports Sciences*, 2007; 25: 1449-1460.
- BETTS JA, WILLIAMS C, DUFFY K, GUNNER F. The influence of carbohydrate and protein ingestion during recovery from prolonged exercise on subsequent endurance performance. *Journal of Sports Sciences*, 2007; 25: 1449-1460.
- BETTS JA, TOONE RJ, STOKES KA, THOMPSON D. Systemic indices of skeletal muscle damage and recovery of muscle function after exercise: effect of combined

- carbohydrate-protein ingestion. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 2009; 34: 773-784.
- BISHOP D, EDGE J, DAVIS C, GOODMAN C. Induced metabolic alkalosis affects muscle metabolism and repeated-sprint ability. *Med Sci Sports Exerc.*, 2004; 36: 807-813.
- BLOMSTRAND E. A Role for Branched-Chain Amino Acids in Reducing Central Fatigue. *J. Nutr.*, 2006; 136: 544-547.
- BLOMSTRAND E, HASSMÉN P, EKBLÖM B, NEWSHOLME EA. Administration of branched-chain amino acids during sustained exercise--effects on performance and on plasma concentration of some amino acids. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.*, 1991; 63: 83-88.
- BLOOMER RJ, FARNEY TM, TREPANOWSK JF, McCARTHY CG, CANALE RE, SCHILLING BK. Comparison of pre-workout nitric oxide stimulating dietary supplements on skeletal muscle oxygen saturation, blood nitrate/nitrite, lipid peroxidation, and upper body exercise performance in resistance trained men. Bloomer et al. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 2010; 7:1-15.
- BREEN L, PHILP A, WITARD OC, JACKMAN SR, SELBY A, SMITH K, BAAR K, TIPTON K. The influence of carbohydrate-protein co-ingestion following endurance exercise on myofibrillar and mitochondrial protein synthesis. *J Physiol*, 2011; 589: 4011-4025.
- BRINKWORTH GD, BUCKLEY JD, SLAVOTINEK JP, KURMIS AP. Effect of bovine colostrum supplementation on the composition of resistance trained and untrained limbs in healthy young men. *Eur J Appl Physiol*, 2004; 91: 53-60.
- BROSNAN JT, BROSNAN ME. The Sulfur-Containing Amino Acids: An Overview. *J. Nutr.*, 2006; 136: 1636-1640..
- BUCKLEY JD, THOMSON RL, COATES AM, HOWE PRC, DENICHILO MO, RONEY MK. Supplementation with a whey protein hydrolysate enhances recovery of muscle force-generating capacity following eccentric exercise. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 2010 (13).
- BURKE LM, COLLIER GR, DAVIS PG, FRICKER PA, SANIGORSKI AJ, HARGREAVES M. Muscle glycogen storage after prolonged exercise: effect of the glycemic index of carbohydrate feedings. *Am J Clin Nutr*, 1996; 64: 115-119.
- CAMPBELL B, ROBERTS M, KERKSICK C, WILBORN C. Pharmacokinetics, safety, and effects on exercise performance of L-arginine. *Nutrition*, 2006; 22: 872-881.
- CANDOW DG, CHILIBECK PD, BURKE DG, DAVISON SK, SMITH-PALMER T. Effect of glutamine supplementation combined with resistance training in young adults. *Eur J Appl Physiol*, 2001; 86: 142-149.
- CASTELL LM, NEWSHOLME EA. The Effects of Oral Glutamine Supplementation on Athletes After Prolonged, Exhaustive Exercise. *Nutrition*, 1997; 13: 738-742.
- CHETLIN RD, YEATER RA, ULLRICH IH, HORNSBY WG, MALANGA CJ, BRYNER RW. The Effect Of Ornithine Alpha-Ketoglutarate (Okg) On Healthy, Weight Trained Men. *Journal of Exercise Physiology online*, 2000; 3: 37-47.
- CHROMIAK JA, ANTONIO J. Use of Amino Acids as Growth Hormone-Releasing

