

DIPLOMARBEIT

Die Effektivität von KOFFEIN auf die sportliche Leistungsfähigkeit

angestrebter akademischer Grad

Magistra der Naturwissenschaften (Mag. rer.nat.)

Sonja Lugbauer

Matrikelnummer: 0404695

Diplomstudium Ernährungswissenschaften A 474

Betreuerin: Dr. Ass.-Prof. Petra Rust

Wien, im November 2010

Danksagung

Bedanken möchte ich mich ganz herzlich bei Dr. Ass. - Prof. Petra Rust für die Bereitstellung des Themas der Diplomarbeit und die damit verbundene Betreuung und Hilfestellung bei Unklarheiten meinerseits.

Besonderer Dank gilt meinen Freunden und meiner Familie, die mich im Laufe meines Studiums immer tatkräftig unterstützt und motiviert haben.

Zudem möchte ich mich ganz besonders bei meinen Eltern bedanken, die mir sowohl finanziell als auch moralisch immer den Rücken gestärkt haben.

INHALTSVERZEICHNIS

INHALTSVERZEICHNIS	I
TABELLENVERZEICHNIS	III
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	IV
ABKÜRZUNGEN	V
1. EINLEITUNG	- 1 -
2. DEFINITION UND GESCHICHTE VON KOFFEIN	- 2 -
2.1. Definition und Struktur von Koffein	- 2 -
2.2. Geschichte	- 3 -
3. NATÜRLICHES VORKOMMEN VON KOFFEIN	- 5 -
3.1. Kolanuss	- 7 -
3.1.1. Vorkommen	- 7 -
3.1.2. Inhaltsstoffe	- 7 -
3.1.3. Anwendung und Wirkung	- 7 -
3.2. Guarana – Pflanze	- 9 -
3.2.1. Vorkommen	- 9 -
3.2.2. Inhaltsstoffe	- 9 -
3.2.3. Anwendung und Wirkung	- 9 -
3.3. Tee	- 11 -
3.3.1. Vorkommen	- 11 -
3.3.2. Inhaltsstoffe	- 11 -
3.3.3. Anwendung und Wirkung	- 12 -
3.4. Matè – Pflanze	- 14 -
3.4.1. Vorkommen	- 14 -
3.4.2. Inhaltsstoffe	- 14 -
3.4.3. Anwendung und Wirkung	- 14 -
3.5. Kakaobohne	- 14 -
3.5.1. Vorkommen	- 14 -
3.5.2. Inhaltsstoffe	- 14 -
3.5.3. Anwendung und Wirkung	- 15 -
3.6. Kaffeebohne	- 15 -
3.6.1. Vorkommen	- 15 -
3.6.2. Inhaltsstoffe	- 16 -
3.6.3. Anwendung und Wirkung	- 16 -
4. STELLENWERT DER ERNÄHRUNG BEI VERSCHIEDENEN SPORTLERN	- 19 -
4.1. Leistungsphysiologie	- 19 -
4.2. Allgemeine Empfehlungen	- 20 -
4.3. Breitensportler	- 21 -
4.4. Leistungssportler	- 22 -
4.5. Ausdauersportler	- 24 -
4.6. Kraftsportler	- 25 -

5. KOFFEIN IM SPORT	- 27 -
5.1. Wirkungsmechanismen von Koffein	- 27 -
5.2. Effekte einer Koffeinverabreichung im Sport	- 30 -
5.2.1. Koffein im Ausdauersport	- 30 -
5.2.1.1. Form und Dosis	- 31 -
5.2.1.2. Koffeinhaltiger und entkoffeinierter Kaffee	- 33 -
5.2.1.3. Verabreichung von anhydriertem Koffein	- 35 -
5.2.2. Koffein im Kraftsport	- 37 -
5.2.3. Koffein im Teamsport und in anderen hochintensiven Sportarten	- 38 -
5.2.4. Koffein in Kombination mit Kohlenhydraten und in der Regenerierungsphase	- 41 -
5.2.5. Koffein und kognitive Leistung	- 43 -
5.3. Koffein und Doping	- 47 -
5.4. Koffein als Leistungsförderer bei Frauen	- 50 -
5.5. Der Einfluss von Koffein auf den Flüssigkeitshaushalt	- 53 -
5.6. Sportlergetränke	- 56 -
5.6.1. Hypertone, isotone und hypotone Getränke	- 57 -
5.6.2. Energydrinks im Sport	- 61 -
6. ABHÄNGIGKEIT UND TOLERANZ GEGENÜBER KOFFEIN – GEFAHREN	- 68 -
6.1. Anzeichen einer Abhängigkeit	- 69 -
6.2. Koffein Entzug	- 73 -
6.3. Risiken der Koffeinverabreichung im Sport	- 75 -
6.3.1. Überdosierungen, Toxizität	- 77 -
6.3.2. Unerwünschte Wirkungen	- 78 -
6.3.2.1. Kardiovaskuläre Erkrankungen und Herzrhythmusstörungen durch Koffein	- 78 -
6.3.2.2. Koffein und die Aggregation von Blutplättchen	- 80 -
6.3.2.3. Koffein und das Osteoporoserisiko	- 81 -
7. WECHSELWIRKUNGEN VON KOFFEIN MIT ANDEREN SUBSTANZEN	- 82 -
7.1. Koffein und Alkohol	- 82 -
7.2. Koffein und Nikotin	- 84 -
8. SCHLUSSBETRACHTUNG	- 87 -
9. ZUSAMMENFASSUNG	- 91 -
10. SUMMARY	- 92 -
11. LITERATURVERZEICHNIS	- 93 -

TABELLENVERZEICHNIS

<u>Tabelle 1:</u>	Koffeingehalte von herkömmlich konsumierten Getränken und Speisen.....5 BURKE L.M. (2008), S. 1320
<u>Tabelle 2:</u>	Durchschnittliche Zusammensetzung von Espresso und filtriertem Kaffeeaufguss.....17 EBERMANN R. und ELMADFA I. (2008), S. 481
<u>Tabelle 3:</u>	Optimale Verteilung der Energiezufuhr in der Basisernährung bei Hochleistungssportlern auf die verschiedenen Mahlzeiten (nach A. BERG).....23 KONOPKA P. (2008), S. 128
<u>Tabelle 4:</u>	Energiebedarf und optimale Nährstoffrelation in Ausdauersportarten.....25 KONOPKA P. (2008), S. 139
<u>Tabelle 5:</u>	Dopingsubstanzen der WADA.....49/50 http://www.wada-ama.org/Documents/World_Anti-Doping_Program/WADP-Prohibited-list/WADA_Monitoring_Program_2010_EN.pdf (Stand: 23.6. 2010)
<u>Tabelle 6:</u>	Muskelkraft- und Ausdauerdaten (Durchschnittswerte).....52 GOLDSTEIN E.R. (2010), S. 4
<u>Tabelle 7:</u>	Zusammensetzung schnell resorbierbarer Getränke.....59 SCHEK A. (2004), S. 5
<u>Tabelle 8:</u>	Inhaltsstoffe.....63 „Burn Energy Drink“, Verpackung (Stand: 4.3. 2010)
<u>Tabelle 9:</u>	Diagnostische Kriterien für Substanzabhängigkeit laut DSM-IV-TR.....69/70 http://www.behavenet.com/capsules/disorders/dsm4TRclassification.htm (Stand: 12.7. 2010)

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

<u>Abbildung 1:</u>	Strukturformel des Koffeins.....2 http://www.omikron-online.de/cyberchem/cheminfo/gif/coffein.gif (Stand: 5.8. 2010)	2
<u>Abbildung 2:</u>	Koffeingehalt in Speisen und Getränken in [mg] Koffein pro Portion.....6 BURKE L.M. (2008), S. 1320	6
<u>Abbildung 3:</u>	Koffeingehalt in Speisen und Getränken in [mg/ml] bzw. [mg/g].....6 BURKE L.M. (2008), S.1320	6
<u>Abbildung 4:</u>	Zugriff auf die verschiedenen Energiesubstrate.....20 TOMASITS J. und HABER P. (2007),S. 262	20
<u>Abbildung 5:</u>	Optimale Verteilung der Energiezufuhr bei Hochleistungssportlern.....23 KONOPKA P. (2008), S. 128	23
<u>Abbildung 6:</u>	Durchschnittliche Zeitspanne bis zur Erschöpfung für 2 wiederholte Belastungen, in Placebo- und Koffein- Behandlung.....30 SIMMONDS M.J. et al. (2010), S. 291	30
<u>Abbildung 7:</u>	Ausdauerzeit für 5 Belastungen.....32 GRAHAM T.E. et al. (1998), S. 885	32
<u>Abbildung 8:</u>	Zeit bis zur Erschöpfung bei 80% Vo ₂ max bei Usern Und Non-Usern.....45 BELL D.G. und McLELLAN T.M. (2002), S. 1229	45
<u>Abbildung 9:</u>	Die durchschnittlichen Reaktionszeiten sind schneller in den gepaarten (Koffein im Testumfeld) als in den ungepaarten (Placebo im Testumfeld) Gruppen.....72 ATTWOOD A. et al. (2010), S. 288	72
<u>Abbildung 10:</u>	Individuelle myokardiale Durchblutungsreserve – Werte vor und nach Koffeingabe.....79 NAMDAR M. et al. (2006), S. 408	79

ABKÜRZUNGEN

BfR.....	Bundesinstitut für Risikobewertung
BW.....	body weight (Körpergewicht)
cAMP.....	Zyklisches Adenosinmonophosphat
DGE.....	Deutsche Gesellschaft für Ernährung
DSM-IV-TR.....	Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders
EEG.....	Elektroenzephalogramm
IOC.....	International Olympic Committée
GB.....	Great Britain (Großbritannien)
KG.....	Körpergewicht
MBF.....	Myokardiale Durchblutung
MFR.....	Myokardiale Durchblutungsreserve
mM.....	Millimol
NADA.....	Nationale Anti - Doping Agentur
oz.....	Unze
RM.....	Repetition Maximum (Wiederholungsmaximum)
TE.....	Time to exhaustion
theta Frequenz.....	Signal im Frequenzbereich 4 bis < 8 Hertz
Vo2max.....	maximale Sauerstoffaufnahme
WADA.....	World Anti Doping Agency

1. Einleitung

"Die beste Methode, das Leben angenehm zu verbringen, ist, guten Kaffee zu trinken. Und wenn man keinen haben kann, so soll man versuchen, so heiter und gelassen zu sein, als hätte man guten Kaffee getrunken."
(Jonathan Swift)

Für den Großteil der österreichischen Bevölkerung stellt eine Tasse frischen Kaffees zum Frühstück die Weichen für einen erfolgreichen, aktiven Tag. Sei es ein kleiner, starker Espresso zum Erwecken der Lebensgeister oder ein cremiger Caffee lattè mit viel Schaum - viele Menschen würden ohne diesen morgendlichen „Kick“ nur schwer aus dem Bett kommen. Häufig verlässt man sich vollkommen auf die aufputschende Wirkung des Getränkes, ganz egal ob es sich nun um die koffeinhaltige oder -freie Variante handelt.

Demnach wissen viele Laien nicht, welchen Inhaltsstoffen diverse Wirkungen zu verdanken sind. Die bekannteste und zugleich wichtigste Substanz, das Koffein, wurde bereits Anfang des 19. Jahrhunderts von einem Chemiker namens Friedlieb Ferdinand Runge aus reinen Kaffeebohnen isoliert. Bis heute konnte man die vollständige Bandbreite der Koffeinstoffe allerdings nicht vollständig nachweisen.

Bezüglich der Substanz Koffein dagegen hat man schon eine große Reihe an Erkenntnissen erlangt. Die bekanntesten Eigenschaften sind vermutlich die anregende Wirkung auf das Zentralnervensystem, die Erhöhung des Blutdrucks und der Herzfrequenz sowie die Erweiterung der Atemwege. Genau aus diesem Grund ist Koffein auch im sportlichen Bereich eine häufig diskutierte und untersuchte Substanz.

Da ausschließlich das Koffein dem Kaffee zu der populären, anregenden Wirkung verhilft und somit möglicherweise zu einer Verbesserung der Leistungsfähigkeit im Sport führt, ist das Thema der vorliegenden Arbeit: Die Analyse von Koffeinstoffen und anderen koffeinhaltigen Getränken sowie ihre Auswirkungen auf die sportliche Leistung.

Neben Kaffee werden auch Energydrinks, Guarànà- und Matè- Aufgussgetränke ebenso wie verschiedene Teesorten, Kakao und natürlich das weltbekannte Erfrischungsgetränk Coca Cola diskutiert.

Im Vordergrund stehen die leistungssteigernden Effekte der Substanz Koffein und ihr Einsatz im sportlichen Bereich unter anderem auch in der Wettkampfvorbereitung. Es stellt sich die Frage, wie effektiv eine gezielte Zufuhr für den Erfolg im Sport ist.

2. Definition und Geschichte von Koffein

In diesem Teil der Arbeit werden zuerst die grundlegenden Begriffe rund um die Substanz Koffein definiert und ein kleiner Einblick in dessen Geschichte gegeben, bevor anschließend die Wirkungen des Koffeins – insbesondere im Sport - genauer behandelt werden.

2.1. Definition und Struktur von Koffein

Der Trivialname „Koffein“, der der Substanz aufgrund ihres Vorkommens im Kaffee gegeben wurde, steht für die chemisch richtige Bezeichnung 1, 3, 7 – Trimethyl - 2,6- dioxopurin – es gehört somit zur Gruppe der Purinalkaloide. Aus diesem Grund ist es nahe verwandt mit dem in Tee vorkommenden Theophyllin und dem Theobromin des Kakaos. Obwohl derartige Alkaloide in höheren Dosen giftig sind, werden sie traditionell als Rausch- und Genussmittel verwendet.

Was die chemische Struktur des Koffeins betrifft ist anzumerken, dass es aus einem 5er- und einem 6er Ring (ergeben die Grundstruktur des Purins) mit drei angehängten Methylgruppen sowie 2 doppelt gebundenen Sauerstoff-Atomen an der Außenseite besteht.

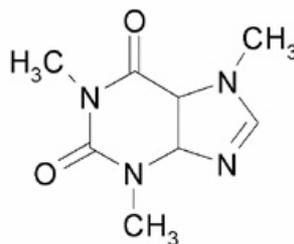


Abbildung 1: Strukturformel des Koffeins (1,3,7-Trimethyl-2,6-dioxopurin)
Quelle: <http://www.omikron-online.de/cyberchem/cheminfo/gif/coffein.gif>, Stand: 5.8.2010

In reiner Form und unter Normalbedingungen ist die Substanz ein farb- und geruchloses, kristallines Pulver, das leicht bitter schmeckt.

Aufgrund seiner pharmakologischen Wirkung ist Koffein der bei Weitem bekannteste Inhaltsstoff des Kaffees und die am häufigsten konsumierte pharmakologisch aktive Substanz.

Koffein ist in über 100 verschiedenen Pflanzenarten enthalten und dient ihnen vor allem als Schutz vor Feinden und Parasiten. (EBERMANN R. und ELMADFA I., 2008)

2.2. Geschichte

Entdeckt wurde Koffein zuerst als Inhaltsstoff des urtypischen Kaffees, welcher vom vorderen Orient ausgehend erst im 15. Jahrhundert in die Geschichte eingetreten ist.

Die ersten Versuche, die Inhaltsstoffe der Kaffeebohnen zu analysieren und isolieren, unternahm der Chemiker Friedlieb Ferdinand Runge auf Bitten Goethes hin. Er sollte die entscheidende Substanz im Kaffee finden. Im Jahr 1820 schaffte er die Isolierung des pharmakologisch wichtigsten Bestandteiles, des Koffeins, dessen Bezeichnung auf dem Gattungsnamen der Kaffeepflanze, „Coffea“, zurückzuführen ist. (MAIER H.G., 1981)

Unabhängig von diesen Untersuchungen und etwa zur selben Zeit beschäftigten sich auch andere Wissenschaftler und Apotheker mit der Abspaltung des Koffeins aus der Kaffeebohne. Das Interesse an dieser Substanz wuchs demzufolge zusehends und bereits 1875 konnte die Strukturformel des Koffeins von *Ludwig Medicus* als 1,3,7- Trimethylxanthin aufgestellt werden. 20 Jahre später bestätigten die Wissenschaftler Fischer und Ach diese Formel durch die erste Koffein - Synthese. Erst bis Mitte des 20. Jahrhunderts vervollständigten sich unsere Kenntnisse über die chemischen Verbindungen des Kaffees und seinen Wirkungsmechanismus im Körper. (EICHLER O., 1976)

Bei dem im Grün- und Schwarztee enthaltenen Wirkstoff, oftmals als „Thein“ oder „Tein“ bezeichnet, handelt es sich ebenfalls um Koffein. Früher wurde diese Unterscheidung aufgrund der unterschiedlichen Freisetzung des Alkaloids im Körper getroffen. (EBERMANN R. und ELMADFA I., 2008)

Die Steigerung der körperlichen Leistungsfähigkeit durch den Wirkstoff Koffein wurde und wird an Tieren gleichermaßen wie auch an Menschen getestet.

Die ersten der Tierversuche in diesem Zusammenhang unternahmen WANNER und BÄTTIG 1965. Sie konnten eine Leistungssteigerung bei Ratten nach Gabe von 10 und 20 mg Koffein beobachten, wofür zusätzlich allerdings ein Konditionierungsverhalten verantwortlich gemacht wurde. Weiters erzielten TAGAKI et al. 1972 positive Effekte bei Mäusen durch die Verabreichung von 50 - 200 mg Koffein / kg KG. Hierbei wurde eine schnellere Erholung der Mäuse nach Belastung in der Tretmühle beobachtet. (EICHLER O., 1976)

Auch Humanstudien, die die Erhöhung der Kraft und Ausdauer durch Koffein dokumentieren, wurden bereits Ende des 19. Jahrhunderts durchgeführt. 1896 entdeckten KRAEPELIN und HOCH eine Leistungssteigerung von 10 – 20 %, nachdem sie 0,1 g Koffein verabreicht hatten. Zu

ähnlichen Erkenntnissen, etwa verbesserte Leistung und schnellere Erholung, gelangte auch HYDE et al. (1917), der mit Dosen von 0,1 – 0,15 g Koffein arbeitete. RIVERS und WEBBER erforschten 1908 den Unterschied des Koffein-Effekts bei trainierten bzw. untrainierten Personen und stellten fest, dass er umso ausgeprägter war, je weniger fit die Probanden waren. (EICHLER O., 1976)

Eine Vielzahl an Humanstudien, die die Auswirkungen des Koffeins auf den Körper bezüglich der Ausdauer und Kraft im Sport beobachtete, folgt bis heute - auf diese ersten Untersuchungen. (EICHLER O., 1976)

3. Natürliches Vorkommen von Koffein

Abgesehen von der Kaffeepflanze, die die bekannteste natürliche Quelle darstellt, kommt Koffein noch in über 60 anderen Pflanzen und deren Früchten oder Samen vor. Dazu zählen unter anderem die Kolanuss, Guaranà - Samen, der Teestrauch sowie Matèblätter und Kakaobohnen. (KING N.A. et al., 1997)

Verwendet werden diese Rohstoffe hauptsächlich in der Getränkeindustrie als Zusatzstoff für Limonaden, Aufgussgetränke und Genussmittel, die einen hohen Alkaloidgehalt aufweisen. Sie beschleunigen dadurch oftmals den Stoffwechsel und erhöhen so den Grundumsatz. (EBERMANN R. und ELMADFA I., 2008)

Die Koffeinkonzentrationen unterscheiden sich je nach Getränk und Zubereitungsform und betragen in gebrühtem Kaffee etwa 80 mg / 250 ml, in Instant - Kaffee 60 mg / 250 ml, in Tee 27 mg / 250 ml und in Cola - Getränken 9 - 19 mg / 100 ml (siehe Tabelle 1 und Abbildungen 2 und 3). Der Koffeingehalt von Kaffee und Tee schwankt und ist stark vom Herstellungsverfahren der Getränke abhängig. (BURKE L.M., 2008)

Getränk	Portion	Koffein [mg] *
Instant – Kaffee	250 ml	60 mg
Gebrühter Kaffee	250 ml	80 mg
Espresso	25 ml (= 1 Standardportion)**	107 mg
Tee	250 ml	27 mg
Eistee	600 ml	20 - 40 mg
Heiße Schokolade	250 ml	5-10 mg
Coca Cola	375 ml	49 mg
Pepsi Cola	1375 ml	40 mg
Dunkle Schokolade	60 g	10-50 mg
Red Bull Energydrink	250 ml	80 mg
Carboshotz caffeinated sports gel	50 g	80 mg
No-Doz (U.S.)	1 Tablette	200 mg
Extra Etrengh Excetrin (Schmerzmittel)	1 Tablette	65 mg
PowerBar caffeinated sports gel	40g Packung	25 mg

Tabelle 1: Koffeingehalte von herkömmlich konsumierten Getränken, Speisen und angebotenen Koffeinpräparaten

* Diese Werte stammen von verschiedenen Quellen. (BURKE L.M., 2008; S. 1320)

** Quelle: ILLY A. und VIANI R. (2005)

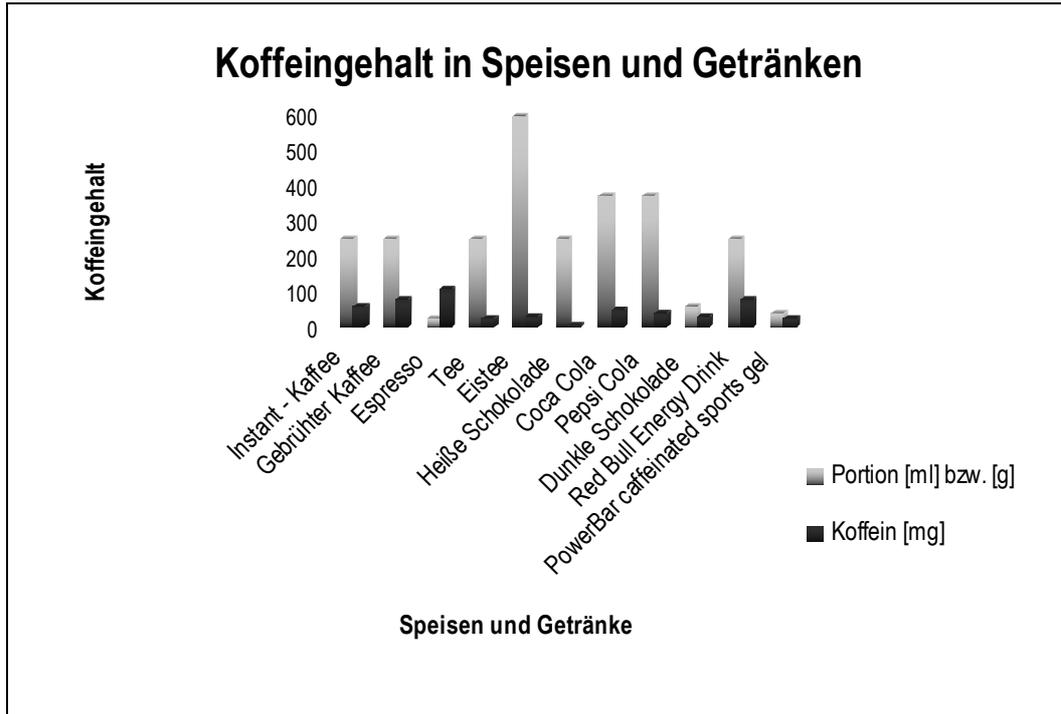


Abbildung 2: Koffeingehalt in Speisen und Getränken in [mg] Koffein pro Portion (BURKE L.M., 2008; S. 1320)

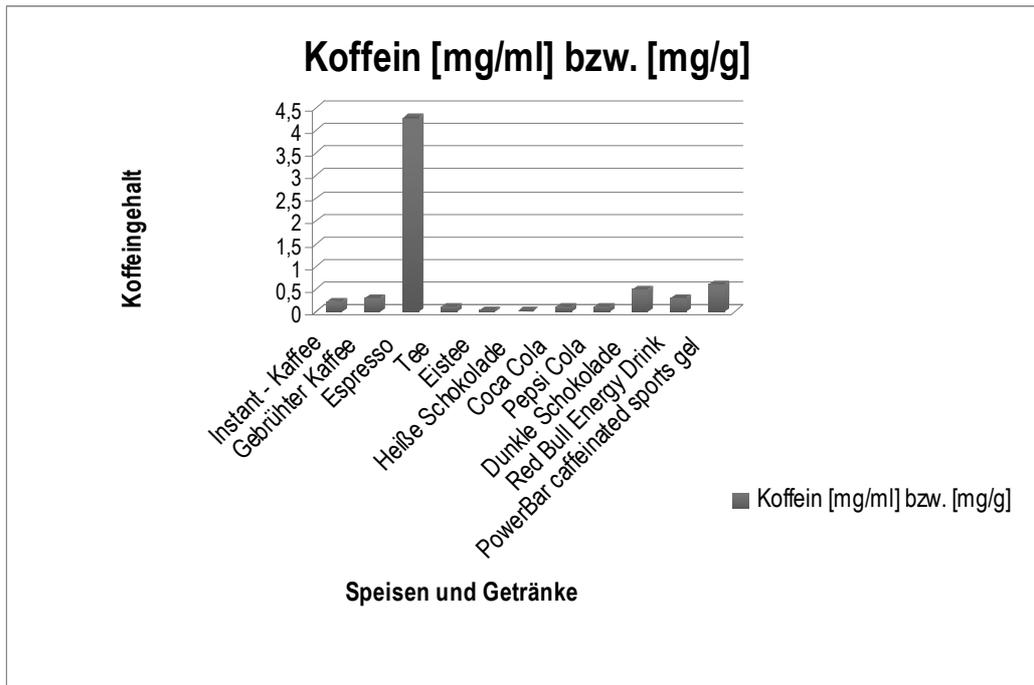


Abbildung 3: Koffeingehalt in Speisen und Getränken in [mg/ml] bzw. [mg/g] (BURKE L.M., 2008; S. 1320)

Anhand der obigen Abbildungen erkennt man den übermäßig hohen Koffeingehalt einer einzigen Portion Espresso ganz deutlich.