- Agents by Athletes. *Nutrition*, 2002; 18: 657-661.
- CHROMIAK JA, SMEDLEY B, CARPENTER W, BROWN R, KOH YS, LAMBERTH JG, JOELA, ABADIE BR, ALTORFER G. Effect of a 10-Week Strength Training Program and Recovery Drink on Body Composition, Muscular Strength and Endurance, and Anaerobic Power and Capacity. *Nutrition* 2004; 20: 420-427.
- CLARKE ND, CAMPBELL IT, DRUST B, EVANS L, REILLY T, MACLAREN DP. The ingestion of combined carbohydrates does not alter metabolic responses or performance capacity during soccer-specific exercise in the heat compared to ingestion of a single carbohydrate. *J Sports Sci.*, 2012;30: 699-708.
- COLKER CM, SWAIN MA, FABRUCINI B, SHI Q, KALMAN DS. Effects of Supplemental Protein on Body Composition and Muscular Strength in Healthy Athletic Male Adults. *Curr Ther Res Clin Exp*, 2000; 61: 19-28.
- COLLIER SR, COLLINS E, KANALEY JA. Oral arginine attenuates the growth hormone response to resistance exercise. *J Appl Physiol*, 2006; 101: 848-852.
- COOMBES JS, CONACHER M, AUSTEN SK, MARSHALL PA. Dose effects of oral bovine colostrum on physical work capacity in cyclists. *Med Sci Sports Exerc.*, 2002 ;34: 1184-1188.
- COSO J, SALINERO JJ, GONZALEZ-MILLAN C, ABIAN-VICEN J, PEREZ-GONZALEZ B. Dose response effects of a caffeine-containing energy drink on muscle performance: a repeated measures design. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 2012; 9: 21.
- COX GR, DESBROW B, MONTGOMERY PG, ANDERSON ME, BRUCE CR, MACRIDES TA, MARTIN DT, MOQUIN A, ROBERTS A, HAWLEY JA, BURKE LM. Effect of different protocols of caffeine intake on metabolism and endurance performance. *J Appl Physiol*, 2002; 93: 990-999.
- CRIBB PJ, WILLIAMS AD, CAREY MF, HAYES A. The Effect of Whey Isolate and Resistance Training on Strength, Body Composition, and Plasma Glutamine. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 2006; 16:494-509.
- DERAVE W, OZDEMIR MS, HARRIS RC, POTTIER A, REYNGOUDT H, KOPPO K, WISE JA, ACHTEN E. beta. *J Appl Physiol.*, 2007; 103: 1736-1743.
- dopinginfo.de/rubriken/00_home/00_methex.html. Dopinginfo-"Dimethylhexanamin". 20 März 2012.
- DREIßIGACKER U, WENDT M, WITTKE T, TSIKAS D, MAASSEN N. Positive correlation between plasma nitrite and performance during high-intensive exercise but not oxidative stress in healthy men. *Nitric Oxide*, 2010; 23: 128-135.
- DUBNOV-RAZ G, LAHAV Y, CONSTANTINI N W. Non-nutrients in sports nutrition: Fluids, electrolytes, and ergogenic aids. *e-SPEN, the European e-Journal of Clinical Nutrition and Metabolism*, 2011; 6:217-222.
- EDGE J, BISHOP D, GOODMAN C. Effects of chronic NaHCO₃ ingestion during interval training on changes to muscle buffer capacity, metabolism, and short-term endurance performance. *J Appl Physiol*, 2006; 101: 918-925.
- ENGELHARDT M, NEUMANN G, BERBALK A, REUTER I. Creatine supplementation in endurance sports. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 1998; 7: 1123-1129.

- FARNEY TM, CAMERN CG, CANALE RE, ALLMAN RJ, BLOOMER RJ. Hemodynamic and Hematologic Profile of Healthy Adults Ingesting Dietary supplements containing 1,3-Dimethylamylamine and Caffeine. *Nutrition and Metabolic Insights*, 2012; 5: 1-12.
- FEBBRAIO MA, KEENAN J, ANGUS DJ, CAMPBELL SE, GARNHAM AP. Preexercise carbohydrate ingestion, glucose kinetics and muscle glycogen use: effect of the glycemic index. *J Appl Physiol.*, 2000; 89:1845-1851.
- GANIO MS, JOHNSON EC, LOPEZ RM, STEAR NS, EMMANUEL H, ANDERSON JM, CASA DJ, MARESH CM, VOLEK JS, ARMSTRONG LE. Caffeine lowers muscle pain during exercise in hot but not cool environments. *Physiology & Behavior*, 2011; 102: 429-435.
- GARELNABI M, VELEDAR E, WHITE-WELKLEY J, SANTANAM N, ABRAMSON J, WEINTRAUB W, PARTHASARATHY S. Vitamin E differentially affects short term exercise induced changes in oxidative stress, lipids, and inflammatory markers. *Nutrition, Metabolism & Cardiovascular Diseases*, 2011; 1-7.
- GAUTHIER SF, POULIOT Y, SAINT-SAUVEUR D. Immunomodulatory peptides obtained by the enzymatic hydrolysis of whey proteins. *International Dairy Journal*, 2006; 16: 1315-1323
- GENTON L, MELZER K, PICHARD C. Energy and macronutrient requirements for physical fitness in exercising subjects. *Clinical Nutrition*, 2010; 29: 413-423.
- GENTON L, MELZER K, PICHARD C. Energy and macronutrient requirements for physical fitness in exercising subjects. *Clinical Nutrition*, 2010; 29: 413-423.
- GIESE MW, LECHER CS. Non-enzymatic cyclization of creatine ethyl ester to creatinine. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 2009; 388: 252-255.
- GILCHRIST M, WINYARD PG, BENJAMIN N. Dietary nitrate - Good or bad?. *Nitric Oxide*, 2010; 22: 104-109.
- GLEESON M. Dosing and Efficacy of Glutamine Supplementation in Human Exercise and Sport Training. *J. Nutr.*, 2008; 138: 2045-2049.
- GOMEZ-CABRERA MC, DOMENECH E, ROMAGNOLI M, ARDUINI A, BORRAS C, PALLARDO FV, SASTRE J, VIÑA J. Oral administration of vitamin C decreases muscle mitochondrial biogenesis and hampers training-induced adaptations in endurance performance. *Am J Clin Nutr*, 2008; 87: 142-149.
- GROSS M, BAUM O, HOPPELER H. . *European Journal of Sport Science*, 2011; 11: 27.
- GROSS M, BAUM O, HOPPELER H. Antioxidant supplementation and endurance training: Win or loss?. *European Journal of Sport Science*, 2011; 11: 27-32.
- GUALANO B, ROSCHEL H, LANCHAH AH Jr., BRIGHTBILL CE, RAWSON ES. In sickness and in health: the widespread application of creatine supplementation. *Amino Acids*, 2011; DOI:10.1007/s00726-011-1132-7.
- HARRIS RC, JONES G, WISE JA. The plasma concentration-time profile of beta-alanine using a controlled-release formulation (Carnosyn®). *The FASEB Journal*, 2008; 22: 701-709.
- HAUB MD, POTTEGER JA, NAU KL, WEBSTER MJ, ZEBAY CJ. Acute L-