Die typischen Beispiele wie Coca Cola, Guaranà, Tee, Matè, Kakao und Kaffee werden im Folgenden genauer in Bezug auf ihre Inhaltsstoffe und Wirkungen diskutiert.

3.1. Kolanuss

3.1.1. Vorkommen

Als Kolanuss bezeichnet man die Samen von Bäumen der Sterkulien- oder Stinkbaumgewächse – hauptsächlich natürlich des Kolabaumes -, die Koffein enthalten. (EBERMANN R. und ELMADFA I., 2008)

Die zum Zweck der Kolanuss - Gewinnung angebauten Kolabaum - Arten (*Cola nitida* und *Cola acuminata*) stammen ursprünglich aus Westafrika, werden aber heutzutage auch in anderen tropischen Gegenden Afrikas, Mittel- und Südamerikas kultiviert. Die sternförmigen Früchte bestehen aus Fruchtkapseln mit faltigen, grünen Hülsen, die zwischen 1 und 10 bohnen - ähnliche Samen enthalten. Die Kolanüsse selbst sind bräunlich gefärbt, etwa so groß wie eine Kastanie und haben in frischem Zustand einen bitteren und leicht adstringierenden Geschmack. (BURDOCK G.A. et al., 2009)

3.1.2. Inhaltsstoffe

Kolanüsse beinhalten beinahe dieselben Stoffe wie Tee, Kaffee und Kakao. Neben Koffein (1 - 2,5 %) sind dies Theobromin (1 %), Catechin, Epicatechin, Proanthocyanidine, Pigmente, Colatein, Colanin sowie Colatin, zu einem Großteil Kohlenhydrate – insbesondere Ballaststoffe -, und zu etwa 1,75 % Fett. (EBERMANN R. und ELMADFA I., 2008)

In einem Glas Coca Cola sind etwa 40 mg Koffein enthalten. (FORTH W. et al., 2001)

In den frischen Früchten kommt Koffein allerdings meistens an Wasserstoff gebunden vor und bildet Komplexe durch reichlich Catechine und Tannine. Dagegen bewirken der oxidative Abbau und die Polymerisation der niedrig molekularen Polyphenole eine Freisetzung des Koffeins in getrockneten Nüssen. (EVANS W.E., 1996)

3.1.3. Anwendung und Wirkung

Die Samenextrakte werden bei der modernen Verarbeitung zum Teil von Gerbstoffen befreit und häufig zur Aromatisierung von Softdrinks, Likören, Schokolade und Kakaoprodukten verwendet. (EBERMANN R. und ELMADFA I., 2008)

Somit wird Koffein nicht nur aufgrund seiner aufputschenden und psychoaktiven Wirkung, sondern auch wegen der guten Eigenschaften als Geschmacksstoff in der Getränkeindustrie gerne verwendet.

KEAST und RIDDELL untersuchten, ob Koffein eine „Geschmacksaktivität“ in Softdrinks hat, wobei sie Süßungsmittel als Kontrolle verwendeten. 30 Probanden – Studenten der Universität Melbourne - unterzogen sich einem Test zur Identifikation der 5 Geschmacksqualitäten mithilfe spezieller Beispielproben. Die Erkennungsschwelle von Koffein war auf den Gehalt der üblichen Süße aller Süßungsmittel und dem des Cola - Getränkes abgestimmt, weil die wechselnde Süße andernfalls die Konzentrationsschwelle von Koffein beeinflussen würde. Begonnen wurde mit einem Triangeltest, wobei zuerst die Konzentration von 0,33 mM Koffein in einer von drei Proben des Süßungsmittels verwendet wurde.

Für alle Probanden wurden Koffein – Ermittlungsschwellen der drei Süßungsmittel bestimmt, welche üblicherweise in Softdrinks verwendet werden. Um auszutesten, ob Koffein nun tatsächlich eine Geschmacksaktivität in Softdrinks hat, wurde eine fixe Konzentration des Stoffes - ähnlich der Konzentration von gebräuchlichen Softdrinks - einem handelsüblichen, koffeinfreiem Cola – Getränk beigemischt. Bei einer Zugabe von 0,67 mM Koffein waren die Versuchspersonen nicht mehr in der Lage, die koffeinhaltigen von den koffeinfreien Proben zu unterscheiden.

Zusammenfassend konnten die 30 erfahrenen Tester Geschmacksdifferenzen nach Beimischung von 0,67 mM Koffein in einer süßen Lösung erkennen, wohingegen sie diesen Unterschied bei gleicher Koffeinkonzentration in Softdrinks nicht bemerkten. (KEAST R.S.J. und RIDDELL L.J., 2006)

Der Konsum von Cola - Getränken zu sportlichen Zwecken ist nicht unüblich. Unter 140 Teilnehmern des Ironman Triathlons 2005 in Hawaii (Weltmeisterschaften) erklärten 65 %, dass sie positive Erfahrungen mit der Einnahme von Cola - Getränken während des Wettkampfs hatten. Dagegen hatte nur etwa ein Viertel der Befragten dieselbe Meinung auch von koffeinhaltigen Sportler - Gelen. (DESBROW B. und LEVERITT M., 2007)

Mit der Sicherheit und Risikoabschätzung des Kolanussextraktes als Lebensmittelinhaltsstoff beschäftigten sich BURDOCK G. A. et al. in ihrem Artikel, der 2009 veröffentlicht wurde. Bezüglich des Inhaltsstoffes Koffein im Speziellen vermerkten sie eine erhöhte Diurese, die Stimulation des Zentralnervensystems sowie des Herzmuskels, die Erschlaffung der glatten Muskulatur und die Anregung der Magensäuresekretion ebenso wie erhöhte Werte von freien

Fettsäuren und Glucose im Plasma. Die Autoren kommen zu dem Schluss, dass der Konsum von Kolanussextrakten als Nahrungsmittelbestandteil anhand des momentanen Verzehrlevels als ungefährlich eingestuft werden kann. (BURDOCK G.A. et al., 2008)

3.2. Guaranà – Pflanze

3.2.1. Vorkommen

Guaranà (auch *Paullinia cupana*) ist eine Lianenart und zählt zur Familie der Seifenbaumgewächse (Sapindaceae), die in Südamerika – insbesondere in Brasilien - heimisch sind. Die Pflanze produziert koffeinhaltige Samen, welche getrocknet und gemahlen den Ausgangsstoff zur Herstellung von Guaranà - Getränken darstellen. (ANGELO P.C.S. et al., 2008)

3.2.2. Inhaltsstoffe

Guaranà gehört zu den reichhaltigsten Koffeinlieferanten aller natürlichen Quellen mit einem Anteil von 2 – 7 % bezogen auf das Trockengewicht der Samen (HENMAN A.R., 1982, BELLIARDO F. et al., 1985; CLIFFORD M.N. und RAMIREZ-MARTINEZ J.R., 1990) und enthält somit etwa viermal mehr Koffein als Kaffee. (SMITH N. und ATROCH al., 2010)

Neben Koffein besteht Guaranà aus geringeren Mengen anderer Methylxanthine, wie beispielsweise aus Theophyllin und Theobromin, sowie aus Phenolen nämlich Catechin und Epicatechin, Tanninen, Harzen (MARX F., 1990) und aus den Makronährstoffen Fett (3 %), Protein (10 %) und Kohlenhydrat mit einem Stärkegehalt von etwa 5 – 10 %. (EBERMANN R. und ELMADFA I., 2008)

3.2.3. Anwendung und Wirkung

Ironischerweise wurde der große Koffeinanteil der Guaranà - Samen früher als Nachteil für die Anwerbung der Produkte außerhalb Brasiliens angesehen. Gesundheitsgesellschaften wären über die dadurch anstehende exzessive Koffeinaufnahme vorsichtig und eher abgeneigt. Diese Eigenschaft hat sich allerdings ins Gegenteil gewandelt und erweist sich heutzutage als großer Marketingvorteil. (SMITH N. und ATROCH al., 2007)

Der Grund für den Verzehr des Getränkes oder der Extrakte als Nahrungsergänzungsmittel ist für die einen die Unterstützung der Gewichtsreduktion, die Ankurbelung des Stoffwechsels und die gesteigerte Fitness, für die anderen wiederum die Verbesserung der kognitiven Leistung. (O`DEA J.A., 2003; OLIVEIRA C.H. et al., 2005, KENNEDY et al., 2007)

Die Wirkungen der Guarana - Inhaltsstoffe sind sehr umfangreich und vielseitig. Die anregende Wirkung der Guarana - Präparate ist zu einem Großteil auf das enthaltene Koffein zurückzuführen. Somit werden Guarana - Produkte (Getränke, Kapseln) gerne im Leistungssport verabreicht. (EBERMANN R. und ELMADFA I., 2008)

KENNEDY et al. untersuchten in einer doppelblinden, randomisierten, placebo - kontrollierten Studie die akuten Effekte eines Vitamin - Mineralstoff - Guarana - Supplements bei 129 jungen Erwachsenen und fanden heraus, dass die Guarana - Gruppe nach dem Durchnehmen eines speziellen kognitiven Fragenkataloges eine verbesserte Performance sowohl in der Geschwindigkeit der Antwortfindung als auch in Bezug auf die Genauigkeit lieferte. Die mentale Ermüdung aufgrund schwierigerer Aufgabenstellungen wurde durch das Supplement unterbunden bzw. gemindert. Damit unterstützt die Studie frühere Erkenntnisse, die sich mit den kognitiven Eigenschaften von diesem Pflanzeninhaltsstoff beschäftigen. (KENNEDY D.O. et al., 2007)

Auch Eigenschaften als Antioxidans und eine gewisse antimikrobielle Aktivität wird den Guarana - Samen zugewiesen. MAJENIC L. et al. erforschten diese diskutierten Wirkungen mittels HPLC, UV-Spektrophotometrie, beta-Carotin-Linolisches-Säure-Emulsions-System und DPPH` (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl). Sowohl antioxidative, als auch antimikrobielle - speziell gegen Mikroorganismen wie Escherichia coli, Pseudomonas fluorescens und Bacillus cereus - Effekte konnten festgestellt werden, was folglich eine beliebte Nutzung des Extraktes als natürlichen Zusatzstoff in der Lebensmittel-, Pharma- und Kosmetikbranche bedeutet. (MAJHENIC L., 2006)

Energydrinks, die Guarana enthalten, entwickelten sich zu einem Boomsektor in der weltweiten Getränkeindustrie. Die Zutaten dieser Getränke variieren je nach Hersteller. Dennoch stehen beinahe immer folgende Pflanzen auf der Liste: Gingko, Ginseng, Matè, Echinacea und Yohimbe. Weitere Inhaltsstoffe können Bienenpollen, verschiedene Fruchtsäfte, Zink, Kreatin oder Arginin sein. (SMITH N. und ATROCH A.L., 2007)

Guarana ist bekannt für seine verzögernde Wirkung auf die Magenentleerung, was einen appetithemmenden Effekt hervorruft (ANDERSEN T. und FOGH J., 2001) und deshalb eine hohe Beliebtheit bei Personen, die Gewicht verlieren möchten, genießt. Die regelmäßige Einnahme Guarana - haltiger Getränke zum Zweck der Gewichtsreduktion ist allerdings nicht empfehlenswert, da man zusammen mit dem Wirkstoff auch eine große Menge Zucker und Fruchtzucker, die in den Energydrinks enthalten sind, aufnimmt: Derartige Getränke sind also

kaum als gesundheitsfördernd oder schlankmachend zu klassifizieren. (SMITH N. und ATROCH A.L., 2007)

Guaranà - Pflanzen werden kommerziell in Brasilien kultiviert, um die nationale Industrie von kohlenensäurehaltigen Softdrinks zu unterstützen. (ANGELO P.C.S. et al., 2008)

3.3. Tee

3.3.1. Vorkommen

Tee wird aus verschiedenen Pflanzenteilen des Teestrauches (*Thea sinensis*) durch Aufguss mit heißem Wasser hergestellt. Die Pflanze wächst am besten unter tropischen Bedingungen, wird heutzutage aber auch in anderen Gegenden mit passendem Klima, wie beispielsweise in China, Indien, Sri Lanka, Russland oder der Türkei, angebaut. (EBERMANN R. und ELMADFA I., 2008)

3.3.2. Inhaltsstoffe

Es gibt zahlreiche Teesorten, die sich sowohl in ihrem Aroma als auch in Inhaltsstoffen und somit auch in ihren Eigenschaften unterscheiden. Im Laufe des Produktionsprozesses werden die Teeblätter zuerst händisch gepflückt, dann meist fermentiert, getrocknet und kommen danach so in den Handel. In Bezug auf den Herstellungsprozess unterscheidet man fermentierten Schwarztee, partiell fermentierten Oolong - Tee und unfermentierten Grüntee. (LAMBERT J.D. und YANG C.S., 2003; EBERMANN R. und ELMADFA I., 2008)

Der Koffeingehalt der Teesorten hängt eng mit dem Ursprung der Pflanze, den Wachstumsbedingungen sowie mit der Verarbeitung zusammen. Eine Studie zur Beurteilung der besten Wege zur Mengenbestimmung von Koffein in verschiedenen Teesorten ermittelte einen Koffeingehalt im Schwarztee von 0,69 % bis 3,86 %, je nach Analyseverfahren. (KOMES D. et al., 2009)

Anderen Quellen zufolge enthält eine Tasse Tee circa 50 mg Koffein. (FORTH W. et al., 2001)

Somit ist bewiesen, dass der Koffeingehalt in Teeblättern starken Schwankungen unterliegt, laut der Food Standards Agency (GB) beläuft sich die Schätzung des Anteils auf etwa 1 - 90 mg / 100 ml Getränk.

(Foods Standards Agency, 2004, <http://www.food.gov.uk/multimedia/pdfs/fsis5304.pdf>)

Im Gegensatz zu Schwarztee wird grüner Tee nicht fermentiert: Die Blätter werden sofort nach der Ernte gedämpft und auf diese Weise die pflanzeigenen Enzyme gehemmt. (EBERMANN R. und ELMADFA I., 2008)

Grüntee enthält eine Mischung aus über 2000 verschiedenen sekundären Pflanzenstoffen, wie Phenolen, Methylxanthinen, Kohlenhydraten, Proteinen, Aminosäuren, organischen Säuren, Carotinoiden, ätherischen Ölen, Mineralstoffen und Spurenelementen. (MODERNO P.M. et al., 2009)

Die phenolischen Inhaltsstoffe machen den Hauptteil der aktiven Substanzen im Tee aus (MODERNO P.M. et al., 2009) und haben einen hohen Stellenwert in der Krebsprävention. (YANG C.S. et al., 2002; JU J. et al., 2007; CARVALHO M. et al., 2010)

Der Koffeingehalt von Grüntee beträgt circa 53,9 g / kg methanolisches Extrakt (CARVALHO M. et al., 2010) bzw. 11 – 20 mg / g Trockenmasse, und ist damit in asiatischen und chinesischen Sorten höher, als in japanischen. (KHOKHAR S. und MAGNUSDOTTIR S.G.M., 2002)

3.3.3. Anwendung und Wirkung

Vor allem Schwarztee und seinen Inhaltsstoffen werden bei regelmäßigem Konsum gerne gesundheitsfördernde Wirkungen zugeschrieben.

Weder die Nurses` Health Studie, die 22 Jahre dauerte, noch die Women`s Health Studie erkannten einen positiven Zusammenhang zwischen der Aufnahme von Schwarztee und der Entstehung von beispielsweise Brustkrebs. (GANMAA D. et al., 2008; ISHITANI K. et al., 2008)

Auch Grüntee wird als Schutzfaktor gegen eine Krebsentstehung diskutiert. (CARVALHO M. et al., 2010)

Aufgrund seiner antioxidativ wirksamen Inhaltsstoffe (Polyphenole wie Flavanole [Catechine], Flavandiole und Phenolcarbonsäuren) kann Grüntee verschiedene Arten von Krebs abwehren. (WISEMAN S.A. und BALENTINE T.A., 1997)

Sogar nach mehrmaliger Extraktion von Grüntee (sogar nach dem fünften Aufguss) konnte noch antioxidative Wirksamkeit der Polyphenole nachgewiesen werden. Durch diese Erkenntnis wird die häufig empfohlene „Mehrfachextraktion“ des grünen Tees wissenschaftlich begründet. (BÖHM V., 1999)

Er wirkt verdauungsfördernd, blutreinigend, senkt die Körpertemperatur, stärkt Zähne und Knochen, verstärkt das Immunsystem, verbessert die Herzfunktion und vermindert Blutzuckerwerte. (SHARANGI A.B., 2009)

Dagegen wurden dem Schwarztee in einer anderen Studie, die das Risiko einer Erkrankung an Brustkrebs mit dem Konsum von schwarzen Tee und Kaffee in Zusammenhang brachte, ungünstige Effekte zugesprochen. Nach umfangreichen Ausschlussverfahren nahmen letztendlich 36.664 schwedische Frauen im Alter von 40 bis 76 Jahren an dieser Kohortenstudie

teil. In einem Food Frequency Questionnaire wurden sie über ihre Lebens- und Ernährungsgewohnheiten – insbesondere bezüglich ihres Kaffee- und Tee - Konsumverhaltens – befragt. Die statistische Auswertung fand statt, nachdem die erste Brustkrebsdiagnose erfolgte, der Tod eingetreten oder ein Stichtag erreicht war. Es stellte sich heraus, dass der Kaffeeconsum (120 mg Koffein / Tasse) nicht mit Brustkrebs assoziiert werden kann. Dennoch wurde ein signifikant positiver Zusammenhang zwischen erhöhtem Verzehr von Schwarztee und dem Risiko von Brustkrebs in dieser prospektiven Studie herausgefunden. Ein vermehrter Konsum von Schwarztee, der über die Menge von 2 Tassen pro Tag hinausgeht, führt demnach zu einer Erhöhung des Brustkrebsrisikos um 36 %. Anzumerken ist hierbei allerdings, dass lediglich Tumore anhand ihre Östrogen- bzw. Progesteron - Rezeptors beurteilt wurden, was auf eine mögliche mechanistische Rolle der Sexualhormone hindeuten könnte. (LARSSON S.C. et AL., 2009)

Somit ist die antikanzerogene Wirkung von Tee wegen widersprüchlicher Ergebnisse nicht vollständig geklärt. Während Laborstudien auf eine Vielzahl von plausiblen Mechanismen hinweisen, die diese protektiven Effekte von Teeinhaltsstoffen erklären könnten, gibt es noch einigen Forschungsbedarf an langfristigen Humanstudien, um das Verhältnis zum alltäglichen Teekonsum im richtigen Leben festzulegen. (ROXTON C.H.S., 2009)

Neben der möglichen präventiven Wirkung bezüglich der Krebsentstehung (SHUKLA Y., 2007; CUTLER G.J. et al., 2008; RUXTON C.H.S., 2009) ist Tee auch ein oft diskutierter Schutzfaktor gegen koronare Herzkrankheiten.

Mit dieser Fragestellung beschäftigten sich viele Wissenschaftler, die häufig günstige Zusammenhänge zwischen der Teeaufnahme und Herzkrankheiten bzw. Schlaganfällen erkannten. (GARDNER E.J., 2007; LARSSON S.C. et al., 2008)

Tee kann aufgrund seiner biologisch aktiven Inhaltsstoffe auch positiv auf die kognitiven Leistungen wirken. Dazu zählen Koffein, Theophyllin, Theobromin, Theanin und Flavonoide. RUXTON fasste in einem Review 23 Studien, die sich mit dem Einfluss von Koffein auf die kognitive Performance befassten, zusammen. Es stellte sich heraus, dass eine akute Einnahme von 37,5 – 450 mg Koffein günstige Wirkungen auf Stimmung, Wachsamkeit und geistige Leistungsfähigkeit hatte. Dies entspricht ungefähr einem Konsum von 1 - 8 Tassen Tee pro Tag (RUXTON C.H.S., 2008), was wiederum mit der optimalen Aufnahmemenge von Tee für einen bestmöglichen Gesundheitsnutzen gleichgestellt werden kann. (RUXTON C.H.S., 2009)

3.4. Matè – Pflanze

3.4.1. Vorkommen

Matè - Aufgussgetränke werden aus getrockneten Blättern der gleichnamigen Pflanze (*Ilex paraguariensis*) – einer Stechpalmenart - hergestellt. Sie ist die Hauptquelle für Koffein in südamerikanischen Ländern wie Brasilien, Chile, Paraguay und Uruguay. (EBERMANN R. und ELMADFA I., 2008)

3.4.2. Inhaltsstoffe

Matè enthält neben 25 mg Koffein pro 5 oz (= ca. 142 ml) Tasse (SPILLER A.G., 1998) noch Theobromin (0,1 - 0,5 %), Theophyllin (0,05 %), Chlorogensäure und Trigonellin. (EBERMANN R. und ELMADFA I., 2008)

3.4.3. Anwendung und Wirkung

Matè hat appetitanregende Wirkung und wird sowohl kalt als auch warm mit Zucker oder Zitrone serviert. (HARLAND B.F., 2000).

3.5. Kakaobohne

3.5.1. Vorkommen

Unter Kakaobohnen versteht man die Samen der Früchte des ursprünglich aus den Regenwäldern Lateinamerikas stammenden Kakaobaumes. (EBERMANN R. und ELMADFA I., 2008)

Kakao wurde ab dem 16. Jahrhundert in Europa verwendet und im Jahr 1737 benannte Linnaeus (= Carl von Linnè) den Kakaobaum als *Theobroma* („Food of God“). (DILLINGER T.L. et al., 2000; HENDERSON J.S. et al., 2007)

3.5.2. Inhaltsstoffe

Theobroma cacao L. ist eine immergrüne, 4 - 8 Meter hohe Pflanze aus der Familie der Sterkuliengewächse. Jeder Samen beinhaltet einen signifikanten Fettanteil von 40 – 50 % (als Kakaobutter) und Polyphenole, die etwa 10 % des Trockengewichts ausmachen. (RICHELLE M. et al., 1999; THOMAS-BARBERAN F. et al., 2007)

Neben Eiweiß und Zellulose (zu je 10 %) enthalten Kakaobohnen auch verschiedene Gerb- und Mineralstoffe, sowie Wasser, Theobromin zu 2,4 bis 3,2 g / 100 g und vor allem Koffein in einer Menge von etwa 0,3 bis 1 g / 100g. (SCHWEIZ. LEBENSMITTELBUCH, 2005)

3.5.3. Anwendung und Wirkung

Während der Verarbeitung der Bohnen, im so genannten Fermentations- und Trocknungsprozess, werden die Zellwände der Pigmentzellen zerstört. Die Fermentation der Kakaobohnen ist unerlässlich für die Entwicklung des typischen Schokoladegeschmacks und der wohlbekannteren, braunen Farbe. Darüber hinaus unterliegen die enthaltenen Polyphenole in dieser Phase der Verarbeitung ständigen Reaktionen. Vor allem das Epicatechin, eines dieser Polyphenole, wird oxidiert und polymerisiert zu komplexen Tanninen, weshalb es zu einer Senkung seiner Konzentration auf etwa 2 - 17 mg / g kommt. (KIM H. und KEENEY P.G., 1984; RICHELLE M. et al., 1999)

Laut den Autoren HOLLENBERG und FISHER sowie BAYARD V. et al. wirkt Epicatechin als Inhaltsstoff von Kakao gesundheitsfördernd. Auf den San Blas Inseln (Kuna Yala, Panama) trinken die Einwohner etwa 40 Tassen naturbelassenen und komplett unverarbeiteten Kakao wöchentlich, was einer täglichen Epicatechinaufnahme von etwa 900 mg entspricht. Im Vergleich mit den durch Herzinfarkt, Krebs und Diabetes bedingten Todesfällen im übrigen Panama, gab es unter den Inselbewohnern signifikant weniger Tote, die aufgrund dieser Erkrankungen gestorben waren. Die Forscher nehmen nun an, dass der außergewöhnlich hohe Konsum von Epicatechin zu dieser positiven Wirkung führt. Die unzähligen Risikofaktoren der angeführten Erkrankungen mindern aber die definitive Aussagekraft dieser Beobachtung. Aus diesem Grund sind weitere Untersuchungen zu dieser These nötig. (HOLLENBERG N.K. und FISHER N.D.L., 2007; BAYARD V. et al., 2007; HOLLENBERG N.K. et al., 2009)

Die Unterschiedlichkeiten der Kakaobohne, die Wachstumsbedingungen und die Verarbeitungsprozesse können den Polyphenolgehalt beeinflussen und führen deshalb zu einer ganz unterschiedlichen Bemessung der Mengen in verschiedenen Proben von Kakaotränken. In allen untersuchten Getränken wurde allerdings ein ähnliches, phenolisches Profil gefunden. (RADOJCIC REDOVNIKOVIC I. et al., 2009)

Aufgrund ihres geringen Koffeingehalts sind Kakaobohnen als ergogenes Hilfsmittel im Sport nicht von allzu großer Bedeutung. (RUSCONI M. und CONTI A., 2010)

3.6. Kaffeebohne

3.6.1. Vorkommen

Kaffeebohnen sind der Grundstoff zur Herstellung des handelsüblichen Kaffeegetränkes. Als Same der Kaffeepflanze werden sie hauptsächlich aus den Arten *Coffea arabica* (Arabica -

Kaffee) und *Coffea canephora* (Robusta) gewonnen und liefern so ganz unterschiedliche Sorten und Aromavarietäten und folglich verschiedenste Qualitätskategorien. (EBERMANN R. und ELMADFA I., 2008)