- glutamine ingestion does not improve maximal effort exercise. *J Sports Med Phys Fitness*, 1998; 38: 240-244.
- HICKNER RC, DYCK DJ, SKLAR J, HATLEY H, BYRD P. Effect of 28 days of creatine ingestion on muscle metabolism and performance of a simulated cycling road race. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 2010; 7:26.
- HOFFMANN JR, RATAMESS NA, FAIGENBAUM AD, ROSS R, KANG J, STOUT JR, Wise JA. Short-duration beta-alanine supplementation increases training volume and reduces subjective feelings of fatigue in college football players. *Nutrition Research*, 2008; 28: 31-35.
- HOFMAN Z, SMEETS R, VERLAAN G, LUGT R, VERSTAPPEN PA. The effect of bovine colostrum supplementation on exercise performance in elite field hockey players. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.*, 2002 ;12: 461-469.
- HOWARTH KR, MOREAU NA, PHILLIPS SM, GIBALA MJ. Coingestion of protein with carbohydrate during recovery from endurance exercise stimulates skeletal muscle protein synthesis in humans. *J Appl Physiol*, 2009; 106: 1394-1402.
- HURSON M , REGAN MC, KIRK SJ, WASSERKRUG HL, BARBUL A. Metabolic Effects of Arginine in a Healthy Elderly Population. *Journal of Parenteral and Enteral Nutrition*, 1995; 19: 227-230.
- IVY JL, GOFORTH HW, DAMON BM, McCAULEY DR. Early postexercise muscle glycogen recovery is enhanced with a carbohydrate-protein supplement. *J Appl Physiol*, 2002; 93: 1337-1344.
- IVY JL, KATZ AL, CUTLER CL, SHERMAN WM, COYLE EF. Muscle glycogen synthesis after exercise:effect of time of carbohydrate ingestion. *J. Appl. Physiol.*,1988; 64: 1480-1485.
- JENTJENS RLP, ACHTEN J, JEUKENDRUP AE. High oxidation rates from combined carbohydrates ingested during exercise. *Med Sci Sports Exerc.*, 2004; 36: 1551-1558.
- JENTJENS RLP, UNDERWOOD K, ACHTEN J, CURRELL K, MANN CH, JEUKENDRUP AE. Exogenous carbohydrate oxidation rates are elevated after combined ingestion of glucose and fructose during exercise in the heat. *J Appl Physiol*, 2006;100: 807-816..
- JENTJENS RLP, VAN LOON LJC, MANN CH, WAGENMAKERS AJM, JEUKENDRUP AE. Addition of protein and amino acids to carbohydrates does not enhance postexercise muscle glycogen synthesis. *J Appl Physiol*, 2001; 91: 839-846.
- JEUKENDRUP AE, JENTJENS RL, MOSELEY L. Nutritional considerations in triathlon. *Sports Med.*, 2005; 35: 163-181.
- KARLIC H, LOHNINGER A. Supplementation of L-Carnitine in Athletes: Does It Make Sense?. *Nutrition*, 2004; 20: 709-715.
- Kein Autor Identifiziert. Position of the American Dietetic Association, Dietitians of Canada, and the American College of Sports Medicine: Nutrition and Athletic Performance. *J Am Diet Assoc.*, 2009; 109: 509-527.
- KERKSICK C, TRAVIS HARVEY T, JEFF STOUT J, CAMPBELL B, WILBORN C, KREIDER R, KALMAN D, ZIEGENFUSS T, LOPEZ H, LANDIS J, IVY JL, ANTONIO J. International Society of Sports Nutrition position stand: Nutrient timing. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 2008; 5:17.