Etwa 75 % der weltweiten Kaffeeproduktion nimmt die Sorte Arabica ein (ILLY A. und VIANI R., 2003), die aufgrund ihres sehr aromatischen Geschmacks und mäßigen Koffeingehaltes (0,8 – 1,3 %) bekannt und beliebt ist. Dagegen stammen nur etwa ein Viertel der globalen Kaffeeprodukte aus Robusta - Bohnen, die ein kräftigeres Aroma und einen hohen Koffeinanteil von 2 – 2,5 % aufweisen. (<http://www.kaffeeteeverband.at/cms/cms.php?pageName=42&faqId=6>; Stand: 27.7.2010)

Lediglich bis zu 1 % der weltweiten Produkte aus der Kaffeewirtschaft geht auf das Konto der Sorte *Coffea liberica*. (ILLY A. und VIANI R., 2003)

3.6.2. Inhaltsstoffe

Den Großteil der Inhaltsstoffe von Kaffeebohnen nehmen Kohlenhydrate mit etwa 65 % ein, kleinere Anteile haben Proteine (8 – 15 %), Fett (4 %) und phenolische Inhaltsstoffe, zum Beispiel Chlorogensäure mit 5 - 10 %. Koffein und Trigonellin als Alkaloide kommen zu etwa 2 – 3 % in Kaffeebohnen vor. (EBERMANN R. und ELMADFA I., 2008)

Kaffee enthält einige nutzbringenden Antioxidantien und ist eine der reichsten natürlichen Quellen für Chlorogensäure. (CLIFFORD M.N., 1999)

Zu Koffein als Kaffeeinhaltsstoff ist anzumerken, dass es mengenmäßig mit 0,06 – 3,2 % am bedeutsamsten ist. (EBERMANN R. und ELMADFA I., 2008)

Interessanterweise verringert sich der Koffeingehalt beim Röstprozess nur wenig. Er steigt sogar im Vergleich zum gesamten Gewichtsverlust, der im Laufe der Röstung zu beobachten ist, leicht an. (BÜTZER P., 2009)

3.6.3. Anwendung und Wirkung

Kaffee wird in Europa erst seit 1850 verbreitet getrunken, da der hohe Preis und rechtliche sowie religiöse Bedenken den Gebrauch bis dahin beeinträchtigten. Die ersten Instant - Kaffegetränke kamen etwa 50 Jahre später auf den Markt und auch eine neuartige Kaffeearte – nämlich koffeinfreier Kaffee – wurde zu dieser Zeit etabliert. (EBERMANN R. und ELMADFA I., 2008)

Heutzutage nehmen die Österreicher im Schnitt 311,15 ml Kaffee pro Tag auf, was einem jährlichen Konsum von 122 Litern pro Kopf entspricht. Das macht Kaffee zum beliebtesten Heißgetränk der Österreicher, nur Skandinavier trinken noch mehr davon. (ELMADFA I. et al., 2008)

Das herkömmlich konsumierte Kaffeegetränk entspricht dem Extrakt, welches nach der Röstung und Vermahlung der Kaffeebohnen durch Behandlung mit heißem Wasser entsteht. (EBERMANN R. und ELMADFA I., 2008)

Inhaltsstoffe	Filtrierter Kaffeeaufguss [g bzw. mg/100 g]	Espresso [%]
Wasser	99,3	97,8
Protein	0,1	0,01
Fett	0 (bleibt im Kaffeesatz gebunden)	0,18
Kohlenhydrate	0,4	1,5
Asche	0,1	0,23
Vitamin C	-	0,0002
Riboflavin	-	0,00018
Coffein	58	0,212
Nicotinsäure	0,22	0,0052

Tabelle 2: Durchschnittliche Zusammensetzung von Espresso und filtriertem Kaffeeaufguss (EBERMANN R. und ELMADFA I., 2008; S. 481)

Die populärste Wirkung von Kaffee als Stimulans und Aufputzmittel ist auf den Inhaltstoff Koffein zurückzuführen. Somit können die Effekte des Kaffeegetränkes überwiegend mit den Effekten des Purinalkaloids gleichgestellt werden. (MAIER H.G., 1981)

Das Hauptwirkungsgebiet von Koffein stellt das Zentralnervensystem dar, welches durch den Kaffeekonsum stark stimuliert wird. Es wird ein schnellerer Gedankenfluss, weniger Müdigkeitserscheinungen, verbesserte Konzentration und leichteres Lernen beobachtet. Außerdem wird die sensorische Wahrnehmung verbessert, die Atmung angeregt und die Motorik verstärkt. (FORTH W. et al., 2001).

Bei zu hohen Aufnahmemengen dagegen bewirkt die Substanz Pulsunregelmäßigkeiten, Übelkeit, Magen – Darm - Beschwerden, Konzentrationsminderung und Reizbarkeit. (ESTLER C.J., 2000)

Die 3 primären Effekte von Methylxanthinen, wie Koffein sind die Blockierung der Adenosin-Rezeptoren, die Hemmung der Phosphodiesterasen und die Freisetzung von Calcium-Ionen aus intrazellulären Speichern ins Cytoplasma. All diese Eigenschaften resultieren in einer Anregung des Organismus. (FORTH W. et al. 2001)

Diese Wirkungsmechanismen werden im Kapitel 5.1. genauer dargestellt.

Abgesehen von Koffein, haben auch andere Bestandteile des Kaffeegetränkes Auswirkungen auf den Körper. Es ist bewiesen, dass sowohl Chlorogensäure als auch Kaffeesäure in vitro starke antioxidative Eigenschaften haben. (RICE-EVANS C.A. et al., 1996), wobei dieses Merkmal im Fall von Kaffee viel stärker zutrifft als im Vergleich mit anderen koffeinhaltigen Getränken. (RAMALAKSHMI K. et al., 2008)

Auch die enthaltenen Diterpene Cafestol und Kahweol besitzen antioxidative Wirkungen. (EBERMANN R. und ELMADFA I., 2008)

4. Stellenwert der Ernährung bei verschiedenen Sportlern

4.1. Leistungsphysiologie

Den größten Teil der Energie, die wir benötigen um körperliche Anstrengungen zu meistern, liefern uns die Glykolyse und die Fettsäureoxidation.

Im Fall des Glucoseabbaus kann die Energiebereitstellung sowohl aerob – also mithilfe von Sauerstoff – als auch anaerob erfolgen. Bei Letzterer wird eine um bis zu 100 % höhere Leistung erreicht, als es im aeroben Bereich der Fall ist, wobei sie allerdings nur kurz (30 - 40 sec) aufrechterhalten werden kann. (TOMASITS J. und HABER P., 2007)

Bei der aeroben Glykolyse zur Energieerzeugung wird das Endprodukt, die Brenztraubensäure (Pyruvat), auf 3 verschiedene Arten verwertet: Entweder entsteht aktivierte Essigsäure, die im weiteren Verlauf gänzlich abgebaut wird, aus Pyruvat wird Oxallessigsäure für den Zitratzyklus, oder das vermehrt angesammelte Pyruvat wird in Milchsäure umgewandelt. Dies passiert allerdings nur dann, wenn die aerobe Energiegewinnung erschöpft ist und das Pyruvat nicht mehr über den Zitratzyklus abgebaut werden kann. Dann wird nämlich Energie auch auf dem Weg der anaeroben Glucoseverwertung bereitgestellt. Auf diese Weise lagert sich zunehmend Laktat in der Muskelzelle an, welches anschließend langsam wieder oxidativ abgebaut wird. (TOMASITS J. und HABER P., 2007)

In Bezug auf den Abbau von Fettsäuren zur Energiegewinnung ist anzumerken, dass Fett aufgrund seiner hohen Energiedichte in erster Linie als Speicher fungiert. Die Fettoxidation setzt dann ein, wenn es sich um Belastungen mit geringerer Intensität handelt, und erreicht bei einer Vo_2max von 50 % einen Höchstwert. (TOMASITS J. und HABER P., 2007)

Anhand der Abbildung 4 wird deutlich, dass bei kurzen, intensiveren Belastungen zuerst Muskelsubstrate herangezogen werden, wohingegen lang andauernde Belastungen zum Großteil auf Energie aus Blutglucose und Fettsäuren zurückgreifen. (TOMASITS J. und HABER P., 2007)

Nach Einnahme mäßiger Mengen Koffein (3 – 9 mg / kg KG) und unter der Voraussetzung eines guten Trainingszustandes konnten in Studien leistungssteigernde Effekte bei Ausdauersportlern beobachtet werden. (BRIDGE C. und JONES M., 2006; JONES G., 2008; O'ROURKE M.P. et al., 2008)

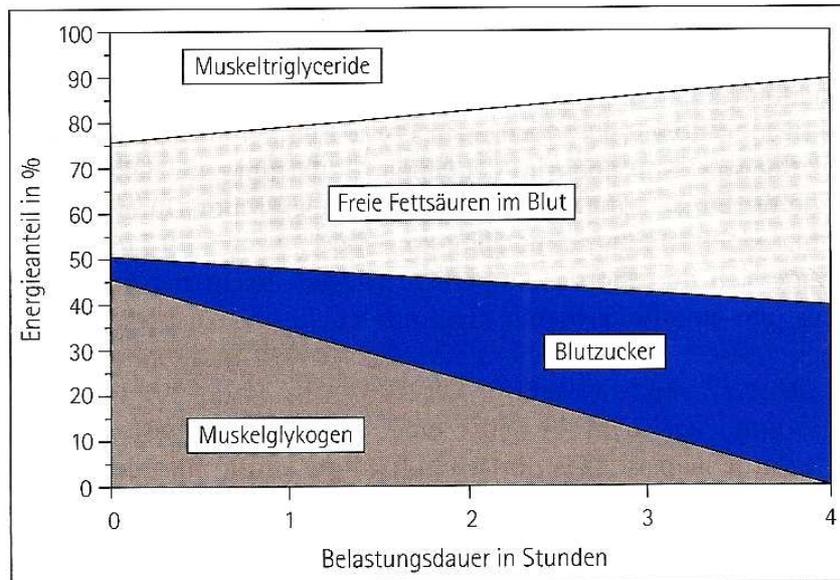


Abbildung 4: Zugriff auf die verschiedenen Energiesubstrate (TOMASITS J. und HABER P., 2007; S. 262)

Wird nach dem Training lediglich die Flüssigkeitsbilanz ausgeglichen und keine Nahrung aufgenommen, kommt es zu einem „Nachbrenneffekt“ der Lipide. Mit zunehmender Anstrengung sinkt die Energiebereitstellung aus Fetten und wird von dem Glucoseabbau nach und nach abgelöst. (TOMASITS J. und HABER P., 2007)

4.2. Allgemeine Empfehlungen

Die Basis für jede Art der sportlichen Betätigung ist ein gesunder, funktionsfähiger Körper, der die an ihn gestellten Forderungen – d.h. Bewegungsabläufe – einwandfrei bewältigen kann. Das bedeutet, dass gute sportliche Leistung sowie Erfolg im Wettbewerb eine gesunde Körperphysiologie voraussetzt. (TOMASITS J. und HABER P., 2008)

Daneben ist die richtige Ernährung für sportliche Betätigungen von größter Bedeutung. Sie ist sowohl die Quelle der Energiezufuhr bezogen auf die Körpergröße und den Grad der körperlichen Aktivität, als auch die Grundlage für den Erfolg im Sport. Perfekt wäre eine ausgeglichene Bilanz zwischen Nahrungsaufnahme und Energieverbrauch, die sich dann in konstantem Körpergewicht widerspiegelt. (WESTERTERP K.R., 2010)

Eine zu geringe Energieaufnahme (bei Frauen unter 37,5 kcal / kg KG / d, MEYER et al., 2003) verglichen mit den empfohlenen Referenzwerten limitiert die potentiellen Leistungen im

Teamsport und erschwert es, die angestrebten Ziele zu erreichen. (PAPADOPOULOU S.K. und PAPADOPOULOU S.D., 2010)

Generell ist zu bemerken, dass sich das tägliche Essverhalten eng auf die sportliche Leistungsfähigkeit auswirkt und man auf diese Weise seinen Trainingszustand auch sehr gut koordinieren kann.

Laut zahlreichen wissenschaftlichen Untersuchungen ist eine sportartorientierte, ausgewogene Ernährung ein wesentlicher Bestandteil der sportlichen Leistung. Bei regelmäßigem Training – insbesondere bei Kraft- und Leistungssport - steigt der Bedarf an Energie und spezifischen Nährstoffen. (KONOPKA P., 2008)

Falsche Ernährung kann sich negativ auf die Leistungsfähigkeit auswirken sowie den Kraftaufwand für körperliche Betätigung erhöhen, worunter auch die weitere Motivation zusehends leidet.

Prinzipiell ist Sport nicht gleich Sport. Eine Differenzierung der einzelnen Sportarten trifft Peter KONOPKA in Breitensport, Gesundheitssport, Leistungssport und Hochleistungssport, wobei die richtige Ernährung der Art der Betätigung entsprechen sollte. In diesem Fall empfindet der Leistungs- und Hochleistungssportler allerdings eine fehlerhafte Nährstoffzusammensetzung deutlicher, als die genannten Gesundheits- und Breitensportler. (KONOPKA P., 2008)

Eine weitere, einfachere Unterscheidung trifft Dr. Alexandra Schek in Breiten- und Leistungssport sowie zusätzlich in Ausdauer- und Kraftsport. (SCHEK A., 2004)

4.3. Breitensportler

Breitensportler sind auch unter dem Begriff „Hobby-“ oder „Freizeitsportler“ bekannt. Sie trainieren 4 - 5 Mal pro Woche etwa 30 - 60 Minuten lang, woraus eine Ergänzung um 0,3 PAL-Einheiten zusätzlich zu ihrem täglichen Grundumsatz resultiert. Ihr Leistungsumsatz reicht allerdings – ganz im Gegensatz zu Leistungssportlern - nicht über die Grenze von 500 kcal / d hinaus. (SCHEK A., 2004)

Es gibt sowohl Freizeitsportler, die aufgrund ihrer Ambitionen an Wettkämpfen teilzunehmen ihre Ernährung optimal zur Leistungsförderung einsetzen wollen, als auch jene, die keinerlei derartige Ziele haben, sich aber trotzdem für sportangepasste Lebensmittelauswahl interessieren. (FRIEDRICH W., 2006)

Die allgemein gültigen Nährstoffempfehlungen und die 10 Regeln der DGE gelten im Grunde für Sportler wie auch für Menschen, die sich nicht aktiv bewegen. Es sollten mehrmals am Tag kleinere Portionen aufgenommen werden, wobei die kleinen Zwischenmahlzeiten aus Getreide, Milchprodukten, Gemüse und Obst bestehen sollten. (FRIEDRICH W., 2006)

Die drei Hauptenergieträger Kohlenhydrate, Fette und Proteine sind für Sporttreibende wie für Nichtsportler gleichermaßen bedeutend. (BERG A. und KÖNIG D., 2008)

4.4. Leistungssportler

Aufgrund des größeren Energieverbrauchs (500 – 2000 kcal / d) (SCHEK A., 2004) und des an die Sportart angepassten Lebensstils (tägliches Training, angestrebte Wettkampfziele, hauptberuflich Sportler) unterscheidet sich die Ernährungsweise eines Leistungssportlers zu einem höheren Ausmaß von der normal empfohlenen, gesunden Ernährung.

Bezogen auf die unterschiedlichen Anforderungen der einzelnen Sportarten differenzieren sich hier die Ernährungsempfehlungen. Die Nahrungsaufnahme muss also auf die jeweilige Disziplin angepasst sein und die individuellen Trainingsbedingungen berücksichtigen. (FRIEDRICH W., 2006)

Im Normalfall werden im Leistungssport entsprechende Ernährungspläne angefertigt, die die Sportler bestmöglich unterstützen sollen. Die Einteilung der Ernährungsphasen erfolgt in Trainings - Aufbauphase (Basisernährung), Vorwettkampfphase, Wettkampfphase und Nachwettkampfphase. (KONOPKA P., 2008)

Um die angestrebten Ziele erreichen zu können, ist es notwendig sich an die individuell angepassten Ernährungsanweisungen zu halten und auf einige Regeln zu achten: angemessene Flüssigkeitszufuhr (abhängig vom Schweißverlust), verbrauchte Kalorien am ehesten durch kohlenhydratreiche Lebensmittel ersetzen, genug Energie aufnehmen (> 2000 – 2500 kcal / d), bei Fetten auf gute Qualität der Fettsäuren achten (entzündungshemmende) und reichlich Obst und Gemüse aufnehmen. (BERG A. und KÖNIG D., 2008)

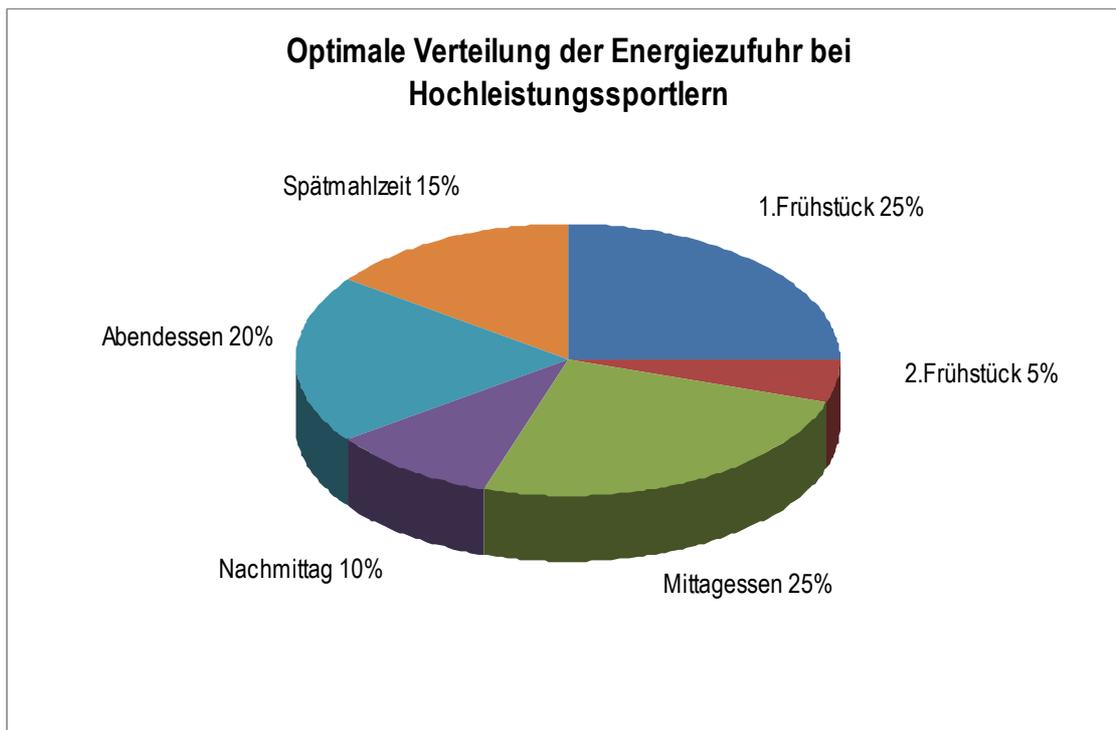


Abbildung 5: Optimale Verteilung der Energiezufuhr bei Hochleistungssportlern (KONOPKA P., 2008; S. 128)

Mahlzeit	Ausdauersportarten	Kraftsportarten
1. Frühstück	1125 kcal	1250 kcal
2. Frühstück	225 kcal	250 kcal
Mittagessen	1125 kcal	1250 kcal
Nachmittag	450 kcal	500 kcal
Abendessen	900 kcal	1000 kcal
Spätmahlzeit	675 kcal	750 kcal
Gesamt	4500 kcal	5000 kcal

Tabelle 3: Optimale Verteilung der Energiezufuhr in der Basisernährung bei Hochleistungssportlern auf die verschiedenen Mahlzeiten (nach A. BERG) (KONOPKA P., 2008; S. 128)

Die Nutzung von leistungsfördernden Mitteln ist vor allem für Leistungssportler interessant, die neben zulässigen womöglich auch verbotene Substanzen und Methoden einsetzen, um erfolgreich zu sein.

Die WADA (World Anti Doping Agency) veröffentlicht seit ihrer Gründung im Jahr 2004 jährlich eine Dopingliste, die immer ab 1. Jänner des entsprechenden Jahres in Kraft tritt. Auf diese Weise ist sie für die Bekämpfung des Missbrauchs durch unfaire Substanzen im Sport zuständig und soll diese vereinheitlichen. Im speziellen Fall von Koffein ist es derzeit so geregelt, dass die Substanz im Monitoring - Programm der WADA aufscheint, sie steht also lediglich unter Kontrolle und ist nicht strikt verboten. (www.wada-ama.org, 17.5.2010)

Mehr zum Thema Doping im Sport und verbotene Substanzen wird in Kapitel 5.3. diskutiert.

Da die Erwartungen an Leistungssportler sehr hoch sind und laufend höhere Trainingslevels angestrebt werden, versuchen viele, sich über Nährstoffsupplementierung optimal zu versorgen. (MAUGHAN R. et al., 2004)

Meist wissen die Sportler nichts oder wenig über die aktiven Inhaltsstoffe der Präparate und wie sie in ihrem Körper wirken, sondern vertrauen lediglich darauf, dass sie ihnen zu besseren Wettkampf- und Trainingsergebnissen verhelfen. (DASCOMBE B.J. et al., 2009)

Um die wissenschaftlichen Studien und deren Vorgehensweise nachvollziehen zu können, ist die Kenntnis des *Wingate Tests* von Bedeutung. In vielen Publikationen wird er verwendet, um die anaerobe Leistung eines Athleten diagnostizieren zu können. Am Ergometer wird die Testperson dabei etwa 30 Sekunden maximal belastet, wodurch man die anaerobe Leistungsfähigkeit bestimmen kann. (www.sport-fitness-advisor.com/wingate-test.html, Stand: 8.8. 2010)

4.5. Ausdauersportler

Zu den Ausdauersportarten gehören der Mittel- und Langstreckenlauf, Straßenradrennen, Gehen, Skilanglaufen und vieles mehr. (BERG A. und KÖNIG D., 2008)

Die notwendige Menge an Makronährstoffen für Ausdauersportler weicht im Allgemeinen nicht besonders von den Empfehlungen der DGE ab. So sollte der Fettanteil unter 30 %, die aufgenommene Kohlenhydratmenge zwischen 55 und 60 % und die Proteinaufnahme bei rund 13 % pro Tag liegen. (TOMASITS J. und HABER P., 2007)

Grundsätzlich sollten bei einer vollwertigen, ausgewogenen Ernährung keine Nährstoffdefizite auftreten. Aus diesem Grund sind Supplemente für den sportlichen Erfolg nicht zwingend. (WILLIAMS M., 2005)

Hauptsächlich ausschlaggebend für Erfolge im Ausdauersport ist die erhöhte „Widerstandfähigkeit des Organismus gegen Ermüdung“. (KONOPKA P., 2008)

Mit steigender Trainingsintensität sollte auch die Aufnahme von Kohlenhydraten steigen, indem vermehrt Kartoffeln, Reis, Nudeln und weitere Getreideprodukte aufgenommen werden. Auch bei der weiteren Nahrungszusammensetzung sollte auf einen geringen Fettanteil, in Form von fettarmen Proteinquellen, geachtet werden. Der durchschnittliche, tägliche Eiweißbedarf von Ausdauersportlern liegt in etwa bei 1,2 bis 1,5 g / kg KG. (KONOPKA P., 2008)

Sportart	kcal/kg	kJ/kg	Körpergewicht [kg]	Tagesenergiebedarf [kcal]	Anteil an Gesamtenergiemenge
Mittelstreckenlauf	70	293	70	4900	Kohlenhydrate 60% Eiweiße 12 - 16% Fette 24 - 28%
Langstreckenlauf	75	314	65	4875	
Marathonlauf	75	314	60	4500	
20- und 50km Gehen	80	335	70	5600	
Skilanglauf, Biathlon	80	335	65	5200	
Schwimmen (200 – 1500 m)	70	293	70	4900	

Tabelle 4: Energiebedarf und optimale Nährstoffrelation im Ausdauersport (Hochleistungssport) (KONOPKA P., 2008; S. 139)

4.6. Kraftsportler

Beim Krafttraining geht es hauptsächlich um die Steigerung der Maximalkraft und folglich auch der Kontraktionsgeschwindigkeit des Muskels, was eine Leistungsverbesserung in Kraft - dominierenden Sportarten (Gewichtheben oder Kugelstoßen) und auch bei Schnelligkeitwettkämpfen (Kurzstreckenlauf, Hoch- oder Weitsprung) bedeutet. (TOMASITS J. und HABER P., 2007)

Ein besonderes Augenmerk wird im Kraftsport auf die angemessene Eiweißaufnahme gelegt. Die Empfehlungen dazu widersprechen sich allerdings in der verfügbaren wissenschaftlichen Literatur.