- KNEZ WL, JENKINS DG, COOMBES JS. Oxidative stress in half and full Ironman triathletes. *Med Sci Sports Exerc.*, 2007; 39: 283-288.
- KRAEMER W J, RATAMESS NA, VOLEK JS, HÄKKINEN K, RUBIN MR, DUNCAN NF, GOMEZ AL, McGUIGAN MR, SCHEETT TP, NEWTON RU, SPIERIN BA, IZQUIERDO M, DIOGUARDI FS. The effects of amino acid supplementation on hormonal responses to resistance training overreaching. *Metabolism Clinical and Experimental*, 2006; 55: 282- 291.
- KREIDER RB, WILBORN CD, TAYLOR L, CAMPBELL B, ALMADA L. ISSN exercise & sport nutrition review:research & recommendations. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 2010; 7: 2-43.
- KREIDER RB, WILBORN CD, TAYLOR L, CAMPBELL B, ALMADA L. ISSN exercise & sport nutrition review:research & recommendations. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 2010; 7: 2-43.
- KREIDER RB, WILBORN CD, TAYLOR L, CAMPBELL B, ALMADA L. ISSN exercise & sport nutrition review:research & recommendations. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 2010; 7: 2-43.
- KREIDER RB, WILBORN CD, TAYLOR L, CAMPBELL B, ALMADA L. ISSN exercise & sport nutrition review:research & recommendations. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 2010; 7: 2-43.
- KREIDER RB, WILBORN CD, TAYLOR L, CAMPBELL B, ALMADA L. ISSN exercise & sport nutrition review:research & recommendations. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 2010; 7: 2-43.
- LANSLEY KE, WINYARD PG, FULFORD J, VANHATALO A, BAILEY SJ, BLACKWELL JR, DIMENNA FJ, GILCHRIST M, BENJAMIN N, JONES AM. Dietary nitrate supplementation reduces the O₂ cost of walking and running: a placebo-controlled study. *J Appl Physiol*, 2010.
- LARSEN FJ, SCHIFFER TA, BORNIQUEL S, SAHLIN K, EKBLUM B, LUNDBERG JO, WEITZBERG E. Dietary Inorganic Nitrate Improves Mitochondrial Efficiency in Humans. *Cell Metabolism*, 2011; 13: 149-159.
- LEVESQUE DG, KENEFICK RW, QUINN TJ. Creatine supplementation: impact on cycling sprint performance. *Journal of Exercise Physiology Online*, 2007; 10: 17-28.
- LIU T-H, WU C-L, CHIANG C-W, LO Y-W, TSENG H-F. No effect of short-term arginine supplementation on nitric oxideproduction, metabolism and performance in intermittent exercise in athletes. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 2009; 20: 462-468.
- LOW SY, TAYLOR PM, RENNIE MJ. Responses of glutamine transport in cultured rat skeletal muscle to osmotically induced changes in cell volume. *Journal of Physiology*, 1996; 492: 877-885.
- LUNDBERG JO, FEELISCH M, BJÖRNE H, JANSSON EÅ, WEITZBERG E. Cardioprotective effects of vegetables: Is nitrate the answer. *Nitric Oxide*, 2006, 15: 359-362.
- LUNDBERG JO, WEITZBERG E, GLADWIN MT. The nitrate-nitrite-nitric oxide pathway in physiology and therapeutics. *Nature Reviews Drug Discovery*, 2008; 7: 156-167.
- MANNION AF, JAKEMAN PM, DUNNETT M, HARRIS RC, WILLAN PL.

- Carnosine and anserine concentrations in the quadriceps femoris muscle of healthy humans. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.*, 1992; 64: 47-50.
- McCLUNG JP. Iron status and the female athlete. *J Trace Elem Med Biol*, 2012.
- McNAUGHTON L, BACKX K, PALMER G, STRANGE N. Effects of chronic bicarbonate ingestion on the performance of high-intensity work. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 1999; 4: 333-336.
- MERIMEE TJ, RABINOWITZ D, FINEBERG SE. Arginine-Initiated Release of Human Growth Hormone - Factors Modifying the Response in Normal Man. *N Engl J Med*, 1969; 280:1434-1438.
- MOJITABA I, MARYAM C, DAVOOD K, FATEMEH K. The effect of chronic l-carnitine l-tartrate supplementation on glucose and lactate concentration and aerobic capacity. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 2009; 1: 2692-2695. monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol79/mono79-24.pdf. IARC-"Thioharnstoff". 22. Februar 2012.
- MORET S, PREVARIN A, TUBARO F. Levels of creatine, organic contaminants and heavy metals in creatine dietary supplements. *Food Chemistry*, 2011; 126: 1232-1238.
- MOSELEY L, LANCASTER GI, JEUKENDRUP AE.. Effects of timing of pre-exercise ingestion of carbohydrate on subsequent metabolism and cycling performance. *Eur J Appl Physiol.*, 2003; 88: 453-458.
- MØLLER N, JØRGENSEN JOL. Effects of Growth Hormone on Glucose, Lipid, and Protein Metabolism in Human Subjects. *Endocrine Reviews*, 2009; 30:152-177.
- OÖPIK V, SAAREMETS I, MEDIJAINEN L, KARELSON K, JANSON T, TIMPMANN S. Effects of sodium citrate ingestion before exercise on endurance performance in well trained college runners. *Br J Sports Med* 2003; 37: 485-489.
- PADDON-JONES D, BØRSHEIM E, WOLFE RR. Potential Ergogenic Effects of Arginine and Creatine Supplementation. *J. Nutr.*, 2004; 134: 2888-2894.
- PANOSSIAN AG, OGANESSIARI AS, AMBARTSUMIAR M, GABRIELIAU ES, WANGER H, WIKMAN G. Effects of heavy physical exercise and adaptogens on nitric oxide content in human saliva. *Phytomedicine*, 1999; 6: 17-26.
- PEAKE JM, SUZUKI K, COOMBES JS. The influence of antioxidant supplementation on markers of inflammation and the relationship to oxidative stress after exercise. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 2007; 18: 357-371.
- PEDERSEN BK, SALTIN B. Evidence for prescribing exercise as therapy in chronic disease. *Scand J Med Sci Sports*, 2006; 16: 3-63.
- PERLMAN DH, BAUER SM, ASHRAFIAN H, BRYAN NS, GARCIA-SAURA MF, LIM CC, FERNANDEZ BO, INFUSINI G, McCOMB ME, COSTELLO KE, FEELISCH M. Mechanistic Insights Into Nitrite-Induced Cardioprotection Using an Integrated Metabolomic/Proteomic Approach. *Circ Res.*, 2009; 104: 796-804.
- PETROCZI A, TAYLOR G, NAUGHTON DP. Mission impossible? Regulatory and enforcement issues to ensure safety of dietary supplements. *Food and Chemical Toxicology*, 2011; 49: 393-402.
- PETRÓCZI A, NAUGHTON DP. Potentially fatal new trend in performance enhancement: a cautionary note on nitrite. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 2010; 7.
- PHILLIPS SM. Protein requirements and supplementation in strength sports. *Nutrition.*,

2004; 20: 689-695.

- PORTAL S, ZADIK Z, RABINOWITZ J, PILZ-BURSTEIN R, ADLER-PORTAL D, MECKEL Y, COOPER DM, ELIAKIM A, NEMET D. The effect of HMB supplementation on body composition, fitness, hormonal and inflammatory mediators in elite adolescent volleyball players: a prospective randomized, double-blind, placebo-controlled study. *Eur J Appl Physiol*, 2011; 111: 2261-2269. portal.wko.at/wk/dok_detail_file.wk?angid=1&docid=468543&stid=232528&dstid=144. WKO-NEM. 12. Februar 2012.
- POWERS SK, DUARTE J, KAVAZIS AN, TALBERT EE. Reactive oxygen species are signalling molecules for skeletal muscle adaptation. *Exp Physiol*, 2009; 95: 1-9.
- PRICE MJ, SIMONS C. The effect of sodium bicarbonate ingestion on high-intensity intermittent running and subsequent performance. *J Strength Cond Res.*, 2010 ; 24: 1834-1842.
- RAWSON ES, PERSKY AM. Mechanisms of muscular adaptations to creatine supplementation. *International SportMed Journal*, 2007; 8: 43-53.
- RAWSON ES, STEC MJ, FREDERICKSON FJ, MILES MP. Low-dose creatine supplementation enhances fatigue resistance in the absence of weight gain. *Nutrition*, 2011; 27: 451-455.
- RAWSON ES, STEC MJ, FREDERICKSON FJ, MILES MP. Low-dose creatine supplementation enhances fatigue resistance in the absence of weight gain. *Nutrition*, 2011; 27: 451-455.
- ROBERTS SP, STOKES KA, TREWARTHA G, HOGBEN P, DOYLE J. Effect of combined carbohydrate-protein ingestion on markers of recovery after simulated rugby union match-play. *Journal of Sports Sciences*, 2011; 29: 1253-1262.
- SANANA J, SHARPLESS KE, NELSON BC. Determination of para-synephrine and meta-synephrine positional isomers in bitter orange-containing dietary supplements by LC/UV and LC/MS/MS. *Food Chemistry*, 2008; 109: 675-682.
- SANTOS RVT, BASSIT RA, CAPERUTO EC, COSTA ROSA LFBP. The effect of creatine supplementation upon inflammatory and muscle soreness markers after a 30km race. *Life Sciences*, 2004; 75: 1917-1924.
- SAREMI A, GHARAKANLOO R, SHARGHIC S, GHARAATI MR, LARIJANI B, OMIDFAR K. Effects of oral creatine and resistance training on serum myostatin and GASP-1. *Molecular and Cellular Endocrinology*, 2010; 317: 25-30.
- SAUDAN C, BAUME N, EMERY C, STRAHM E, SAUGY M. Short term impact of *Tribulus terrestris* intake on doping control analysis of endogenous steroids. *Forensic Science International*, 2008; 178: 7-10.
- SAUNDERS B, SALE C, HARRIS RC, SUNDERLAND C. Effect of beta-alanine supplementation on repeated sprint performance during the Loughborough Intermittent Shuttle Test. *Amino Acids*, 2012; 43: 39-47.
- SCHUELKE M, WAGNER KR, STOLZ LE. Myostatin Mutation Associated with Gross Muscle Hypertrophy in a Child. *N Engl J Med*, 2004; 350: 2682-2688.
- SHAO A, HATHCOCK JN. Risk assessment for the amino acids taurine, L-glutamine and L-arginine. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 2008; 50: 376-399.
- SIEGLER JC, MARSHALL P, BRAY J, TOWLSON C. Sodium bicarbonate supplementation & ingestion timing: does it matter. *J Strength Cond Res.*, 2011.