„Sportler brauchen keine spezielle Nahrung.“ Dies bestätigte die DGE bereits vor etwa 10 Jahren in ihrem gleichnamigen Auszug des Journalistenseminars im November 1999. Dr. Klaus Jürgen Moch vom Institut für Ernährungswissenschaften in Gießen erklärt im Detail: „Noch immer ist der Glaube weit verbreitet, nur mit viel Eiweiß könne Muskelmasse schnell aufgebaut werden.“ Die in den D-A-CH-Referenzwerten empfohlene Aufnahmemenge von Eiweiß sollte in etwa 9 - 11 % der täglich zugeführten Energie ausmachen, was prinzipiell für gute sportliche Leistungen ausreicht. (www.dge.de, 1999)

Eine Erhöhung dieses Anteils auf 0,8 - 1,2 g / kg KG / d für Breiten- ebenso wie für Leistungssportler (SCHEK A., 2004) ist im Grunde nicht notwendig, zumal durch überhöhten Eiweißkonsum auch unerwünschte Nebenwirkungen auftreten können. Nierenschäden sind in diesem Zusammenhang keine Seltenheit, da durch die Protein-Überdosierung zuviel Harnstoff produziert wird, welcher in weiterer Folge nicht hinreichend abgebaut werden kann. (LOWERY L. und FORSYTHE C.E., 2006)

Man kann den grundsätzlichen Eiweißbedarf für Sportler entsprechend des jeweiligen Krafteinsatzes folgendermaßen beschreiben: Bei Normalpersonen und Ausdauersportlern sollten etwa 12 – 15 % der Tagesenergie aus Eiweiß bestehen, wohingegen einfache Kraftsportler und Kraftsportler mit vermehrtem Muskelaufbau 20 % beziehungsweise 25 % Protein aufnehmen sollten. (TOMASITS J. und HABER P., 2007)

In Bezug auf die anderen Makronährstoffe ist anzumerken, dass vor allem Kohlenhydrate in diesen Disziplinen häufig vernachlässigt werden, was längerfristig gesehen nicht vorteilhaft ist. (KONOPKA P., 2008)

5. KOFFEIN im Sport

Mit: „*Nimm dir Zeit für die siebringende Tasse Kaffee.*“, bringt es Thomas Moore 1992 auf den Punkt. (MOORE T., 2009)

5.1. Wirkungsmechanismen von Koffein

Koffein ist die am häufigsten aufgenommene pharmakologisch aktive Substanz weltweit. Eine ungeheure Vielfalt an koffeinhaltigen Getränken, wie Kaffee, Tee oder Softdrinks, wird täglich konsumiert. (NAWROT P. et al., 2003)

Die Absorption von Koffein im Verdauungstrakt erfolgt grundsätzlich sehr schnell. (McARDLE W.D. et al., 2007)

Bei der anschließenden Metabolisierung in der Leber und durch Enzyme entstehen 3 Abbauprodukte, nämlich Paraxanthin, Theophyllin und Theobromin, (GRAHAM T.E. und SPRIET L.L., 1995; HARLAND B., 2000) die über die Nieren ausgeschieden werden.

Koffein kann außerdem die Blut-Hirn-Schranke ohne Probleme passieren und dort die Konzentration und weitere kognitiven Leistungen verbessern. (LIEBERMAN H.R. et al., 2002; CROWE M.J. et al., 2006; HOGERVORST E. et al., 2008; FOSKETT A. et al., 2009; EINÖTHER S.J.L. et al., 2010)

Die Substanz weist eine ungeheure Bandbreite von Wirkungen auf, wobei sie in geringerer Konzentration in erster Linie als Stimulans zu charakterisieren ist, welches hauptsächlich auf das Zentralnervensystem wirkt. (AVOIS J. et al., 2006).

Es werden grundsätzlich zwei wesentliche Angriffspunkte auf den Stoffwechsel unterschieden:

Zum einen hemmt Koffein die Phosphodiesterase, welche für den Abbau von cAMP (zyklisches Adenosin-Monophosphat) zuständig ist. Auf diese Weise wird die durch cAMP katalysierte Wirkung von Adrenalin verlängert. Eine Verabreichung von Koffein führt demzufolge zu einer Anhäufung von Adrenalin im Plasma (FORTH W. et al., 2001) und generell zu einer vermehrten Ausschüttung von Katecholaminen. (GRAHAM T.E. und SPRIET L.L., 1995)

Obwohl es die Glykogenolyse begünstigt, wurde eine Erhöhung der Laktatkonzentration im Muskel und eine Ansammlung der Phosphodiesterase selbst, ohne anschließenden Einfluss auf

den Glykogenabbau nach zwei maximalen Radfahr-Tests beobachtet. (JACKMAN M. et al., 1996)

Adrenalin kann die Lipolyse in den Adipozyten genauso wie die Glykogenolyse in Muskeln und Leber anregen. Aus diesem Grund ist ein direkter Zusammenhang zwischen Hormonanstieg und verstärktem Substrat - Katabolismus nicht eindeutig zu identifizieren. (GOLDSTEIN E.R., 2010)

Diese günstigen Wirkungen von Koffein auf die Glykogenolyse und die Fettverbrennung (MUTSCHLER E., 2008) sind vor allem im Sport von Bedeutung. Es kommt zur Förderung der Fettsäurefreisetzung aus den Fettdepots und somit zu einer vermehrten Umsetzung. (ESSIG D. et al., 1980; SPRIET L.L. et al., 1992)

Auf der anderen Seite fungiert Koffein als kompetitiver Inhibitor (POLTEV V.I. et al., 2009) der Adenosin - Reaktion, indem es sich an dessen Bindungsstellen anlagert und so den Reaktionsweg für das Adenosin versperrt. (PALUSKA S.A., 2003; JONES G., 2008; SÖKMEN B. et al., 2008; BÜTZER P., 2009) Diese Blockade findet vor allem an den A1 und A2a - Rezeptoren des Adenosins (FISONE G., 2004) statt.

Der Grund warum ein so kleines Molekül mit begrenzten Bindungszentren wie Koffein mit dem größeren Adenosin in Wettstreit treten kann, liegt in der effizienteren Art der Anlagerung. Es wird vermutet, dass der durch Wasserstoffbrücken und durch sehr dichte Anordnung der einzelnen Komponenten verfestigte Koffein – Rezeptor - Komplex Grund für die pharmakologische Wirkung von Koffein im Nervensystem ist. (POLTEV V.I. et al., 2009)

Durch die Effekte auf Adenosinrezeptoren kommt es bei moderater Koffeinaufnahme zur Empfindung von schwachen Glücksgefühlen und einer eventuellen Verminderung von Depressionen. Wird dagegen ein Übermaß aufgenommen, werden mehr Rezeptoren gebildet, die in weiterer Folge auch wieder vermehrt Adenosin binden können. Die Blockade wird dadurch aufgehoben und seine natürliche Wirkung wiederhergestellt. (BÜTZER P., 2009)

Koffein weist allerdings im Vergleich mit dem Wirkstoff Theophyllin ein geringeres Potential als Adenosin – Antagonist auf. Die Verabreichung der Substanz, die in der Natur in Tee-, Guaranà- und Matèblättern vorkommt, resultiert in einer deutlicheren Erhöhung der Konzentration von Glyzerin im Blut als die Gabe von Koffein in größerer Dosierung. (GREER F. et al., 2000)

Da Koffein sowohl auf das Zentralnervensystem (Blut-Hirn-Schranke) als auch auf zellulärer Ebene im Körper wirkt, ist die genaue Bestimmung des effektivsten Wirkungssystems sehr schwierig. (SPRIET L.L., 1995)

Zusätzlich kann Koffein in höherer Dosierung zu einer Freisetzung von Calcium - Ionen aus intrazellulären Speichern führen. (FORTH W. et al., 2001; TSUANG Y.-H. et al., 2006)

Dies wiederum manifestiert sich möglicherweise in einer Senkung der Knochendichte und erhöht das Risiko von Osteoporose – insbesondere bei postmenopausalen Frauen. (MASSEY L.K. und WHTNEY S.J., 1993; TSUANG Y.-H. et al., 2006)

Trotzdem wird dem Purinalkaloid ein gesundheitsfördernder Effekt zugeschrieben. Es schützt angeblich vor der Entstehung bzw. dem Fortschritt von Herzerkrankungen. Die Studie von GREENBERG J.A. et al., in der das Risiko für Herzbeschwerden bei Frauen über 65 Jahren aus der vorausgegangenen *Framingham Studie* untersucht wurde, bekräftigt diese Annahme. Jene Damen, die mindestens 1 Tasse koffeinhaltigen Kaffee pro Tag konsumierten, hatten später ein um 43 % geringeres Risiko an koronarer Herzkrankheit zu sterben, als jene, die entkoffeinierten Kaffee tranken. (GREENBERG J.A. et al., 2008)

Somit kann man von einer erhöhten Kontraktionskraft des Herzens und einer gesteigerten Herzfrequenz bei Koffeinaufnahme ausgehen. (MUTSCHLER E., 2008)

Da Koffein mit den Adenosinrezeptoren im Gehirn eine Bindung eingeht, werden weitere positive Effekte, vor allem in Bezug auf Stimmung und Seele festgestellt. (HERZ R.S., 1999; WEINBERG B.A. et al., 2002; LIEBERMAN H.R. et al., 2002; BÜTZER P., 2009)

In Kombination mit Orangenschalen- und Schwarzteeextrakt lässt sich gar ein „Anti-Fettleibigkeitseffekt“ bei CF-1-Mäusen erkennen, die 10 Wochen lang mit übermäßig energiereicher Nahrung gefüttert wurden. (HUANG Y. et AL., 2009)

Zudem wirkt Koffein auf Gefäße im Gehirn konstriktorisch, während es in der Peripherie – vor allem im Atmungstrakt – erweiternd wirkt. (LUNT M.J. et AL., 2004)

Zu den allgemeinen physiologischen Wirkungen von Koffein zählen die Anregung der Herz- und Muskeltätigkeit, die Erhöhung der Konzentration, die Verzögerung der Ermüdung und die Verbesserung der Organdurchblutung. (MUTSCHLER E., 2008)

Koffein bewirkt auch Empfindungen, die nicht hundertprozentig real sind, sondern einer gewissen Einbildungskraft unterliegen und somit als suggestiv bzw. autosuggestiv bezeichnet werden. (BARON D.K., 1999)

Damit stellt sich die Frage, ob Koffein für Sportler förderlich ist und ihre Leistungen verbessern kann.

5.2. Effekte einer Koffeinverabreichung im Sport

5.2.1. Koffein im Ausdauersport

Der Ausdauersport ist der bekannteste und zugleich effektivste Anwendungsbereich von Koffein zur Verbesserung der Leistungsfähigkeit. Bestimmte Dosen beschleunigen den Fettabbau zu Beginn der Belastung und bewirken so die Zurückhaltung von Glykogen, was wiederum einer verfrühten Ermüdung durch Unterzuckerung entgegenwirkt. (SCHEK A., 2004)

Viele Studien bestätigen diese Theorie, sie bekräftigen die Annahme, dass durch Gabe einer gewissen Menge an Koffein vor bzw. während einer länger andauernden Belastung die Leistung der Athleten optimiert wird. (BRUCE C.R. et al., 2000; BRIDGE und JONES, 2006; JENKINS N.T. et al., 2008; GANIO M.S. et al., 2009; IMAGAWA T.F. et al., 2009; SIMMONDS M.J. et al., 2010)

Ein bemerkenswerter Vorteil der Koffeinverabreichung im Sport (hier: 5 mg / kg KG) liegt in der Verlängerung der Zeitspanne bis zum Eintreten der Erschöpfung bei einer wiederholten Belastung. (SIMMONDS M.J. et al., 2010)

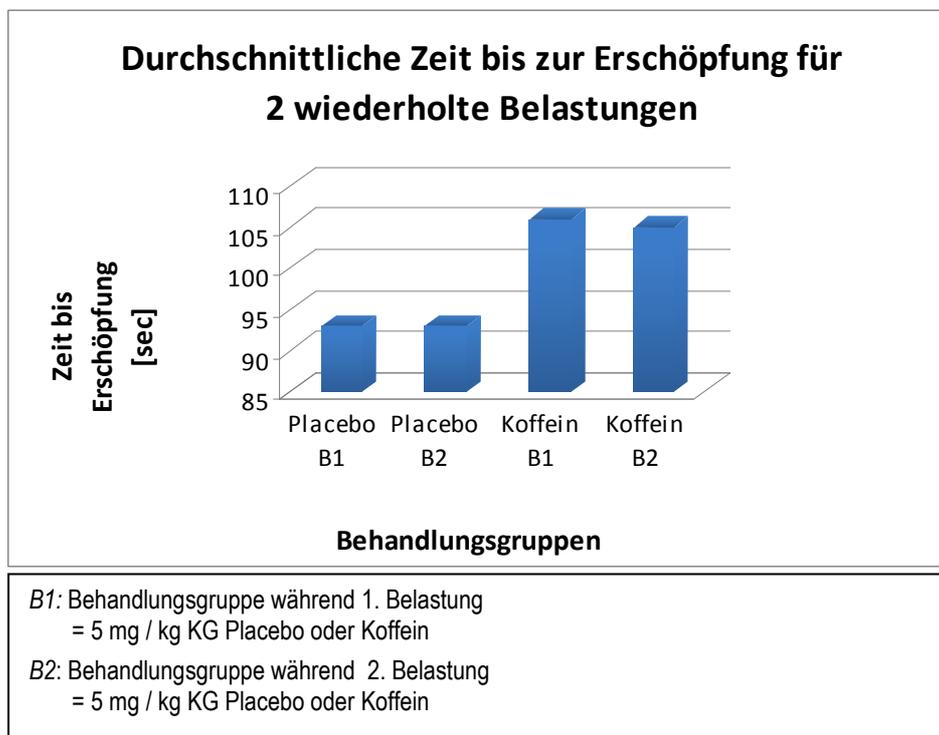


Abbildung 6: Durchschnittliche Zeitspanne bis zur Erschöpfung (TE) für 2 wiederholte Belastungen, in Placebo- und Koffein-Behandlung Beide zeigen gute Möglichkeit zur Reproduzierbarkeit des Tests. TE für Koffein unterscheidet sich signifikant von Placebopräparat. (SD *p=0,06) (SIMMONDS M.J. et al., 2010)

Neben der möglichen ergogenen Wirkung wird auch der Einfluss auf den oxidativen Stress diskutiert, da die Rolle des Koffeins diesbezüglich noch weitgehend unbekannt ist.

OLCINA et al. untersuchten 2006 die oxidativen Eigenschaften von Koffein zur Aufklärung dieses Zusammenhangs. Man kam zu dem Schluss, dass die Leistung während einer Ergometerbelastung durch Verabreichung von 5 mg / kg KG Koffein verbessert wurde, jedoch kein Einfluss auf Lipidperoxidation nachzuweisen war. Koffein löste in dieser Studie keinen oxidativen Stress aus. (OLCINA G.J. et al., 2006)

Zwei Jahre später allerdings erkannten dieselben Autoren, dass 5 mg Koffein / kg KG während submaximaler aerober Belastung eher prooxidativ wirkt, indem es die Lipidperoxidation und damit zelluläre Zerstörungen fördert. (OLCINA G.J. et al., 2008)

Ein besonderes Augenmerk sollte auch auf die Konzentration des aufgenommenen Koffeins gelegt werden, da die Substanz und seine Dimethylxanthin - Metabolite in physiologisch vorhandenen Mengen keine antioxidative Aktivität gegen Peroxidradikale aufweisen. (LEE C., 2000)

Aus diesem Grund lässt sich zusammenfassen, dass bei einem Vergleich zwischen Kaffee und Tee die antioxidativen Kapazitäten unabhängig vom Xanthingehalt der Getränke sind und es eher auf andere phenolische Inhaltsstoffe für den Schutz vor Oxidation ankommt. (NATELLA F. et al., 2002)

In diesem Zusammenhang ist allerdings noch mehr Forschung erforderlich.

5.2.1.1. Form und Dosis

Es wurden bereits viele Studien durchgeführt, die die Auswirkungen von unterschiedlichen Koffeingaben auf die Ausdauerleistung aufzeigen sollten. Auf diese Weise sollte ein Einblick in die richtige und vor allem effektive Handhabung der Substanz im Sport gewährleistet sein.

Eine der anerkanntesten Untersuchungen zu dieser Thematik führten GRAHAM et al. 1998 durch, indem sie eine große Bandbreite von Wirkungen des Koffeins (4,45 mg / kg KG) beschrieben, das in unterschiedlichsten Formen verabreicht wurde. Es erfolgte die Einnahme von Koffeinkapseln mit Wasser, normalem Kaffee, entkoffeiniertem Kaffee, entkoffeiniertem Kaffee mit Koffein - Kapseln oder einem Placebo - Präparat eine Stunde vor einer 5-teiligen Laufband - Belastung. Es ergab sich, dass durch das Koffein in Kapselform die Arbeitskapazität signifikant erhöht wurde und auf diese Weise zusätzlich noch 2 - 3 km mehr gelaufen werden konnten, als bei den anderen 4 Darreichungsarten (GRAHAM T.E. et al., 1998).

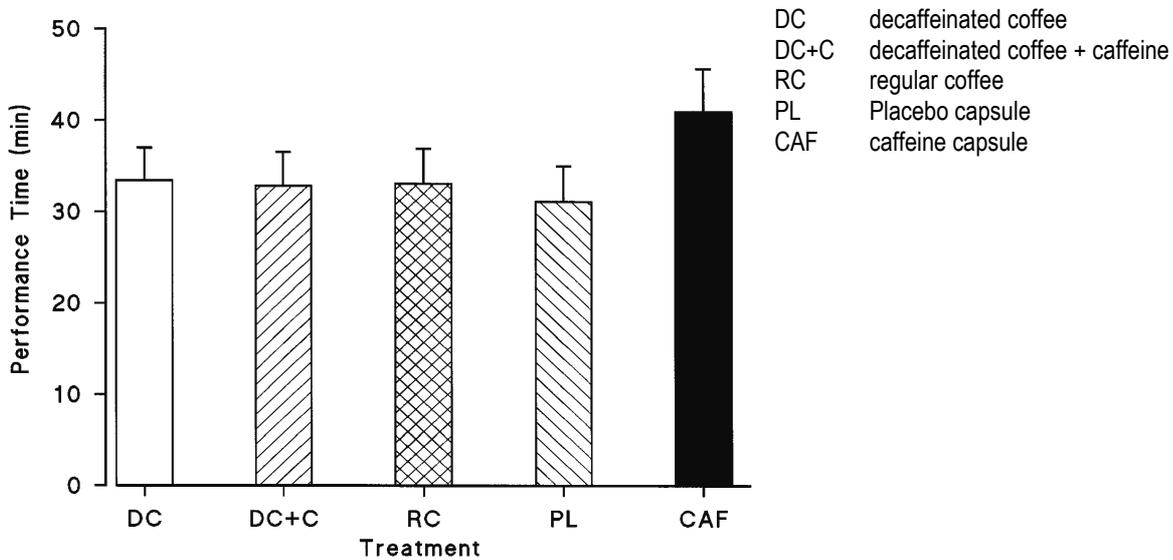


Abbildung 7: Ausdauerzeit für 5 Belastungen. Koffeinkapseln resultieren in einer Erhöhung der Ausdauer (P 0,05) verglichen mit den anderen 4 Darreichungsformen. Es gab keine Differenzen innerhalb der anderen Gruppen. Die erhöhte Ausdauer schlug sich in der Fähigkeit 2 – 3 km länger zu laufen nieder. (GRAHAM T.E. et al., 1998; S. 885)

Die Autoren vermuteten, dass weitere ununterscheidbare Inhaltsstoffe eines Kaffeegetränkes die Wirkung von Koffein verglichen mit jener in anhydrierter Form schwächen. (GRAHAM T.E. et al., 1998)

Diese Annahme bestätigt eine Publikation von 2002, die auf die beim Röstprozess der Kaffeebohnen gebildeten Chlorogensäurederivate hinweist. Diese Derivate könnten womöglich dem Effekt des Koffeins als Adenosin - Antagonist entgegenwirken, indem sie seine Fähigkeit, die Hemmung von Adenosin abzuschwächen, aufheben. (DePAULIS et al., 2002)

Ausschlaggebend für den Grad der Leistungssteigerung ist vor allem die Dosis des verabreichten Koffeins. Bei der moderaten Dosis 2 bzw. 3 mg / kg KG konnte eine 4 bzw. 3%ige Verbesserung ausforscht werden (BRIDGE und JONES, 2006; JENKINS et al., 2008), wohingegen eine zu hohe oder zu niedrige Konzentration meist keine verbessernden Folgen hat. (GANIO M.S. et al., 2009)

Bei der Verabreichung der Substanz zur Steigerung der Performance sollte aber zusätzlich auch auf die individuellen Reaktionen und Charakteristika der Sportler geachtet werden. Nach Gaben von 2, 4 oder 6 mg / kg KG Koffein bzw. von einem Placebopräparat nahmen 10 männliche Sportler an einer 2000 m Ruderbelastung teil, wobei ihre Flüssigkeitszufuhr, Koffeinrückhaltung und Blutglucosekonzentration gemessen wurden. Überraschenderweise war die Leistung der

Ruderer innerhalb der Gruppen (inklusive Placebo) nicht signifikant unterschiedlich. Dagegen gab es beträchtliche Unterschiede bei den Plasma - Koffeinkonzentrationen unter den einzelnen Probanden, die sich aufgrund der verschiedenen Koffein-Dosen einstellten. Dies unterstreicht die obig erwähnte Annahme, dass bei der Handhabung von Koffein als ergogenes Hilfsmittel auf individuelle Reaktionen geachtet werden sollte, da jeder anders auf Koffein reagiert, und eine Adaptierung oder ähnliche Effekte möglich sein können. (TUNNICLIFFE J.M. et al., 2008; SKINNER T.L. et al., 2010)

Ob der Konsum einer Tasse morgendlichen Kaffees vor der Gabe von anhydriertem Koffein auch eine Rolle bei der sportlichen Performance spielt, untersuchten MCLELLAN und BELL. Sie verabreichten ihren Probanden sechs verschiedene Kaffee- und Koffein- Kombinationen: entkoffeinierter Kaffee und Placebo-Kapseln, entkoffeinierter Kaffee und Koffein - Kapseln zu 5 mg / kg KG, Kaffee zu 1,1 mg / kg KG Koffein und Koffein-Kapseln zu 5 mg / kg KG bzw. zu 3 mg / kg KG bzw. zu 7 mg / kg KG und Wasser mit Koffein-Kapseln zu 5 mg / kg KG. Letztendlich stellte sich heraus, dass eine Behandlung mit Koffein die Zeit bis zur völligen Erschöpfung unabhängig von der Darreichungsform bei einer Radfahrbelastung signifikant verlängert. Es gab keine Interaktion mit der morgendlich aufgenommenen Tasse Kaffee, die ergogenen Effekte wurden nicht beeinträchtigt. (McLELLAN T.M. und BELL D.G., 2004)

Ebenfalls diskutiert werden kardiovaskuläre Vorteile bei submaximaler Belastung durch die Verabreichung von Koffein an Personen, die nicht daran gewöhnt sind. Eine Untersuchung an Radfahrern in einer doppelblinden, randomisierten Studie von McCLARAN und WETTER ergab, dass der Konsum einer koffeinhaltigen Pille – 1,5 mg bzw. 3 mg / kg KG – die Herzfrequenz während einer submaximalen Belastung senkt. Die Behandlung mit Koffein könnte also einen Einfluss auf die Auswahl der Arbeitsbelastung haben. (McCLARAN S. und WETTER T.J., 2007)

Diese Ergebnisse unterstützen die Annahme, dass Kaffeekonsum einen positiven und zugleich möglicherweise protektiven Einfluss auf die Entstehung von Herzerkrankungen hat. (GREENBERG J.A. et al., 2008)

5.2.1.2. Koffeinhaltiger und entkoffeinierter Kaffee

Kaffee – gemahlen oder in Bohnenform – ist in unseren Breiten überall und jederzeit verfügbar und unter normalen Umständen koffeinhaltig. Der durchschnittliche Koffeingehalt einer Tasse gebrühten Kaffees liegt bei etwa 80 mg / 250 ml. (BURKE L.M., 2008)

Obwohl Kaffee hunderte andere biologisch aktive Inhaltsstoffe besitzt, werden die beiden Ausdrücke „Kaffee“ und „Koffein“ irrtümlich oft synonym verwendet. Ihre Wirkungen können demnach aber nicht völlig gleichgestellt werden. Bezogen auf die Leistung ist anzumerken, dass die ergogenen Effekte des Koffeins am Besten erreicht werden, wenn es in alkaloider Form aufgenommen wird und nicht als gebrühter Kaffee. (TUNNICLIFFE J.M. et al., 2008)

Logischerweise sind Athleten, die Höchstleistungen vollbringen und ihren Aufwand an Anstrengung auf die eine oder andere Weise vermindern wollen, nicht automatisch Koffein-Konsumenten.