- SIKORSKA H, CIANCIARA J, WIERCINSKA-DRAPATO A. Physiological functions of L-ornithine and L-asparPhysiological functions of L-ornithine and L-aspartate in the body and the efficacy of administration of L-ornithine-L-aspartate in conditions of relative deficiency. *Pol Merkur Lekarski*, 2010; 28: 490-495.
- STEARNS RL, EMMANUEL H, VOLEK JS, CASA DJ. Effects of Ingesting Protein in Combination With Carbohydrate During Exercise on Endurance Performance: A Systematic Review With Meta-Analysis. *J Strength Cond Res*,2010; 24: 2192-2202.
- STEPHENS TJ, MCKENNA MJ, CANNY BJ, SNOW RJ, MCCONELL GK. Effect of sodium bicarbonate on muscle metabolism during intense endurance cycling. *Med Sci Sports Exerc.*, 2002; 34: 614-621.
- STEVENSON E, WILLIAMS C, NUTE M. The influence of the glycaemic index of breakfast and lunch on substrate utilisation during the postprandial periods and subsequent exercise. *Br J Nutr.*, 2005; 93: 885-893.
- STHEPHENS FB, CONSTANTIN-TEODOSIU D, GREENHAFF PL. New insights concerning the role of carnitine in the regulation of fuel metabolism in skeletal muscle. *J Physiol*,2007; 581: 431-444.
- STONE M, IBARRA A, ROLLER M, ZANGARA A, STEVENSON E. A pilot investigation into the effect of maca supplementation on physical activity and sexual desire in sportsmen. *Journal of Ethnopharmacology*, 2009; 126: 574-576.
- SUGINO T, SHIRAI T, KAJIMOTO Y, KAJIMOTO O. L-Ornithine supplementation attenuates physical fatigue in healthyvolunteers by modulating lipid and amino acid metabolism. *Nutrition Research*, 2008; 28: 738-743.
- SURINDER KR, SANDERS TAB. Taurine concentrations in the diet, plasma, urine and breast milk of vegans compared with omnivores. *British Journal of Nutrition*, 1986; 56: 17-27.
- SUZUKI Y, ITO O, MUKAI N, TAKAHASHI H, TAKAMATSU K. High level of skeletal muscle carnosine contributes to the latter half of exercise performance during 30-s maximal cycle ergometer sprinting. *Jpn J Physiol.*, 2002 ; 52: 199-205.
- TANG JE, MOORE DR, KUJBIDA GW, TARNOPOLSKY MA, PHILLIPS SM. Ingestion of whey hydrolysate, casein, or soy protein isolate: effects on mixedmuscle protein synthesis at rest and following resistance exercise in young men. *J Appl Physiol*, 2009; 107: 987-992.
- TAPIERO H, MATHÉ G, COUVREUR P, TEW KD. Glutamine and glutamate. *Biomed Pharmacother*, 2002; 56: 446-457.
- TARNOPOLSKY MA. Caffeine and Creatine Use in Sport. *Ann Nutr Metab*, 2010; 57: 1-8.
- TARNOPOLSKY MA. Protein Requirements for Endurance Athletes. *Nutrition.*, 2004; 20: 662-668.
- THIBAUT R, FLET L, VAVASSEUR F,LEMERLE M, FERCHAUD-ROUCHER V, PICOT D, DARMAUN D. Oral citrulline does not affect whole body protein metabolism in healthy humanvolunteers: Results of a prospective, randomized, double-blind, cross-over study. *Clin Nutr.*, 2011;30: 807-811.
- THOMSON JS, WATSON PE, ROWLANDS DS. Effects of nine weeks of beta-hydroxy-beta- methylbutyrate supplementation on strength and body composition