Die Verbreitung des Kaffee- und Koffeinverzehr unter kanadischen Spitzensportlern beispielsweise, sowie deren Effekte auf die körperliche Aktivität, das Gewicht, die Leistung und den Stoffwechsel untersuchten TUNNICLIFFE J.M. et al.. Es zeigte sich, dass die tägliche Koffeinaufnahme bei rund 0,85 mg / kg KG lag. Die Aufnahme hing aber nicht von der jeweiligen Sportart ab. Grundsätzlich kamen die Autoren zu dem Schluss, dass der Großteil der kanadischen Hochleistungssportler Koffein hauptsächlich in Form einer Tasse Kaffee zu sich nehmen, wobei die Dosierung zu niedrig ausfiel, um eine Leistungssteigerung zu beobachten. (TUNNICLIFFE J.M. et al., 2008)

Um die natürliche Belastung an Koffein im Alltag eines Athleten zu simulieren, wird in Studien häufig die durch Koffein erreichte Leistungssteigerung im gewöhnlichen Kaffee mit anderen Darreichungsformen verglichen. (GOLDSTEIN E.R. et al., 2010)

In einer Studie von DEMURA et al. wurde der Effekt von Kaffee auf die Leistung bei Radfahren während submaximaler Belastung untersucht, indem koffeinhaltiger (6 mg Koffein / kg KG) bzw. koffeinfreier Kaffee 60 Minuten vor der Belastung eingenommen wurden. Letzten Endes konnte lediglich ein signifikant verminderter Anstrengungsaufwand in der Koffein - konsumierenden Gruppe bestätigt werden. (DEMURA S. et al., 2007)

Weitere positive Ergebnisse konnten auch bei einer wiederholten Sprintbelastung nachgewiesen werden. Mithilfe eines angereicherten bzw. entkoffeinierten Kaffeegetränk wurde die Performance von 40-yard Sprintern verglichen. Bei den Läufern, die die angereicherte Variante des Getränkes aufgenommen hatten, stellten sich eine signifikant schnellere Laufzeit und eine verminderte Ermüdung bei den Wiederholungen ein. (DAVIS J.K. et al., 2008)

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass im Vergleich zu entkoffeiniertem Kaffee die koffeinhaltige Variante größtenteils für Vorteile im Ausdauersport, wie schnellere Laufzeiten,

verzögerte Ermüdungserscheinungen oder erhöhte Sauerstoffaufnahme, sorgt. (WILES et al., 1992)

5.2.1.3. Verabreichung von anhydriertem Koffein

In einer Vielzahl von Untersuchungen, die sich mit den Effekten von Koffein im Sport befassen, werden unterschiedliche Mengen der Substanz in anhydrierter Form verabreicht. Dabei können während der Belastung niedrige Dosen genauso wirksam sein wie höhere, ohne dass daraus eine negative Koinzidenz resultiert. Grundsätzlich müssen Athleten und ihre Trainer die individuellen Eigenschaften, wie Körpergröße, Alter, Geschlecht, Grad der Toleranz und die Dosis des Koffeins selbst berücksichtigen, denn dies alles beeinflusst seine ergogenen Auswirkungen. (SÖKMEN et al., 2008)

Es gibt anerkannte Beweise für die Verbesserung der Ausdauer und der allgemeinen Leistung mit einer moderaten Koffeindosis von etwa 6 mg / kg KG, welche 1 Stunde vor der Belastung aufgenommen wird. (GRAHAM T.E., 2001; KEISLER B.D. und ARMSEY T.D., 2006; JONES G., 2008; O`ROURKE M.P. et al., 2008)

Auch in geringeren Mengen von 1 – 3 mg / kg KG wurden förderliche Effekte, wie eine um 1,2 % verbesserte Laufleistung, festgestellt. (BRIDGE C. und JONES M., 2006)

Bei einer kleinen Aufnahme von 3 mg / kg KG bzw. bei einer moderaten Aufnahme von 6 mg / kg KG wurden beispielsweise signifikant erhöhte Ausdauerleistungen festgestellt, wohingegen eine hohe Dosis von 9 mg / kg KG keinen positiven Effekt hatte. GRAHAM und SPRIET begründeten dies folgendermaßen: „Basierend auf subjektiven Berichten scheint es so, dass eine hohe Koffeindosis vermutlich das Zentralnervensystem solange stimuliert, bis die üblichen positiven, ergogenen Reaktionen außer Kraft gesetzt werden.“ Außerdem verneinten sie die Annahme, dass die Leistungsförderung durch Koffein auf einer Erhöhung der Katecholaminkonzentration basiert. (GRAHAM T.E. und SPRIET L.L., 1995)

Studien an Radfahrern zeigten in den vergangenen Jahren vermehrt günstige Wirkungen dank unterschiedlich dosierter Koffeingaben. So erfuhren trainierte Radfahrer, die ein 15-minütiges Zeitfahren und ein ebenso langes Fahren mit einer Vo₂max von 60 % absolvierten, eine 4 bzw. 3%ige Steigerung der verrichteten Arbeit nach einer Koffeinverabreichung von 2 bzw. 3 mg / kg KG. (JENKINS N.T. et al., 2008)

Ähnliche Ergebnisse lieferten auch CURETON et al., allerdings mit einer zusätzlichen Kohlenhydratgabe während der Belastung (CURETON K.J. et al., 2007) sowie

McNAUGHTON et al., die überdies ein optimiertes Studiendesign mit realistischen Simulationen des täglichen Radfahrtrainings (Hügel o.ä.) entwickelten. Es wurden verlängerte Fahrstrecken und eine erhöhte Fettsäuremobilisierung bei jenen Probanden ermittelt, die Koffein eingenommen hatten. (McNAUGHTON et al., 2008)

Eine etablierte, aber bereits etwas weniger aktuelle Untersuchung von PASMANN und seinen Kollegen untermauert die leistungssteigernden Effekte von Koffein noch zusätzlich. Alle drei verabreichten Mengen (5, 9 und 13 mg / kg KG) lieferten positive Ergebnisse in Bezug auf die Performance der Athleten, wobei diese Verbesserung durchschnittlich 27 % betrug. (PASMANN W.J. van BAAK M.A. et al., 1995)

Analoge Beobachtungen wurden in der U.S.Navy SEAL Training Study von LIEBERMAN et al. dokumentiert. Mengen von 200 mg und 300 mg Koffein lieferten gleiche ergogene Effekte, wohingegen eine Verabreichung von lediglich 100 mg nicht von der Placebo-Behandlung zu unterscheiden war, somit also keine positiven Wirkungen zeigte. (LIEBERMAN H.R. et al., 2002)

Diese Erkenntnisse lassen erkennen, dass eine Koffeinverabreichung den Ausdauersportler am ehesten in moderaten Mengen von 3 bis etwa 13 mg / kg KG unterstützen kann. Eine Überdosierung ist aufgrund der im 6. Kapitel beschriebenen Nebenwirkungen trotzdem nicht sinnvoll. (GOLDSTEIN E.R. et al., 2010)

Der Gebrauch der Substanz zur Verbesserung der Ausdauerleistung ist eher in anhydrierter Form als in Form einer Tasse koffeinhaltigen Kaffees wirksam. (GOLDSTEIN E.R. et al., 2010)

Interessanterweise besteht keine Notwendigkeit, die Gabe von Koffein nach einer gewissen Belastungszeit zur Beibehaltung der erreichten Vorteile im Wettbewerb zu wiederholen. Probanden nahmen jeweils 2,5 bzw. 5 mg Koffein / kg KG vormittags bzw. nachmittags vor einer Trainingsbelastung auf und erfuhren keinen zusätzlichen ergogenen Nutzen nach der nochmaligen Koffeinverabreichung. (BELL D.G. und McLELLAN T.M., 2003)

5.2.2. Koffein im Kraftsport

Die günstigen Auswirkungen von Koffein auf die Ausdauerleistung sind mittlerweile durch viele wissenschaftliche Untersuchungen ausreichend begründet. Ob dadurch auch auf anaerobe Energiegewinnung angewiesene Belastungen vorteilhaft beeinflusst werden, ist bislang durch fehlende Forschungen noch unklar. (DAVIS J.K. et al., 2009)

Außerdem sind die potentiellen Mechanismen, die es Koffein erlauben, auch bei sauerstoffunabhängigen Belastungen eine Leistungsverbesserung zu bewirken, noch nicht vollständig geklärt. Es wird vermutet, dass dies mit der Wirkung der Substanz auf das Zentralnervensystem, mit der Verbreitung von Nervenreizen und mit dem Effekt von Koffein auf die Skelettmuskeln zusammenhängt. (ALTIMARI L.R. et al., 2006)

Überprüft wird die potentielle Leistungssteigerung durch Koffein hauptsächlich mithilfe des Wingate - Tests oder der Durchführung einiger ausgewählter Übungen aus dem Fitnessstudio.

BECK et al. verzeichneten in einer Studie an trainierten Sportlern, die eine Stunde vor der Belastung 2,1 bis 3,0 mg Koffein / kg KG aufgenommen hatten, eine Verbesserung beim Bankdrücken um 2,1 %. Dagegen konnte keine signifikante Veränderung in der Leistung für die Kraft des Unterkörpers, welche durch Übungen mit zweiseitiger Beinbelastung ermittelt wurde, gefunden werden. (BECK et al., 2006)

Auf analoge Resultate stießen auch WOOLF et AL. zwei Jahre später bei der Untersuchung von Teamsportlern, denen 5 mg Koffein / kg KG verabreicht wurde. Ihre Performance steigerte sich erheblich beim Bankdrücken und bezogen auf ihre Höchstleistung beim Wingate - Test, dagegen konnten aber weder bei den Beinpressen, noch bei durchschnittlichem Kraftaufwand keine Vorteile durch die Koffeingabe dokumentiert werden. (WOOLF K. et al., 2008)

Während BECK und WOOLF günstige Auswirkungen von Koffein auf anaerobe Belastungen verzeichnen konnten, erkannten ASTORINO et al. bei ähnlichen Versuchsbedingungen das Gegenteil, demnach keine signifikanten Veränderungen der Leistung im Bankdrücken. Ein Grund dafür könnte die etwas höhere Koffeinmenge von 6 mg / kg KG darstellen. Der ausschlaggebende Faktor wäre in diesem Fall die Dosierung. (ASTORINO et al., 2008)

Ebenfalls negative Ergebnisse wurden auch bei Bankdrück - Übungen von College-Football-Spielern, die moderate Koffeinmengen von 5 mg / kg KG in Kombination mit 0,125 g Kohlenhydraten / kg KG eine Stunde vor dem Test aufgenommen hatten, ermittelt. (WOOLF K. et al., 2009)

Neuere Studien an im Training stehenden Teilnehmern bekräftigen allerdings trotzdem die Annahme, dass Koffein ergogen auf eine große Bandbreite anaerober Belastungsarten wirkt. Eine Supplementierung kann demzufolge trainierten Kraftsportlern zu einer besseren Leistung verhelfen. Für genauere Erkenntnisse sollten allerdings die Gewöhnungseffekte von Koffein und die Wirkung auf hochintensive, kürzer andauernde Belastungen – speziell auf den Ober- und Unterkörper - erforscht werden. (GOLDSTEIN E.R. et al., 2010)

Koffein wirkt auf die isometrische Maximalkraft und liefert anfängliche Beweise für eine erhöhte Muskelausdauer bei kleinerer Muskelmasse. (DAVIS J.K. et al., 2009)

Neben den leistungsoptimierenden Wirkungen von Koffein werden auch Mechanismen diskutiert, die zu einer verminderten Schmerzempfindung bei der Muskelanspannung führen. Es wird vermutet, dass durch akute Koffeinnahme von etwa 5 mg / kg KG die Empfindung von Muskelschmerz während einer submaximalen, isometrischen Belastung des Quadrizeps abgeschwächt wird. Dieser Effekt ist ausgeprägter, wenn die Kontraktion länger gehalten wird. (NOREEN E.E. et al., 2008)

5.2.3. Koffein im Teamsport und in anderen hochintensiven Sportarten

Die Erkenntnisse bezüglich der Koffeinwirkung bei Sportarten mit höherer Belastungsintensität, wie Fußball, Handball, Bahnradfahren, Sprinten oder Schwimmen, sind sehr verschieden und widersprechen sich des Öfteren.

Vor allem bei Teamsportarten ist eine sich ständig abwechselnde Belastung gefragt, so folgt auf kurze Sprintphasen und Geschicklichkeitsherausforderungen immer wieder langsames Laufen oder Stehen. Dies macht die Beurteilung der Koffeinsupplementierung sehr schwierig. SCHNEIKER et al. untersuchten diese komplexen Bewegungsanforderungen in Kombination mit der Verabreichung von Koffein bei Fußballern und Hockeyspielern. Ihre Leistungen nach Einnahme von 6 mg Koffein / kg KG wurden sowohl mithilfe eines zweiteiligen Rad – Ergometer - Tests als auch anhand von 18 vier-Sekunden-Sprints überprüft. Es ergab sich, dass die Sprint-Performance in der Koffein - Gruppe in der ersten Hälfte um 8,5 % und in der zweiten Hälfte um 8,6 % verbessert war. Dies lässt auf eine potentielle Leistungssteigerung bei männlichen Teamsportlern in Wettbewerben schließen, die auf anhaltendes und periodisches Laufvermögen angewiesen sind. (SCHNEIKER et al., 2006)

Des Weiteren macht die Gabe einer moderaten Dosis Koffein (6 mg / kg KG) den Anschein, als begünstige sie die Geschicklichkeit in Teamsportarten. Verbesserte Sprintleistungen bei Rugbyspielern konnten ebenso festgestellt werden, wie eine 10 %ige Steigerung der Genauigkeit des Passspiels. (STUART et al., 2005)

Die athletische Wendigkeit und Gelenkigkeit entscheidet in den meisten Fällen über Sieg oder Niederlage bei Wettbewerben. Durch Koffein konnten diese Fertigkeiten nach einem Konsum von etwa 6 mg / kg KG bei untrainierten männlichen Athleten allerdings nicht signifikant verbessert werden. (LORINO et al., 2006)

Dagegen ermittelten die Autoren WOOLF et al. anhand konditionierter Athleten, die einen Wingate - Test nach Einnahme einer moderaten Koffeindosis von 5 mg / kg KG absolvierten, währenddessen eine deutlich optimierte Maximalkraft. (WOOLF K. et al., 2008)

Diese Erkenntnisse liefern Grund zu der Annahme, dass der Trainingsgrad der teilnehmenden Probanden Ausschlag für die Effektivität der Koffein-Verabreichung gibt. Untrainierte erfahren somit weniger positive Wirkungen während hochintensiver Belastungen als vergleichsweise trainierte Athleten. Dies liegt vermutlich daran, dass die Leistung von nicht - trainierten Personen eine sehr hohe Variabilität aufweist und sich noch nicht stabilisiert hat. (GOLDSTEIN E.R. et al., 2010)

Dieser Unterschied ist bei Schwimmern oder Radfahrern beispielsweise gut zu erkennen. (COLLOMP K. et al., 1991; CROWE M.J. et al., 2006)

Bei Letzteren wurde die maximale Leistung am Radergometer signifikant langsamer erreicht, obwohl den Probanden 6 mg Koffein / kg KG verabreicht worden war. Ausschlaggebend für dieses Ergebnis war vermutlich einmal mehr, dass die Teilnehmer allesamt in der jeweiligen Sportart geübt waren. (CROWE M.J. et al., 2006)

Die Annahme, dass spezielle physiologische Anpassungsvorgänge in gegenwärtig gut anaerob-trainierten Athleten den leistungsfördernden Effekt von Koffein erst möglich machen, wird durch die angesprochenen Studien gefestigt. (COLLOMP K. et al., 1992)

Die adaptierte Körperphysiologie in Kombination mit 5 mg Koffein / kg KG befähigt trainierte Radfahrer zu signifikanten Verbesserungen während eines 1 km langen Time-Trials auf einem sportartspezifischen Ergometer. Die Dauer der Performance und die Durchschnittsgeschwindigkeit waren bei Koffeinverabreichung ebenso erhöht, wie auch der mittlere Kraftaufwand und die Maximalkraft. Diese Ergebnisse bestätigen vorausgegangene

Untersuchungsergebnisse, die von einer Leistungssteigerung bei kurz andauernden, hochintensiven Belastungen mittels Koffein ausgehen. (WILES J.D. et al., 2006)

Auch Sprintwettkämpfe sind als hochintensive Schnellkraftsportart zu klassifizieren, was bedeutet, dass die optimale Kombination von Kraft und Schnelligkeit ausschlaggebend ist. (KONOPKA P., 2008)

Somit kann man davon ausgehen, dass Koffein auch in diesen Disziplinen eine gewisse positive Wirkung auf die Performance zeigt und Potential als ergogenes Hilfsmittel in dieser Disziplin hat. Die Verabreichung der Substanz bewirkt im Laufe eines Intervall-Sprint-Trainings (12 x 30 m in 35 Sekunden Abständen) bei gut trainierten Männern eine signifikante Besserung der Laufleistung und der Zeitintervalle, allerdings zeigten sich Probleme bei der Regeneration. Grund dafür dürfte eine „gesteigerte ergogene Antwort von Koffein zu Beginn der Protokollphase“ sein, es wurde nicht als mögliche negative Antwort auf das Supplement interpretiert. (GLAISTER M. et al., 2008)

CARR A. et al. kommen ebenfalls zu dem Schluss, dass eine Koffeingabe 60 Minuten vor einer wiederholten Sprint-Belastung die Performance deutlich steigern kann. (CARR A. et al., 2008)

Zu Ausdauersportarten mit hohem Krafteinsatz gehört eindeutig der Rudersport – insbesondere das Rennrudern. Dabei ist die bestmögliche Kombination von Kraft und Ausdauer gefragt, welche möglicherweise auch durch Koffein optimiert werden kann. (KONOPKA P., 2008)

Die Unterschiede zwischen den Geschlechtern zeigen 2 Studien, bei denen Koffein verabreicht wurde und sowohl Männer (BRUCE C.R. et al., 2000) als auch Frauen (ANDERSON M.E. et al., 2000) eine Verbesserung ihrer Leistung erfuhren. Bemerkenswert dabei ist, dass in letzterer Untersuchung eine höhere Dosis Koffein (9 mg / kg KG) für die günstige Wirkung – 1,3%iger Zuwachs - notwendig war. (ANDERSON M.E. et al., 2000)

Grundsätzlich kann also eine moderate Koffeinsupplementierung (4 – 6 mg / kg KG) vorteilhaft für kurze und periodische, hochintensive Leistungen sein. Dies gilt aber nur für gut trainierte Sportler. Das Training und die Konditionierung der Athleten bewirken wahrscheinlich spezifische Anpassungen die, in Kombination mit der Supplementierung von Koffein, zu einer Steigerung der Leistung führen. Ebenso kann die Variabilität der Leistung bei Untrainierten die positiven Effekte von Koffein maskieren/verschleiern. (GOLDSTEIN E.R., 2010)

5.2.4. Koffein in Kombination mit Kohlenhydraten und in der Regenerierungsphase

Die ergogenen Wirkungsmechanismen von Koffein werden großteils auf die Stimulierung des Zentralnervensystems zurückgeführt. Trotzdem existieren noch weitere Theorien, die diese Effekte bekräftigen. Dazu zählen sowohl der verstärkte Lipidabbau wie auch der Abfall der Glykogenverwertung. (GOLDSTEIN E.R. et al., 2010)

Gut trainierte Radfahrer etwa, die vor und im Laufe einer Fahrbelastung 500 mg Koffein aufgenommen hatten, erfuhren eine signifikante Steigerung ihrer Leistung um 5,3 % im Vergleich zu jenen, die ein Glucosepräparat verabreicht bekommen hatten. Vor allem aber kam man zu dem Schluss, dass die Fettsäureoxidation in der Koffein - Gruppe zugenommen und sich gegen Ende der Belastungsdauer stabilisiert hatte. Neben der Wirkung auf die Fettsäuremobilisierung wurde Koffein in dieser Untersuchung auch als Stimulans des Zentralnervensystems charakterisiert. (IVY J.L. et al., 1979)

Um jedoch die Reaktionen auf die Leistungsfähigkeit beurteilen zu können und nicht nur die Wirkungsweise von Koffein, wird die Substanz häufig in Kombination mit Kohlenhydraten verabreicht.

Eine moderate Dosis von 5,3 mg Koffein / kg KG zusammen mit einer 6,4 %igen Glucose - Lösung resultiert in einer signifikanten Optimierung einer Ausdauerleistung, obgleich die exogene Kohlenhydrat-Oxidation, der Gehalt an freien Fettsäuren im Plasma und die Glycerinkonzentration davon nicht betroffen sind. HULSTON und JEUKENDRUP bestätigen damit also die These, dass der ergogene Effekt auf einer veränderten Substratausnutzung beruhe. (HULSTON C.J. und JEUKENDRUP A.E., 2008)

Die Einnahme von Kohlenhydraten allein während einer Belastung senkt die Abhängigkeit des Körpers von seinen endogenen Speichern Gebrauch zu machen und führt so zu einer verbesserten Ausdauerleistung. (JEUKENDRUP A.E., 2004; JEUKENDRUP A.E., 2008)

Aus diesem Grunde ist die Etablierung einer passenden Methode zu Förderung der exogenen Kohlenhydrat - Abgabe und -Oxidation notwendig, wobei auch die Magenentleerung und die intestinale Absorption eine wesentliche Rolle spielen. (JEUKENDRUP A.E., 2004)

Eine Verbesserung der Absorption im Darm kann bei Radfahrern durch Gabe einer moderaten Koffeinmenge (5 mg / kg KG) in Kombination mit einer Glucoselösung zu einer Erhöhung der exogenen Kohlenhydratverbrennung führen. (YEO S.E. et al., 2005)

Einige aktuellere Studien finden keinen signifikant positiven Effekt der Kombi - Präparate auf die Leistungsfähigkeit. So führt die geringe Dosis von 1,5 – 3 mg / kg KG Koffein zusammen mit

einer Glucoselösung zu keiner signifikanten Steigerung der Performance oder der maximalen exogenen Kohlenhydratoxidation. (DESBROW B., 2009)

Vor allem bei einer negativen Energiebilanz zeigte sich dieser Zusammenhang auf eine 20 km-Radfahrleistung. (SLVIKA D. et al., 2008)

Die Verabreichung der Stoffverbindung wurde auch in Form eines Sport - Drinks (6,4 g Kohlenhydrat und 16 mg Koffein / 100 ml) durchgeführt und überprüft, wie sich die motorischen und kognitiven Fähigkeiten während einer Golfrunde dadurch verbessern. Erfahrene Golfer profitierten vom Konsum vor und während des Spiels, sie korrigierten so ihre Schlagleistung und waren länger konzentriert. (STEVENSON E.J. et al., 2009)

Der Einfluss von einer Koffein – Kohlenhydrat - Kombination auf die Leistungen im Ausdauersport sowie die physiologischen Hintergründe sind noch nicht gänzlich geklärt und bedürfen noch weiterer wissenschaftlicher Untersuchungen. (GOLDSTEIN E.R. et al., 2010)

Die Kombination der beiden Präparate wird daneben auch als Mittel zur Steigerung der Erholungsphase gehandelt, indem die Glykogen - Resynthese nach dem Sport forciert wird. Nach einem Kohlenhydrat - verbrauchenden Training hemmt die Gabe der beiden Substanzen weder die Produktion von Pro-Glykogen noch von Makro-Glykogen. Somit ist anzunehmen, dass eine Koffeinsupplementierung und nachfolgend die Gabe von Kohlenhydraten in der Erholungsphase die Reproduktion von Glykogen nicht negativ beeinflusst. (BATTRAM D.S. et al., 2004)

Verglichen mit der Gabe von Kohlenhydraten allein (4 g / kg KG) und einem Kombi - Produkt aus Kohlenhydraten (4 g / kg KG) und Koffein (8 mg / kg KG) nach dem Sport, kurbelt letztere Variante die Reproduktion von Glykogen verstärkt (um 66 %) an. (PEDERSEN D.J. et al., 2008)

Somit zeigt sich, dass Koffein nicht schädlich für die Glykogen - Sättigung ist und in Verbindung mit Kohlenhydraten die Synthese in der Erholungsphase nach dem Sport verbessert. Der Vollständigkeit halber sei trotzdem die Bevorzugung der Sportlermehrheit erwähnt, eine Koffeinsupplementierung eher vor einer Belastung zur Leistungssteigerung durchzuführen. Außerdem sollte der Zeitpunkt der Einnahme (prä- oder post - belastend) präzisiert sein, um Schlafstörungen und andere ungünstige Nebenwirkungen für den Sportler eingrenzen zu können. (GOLDSTEIN E.R. et al., 2010)

5.2.5. Koffein und kognitive Leistung

Ein wichtiger Faktor in Zusammenhang mit der sportlichen Leistung ist die angemessene Fülle der kognitiven Fähigkeiten in Hinsicht auf die jeweilige Sportart. Vor allem in Team- und Ballsportarten sind solche Fertigkeiten gefragt und eine Voraussetzung für angestrebte Erfolge.

Wissenschaftliche Untersuchungen zur Wirkung von Koffein auf die kognitive Leistungsfähigkeit beim Menschen, insbesondere im Sport, lieferten interessante Ergebnisse.

Ein potentieller Nutzen konnte beispielsweise bei Sportarten mit facettenreicher, intervallartiger Belastung, Sprintaktivität und einer gewissen kognitiven Voraussetzung gefunden werden. Die Verabreichung von moderaten 6 mg Koffein / kg KG eine Stunde vor der Belastung (verbessert also die Passgenauigkeit eines Fußballspielers, seine Sprungkraft und im weiteren Sinne seine feinmotorischen Fähigkeiten. (FOSKETT A. et al., 2009)

Zu vergleichbaren Ergebnissen gelangt auch eine Studie aus dem Jahr 2008. Sie beweist die hervorragende Effektivität von Koffein zur Steigerung der kognitiven Fähigkeiten in Verbindung mit Ausdauerleistungen.

Trainierte Radfahrer, die im Alltag mäßig Koffein konsumieren, nahmen an drei Untersuchungsrunden teil. Zuerst wurden 150 Minuten mit einer Vo₂max von 60 % am Ergometer bewältigt, dann kam eine kurze Pause, worauf wieder eine Ergometer-Belastung bis zur Erschöpfung mit 75%iger Vo₂max folgte. An den drei Forschungstagen wurde den Probanden entweder ein Kraft-Riegel mit 44,9 g Kohlenhydraten und 100 mg Koffein, ein entkoffeinierter Riegel derselben Art oder aromatisiertes Wasser verabreicht. Eine darauf folgende Serie von kognitiven Funktionstests favorisierte letztendlich die Koffeinbehandlung, da die Teilnehmer bessere Zeiten während der Aufgaben und nach der Belastung bis zur Erschöpfung erkennen ließen. (HOGERVORST E. et al., 2008)

Ingesamt gesehen ist die Literatur über die Wirkung von Koffein auf anaerobe Belastungen dagegen eher zweifelhaft und nicht eindeutig einzuordnen. Einige Autoren schließen mit ihrer Forschung auf günstige Effekte von Koffein (WILES J.D.C.D. et al., 2006; GLAISTER M. et al., 2008; WOOLF et al., 2008), andere wiederum verneinen seine positive Wirkung bei Sportaktivitäten (COLLLOMP K. et al., 1991; GREER F., 1998)

Hier muss man allerdings erwähnen, dass die Endergebnisse – wie bei allen anderen wissenschaftlichen Untersuchungen im Bereich der Sporternährung – aufgrund der verwendeten Protokolle, Studiendesigns, des unterschiedlichen Trainingsstatus der Athleten und der sich

abwechselnder Dauer und Intensität des Trainings stark variieren. (GOLDSTEIN E.R. et al., 2010)

Vor allem bei Anforderungen, die unter Schlafentzug und extremer Konzentration gemeistert werden müssen, wurde Koffein als stärkendes Hilfsmittel identifiziert.