- in resistance trained men. *J Strength Cond Res.*, 2009; 23: 827-835.
- TIPTON KD, ELLIOTT TA, CREE MG, WOLF SE, SANFORD AP, WOLFE RR. Ingestion of Casein and Whey Proteins Result in Muscle Anabolism after Resistance Exercise. *Med Sci Sports Exerc.*, 2004; 36:2073-2078.
- UCHIDA MC, BACURAU AVN, AOKI MS, BACURAU RFP. Branched-chain amino acids ingestion does not affect endurance performance. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, 2008; 14: 42-45.
- URSO ML, CLARKSON P. Oxidative stress, exercise, and antioxidant supplementation. *Toxicology*, 2003; 189: 41-54.
- Van SCHUYLENBERG R, Van LEEMPUTTE M, HESPEL P. Effects of oral creatine-pyruvate supplementation in cycling performance. *Int J Sports Med.*, 2003; 24: 144-150.
- Van THIENEN R, Van PROEYEN K, Vanden EYNDE B, PUYPE J, HESPEL P. Beta-alanine improves sprint performance in endurance cycling. *Med Sci Sports Exerc.*, 2009; 41: 898-903.
- VANHATALO A, MCNAUGHTON LR, SIEGLER J, JONES AM. Effect of induced alkalosis on the power-duration relationship of "all-out" exercise. *Med Sci Sports Exerc.*, 2010; 42: 563-570.
- VON DUVILLARD SP, BRAUN WA, MARKOFSKI M, BENEKE R, LEITHÄUSER R. Fluids and Hydration in Prolonged Endurance Performance. *Nutrition*, 2004; 20: 651-656.
- WALL BT, STEPHENS FB, CONSTANTIN-TEODOSIU D, MARIMUTHU K, MACDONALD IA, GREENHAFF PL. Chronic oral ingestion of L-carnitine and carbohydrate increases muscle carnitine content and alters muscle fuel metabolism during exercise in humans. *J Physiol*, 2011; 589.4: 963-973.
- WALLIMANN T, TOKARSKA-SCHLATTNER M, SCHLATTNER U. The creatine kinase system and pleiotropic effects of creatine. *Amino Acids*, 2011; 40: 1271-1296.
- WEBB AJ, PATEL N, LOUKOGEORGAKIS S, OKORIE M, ABOUD Z, MISRA S, RASHID R, MIALP P, DEANFIELD J, BENJAMIN N, MACALLISTER R, HOBBS AJ, AHLUWALIA A. Acute Blood Pressure Lowering, Vasoprotective, and Antiplatelet Properties of Dietary Nitrate via Bioconversion to Nitrite. *Hypertension*, 2008; 51: 784-790.
- WEE SL, WILLIAMS C, TSINTZAS K, BOOBIS L. Ingestion of a high-glycemic index meal increases muscle glycogen storage at rest but augments its utilization during subsequent exercise. *J Appl Physiol.*, 2005; 99: 707-714.
- WILSON GJ, WILSON JM, MANNINEN AH. Effects of beta-hydroxy-beta-methylbutyrate (HMB) on exercise performance and body composition across varying levels of age, sex, and training experience: A review. *Nutrition & Metabolism* 2008, 5:1.
- WRAY DW, UBEROI A, LAWRENSEN L, BAILEYS D, RICHARDSON RS. Oral antioxidants and cardiovascular health in the exercise-trained and untrained elderly: a radically different outcome. *Clinical Science*, 2009; 116: 433-441.
- WU CL, SHIH MC, YANG CC, HUANG MH, CHANG CK. Sodium bicarbonate supplementation prevents skilled tennis performance decline after a simulated match. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 2010; 7:33.