So unternahm McLELLAN T.M. et al. (2005 und 2007) eine Serie von Untersuchungen, um die Wirkungen von Koffein unter besonderem Druck bei Militäreinheiten zu überprüfen. Die Probanden waren gesund und körperlich fit und mussten auch im normalen Arbeitsalltag die von ihnen geforderten Operationen häufig bei mangelnder Erholung und unter Müdigkeitsphasen ausführen. Diese speziellen Bedingungen wurden in den Studien simuliert, um auf diese Weise die kognitiven und körperlichen Fähigkeiten der Teilnehmer unter Koffeinfluss zu bewerten. Nach den Tests zeigte sich eine verstärkte Wachsamkeit in der Gruppe, die Koffein verabreicht bekommen hatte, als in der Placebo-Fraktion. Außerdem verbesserten sich die Messzahlen zur Abschätzung der Leistung, wie Laufzeiten oder Bewältigung eines Hindernisparcours mithilfe der Supplementierung. (McLELLAN T.M. et al., 2005 und 2007)

Ein Augenmerk ist allerdings auf Dosierung des zu verabreichenden Koffeins zu legen, da mit gesteigerter Menge nicht zwingend eine gesteigerte Wirkung eintritt. Mit anderen Worten bewirken also 300 mg der Substanz, die nach 72 Stunden Schlafentzug und anderen Stressfaktoren verabreicht werden, nicht mehr Vorteile im kognitiven Bereich als unter gleichen Bedingungen verabreichte 200 mg. Währenddessen führt allerdings eine Dosis von 200 mg im Vergleich zu 100 mg zu einer signifikanten Verbesserung der Performance. Die niedrigere dosierte Einnahme zeigt die gleichen Effekte wie das Placebo-Präparat. Aufgrund dieser Erkenntnisse zeigt sich, dass ein Mittelmaß für richtige Effektivität zur Optimierung der kognitiven Fähigkeiten im Sport notwendig ist. (LIEBERMAN H.R. et al., 2002)

Neben dem Einfluss von Koffein auf trainierte und unter Druck stehende Personen, kann eventuell auch die durchschnittliche Bevölkerung einen Nutzen aus diesen Eigenschaften ziehen. Dies gilt jedoch nur unter vergleichbaren Bedingungen, wie Schlafentzug und Übermüdung, sowie wenn die Supplementierung maßvoll durchgeführt wird. (GOLDSTEIN E.R. et al., 2010)

Um die Dauer des Behandlungseffekts verglichen mit der Halbwertszeit von Koffein abschätzen zu können, werden die Abschlussbeurteilungen in Studien häufig erst nach einigen Stunden durchgeführt.

Dementsprechend überprüften BELL D.G. und McLELLAN T.M. die aerobe Kapazität bei moderatem Koffeinkonsum (5 mg / kg KG) nach 1, 3 und 6 Stunden anhand von Verbrauchern

bzw. Usern (konsumierten über 300 mg Koffein pro Tag) und Non-Usern (konsumierten unter 50 mg Koffein pro Tag). Letztere Gruppe wies noch nach 6 Stunden einen Behandlungseffekt auf, während dies bei den anderen nicht der Fall war.

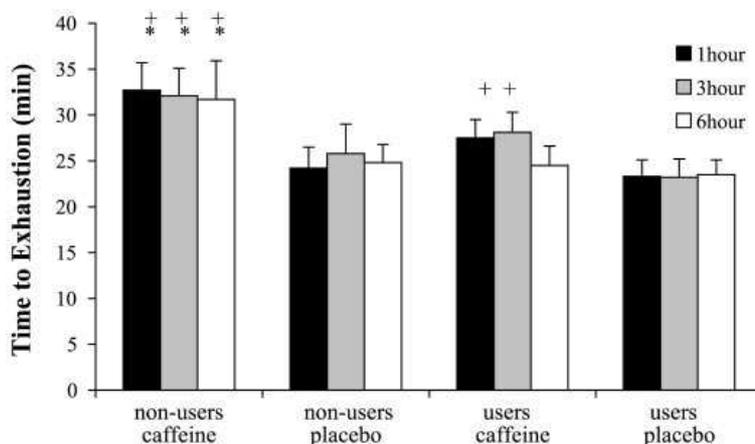


Abbildung 8: Zeit bis zur Erschöpfung bei 80% Vo2max bei Usern und Non-Usern 1, 3 und 6 Stunden nach der Verabreichung von 5 mg Koffein / kg KG
 * Non-User > User; + Koffein > Placebo
 (BELL D.G. und McLELLAN T.M., 2002; S. 1229)

Eine signifikante Leistungssteigerung konnte in der Gruppe „User“ demnach nur nach 1 bzw. 3 Stunden gefunden werden. (BELL D.G. und McLELLAN T.M., 2002)

Da die Halbwertszeit von Koffein zwischen 2,5 und 10 Stunden liegt (MAGKOS F. und KAVOURAS S.A., 2005), ist es möglich, dass sich seine ergogenen Effekte außerhalb dieses Bereiches als individuelle Reaktionen zeigen und der Grad der Gewöhnung unter den Konsumenten sehr stark variiert. (GOLDSTEIN E.R: et al., 2010)

Koffein wirkt bekanntlich als Adenosin - Antagonist (PALUSKA S.A., 2003; JONES G., 2008; SOKMEN B. et al., 2008; BÜTZER P., 2009) und genau das ist der Grund, warum Veränderungen auf dem Gebiet der Erregungsübertragung den Diskriminierungseffekt auf Wachsamkeit, Ermüdung und Aufmerksamkeit erwecken. (LIEBERMAN H.R. et al., 2002)

Die Verbesserung der kognitiven Leistungen wird nicht nur anhand von Koffein allein diskutiert, sondern auch in Kombination mit anderen Substanzen. In Tee etwa ist inmitten der zahlreichen Inhaltsstoffe auch Koffein enthalten, welches zusammen mit L-Theanin bedeutende Vorteile für die kognitive Kapazität birgt.

Bei Verabreichung eines Drinks, der diese beiden Substanzen zu 40 mg und 97 mg enthielt, wurden gesteigerte Aufmerksamkeit sowie eine Erhöhung der Fehlerfreiheit mit unveränderter Antwortgeschwindigkeit bei kognitiven Tests aufgezeigt. Weiters erlangte man den Beweis, dass

der Effekt des Getränks auf die Aufmerksamkeit nicht spezifisch mit der visuellen Ausführung der Prüfungen zusammenhängt, da schnellere Antworten sowohl bei visueller als auch auditiver Testbewältigung gefunden wurden. Interessanterweise wurde keine Verbindung mit einer verbesserten subjektiven Wachsamkeit herausgefunden. (EINÖTHER S.J.L. et al., 2009)

In den meisten Untersuchungen findet die Koffeinverabreichung in Form verschiedener, geeigneter Getränke, wie Kaffee, Tee und Coca Cola, oder als Tablette statt. Nichtsdestotrotz wurde erkannt, dass das Transportmittel, mit dem Koffein präsentiert wird, keinen Effekt auf die dadurch induzierten Verhaltensänderungen hat. Mit anderen Worten ist es nebensächlich in Bezug auf die Wirkung, in welcher Form die Verabreichung erfolgt, ausschlaggebend ist nur die praktische Umsetzungsmöglichkeit. (SMITH A. et al., 1999)

Eine aufschlussreiche Art der Supplementierung stellt die Gabe von koffeinhaltigem Kaugummi dar. Aufgrund der guten Absorption in der Mundhöhle wird das enthaltene Koffein sehr schnell verfügbar gemacht, was für Situationen, in denen Wachsamkeit und Leistungsfähigkeit wiederhergestellt werden müssen, sehr vorteilhaft ist. (KAMIMORI G.H. et al., 2002)

Das Kauen eines koffeinhaltigen Kaugummis (40 mg Koffein) verbessert die Effizienz des Arbeitsaufwands und der Stimmung bei verschiedenen Performance-Überprüfungen durch seine modifizierende und verstärkende Wirkung. Dementsprechend werden dadurch bessere Ergebnisse bei Aufgaben, die anhaltender Konzentration und Anstrengung bedürfen, und eine größere Geschwindigkeit für Verschlüsselung neuer Informationen erzielt. Das Kauen eines gewöhnlichen Kaugummis, ohne besondere Inhaltsstoffe, ist interessanterweise auch Grund für eine gewisse Stimmungsaufhellung. (SMITH A., 2009)

Zusammenfassend ist anzumerken, dass – basierend auf den wissenschaftlichen Erkenntnissen - Koffein ein sehr effektives ergogenes Hilfsmittel für Personen ist, die in speziellen Militäreinheiten agieren oder für jene, die oft in Stresssituationen und unter extremen Druck sind. Dazu zählen vor allem Schlafentzug, Übermüdung und mangelnde Erholung bei gleichzeitig körperlich anstrengender Tätigkeit. Die Supplementierung – sei es in Pulverform oder als Getränk - ist unter solchen Bedingungen wirksam und verbessert kognitive Parameter von Konzentration und Wachsamkeit. Allerdings sind die Forschungsergebnisse, die den Nutzen von Koffein bezüglich Wahrnehmungsvermögen und kürzeren Phasen hochintensiver Belastung beschreiben, widersprüchlich. Eine Abklärung diesbezüglich wird angestrebt, wobei insbesondere der Unterschied zwischen Trainierten und Nicht-Trainierten abgeklärt werden soll. (GOLDSTEIN E.R. et al., 2010)

Mit dem Alter kann sich die Einwirkung von Koffein auf die Leistung deutlich bemerkbar machen. LESK et al. untersuchten in ihrer Studie die neuropsychologischen Wirkung von koffeinhaltigen Nahrungsmitteln auf Personen im Alter von 67 bis 95 Jahren. Dabei erkannten sie keinen signifikanten Effekt dieser Lebensmittel auf die Leistung der Probanden, aber einen Zusammenhang zwischen dem Alter der Probanden und der Menge der aufgenommenen koffeinhaltigen Proben. Die Teilnehmer, welche erst kürzlich Koffein zu sich genommen hatten, zeigten einen linearen Abschwung in ihrer Leistungsfähigkeit mit steigendem Alter, während sich dieses Muster bei den anderen nicht erkennen ließ.

Aus diesen Erkenntnissen resultierte, dass die Genauigkeit in der neurologischen Risikobewertung von größter Bedeutung ist, wenn es um die Ermittlung von kognitiver Beeinträchtigung bzw. Alzheimer geht. Der jüngste Koffein-Konsum sollte bei solchen Abschätzung also immer miteinbezogen werden. (LESK V.E. et al., 2009)

5.3. Koffein und Doping

Während ergogene Hilfen die sportliche Leistungsfähigkeit über das durch Talent, Training und Ernährung erreichte Maß hinaus steigern, versteht man unter Dopingmittel Substanzen, die mithilfe ihrer Struktur, Dosierung oder speziellen Anwendung die Performance der Athleten künstlich und meistens unfair steigern. (SCHEK A., 2004)

Im Großteil der bereits genannten Untersuchungen wurde der positive Effekt von Koffein auf die sportliche Leistungsfähigkeit bestätigt. Man stellte fest, dass eine Koffeinsupplementierung mit 3 – 6 mg / kg KG sowohl die Ausdauer als auch die kraftintensiveren Anforderungen einer Sportart bei gut trainierten Athleten signifikant verbessern bzw. erleichtern kann. (BECK T.W. et al., 2006; SCHNEIKER K.T. et al., 2006; WOOLF K. et al., 2008)

Mittel zur Leistungssteigerung werden seit vielen Jahrhunderten verwendet, um Athleten in ihren Disziplinen zu unterstützen und Erfolge zu provozieren. Eine der ersten Erfahrungen mit solchen – so genannten - Doping-Substanzen im Sport wurde bei einem Sprintwettbewerb der Olympischen Spiele im Jahr 668 v. Chr. gemacht. Ein spartanischer Teilnehmer - und gleichzeitig der folgende Sieger - nahm vor dem Wettkampf für eine bessere Leistung getrocknete Feigen zu sich. (YESALIS C.E. und BHRKE M.S., 2002)

Genau darauf basiert später die Annahme, dass eine angepasste, zweckmäßige Ernährung die beste Voraussetzung für sportliche Erfolge ist. Mit Beginn der modernen Pharmakologie im 19. Jahrhundert begannen allerdings viele Sportler mit Drogencocktails zu experimentieren, um ihr Kraftpotential zu verbessern und die Ermüdungserscheinungen hinauszuzögern. Aus diesem Grund und weil noch Weniges über die möglichen Gefahren und Risiken der einzelnen Supplemente bekannt war, kam es häufig zu unerwünschten Zwischenfällen mit teilweise fatalem Ausgang. (HOLT R.I.G. et al., 2009)

Bei der Substanz Koffein im Speziellen handelt es sich um ein Stimulans, das damals wie heute gern zur Leistungsförderung bei sportlichen Wettkämpfen verwendet wird. Im 19. Jahrhundert wurde es neben anderen Stimulantien als ergogenes Hilfsmittel verwendet, um die Kapazität der Muskelkraft zu steigern.

Im vergangenen Jahrhundert dagegen war der Gebrauch von Stimulantien größtenteils im Radsport üblich. Das erste Doping-Vergehen trat während der Tour de France 1967 auf, als ein englischer Radfahrer mit einer erhöhten Konzentration von Methamphetamin im Körper starb. (HOLT R.I.G. et al., 2009)

Im Falle des Koffeins im Speziellen wurden erstmals in den 80er Jahren Untersuchungen bekannt, die ergogene Effekte mithilfe hoher Dosierungen der Substanz aufzeigten. Aus diesem Grund führte man dafür einen Grenzwert von 12 mg / ml Urin ein, was bei einer Überschreitung als Dopingdelikt geahndet wurde. Fälschlicherweise wurde damals angenommen, dass dieser durch alltäglichen Konsum von Kaffee schwer erreicht werden könne und die Konzentrationen des Koffeins im Harn gleich bleiben würden. (http://www.nada.at/de/menu_2/medizin/risiken-und-nebenwirkungen/marketshow-s6.-stimulanzien?s=koffein, Stand: 23.6.2010)

Nach einer Einnahme von 4 - 5 Tassen Kaffee oder von 3 - 4 Litern Cola könnte der Grenzwert erreicht sein, was einer Aufnahme von über 6 - 18 mg Koffein / kg KG entspricht. Damit würde der Dopingtest positiv ausfallen und der Athlet disqualifiziert werden. (<http://www.dopingnews.de/coffein.html>; Stand: 19.7.2010)

Es zeigte sich allerdings, dass diese beiden Parameter (Kaffeekonsum und Konzentration im Harn) von verschiedensten individuellen Faktoren, wie beispielsweise Geschlecht und Körpergewicht, abhängig sind und der Toleranzwert auch durch den alltäglichen Konsum koffeinhaltiger Getränke überschritten werden kann. (ELLENDER L. und LINDER M.M., 2005)

Somit ist die Beurteilung des Koffeinstatus kritisch zu betrachten und die Ausscheidung im Harn sowie die Konzentration im Plasma als Parameter zur Aufdeckung eines Dopingdeliktes unzureichend. (KOVACS E.M.R. et al., 1998)

Für die gesetzliche Regelung von Doping-Verstößen und Hilfsmittel im Sport ist die WADA – World Anti Doping Agency – zuständig. Diese internationale Einrichtung wurde 1999 als Antwort auf eine IOC (International Olympic Comitè) – Konferenz gegründet, um die Anti-Doping-Programme weltweit zu vereinheitlichen und zu regeln. Es soll sowohl die Problematik des Dopings in den Griff bekommen, als auch eine umfangreiche Präventionsarbeit zu dem Thema geleistet werden. (http://www.nada.at/files/doc/Unterrichtsmaterial/Be_fair_Play_true.pdf, Stand: 21.6.2010)

Aufgrund der Tatsache, dass größtenteils der individuelle Stoffwechsel für die Überschreitung des Grenzwertes im Urin verantwortlich ist, wurde die Begrenzung im Jahr 2004 aufgehoben und Koffein daraufhin ins Monitoring - Programm der WADA verschoben. Auch andere Stimulantien stehen seither nicht mehr auf der Verbotsliste, werden aber laufend kontrolliert, um Missbrauchsfälle in Wettkämpfen zu eruieren bzw. auszuschließen.

(http://www.nada.at/de/menu_2/medizin/verbotsliste-2010/, Stand: 24.2.2010)

Verbotene Substanzen	Substanzen im Monitoring-Programm
Anabole Wirkstoffe	<u>Stimulantien:</u> Koffein Bupropion Phenylephrin Phenylpropanolamin Pipradrol Pseudoephedrin Synephrine
Peptidhormone, Wachstumsfaktoren und verwandte Wirkstoffe	
β-2 Antagonisten	
Hormon-Antagonisten und -Modulatoren	
Diuretika und andere Maskierungsmittel	
Stimulantien (außer jenen im Monitoring-Programm)	
Narkotika	
Cannabinoide	
Glukokortikosteroide	<u>Betäubungsmittel:</u> Morphin/Kodein – Verhältnis
<u>Verbotene Methoden:</u>	
Erhöhung des Sauerstofftransfers	

Chemische und physikalische Manipulation	
Gendoping	

Tabelle 5: Doping-Substanzen der WADA (Quelle: http://www.wada-ama.org/Documents/World_Anti-Doping_Program/WADP-Prohibited-list/WADA_Monitoring_Program_2010_EN.pdf; Stand: 23.6.2010)

5.4. Koffein als Leistungsförderer bei Frauen

Forschungsergebnisse, die die Rolle von Koffein als Leistungsförderer im Ausdauer- und Kraftsport bei weiblichen Athleten darstellen, sind – speziell im Vergleich mit entsprechenden Publikationen, die diese Mechanismen bei Männern beschreiben – dürftig. (GOLDSTEIN E.R. et al., 2010)

Vor allem aufgrund der genetischen Unterschiede ist die grundsätzliche Verwertung von Koffein im weiblichen Körper etwas anders, als bei Männern. Die Wirkung des Konsums von koffeinhaltigem Kaffee (100 mg Koffein) ist beispielsweise bei Männern nach 10, 20 und 30 Minuten auch in geringen Mengen deutlich ausgeprägter als bei Frauen. Allerdings erfahren Frauen bei gleichen Versuchsbedingungen einen größeren Einfluss nach der Einnahme von entkoffeiniertem Kaffee, der lediglich 5 mg Koffein enthält. (ADAN A. et al., 2008)

Natürlich ist auch die Tatsache, dass Frauen in der Schwangerschaft zu einer Risikogruppe werden, ein wichtiger Aspekt bei der angemessenen Koffeinaufnahme. Grenzwerte für die täglich tolerierbare Aufnahmemenge von Schwangeren belaufen sich auf etwa 3 Tassen Kaffee, was einem Höchstwert von rund 300 mg Koffein pro Tag entspricht. Auf diese Weise soll etwaigen Komplikationen während der Schwangerschaft vorgebeugt werden. (HIDGON J.V. und FREI B., 2006)

Übermäßiger Konsum von Koffein geht mit einem erhöhten Risiko fetaler Wachstumsrestriktionen (BOYLAN S.M. et AL., 2008) sowie Fehlgeburten einher. (WENG X. et al., 2008)

Ein Grund für diese Annahme ist unter anderem, dass das Koffein im Verdauungstrakt sehr schnell absorbiert wird und so zügig durch die Plazenta zum Fetus gelangt. Dort steigt dann die Konzentration, verglichen mit der im mütterlichen Plasma, rasch an, was eventuell spontane Fehlgeburten, intrauterine Wachstumseinschränkungen oder Frühgeburten zur Folge hat. (BECH et al., 2007)

Die leistungssteigernde Wirkung von Koffein tritt bei Frauen vor allem in Zusammenhang mit einer höheren Dosierung – von etwa 9 mg / kg KG – ein. Eine Ruderbelastung von 2000 Meter wurde beispielsweise durch eine derartige Verabreichung von Koffein im ersten Viertel der Strecke signifikant erleichtert und die Zeitbeurteilung um 1,3 % verbessert. (ANDERSON M.E. et al., 2000)

Dagegen spielt die eingenommene Menge während einer Untersuchung, die anhand einer Radfahrbelastung bis zur Erschöpfung bei 60 % V_{O2max} den auftretenden Schmerz der Beinmuskeln begutachtet, eine eher untergeordnete Rolle. Denn beide Dosierungen – sowohl 5 als auch 10 mg / kg KG – bewirkten eine signifikante Senkung des Beinmuskelschmerzes, welcher basierend auf einer Bemessungsskala klassifiziert wurde. (MOTL R.W. et al., 2006)

Diese Ermangelung der Dosis-Abhängigkeit steht im Einklang mit vorhergegangenen Studien, die Männer untersuchten. (BRUCE C.R. et al., 2000; LIEBERMANN H.R. et al., 2002)

Andere Ausdauersportarten – etwa Laufen - zeigten bei freizeitaktiven Frauen einen deutlichen Einfluss auf die Ausführung durch einen Koffeinkonsum von 3 oder 6 mg / kg KG in Kombination mit Wasser. Im Vorfeld erkannten die Autoren, dass die beträchtliche Dosis von 9 mg / kg KG Koffein ungünstige Nebenwirkungen bei den Frauen verursachte. Sie klagten über extremes Schwitzen, Körperzittern, Schwindel und Übelkeit. Aus diesem Grund wurde die ursprünglich vorgesehene Dosierung von 9 mg auf 3 und 6 mg gesenkt. Bei der letzteren Dosierung erkannte man letzten Endes eine signifikante Erhöhung des Energieaufwands um 7 kcal pro 30 Minuten mäßig schnellen Gehens. (AHRENS J.N. et al., 2007a)

Ganz ähnliche Erkenntnisse verzeichneten auch WALLMAN K.E. et al. in einer sehr aktuellen Studie. Grund für die Durchführung waren hauptsächlich die fehlenden Daten über sesshafte, nicht übermäßig sportliche Personen und ihre potentiellen Vorteile durch Koffeinnahme. Es wurde die Wirkung derselben auf durchschnittlichen Kraftaufwand, Sauerstoffverbrauch, respiratorischen Quotient, Rate der Anstrengung, Herzfrequenz, Energieaufwand und allgemeine Anstrengung während eines zweiteiligen Ergometer-Tests ermittelt. Entgegen der Erwartungen stellte man eine signifikante Erhöhung der Sauerstoffaufnahme und des Energieaufwands bei der gleich bleibenden Belastung (65% maximale Herzfrequenz, Phase A) fest, und ermittelte keine Veränderungen der anderen Parameter. Grund für dieses überraschende Resultat könnte die geringe Probandenanzahl (10) und vor allem die zu kurze Dauer der untersuchten Belastungen (10 - 15 Minuten) sein. Bei entsprechender Änderung des Studiendesigns könnte die

ursprüngliche Steigerung des Energieaufwands von nur 22 kJ um ein Vielfaches vergrößert und so aussagekräftiger werden. (WALLMAN K.E. et al., 2010)

Auf der anderen Seite dokumentierten AHRENS et al. in einer weiteren Studie keinen signifikanten Vorteil einer moderaten Koffeinsupplementierung bei Frauen, die an einem Aerobic - Stepping teilnahmen und üblicherweise kein Koffein konsumierten. Auf diese Weise gibt es für Fitnesstrainer keinen Grund, eine Nahrungsergänzung mit Koffeinpräparaten in diesem Bereich zu empfehlen. (AHRENS J.N. et al., 2007b)

Allgemein positive Ergebnisse der Koffeinverabreichung wurden jedoch auch bei hochintensiven Belastungen im Kraftsport ermittelt. Gut trainierte Frauen erlangten nach Einnahme einer moderaten Dosis ein deutlich besseres Einwiederholungsmaximum in einem Hanteltest als die Placebo-Gruppe.

Muscle strength and endurance data (means ± SD):

	Placebo	Koffein
<u>Bankdrücken</u>		
1 RM (kg)	52,1 (+/- 11,7)	52,9 (+/- 11,1)*
60% 1 RM	23,0 (+/- 7,1)	23,1 (+/- 6,2)
* zeigt signifikante Unterschiede zwischen den Konditionen an (p < 0,05)		

Tabelle 6: Muskelkraft- und Ausdauerdaten (Durchschnittswerte), RM = Repetition Maximum (GOLDSTEIN E.R., 2010; S. 4)

Die Haupteckentnis der angeführten Studie ist, dass eine akute Supplementierung von Koffein für eine Verstärkung der Kraftleistung bei trainierten Frauen effektiv sein kann, wie durch den signifikanten Anstieg des Einwiederholungsmaximums beim Bankdrücken demonstriert wurde. Die Koffein-Verabreichung zu 6 mg / kg KG hatte keinen signifikanten Effekt auf die muskuläre Ausdauer, die Herzfrequenz und den diastolischen Blutdruck. (GOLDSTEIN E.R., 2010)

Diese Resultate stehen im Widerspruch zu den Erkenntnissen von ASTORINO et al. (2008), die keine signifikante Verbesserung der Kraft des Oberkörpers bei trainierten Männern nach Konsum von 6 mg / kg KG Koffein feststellen konnten.

Die Erkenntnisse der Untersuchungen, die die Wirkungen von niedrig dosiertem Koffein auf die Leistung im Kraftsport beschreiben, haben viele Widersprüche in sich.

Demzufolge hält sich die Anzahl an Studien, die sich speziell mit dem Zusammenhang der Koffeinwirkung und der Muskelkraft bei fiten Frauen beschäftigen, in Grenzen.

Neben weiterführenden Untersuchungen zu dieser Thematik wäre es auch förderlich, in diesen in Zukunft auch den Effekt von Koffein auf die Kraft des Unterkörpers sowie die muskuläre Ausdauer in dieser Körperpartie bei Frauen zu durchleuchten. (GOLDSTEIN E.R., 2010)

5.5. Der Einfluss von Koffein auf den Flüssigkeitshaushalt

Die allgemeine Annahme, dass sich Koffein - vor allem was sportliche Aktivitäten betrifft – negativ auf den Flüssigkeitshaushalt auswirkt, wird in zahlreichen Untersuchungen dargestellt, aber nicht eindeutig bewiesen. (FALK B. et al., 1990; WEMPLE R.D. et al., 1997; MAUGHAN R.J. und GRIFFIN J., 2003)

Eine Tasse Kaffee soll angeblich immer in Kombination mit einem Glas Wasser getrunken werden, um den Flüssigkeitsverlust auszugleichen und ungünstigen Folgeerscheinungen entgegenzuwirken. Diese Annahme beruht allerdings auf falschen Tatsachen. So wird Kaffee - ebenso wie alle anderen Getränke auch - in die Flüssigkeitsbilanz miteinbezogen und verlangt nicht zwingend nach einer Kompensation mit Wasser oder dergleichen. (DGE, 2005)

NEUHÄUSER-BERTHOLD et al. untersuchten anhand von 12 Freiwilligen den Einfluss des Koffeinkonsums auf den Flüssigkeitshaushalt. Nach einem strikten, fünftägigen Ernährungsplan, der den Verzehr von Methylxanthinen ausschloss, wurden sechs Tassen Kaffee (~ 642 mg Koffein) getrunken und daraufhin eine durchschnittliche Abnahme des Körpergewichts von 0,7 kg eruiert. Gleichzeitig steigerten sich das Harnvolumen und folglich auch die Natriumausscheidung. Schlussendlich schien es so, als wäre Koffein ein Störfaktor, der eine negative Flüssigkeitsbilanz herbeiführt und zusammen mit der Gewichtsabnahme zu einer Verschlimmerung der Wasserversorgung im Organismus führt. (NEUHÄUSER-BERTHOLD M. et al., 1997)

Dies stellte sich allerdings als Fehlinterpretation heraus, da der Verlust an Körpermasse nicht zwingend mit einer verschlechterten Flüssigkeitsversorgung einhergeht. Bestimmende Faktoren für diese Diagnose wären vielmehr eine erhöhte Harnkonzentration (Osmolarität) und vermehrte Elektrolytausscheidung. (DGE, 2005)

Große Mengen Koffein (250 - 300 mg bzw. 2 - 3 Tassen Kaffee) bewirken eine vorübergehende Stimulierung der Harnausscheidung bei Personen, die einige Tage davor kein Koffein

aufgenommen haben. Sowohl die Dosierung als auch die Häufigkeit der Aufnahme haben einen Einfluss, zumal dieser Effekt bei regelmäßigem Koffeinkonsum weniger stark ausgeprägt ist. (MAUGHAN R.J. und GRIFFIN J., 2003)

Demzufolge kann man zusammenfassen, dass die im Alltag aufgenommenen Mengen an Koffein nicht zu einem verstärkten Flüssigkeitsentzug oder einem bedenklichen Flüssigkeitshaushalt führen. Aus diesem Grund ist es auch überflüssig, koffeinhaltige Getränke zu vermeiden, wenn der Flüssigkeitsstatus eventuell gefährdet sein könnte. (MAUGHAN R.J. und GRIFFIN J., 2003)

Indessen liefert der Konsum von Koffein in Ruhe und während einer sportlichen Belastung zwei komplett unterschiedliche Szenarien. Besonders Untersuchungen, die die Effekte der koffein-induzierten Diurese in Ruhe behandeln, können und sollten nicht gleichzeitig auf dieselben Umstände bei sportlichen Leistungen angewendet werden. (GOLDSTEIN E.R., 2010)

Eine Belastung bis zur Erschöpfung am Laufband (70 - 75% Vo₂max) zusammen mit 22 kg Gepäck zeigte keinen Unterschied zwischen dem kompletten Wasserverlust und der Schweißrate nach Gabe von 7,5 mg Koffein / kg KG. Ausschlaggebend bei diesem Studiendesign war jedoch, dass das Umfeld konstant auf 25 °C eingestellt war und deshalb die Nachfrage an anspruchsvolleren Modellen für mehr Aussagekraft der Ergebnisse groß ist. (FALK B. et al., 1990)

Die große Differenz zwischen der Wirkung von Koffein auf den Flüssigkeitshaushalt in Ruhe oder während einer Belastung wird anhand des Vergleichs zweier Getränke deutlich. So bewirkt ein koffeinhaltiges Sportgetränk eine signifikante Erhöhung des Harnvolumens in der Phase der Rast, wohingegen auf der anderen Seite keine Veränderungen der Flüssigkeitsbalance im Laufe der sportlichen Betätigung (Radfahren) gemessen werden. (WEMPLE R.D. et al., 1997)

Ebenfalls basierend auf Untersuchungen des Harns stellte man keine signifikante Änderung der ausgeschiedenen Menge in ruhender Position fest, als Wasser oder 1,4 – 3,13 mg Koffein / kg KG in Form von Getränken (Kaffee, Coca Cola) verabreicht wurden. (GRANDJEAN A.C. et al., 2000)

ARMSTRONG et al. zogen den Schluss, dass mäßige Mengen Koffein (3 – 9 mg / kg KG) - entgegen den meisten Behauptungen – kein Wasser- oder Elektrolytungleichgewicht hervorrufen. (ARMSTRONG L.E. et al., 2007)

Aufgrund seiner stimulierenden Wirkung auf das Herz – Kreislauf - System sollten Kaffee und Getränke, die Koffein enthalten, nicht zur Rehydrierung genutzt werden, sondern eher Mineralwasser oder andere kalorienarme Getränke. (DGE, 2005)

Diese Empfehlung der DGE ist somit ein zusätzlicher Anstoß für Untersuchungen, die das Potential von koffeinhaltigen Getränken als Durstlöscher begutachten.

Im Falle einer Einnahme von rund 740 mg Koffein pro Tag (Coca Cola) zusammen mit Wasser bei einer zweitägigen Belastungsübung unter mittleren Hitzekonditionen ergaben sich keine statistischen Unterschiede der Messwerte Herzfrequenz, rektale Körpertemperatur, Plasmavolumen oder Schweißproduktion. Allerdings beobachtete man eine negative Veränderung der Harnfärbung zu Beginn und am Ende der Untersuchung, was möglicherweise auf einen modifizierten Hydrationsstatus hinweist. Diese Annahme wurde aber noch nicht eindeutig erwiesen. (FIALA K.A. et al., 2004)

Gleichartige Ergebnisse zeigen sich auch bei einer chronischen Koffeinsupplementierung, die 12 Tage lang dauerte. Der integrierte Belastungs-Hitze-Toleranz-Test (EHT) in der zweiten Hälfte der Interventionsphase lieferte den Beweis, dass die Produktion von Schweiß nicht von der Dosis abhängig war und, dass die chronische Verabreichung den Flüssigkeits- und Elektrolythaushalt, sowie die Thermoregulation und die Leistungsfähigkeit nicht negativ beeinflusste. (ROTI M.W. et al., 2006)

Eine Dosierung der Substanz, die im ergogenen Wirkungsbereich von Koffein liegt, verändert weder die Schweißproduktion noch die Harnausscheidung während einer sportlichen Belastung. (WEMPLE R.D. et al., 1997; MILLARD-STAFFORD M.L. et al., 2007)

Bei heißen Umgebungstemperaturen (28,5 °C) und einer hohen Luftfeuchtigkeit bewirkt eine Koffein – Kohlenhydrat – Elektrolyt - Lösung während einer 120 - minütigen Belastung lediglich eine signifikante Erhöhung der Belastungsintensität, aber keine Veränderung der Schweißproduktion, des ausgeschiedenen Harnvolumens und der zurückgehaltenen Flüssigkeit. Das Kombi - Sportgetränk hält die Flüssigkeitsversorgung, die kardiovaskuläre und thermoregulatorische Funktion während der Belastung sogar konstant. Eine gefährliche Dehydratation konnte somit ausgeschlossen werden. (MILLARD-STAFFORD M.L. et al., 2007)

Auch DeCOSO J. et al. zeigten in ihrer kürzlich veröffentlichten Studie, dass eine mäßige Dosis von Koffein (6 mg / kg KG) in Zusammenhang mit zweistündigem Radfahren keinen deutlichen Einfluss auf die Schweißrate in der Belastungsphase hat. (DeCOSO J. et al., 2009)

Abschließend kann man sagen, dass der Effekt von Koffein auf die Diurese häufig überbewertet wird und wahrscheinlich bei den Menschen, die gewohnheitsmäßig Koffein konsumieren, minimal ist. (ARMSTRONG L.E., 2002)

In Bezug auf Sportler scheint es, als müssten sie ihre Trinkgewohnheiten nicht auf die Koffeinaufnahme abstimmen oder auf deren positive Wirkung in Hitzephasen verzichten. (BURKE L.M., 2008)

Überdies hängt die Flüssigkeitsversorgung auch von zahlreichen Faktoren ab und es dauert eine Weile, bis die Dehydrierung einsetzt. Deshalb sind Athleten in Disziplinen mit kürzerer Belastungsdauer weniger gefährdet, an Koffein - induzierter Diurese zu leiden, als Jene, die mehrtägige Ausdauerbelastungen bestreiten. (TUNNICLIFFE J.M. et al., 2008)

5.6. Sportlergetränke

Grundsätzlich ist es von größter Bedeutung ausreichend Flüssigkeit – etwa 1,5 Liter täglich – aufzunehmen. Diese Empfehlung der Deutschen Gesellschaft für Ernährung (DGE) gilt prinzipiell für alle Personen, egal ob Sportler oder Nicht-Sportler. Im Hinblick auf die Auswahl der richtigen Getränke sollten vor allem Wasser bzw. Mineralwasser, verdünnte Obst- und Gemüsesäfte oder ungesüßter Früchtetee bevorzugt werden. Schwarztee und Kaffee, sowie Alkohol bieten sich dagegen nicht an. (DGE, 2000)

Da Sportler aber vermehrt Wasser durch Schwitzen "verlieren", steigt ihr Flüssigkeitsbedarf entsprechend an, um die Bilanz schlussendlich ausgleichen zu können. Der Schweißverlust wächst mit erhöhter Außentemperatur und hoher Luftfeuchtigkeit, außerdem gehören die Körperoberfläche sowie die Belastungsintensität und -dauer ebenfalls zu den bestimmenden Faktoren. Im günstigsten Fall sollte man vor einer Trainingseinheit genug Flüssigkeit zu sich genommen haben, sodass die abgegebene Wassermenge leicht kompensiert werden kann. Mit anderen Worten heißt dies: Je intensiver das Schwitzen, desto größer das zugeführte Flüssigkeitsvolumen!

Beträgt dieser Flüssigkeitsentzug über 2 % des Körpergewichtes, so kann es zu gesundheitlichen Problemen wie Kreislaufbeschwerden und Schwindel oder Leistungsminderung kommen. (TOMASITS J. und HABER P., 2007)

Steigert sich dieser Wert noch weiter, treten eine Verminderung der Kraftleistung und eventuell auch motorische Störungen auf. Würde der Wasserverlust 10 % oder mehr betragen, so käme es zu einer Eindickung des Blutes durch eine eingeschränkte Harnproduktion und in weiterer Folge zu Kreislaufversagen. ((POHL K., 2009)

Aus diesem Grund sollten Sportler, die länger als eine Stunde trainieren, schon während der Belastung angemessene Mengen Wasser oder dergleichen aufnehmen. (TOMASITS J. und HABER P., 2007)

Interessanterweise schwitzen Trainierte schneller und mehr als Personen, die gerade erst begonnen haben, Sport zu treiben. Dies bedeutet somit, dass der Grad der Schweißproduktion vom Leistungsniveau abhängt. (SCHEK A., 2004)

Eine hinreichende Versorgung mit Nahrung und Flüssigkeit vor, während und nach dem Training dient außerdem zur Aufrechterhaltung der Blutglukosekonzentration während einer Belastung, zur Maximierung der Leistung und zur Verkürzung der Erholungszeit. (RODRIGUEZ N.R. et al., 2009)

Das Hauptaugenmerk des Konsums von speziellen Sportgetränken liegt in der Verbesserung und Unterstützung der Leistung und der damit verbundenen Erhöhung der Erfolgchancen im Wettkampf. (MEADOWS-OLIVER M. et al., 2007)

5.6.1. Hypertone, isotone und hypotone Getränke

Besonders bei erhöhter Außentemperatur und anstrengendem Training ist es von größter Bedeutung, auf ausreichende und vor allem geeignete Flüssigkeitszufuhr zu achten. Der Verlust von Schweiß bedeutet neben Wasser auch die Einbuße von Mikronährstoffen wie Natrium und Kalium, sowie Calcium und Magnesium. (KLEIN et al., 2006)

Dementsprechend muss der übermäßige Flüssigkeits- und Mineralstoffverlust durch angemessene Getränkeaufnahme wieder ausgeglichen werden.

Hierbei sollte man allerdings stets auf die eventuelle Entstehung einer Hyponatriämie achten, die sich bei zu großer Zufuhr von reinem Wasser (mehr als 1 l / h) direkt nach der Belastung entwickelt. Es kommt dadurch zu einer verringerten Natriumkonzentration im Plasma, was Schwindelgefühle, Kopfschmerzen, Muskelkrämpfe und im schlimmsten Fall Hirnödeme hervorrufen kann. (SCHEK A., 2004; TOMASITS J. und HABER P., 2007)

Der Schweißverlust bei Breitensportlern beträgt in etwa 1,5 l pro Trainingseinheit, wobei keine Flüssigkeitszufuhr im Laufe dieser Belastung notwendig ist. Es reicht, demnach geeignete Getränke, wie Mineralwasser und verdünnte Fruchtsäfte erst danach aufzunehmen.

Dagegen sollten Leistungssportler schon vor und während des Trainings Flüssigkeit aufnehmen, um Leistungseinbußen, die mit vermindertem Wasserhaushalt einhergehen, zu vermeiden. In diesem Fall sind hauptsächlich iso- und hypotone, eventuell auch mit Kohlenhydraten angereicherte Getränke empfehlenswert. Demnach ist die Trainingsintensität von entscheidender Bedeutung für das Trinkverhalten im Sport. (SCHEK A., 2004)

Ebenfalls ausschlaggebend für die angestrebte Aufnahmemenge und Getränkeauswahl ist die Trainingsdauer. So ist es für Athleten, die länger als eine Stunde trainieren, eher gerechtfertigt spezielle Sportgetränke zu konsumieren, als für Hobbysportler, deren Zeitaufwand kürzer ist. Als grundsätzliche Empfehlung für die Flüssigkeitszufuhr bei Sporttreibenden führen KLEIN H. et al. 35 - 40 ml / kg KG / d an und multiplizieren diesen Wert noch mit 1,5 für den trainingsbedingten Schweißverlust. (KLEIN H. et al., 2006)

Welches Sportgetränk ist nun am besten geeignet? Neben einem schnellen Ausgleich des Flüssigkeits- und Elektrolythaushaltes sollten Sportlergetränke auch rasch durch die Darmpassage wandern können, um eine schnelle Magenentleerung zu garantieren. Folglich spielt also die Osmolarität der verwendeten Getränke eine wichtige Rolle.

So unterscheidet man, entsprechend der Osmolarität, hypertone, isotone und hypotone Flüssigkeiten. Erstere sind für den Einsatz im Sport nicht empfehlenswert, da sie durch ihren hohen Anteil an einfachen Kohlenhydraten eine hohe Teilchenkonzentration im Blut bedingen und ihre Verdauung einen erhöhten Wasserverlust – schon im Vorhinein - bedeutet. (KLEIN H. et al., 2006)

Eher gebräuchlich sind isotone und hypotone Getränke aufgrund ihrer Fähigkeit, schnell für einen Flüssigkeitsausgleich zu sorgen. Am besten löscht man seinen Durst nach dem Sport mit einer 1:1 oder 2:1 Mischung aus Mineralwasser und reinem Fruchtsaft. (POHL K., 2009)

Geeignete Getränke zum Ausgleich des Flüssigkeitsverlustes:

	Osmolarität	Bemerkungen
Isotoner Durstlöscher (Glucose-Elektrolyt-Lösung)	isoton	sollte pro Liter 60 bis 80 g Zucker (oder bis zu 150 g Maltodextrin) und 400 bis 1400 mg Natrium enthalten; zugesetzt sein können 400 bis 1400 mg Chlorid, 15 bis 225 mg Kalium, 40 bis 225 mg Calcium, 10 bis 100 mg Magnesium sowie Vitamine
Fruchtsaftschorle	isoton	enthält pro Liter etwa 60 g Zucker, wenn Fruchtsaft im Verhältnis 1 zu 1 bis 1 zu 2 mit Mineralwasser gemischt wird; natriumreiches Mineralwasser ist zu bevorzugen
Gezuckerter Tee	isoton	bis zu 80 g Zucker können pro Liter Früchte oder Kräutertee zugesetzt werden; nachteilig ist der geringe Gehalt an Natrium
Alkoholfreies Bier	hypoton	enthält pro Liter etwa 50 g Dextrin und Maltose sowie 50 mg Natrium; Geschmack gibt Anreiz zum Trinken; diuretischer Effekt ist nachteilig
Süßmolke	hypoton	enthält pro Liter etwa 50 g Laktose und 50 mg Natrium
Tomatensaft	hypoton	enthält pro Liter je 15 g Glukose und Fruktose sowie 50 mg Natrium
Bouillon	hypoton	enthält pro Liter 1300 mg Natrium, wenn mit der 3-fachen Menge Wasser zubereitet
Mineralwasser	hypoton	kann pro Liter bis zu 1200 mg Natrium enthalten

Tabelle 7: Zusammensetzung schnell resorbierbarer Getränke (SCHEK A., 2004; S. 5)

Wichtig bei der Rehydratation ist, auf eine ausreichende Menge der ausgeschiedenen Mineralstoffe wie Natrium, Magnesium, Chlorid, Calcium oder Kalium zu achten. Deshalb werden die meisten Sportgetränke mit unterschiedlichen Konzentrationen dieser Mikronährstoffe angereichert. (MEADOWS-OLIVER M. et al., 2007)

In diesem Zusammenhang ist Natrium besonders hervorzuheben, da es aufgenommenes Wasser bindet und so bei vermehrter Einnahme dem Harndrang entgegenwirken kann. Die Empfehlung

des Natriumgehaltes in Sportlergetränken liegt bei 138 - 230 mg / l. Ein Mangel des Mikro-nährstoffes kann Muskelkrämpfe, Steifheit und Übelkeit verursachen und auf diese Weise die sportliche Leistung schmälern. (KLEIN H. et al., 2006)

Neben den zugesetzten Mineralstoffen enthalten Sport - Drinks auch eine Auswahl an Kohlenhydraten, die für die Energielieferung und Konstanthaltung des Blutzuckers sowie Schonung der Glykogenspeicher bei extremen Ausdauerbelastungen zuständig sind. Herkömmlich erhältliche Getränke - zum Beispiel Gatorade, Powerade oder Isosport – enthalten etwa 60 - 80 g Glukose, Fruktose, Sukrose oder komplexe Kohlenhydrate pro Liter. (MEADOWS-OLIVER M. et al., 2007)

Diese Dosierung ist am zweckdienlichsten, weil es die maximale Kohlenhydratmenge ist, die in einer Stunde über den Darm aufgenommen werden kann. (TOMASITS J. und HABER P., 2007)

Sinnvoll ist diese Anreicherung allerdings nur, wenn es sich um eine längere Belastungsdauer mit einer Intensität von 65 – 75 % der Vo₂max handelt. Es hat sich gezeigt, dass kohlenhydratreiche, 6 - 10%ige Sportdrinks eine um bis zu 25 % längere Trainingsdauer bei gleich bleibender Belastungsintensität ermöglichen. (TOMASITS J. und HABER P., 2007)

Sportlergetränke, die wie empfohlen Kohlenhydrate und Elektrolyte enthalten, sollten vor, während und nach sehr intensivem Training konsumiert werden, um die Blutglukosekonzentration aufrecht zu erhalten und Energie für die Muskeltätigkeit bereitzustellen. Außerdem wird dadurch eventuellen sportbedingte Komplikationen wie Dehydrierung und Hyponatriämie vorgebeugt. Eine zusätzliche Vitamin- und Mineralstoffsupplementierung ist allerdings bei gleichzeitig angemessener Energieaufnahme in Form der richtigen Lebensmittel nicht notwendig. (RODRIGUEZ N.R. et al., 2009)

Des Öfteren werden den handelsüblichen Sportlergetränken auch weitere Inhaltsstoffe zugesetzt, die der Geschmacksbildung dienen sollen oder anregende Wirkung haben. (RODRIGUEZ N.R. et al., 2009)

Paradebeispiele für derartige Inhaltsstoffe sind Taurin und Koffein sowie B-Vitamine und Proteine, wobei im Falle von Taurin und Koffein meist Energydrinks gemeint sind. (MEADOWS-OLIVER M. et al., 2007)

Anreicherung der Getränke mit Proteinen erfolgt hauptsächlich in Form verzweigtkettiger Aminosäuren und dann erst ab etwa 2 Stunden Belastung. Die hydrolysierten Proteine wirken in den Lösungen als Regenerierungshilfe, indem sie den Aufbau von Muskelprotein nach der Belastung stimulieren. (MANNINEN A.H., 2004)

5.6.2. Energydrinks im Sport

Energydrinks nennt man kohlen säurehaltige Erfrischungsgetränke, die neben Wasser auch Koffein und schnell verfügbare Kohlenhydrate, wie Glukose oder Saccharose als Energiespender enthalten. Zusätzlich werden meist verschiedenste Vitamin-Mischungen - bevorzugt B - Vitamine, wie Pyridoxin oder Riboflavin - beigemischt, deren Menge etwa der empfohlenen Tagesdosis entspricht. Weitere Inhaltsstoffe sind außerdem Zitronensäure als Säuerungsmittel, Aromastoffe wie Kräuterextrakte, Glucuronolacton, Stabilisatoren, Taurin als Aminosäure und Zuckerkulör als Farbstoff. (DULGOSZ L. et al., 1992; ARANDA M. und MORLOCK G., 2006)

In letzter Zeit gelangen bereits Energydrinks mit natürlichen Inhaltsstoffen, wie zum Beispiel das koffeinhaltige Extrakt von Guarana - Samen, in den Handel. (AGES, 2010)

Die wirklich ausschlaggebende Zutat, die Energydrinks von Sportlergetränken unterscheidet, ist allerdings Koffein. Es kann sowohl die Konzentration als auch die allgemeine Aufmerksamkeit vergrößern (van den EYNDE F. et al., 2008) und auf diese Weise zu einer Steigerung der sportlichen Leistung beitragen. Diese Effekte treten höchstwahrscheinlich aufgrund ihrer anregenden Eigenschaften auf das Zentralnervensystem auf. (BONCI L. et al., 2002)

Der Koffeingehalt der Energydrinks variiert stark in Abhängigkeit von der jeweiligen Marke und der Größe der Verpackungseinheiten. Diese betragen nämlich oftmals ein Vielfaches der üblicherweise aufgenommenen Kaffee- oder Teemengen. Aus diesem Grund wird vermehrt und teilweise auch unbewusst übermäßig viel Koffein aufgenommen, was möglicherweise negative Folgen haben kann. (BABU K.M. et al., 2008)

So kann eine Überdosierung an Koffein zu einer Intoxikation führen, die Nervosität, Angstgefühle, Schlaflosigkeit, Verdauungsbeschwerden, Ruhelosigkeit, Tachykardie und psychomotorische Beunruhigung auslöst. (CLAUSON K.A. et al., 2008; REISSIG C.J. et al., 2009)

Typische Getränke dieser Art, wie „Red Bull“, enthalten in etwa 80 mg Koffein pro 227,3 ml (= 8 Unzen) Flüssigkeit, im Gegensatz zu 85 mg derselben Menge Kaffee oder circa 28 mg in Coca Cola mit entsprechendem Volumen. (McCUSKER R.R. et al., 2006)

Die negativen Effekte von Energydrinks entstehen größtenteils aufgrund dieser übermäßigen Koffeindosierung, was Krampfanfälle oder Herzrhythmusstörungen bewirken kann. (OLBRICH J., 2008)

Aus diesem Grund verhält es sich bei der Risikobewertung ebenso wie bei einer vergleichbaren Kaffeeaufnahme.

Zudem enthalten Energydrinks, ganz im Gegensatz zu Sportlergetränken, vermehrt Kohlenhydrate (9 - 10 %) (MEADOWS-OLIVER M. et al., 2007), was die Absorptionsrate der Flüssigkeit vom Darm ins Blut verlangsamen kann (RYAN A.J. et al., 1998) und die Rehydratation während der Belastung so hemmt.