- www.ages.at/uploads/media/Nahrungsergaenzungsmittel-Folder.pdf. AGES-NEM. 1. März 2012.
- www.antidoping.ch/de/medicine/supplements/supplementguide/. Antidoping.ch "Supplementguide". 10. Februar 2012.
- www.antidoping.ch/download/2175/de/. Antidoping.ch "Regenerationsprodukte". 15. März 2012.
- www.antidoping.ch/download/2930/de/. Antidoping.ch "Carbonat". 19. März 2012.
- www.antidoping.ch/download/3288/de/. Antidoping.ch-"Kolostrum". 20. Jänner 2012.
- www.antidoping.ch/download/4294/de/. Antidoping.ch-"Supplemente Chancen und Risiken". 7. März 2012.
- www.ausport.gov.au/__data/assets/pdf_file/0004/478372/Antioxidant_vitamins_12_-_website_fact_sheet.pdf. AIS-"Antioxidantien". 4. März 2012.
- www.ausport.gov.au/__data/assets/pdf_file/0007/446722/Iron11_-_Website_fact_sheet.pdf. AIS-"Eisen". 12. Februar 2012.
- www.ausport.gov.au/__data/assets/pdf_file/0009/466029/Beetroot_juice_Nitrate_11_-_website_fact_sheet.pdf. AIS-"Nitrat". 10. Februar 2012.
- www.ausport.gov.au/__data/assets/pdf_file/0011/463538/Electrolyte_replacement_11_-_website_fact_sheet.pdf. AIS-"Sportgetränke". 15. Februar 2012.
- www.ausport.gov.au/ais/nutrition/supplements/group_d. AIS-"Dimethylhexanamin". 9. März 2012.
- www.dge.de/modules.php?name=News&file=article&sid=283. DGE-"Sport & Ernährung". 2. Mai 2012.
- www.efsa.europa.eu/de/efsajournal/doc/1235.pdf. EFSA-"Glutamin". 23. März 2012.
- www.efsa.europa.eu/de/efsajournal/doc/1790.pdf. EFSA-"BCAA". 9. März 2012.
- www.efsa.europa.eu/de/efsajournal/doc/1818.pdf. EFSA-"Molkenprotein". 3. Mai 2012.
- www.efsa.europa.eu/de/efsajournal/doc/2051.pdf. EFSA-"Arginin". 10. März 2012.
- www.efsa.europa.eu/de/efsajournal/doc/36.pdf. . 8. April 2012.
- www.efsa.europa.eu/de/efsajournal/doc/935.pdf. EFSA-"Taurin". 2. April 2012.
- www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/doc/2211.pdf. EFSA-"Sportgetränke". 10. Mai 2012.
- www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/doc/2303.pdf. EFSA-"Creatin". 10. April 2012.
- www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/doc/689.pdf. EFSA-"Nitrat". 17. April 2012.
- www.koelnerliste.com. . www.koelnerliste.com.
- www.usada.org/supplement411. United States Anti-Doping Agency. 7. März 2012.
- www.wada-ama.org/en/Resources/Q-and-A/2012-Prohibited-List/. WADA-"Dopingliste". Hoffentlich kommt was an.
- ZACHWIEJA JJ, WITT TL, YARASHESKI KE. Intravenous glutamine does not stimulate mixed muscle protein synthesis in healthy young men and women. *Metabolism*; 2000; 49: 1555-1560.
- ZAND J , LANZA F , GARG HK, BRYAN NS. All-natural nitrite and nitrate containing dietary supplement promotes nitric oxide production and reduces triglycerides in humans. *Nutrition Research* 31 (2011).
- ZHANG M, IZUMI I, KAGAMIMORI S, SOKEJIMA S, YAMAGAMI T, LIU Z, QI B. Role of taurine supplementation to prevent exercise-induced oxidative stress in healthy young men. *Amino Acids*, 2004; 26: 203-207.
- ZIMMERS TA, DAVIES MV, KONIARIS LG, HAYNES P, ESQUELA

AF, TOMKINSON KN, McPHERRON AC, WOLFMAN NM, LEE SJ. Induction of cachexia in mice by systemically administered myostatin. *Science.*, 2002;24:1486-1488.

XI. Lebenslauf

| | | |
|-------------------|----------------------|------------|
| Zur Person | Name: | Hofmeister |
| | Vorname: | Georg |
| | Geburtsdatum: | 13.07.1983 |
| | Geburtsort: | Wien |
| | Familienstand: | ledig |
| | Staatsangehörigkeit: | Österreich |

Ausbildung

| | |
|-----------|---|
| Seit 2003 | Studium der Ernährungswissenschaften |
| 2002-2003 | Studium der Medizin |
| 2002 | Präsenzdienst |
| 1993-2001 | Gymnasium Rosasgasse, Wien 12, Abschluss Matura |
| 1989-1993 | Volksschule Bischoffgasse, Wien 12 |

Berufspraktika

| | |
|-----------------------|--|
| Februar 2009 | Institut für medizinische und sportwissenschaftliche Beratung, Maria Enzersdorf |
| März 2008 - Juni 2008 | Fa. Schlögl Ei, Stoob-Süd, Qualitätsmanagement |
| Februar 2008 | Arbeitsgemeinschaft klinische Ernährung, Wien Nutritionday |

Berufliche Tätigkeit

| | |
|---------------------------|---|
| April 2007– aktuell | Fa. Peak Performance, Wien <i>Verkauf</i> |
| August 2003 – August 2006 | Fa. Gigasport, Brunn Verkauf |