Aus diesem Grund sollten solche Getränke nicht unmittelbar vor oder während einer Belastung konsumiert werden, da in diesen Zeitspannen hauptsächlich der Schweißverlust kompensiert werden soll. Dazu kann es bei frühzeitiger Aufnahme aufgrund der vielen enthaltenen Kohlenhydrate zu Problemen im Magen-Darm-Bereich kommen. (BONCI L., 2002)

Ein weiterer nachteiliger Nebeneffekt der hohen Zuckerkonzentration ist die damit verbundene Einwirkung auf die Zähne. Es kommt – wie bei anderen Softdrinks auch – zum Abbau des Zahnschmelzes und vermehrten Problemen durch Karies. (REES J. et al., 2005; OWENS B.M., 2007)

Es gibt aber natürlich sinnvolle Erklärungen, warum den Getränken vermehrt Kohlenhydrate beigemischt werden. Sie können auf diese Weise neben einer oftmals propagierten, jedoch kurzfristigen, Leistungssteigerung auch für das so genannte Kohlenhydrat - Laden von Nutzen sein. Wird es für diesen Zweck verwendet, sollten diese Energydrinks während der ersten Stunde der Erholungsphase aufgenommen werden. (BONCI L., 2002)

Trotzdem wirkt ein vergleichbares Koffein - Zuckergemisch schwächer als beispielsweise eine gewisse Menge RedBull. Dies lässt erkennen, dass die stimulierende Wirkung nicht allein durch diese beiden Wirkstoffe hervorgerufen wird. (ERLICK E.W., 2007)

Versionen, die keine Kohlenhydrate und deshalb gleichzeitig keinen Zucker enthalten, weisen allerdings entsprechend mehr Koffein (ca. 120 mg pro 227,3 ml) auf. Diese Tatsache ist häufig nur bedingt und unvollständig auf den Verpackungen angemerkt. ((MEADOWS-OLIVER M. et al., 2007)

Energydrinks haben für gewöhnlich einen hohen Energiegehalt von rund 140 kcal pro 227,3 ml (8 Unzen), während Sportgetränke nur 50 kcal in der gleichen Menge enthalten. Wegen des hohen Energiegehaltes werden vermehrt niedrig – kalorische Produkte hergestellt und vor allem für Figurbewusste angepriesen. Beachtet werden sollte in diesem Fall jedoch, dass die Getränke dann in voluminöseren Verpackungen verkauft werden, was den Gehalt an enthaltenen Kalorien wieder in die Höhe treibt. ((MEADOWS-OLIVER M. et al., 2007)

Abgesehen von den typischen Energydrinks gibt es in Österreich noch eine abgewandelte, konzentriertere Form, die so genannten Energy Shots. Sie werden als Nahrungsergänzungsmittel

deklariert und enthalten genau dieselben Zutaten, nur in einem kleineren Volumen als die gebräuchlichen Dosen der Engerydrinks. (AGES, 2010)

Am unten angeführten Beispiel des „Burn Energy Shots“ erkennt man deutlich, wie derartige Getränke deklariert werden müssen, damit der Verbraucher nicht irreführt wird.

Beispiel „Burn Energy Shot“:

Deklariert als Nahrungsergänzungsmittel mit Koffein, Taurin, Glucuronolacton, Inositol und B-Vitaminen, mit Zucker und Süßungsmitteln.

Zutaten: Wasser, Zucker, Zitronensäure, Natriumcitrat, Taurin, Aroma, Koffein, Glucuronolacton, Natriumhexaphosphat, Kaliumsorbat und Natriumbenzoat, Zuckerkulör, Vitamine B3, B5, B6, B12, Inositol, Guaranaextrakt, Süßungsmittel E955.

Nährwerte pro 50 ml	
Brennwert	23,5 kcal
Eiweiß	0,2 g
Kohlenhydrate	5,5 g
Fett	0 g
Enthaltene Zusatzstoffe pro 50 ml	
Vitamin B3	9 mg
Pantothensäure (Vitamin B5)	3 mg
Pyridoxin (Vitamin B6)	1 mg
Riboflavin (Vitamin B12)	0,5 µg
Glucuronolakton	70 mg
Taurin	200 mg
Koffein	80 mg

Tabelle 8: Inhaltsstoffe „Burn Energy Drink“, Verpackung, Stand: 4.3.2010

Als Hinweis auf der Verpackung ist vermerkt, dass nicht mehr als 2 Portionen pro Tag von dem Getränk konsumiert werden sollte und dass es sich dabei nicht um einen Ersatz für eine ausgewogene Ernährung handelt. Weiters wird auf die Risikogruppen Schwangere, Kinder und

koffein-sensitive Personen hingewiesen, für die das Produkt nicht geeignet ist. (Verpackung „Burn Energy Shot“, Stand: 4.3.2010)

Die im Beispiel erkennbare große Vielfalt an zusätzlichen Inhaltsstoffen soll, laut Herstellern, die Leistungsfähigkeit unterstützen und steigern. Die Richtigkeit dieser Eigenschaft ist allerdings fragwürdig. (POLMER U. et al., 2003)

Es gibt zu dieser Thematik einige Studien, die die Effekte der Kombination aus verschiedenen Bestandteilen dieser Getränke, wie Koffein, Zucker und Taurin untersuchen.

Vor allem Taurin steht hier im Mittelpunkt, da es vermutlich die Stoffwechselwege beschleunigt und zur Überwindung der Insulinresistenz beiträgt (NANDHINI A.T. et al., 2005), was wiederum zur Diabetesbehandlung genutzt wird. (SHAO A. und HATHCOCK J.N., 2008)

Zudem soll die Substanz zu einer Verbesserung der Nervenreizleitung führen, welche auf die stimulierte Synthese von Neurotransmittern zurückgeführt wird. Diese Zusammenhänge sind allerdings bis dato nicht bewiesen. (AGES, 2010)

Da die DGE die ergogenen Effekte von Taurin nicht unterstützt und sogar vor dessen Konsum zur Verbesserung der Leistungsfähigkeit abrät, sollte man sich nicht auf die übertrieben positiven Anmerkungen auf den Verpackungen der Produkte verlassen und mit Bedacht vorgehen. (DGE, 2001) Normalerweise ist die Dosierung bei Energydrinks jedoch weit unter den Werten, die für einen speziellen oder ungünstigen Nutzen vonnöten wären. (CLAUSON K.A. et al., 2008)

Angepriesene Effekte von Energydrinks, vor allem in Bezug auf die Leistungsfähigkeit im Sport, betreffen die kognitiven, wie auch die körperlichen Anforderungen. So entfaltet Koffein in diesem Fall seine Wirkung als Konzentrationsförderer und Hilfsmittel bei Gedächtnisaufgaben. (ALFORD C. et al., 2001; van den EYNDE F. et al., 2008)

Neben den tatsächlich entscheidenden Eigenschaften von Koffein spielt vor allem die Kombination der verschiedenen Inhaltsstoffe der Energydrinks eine Rolle bei der Optimierung der sportlichen Leistung.

ALFORD C. et al. erkannten sowohl im aeroben als auch anaeroben Belastungsbereich positive Wirkungen des verabreichten Energydrinks auf diverse Parameter. Nach einer Gabe von 250 ml RedBull kam es zu einer deutlichen Verbesserung der Ausdauerleistung an einem Fahrradergometer und zu einer leichter umsetzbaren Konstanthaltung der Maximalgeschwindigkeit auf ebendiesem Ergometer, was einer verbesserten anaeroben Leistung entspricht. (ALFORD C. et al., 2001)

Die positiven Effekte für Ausdauersportler beruhen nicht ausschließlich auf Koffein, sondern sind auch in Kombination mit Taurin - zu beobachten. Diese Mischung kommt beispielsweise in einem RedBull-Getränk vor. (GEISS K.-R. et al., 1994)

Auch die Änderung bzw. Steigerung der Herzmuskelarbeit nach Aufnahme von 500 ml eines Energydrinks ohne Taurin und Koffein, ohne Taurin und mit Koffein (160 mg) und eines handelsüblichen RedBull Energydrinks (2 g Taurin und 160 mg Koffein) konnte nicht allein der Substanz Koffein zugeordnet werden. Auch Taurin ist maßgeblich daran beteiligt. (BAUM M. und WEISS M., 2001)

Auswirkungen auf die anaerobe Leistungsfähigkeit wurden anhand eines sich wiederholenden Wingate Tests ebenfalls auf einem Fahrradergometer bei jungen Erwachsenen (16 – 26 Jahre) untersucht. Obwohl man eine Steigerung der Muskelausdauer im Oberkörper erkannte, wurde keine signifikante Verbesserung der Maximal- oder Durchschnittskraft verzeichnet. Die Optimierung der Muskelausdauer wurde anhand einer Serie aus drei Bankdrück-Übungen mit einer 70%igen Belastung der Maximalkraft bestimmt. Durch die konsumierten Energydrinks (RedBull mit 2 mg Koffein / kg KG; in einer 250 ml Dose RedBull sind 80 mg Koffein enthalten, die zugeführte Menge entspricht bei einer 70 kg schweren Person somit 437,5 ml RedBull, also in etwa 500 ml) konnten mehr Wiederholungen durchgeführt werden. (FORBES S.C. et al., 2007)

Ein wichtiger Aspekt ist die Unterscheidung zwischen Energydrinks, Sportgetränken und Getränken für den Flüssigkeitsausgleich. Sportlergetränke wurden entwickelt, um die Flüssigkeits- und Elektrolytbilanz im Gleichgewicht zu halten und Energie für die sportliche Betätigung bereitzustellen. Dagegen produziert man koffeinhaltige Energydrinks nicht zur Rehydrierung, sondern lediglich als unterstützendes Mittel mit nicht eindeutig positiven Ergebnissen. (BRAGANZA S.F. und LARKIN M., 2007)

Derartige Getränke sind keine typischen Sportlergetränke, wie sie im vorigen Kapitel beschrieben wurden, da sie keine Elektrolyte enthalten und ihre aufputschende Wirkung hauptsächlich aus den enthaltenen Kohlenhydraten und Zusatzstoffen schöpfen. Sie funktionieren dann als sehr schnell verfügbare Energiebereitsteller. (BONCI L. et al., 2002)

Wie auf dem Großteil der Verpackungen angedeutet, sollten Energie-Getränke nur in Maßen und nicht von Risikogruppen konsumiert werden. Dies hängt vor allem mit dem schon angesprochenen hohen Koffeingehalt zusammen. Im Normalfall sollten nicht mehr als 300 - 400 mg Koffein pro Tag aufgenommen werden, um eventuelle gesundheitliche Probleme zu vermeiden. (AGES, 2010)

In diesem Zusammenhang ist die Aufnahme in Kombination mit Alkohol zu erwähnen, da hierbei die meisten Fälle von Überdosierungen zu verzeichnen sind. Es kommt dabei zu einem sehr starken Flüssigkeitsverlust im Körper und außerdem vermehrt zu einer Überschätzung der wirklichen sportlichen Leistungsfähigkeit. (BfR, 2008)

In einer brasilianischen Studie wurde der körperliche Zustand von 26 Männern untersucht, nachdem sie im Abstand von einer Woche RedBull, Alkohol oder eine Mischung aus beiden konsumiert hatten. Nach der Aufnahme des Kombi - Getränkes fühlten sich die Probanden deutlich wacher und aufmerksamer als nach Alkohol alleine. Die Personen fühlten sich demnach weniger betrunken, als sie es in Wirklichkeit waren. Bei den physischen Tests allerdings zeigte sich, dass die motorischen Fähigkeiten nach Genuss des Mix - Drinks gleichermaßen eingeschränkt waren, wie nach reinem Alkohol. (FERREIRA et al., 2006)

Ähnliche Erkenntnisse stellten Autoren auch im Fall von 12 jungen Probanden fest, die einen psychologischen Test unter Einfluss verschiedener Koffeindosen (2 oder 4 mg / kg KG) oder in Kombination mit Alkohol (0,65 mg / kg KG) durchführten. Der Konsum dieser Mischung aus Alkohol und Koffein veranlasste eine größere Verminderung der Sinnesempfindung als eine Alkoholintoxikation allein. (MARCZINSKI C.A. und FILLMORE M.T., 2006)

Alle Behauptungen bzw. „Versprechen“, die auf den Packungen der Energydrinks vermerkt sind, gehen vom Koffeingehalt aus. Es obliegt momentan der EFSA (europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit), eine wissenschaftliche Einschätzung zu diesen angepriesenen Wirkungen durchzuführen. Dabei ist es von besonderer Bedeutung eine Empfehlung für Risikogruppen, wie Schwangere, Ältere oder Jugendliche auszuarbeiten. (AGES, 2010)

Ein gutes Vorbild lieferten hierbei große Handelsfirmen in Schweden, die heuer in Zusammenarbeit mit Schulen ein Alterslimit von 15 - 18 Jahren für den Verkauf ihrer Energydrinks eingeführt haben. (AGES, 2010)

Alles in Allem sollten sich Sportler sehr genau überlegen, ob sie Energydrinks zur Steigerung ihrer Leistungsfähigkeit einnehmen, da diese im Grunde kein adäquater Ersatz für die im Training, Wettbewerb und in der Erholungsphase verbrauchte Energie sind. (BONCI L. et al., 2002)

Viel eher stellen derartige Getränke das Risiko einer zu hohen Zucker- und damit Energieaufnahme dar, was folglich zu erhöhtem Körpergewicht und im schlimmsten Fall zu Adipositas führen kann. Mit anderen Worten ist die Grenze zwischen Konsum zur

unterstützenden Wirkung im Sport und die Entstehung von Übergewicht dadurch sehr unscharf und sollte nicht unbeachtet bleiben. (MALIK V. S. et al., 2006)

Athleten müssen also die Verantwortung für ihre eigene Nährstoffaufnahme übernehmen, was auch eine ausreichende Kenntnis über Supplemente und geeignete Ernährung beinhalten sollte. (BONCI L. et al., 2002)

6. Abhängigkeit und Toleranz gegenüber Koffein – Gefahren

Die Rolle von Koffein als Droge, die zu einer Abhängigkeit führt, ist vor allem bei unbemerkten, hohen Dosierungsformen wie Energydrinks oder Kaffeegetränken von großer Bedeutung. Insbesondere Risikogruppen betrifft diese Tatsache. (REISSIG C.J. et al., 2009)

Suchterzeugende Eigenschaften sowie die Auswirkungen einer Unterbrechung des zuvor regelmäßigen Koffeinkonsums sind wohlbekannt (POHLER H., 2010) und können Entzugserscheinungen nach sich ziehen. (REISSIG C.J. et al., 2009)

Unter der Voraussetzung einer angemessenen Dosierung ist allerdings sogar eine chronische Koffeinaufnahme nicht zwingend schädlich. (FORTH W. et al., 2001)

Ein alltäglicher Konsum von mehr als 200 mg Koffein und der folgende Verzicht darauf bewirkt bei türkischen Studenten beispielsweise Symptome wie Kopfschmerzen, Verwirrtheit, Müdigkeit und Benommenheit. (KÜCER N., 2010)

Übertrieben große Aufnahmemengen – sei es in Form von Präparaten oder Getränken – führen außerdem zu einer pharmakologischen Toleranzentwicklung. Das bedeutet, dass es zu einem Rückgang der Empfindlichkeit gegenüber einer Substanz kommt. Täglich, übermäßig konsumiertes Koffein (750 – 1200 mg / d) kann eine komplette oder partielle Toleranz gegenüber den subjektiven und Angst auslösenden, neuroendokrinen oder Blutdruck - Effekten hervorrufen. (ROBERTSON D. et al., 1981; EVANS S.M. und GRIFFITHS R.R., 1992)

Nimmt man also für längere Zeit hohe Dosen Koffein auf, folgt darauf eine Veränderung der Nervenzellen. Aufgrund der bereits diskutierten Reaktion auf das Adenosin-Rezeptor-Signal kommt es zu einer vermehrten Produktion von Rezeptormolekülen. So soll der Mangel an Adenosin - Bindungen ausgeglichen werden. Auf diese Weise werden die anregenden Effekte von Koffein stark gehemmt. (SHI D. und DALY J.W., 1999; VARANI K. et al., 1999)

Daneben tragen eine gewisse Sensibilisierung und weitere Mechanismen zur Toleranzentwicklung bei. (GREEN R.M. und STILES G.L., 1986; POWELL K.R. et al., 2001)

Letztendlich werden durch die Toleranz immer höhere Dosen an Koffein zur Erreichung der gewünschten Wirkung notwendig. (FORTH W. et al., 2001; DEWS P.B. et al., 2002)

Im Falle einer Koffeinintoxikation kommt es zu hyperadrenergen Reaktionen, wie Bluthochdruck, Tachykardie, Krampfanfälle, Hypokaliämie und Tremoren. Das Hauptaugenmerk der Therapiebehandlung liegt in der Reduktion und Abschwächung der Krämpfe mittels Benzodiazepinen (Beruhigungsmittel) oder Phenobarbital. Aktivkohle wird in diesem

Zusammenhang zur Verbesserung der Koffeinausscheidung ebenso verabreicht. (LEIKIN J.B., 2007)

6.1. Anzeichen einer Abhängigkeit

Das Diagnostische und Statistische Handbuch Psychischer Störungen (Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders, DSM-IV-TR) hat die Aufgabe, Abhängigkeiten gegenüber Drogen und derartigen Substanzen zu definieren. Dies ist demgemäß auch bei Koffein der Fall.

Mithilfe einer allgemeinen Zusammenstellung aus kognitiven, physiologischen und verhaltens-auffälligen Symptomen, einschließlich der Unfähigkeit aufzuhören, übermäßigen Gebrauchs, Toleranz und Entzugserscheinungen, wird dieser Zielgedanke bewerkstelligt.

Obwohl das DSM-IV-TR die Substanz Koffein von seinem diagnostischen Schema der Substanzabhängigkeit ausschließt, schließt die World Health Organisation (WHO) mit Hilfe ihrer Internationalen Klassifizierung von Krankheiten (International Classification of Diseases, ICD-10) diese Diagnose mit ein. (REISSIG C.J. et al., 2009)

Der Einteilung der psychischen Krankheiten erfolgt laut DSM-IV-TR in fünf Achsen, wobei die Diagnose jeden Zustand auf jeder Achse beinhaltet: Die Wirkungskreise der Achsen umfassen Zustandsstörungen, Persönlichkeitsstörungen und geistige Behinderungen, körperliche Beschwerden, die mit psychischen Krankheiten einhergehen sowie psychosoziale Probleme.

Außerdem existieren zu den Achsen noch 16 Diagnosekriterien, um eine Erkrankung bestmöglich klassifizieren zu können.

Diagnostische Kriterien:
Störungen, die in Kindheit und Jugend auftreten
Substanzinduzierte Störungen
Schizophrenie und andere psychotische Störungen
Affektive Störungen
Angststörungen
Somatoforme Störungen
Dissoziative Störungen
Sexuelle Störungen und Störungen der Geschlechtsidentität
Schlafstörungen

Essstörungen
Vorgetäuschte Störungen
Anpassungsstörungen
Störungen der Impulskontrolle
Persönlichkeitsstörungen
Demenz und andere kognitive Störungen
Andere klinisch relevante Probleme

Tabelle 9: Diagnostische Kriterien für Substanzabhängigkeit laut DSM-IV-TR
(Quelle: <http://www.behavenet.com/capsules/disorders/dsm4TRclassification.htm>, Stand: 12.7.2010)

Bei Erfüllung von drei der folgenden sieben Kriterien, stellt die DSM-IV-TR die Diagnose „Substanzabhängigkeit“: Toleranz, Entzug, Aufnahme der Substanz in großen Mengen oder über eine längere Zeitspanne hinweg, anhaltender Drang oder erfolglose Versuche zur Reduktion des Konsums, viel Zeitaufwand für die Beschaffung, Gebrauch und Wirkung der Substanz, Reduktion wichtiger sozialer, beruflicher und Freizeit-Aktivitäten deshalb, sowie anhaltende Einnahme trotz Wissen über mögliche negative Folgen. (OGAWA N. und UEKI H., 2007)

Darüber hinaus gilt eine Abhängigkeit nur unter der Bedingung, dass die wiederholte Verwendung auf ein Misslingen der auferlegten Verpflichtungen hinausläuft, die Aufnahme auch in gefährlichen Situationen erfolgt, ständig gesetzliche Probleme aufgrund des Konsums auftreten oder der Gebrauch der Substanz trotz sozialer bzw. zwischenmenschlicher Probleme nicht unterbrochen wird. (OGAWA N. und UEKI H., 2007)

Während das Ausmaß der verstärkenden Wirkungen und des Missbrauchspotentials von Koffein sehr umstritten ist, weisen viele Autoren auf ein Abhängigkeitsproblem einiger Personengruppen hin. (BERNSTEIN G.A. et al., 2002; OBERSTAR J.V. et al., 2002; JONES H.A. und LEJUEZ C.W., 2005; SVIKIS D.S. et al., 2005)

Bei Untersuchungen sowohl an Jugendlichen (13 - 17 Jahre) (BERNSTEIN G.A. et al., 2002), als auch an Erwachsenen (STRAIN E.C., 1994; LEIKIN J.B. 2007) erfuhr der Großteil der Probanden eine Unfähigkeit den Konsum einzuschränken bzw. zu stoppen und Entzugerscheinungen stellten sich ein.

OGAWA und UEKI verfassten 2007 einen Artikel über klinische Studien, in denen zwei Fälle von Koffeinabhängigkeit und Koffeinmissbrauch dargestellt wurden. Es folgte eine kurze Bewertung

dieser Studien, um einen Beweis für das klinische Syndrom einer Abhängigkeit von Koffein oder eines Missbrauchs, ähnlich Eigenschaften anderer psychoaktiver Substanzen, zu erbringen.

Im ersten Fall ging es um einen Mann, der stetig eine größere Menge an Energydrinks (mit hohem Koffeingehalt) aufnahm und sich auf diese Weise Probleme mit Familie und Arbeitskollegen einstellte. Mit der Zeit wurde er rastlos, nervös und ängstlich. Die Autoren diagnostizierten eine sekundäre Manie aufgrund einer Koffeinintoxikation in Form von Kaffee und Energydrinks.

Die andere Untersuchung betraf eine Frau mittleren Alters, die ebenfalls an einer Koffeinintoxikation litt. Sie konsumierte schon vorher regelmäßig Kaffee und Grüntee, nahm allerdings im Laufe der Beobachtungen bereits 1000 mg Koffein in Tablettenform auf, was später mit Angstgefühlen, Beunruhigung und Schlafstörungen einherging.

Insgesamt wurde zur Therapie eine angemessene und unbedingt langsame Reduktion der Koffeinaufnahme ambulant (Bsp.: im Krankenhaus) empfohlen und eventuell Beruhigungsmittel (Bsp.: Lorazepam) verschrieben. (OGAWA N. und UEKI H., 2007)

Der Grund für die große Anzahl an koffeinabhängigen Personen liegt, den Autoren zufolge, in Werbungs- und Marketingstrategien für Koffein und koffeinhaltige Produkte. Demzufolge sollte der Koffeingehalt und Warnungen für Risikogruppen auf den Verpackungen hoch dosierter Produkte deutlich gekennzeichnet sein, über die genau enthaltene Menge für gefahrlosen Konsum informiert werden und klargestellt werden, dass übermäßige und langfristige Aufnahme Gesundheitsgefahren mit sich bringen kann. (OGAWA N. und UEKI H., 2007)

Es existieren geringfügige Beweise für eine Konditionierung (unbewusstes Erlernen von Reflexhandlungen) von stimulierenden Substanz-Wirkungen auf vorher neutrale Reize beim Menschen. In zwei Studien wurde getestet, ob die anregenden Effekte von Koffein bezogen auf die kognitive Leistungsfähigkeit in Zusammenhang mit einer Verabreichung der Substanz konditioniert werden können. (ATWOOD A. et al., 2010)

Die erste Untersuchung war lediglich einfach-blind angelegt und zeigte in der Interventionsgruppe (250 mg Koffein in Flüssigkeit) eine schnellere Reaktionszeit bei den Leistungstests am Computer. Erwähnenswert ist in diesem Fall, dass die eigene Einschätzung zur Art der verabreichten Probe, zu 100 % falsch war. Mit anderen Worten, niemand erkannte die Veränderung der Probe am letzten Untersuchungstag und den eigentlichen Sinn und Zweck des Unterfangens – nämlich die Abklärung einer Konditionierung.

Die Schlussfolgerung lautete, dass Umwelteinflüsse zusammen mit Kaffeekonsum drogenähnliche Antwortreaktionen bei unvermittelter Koffeinvermeidung hervorrufen könnten. Die

Antwortgeschwindigkeit der einfachen Reaktionszeit wurde bei jenen Probanden verbessert, die die Koffeinwirkungen bereits im Testumfeld (gepaarte Gruppe) erfahren hatten, nicht aber bei jenen, deren Aufnahme außerhalb dieser Umgebung stattgefunden hatte (ungepaarte Gruppe).

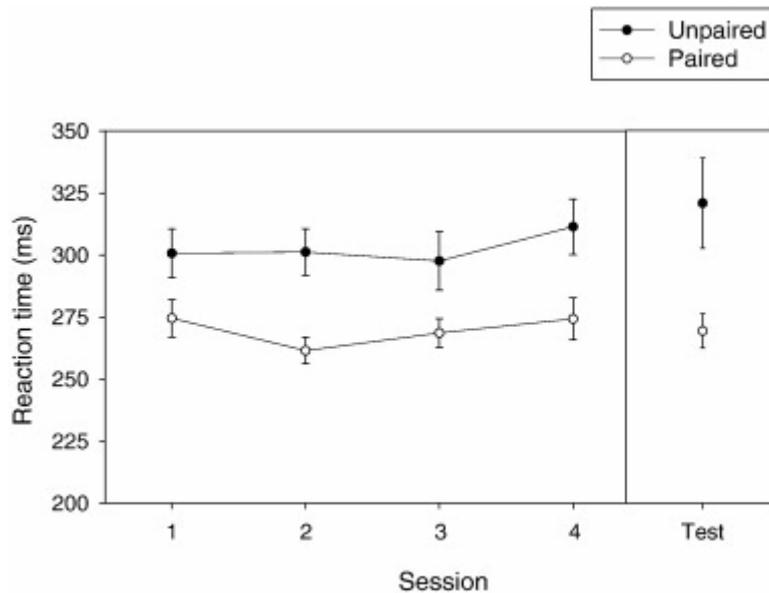


Abbildung 9: Die durchschnittlichen Reaktionszeiten sind schneller in den gepaarten (Koffein im Testumfeld) als in den ungepaarten (Placebo im Testumfeld) Gruppen über 4 Konditionierungsaufgaben und bei dem Test (allen Probanden wurde Placebo verabreicht) im Experiment 1. (ATTWOOD A. et al., 2010; S. 228)

Um die Generalisierbarkeit der beschriebenen Ergebnisse zu gewährleisten, wurde ein zweites Experiment in andersartigem Design, welches den Mangel der ersten Untersuchung aufheben sollte, durchgeführt. Diese Studie verfolgte diesmal einen doppelblinden Forschungsansatz.

Innerhalb der Probanden wurde ein anderes Konditionierungsmodell verwendet, indem in einer Hälfte des Experimentes ein Umfeld mit Koffein gepaart (CS+) wurde, und in der zweiten ein Placebopräparat in einer unterschiedlichen Umgebung (CS-) beigesteuert wurde. Dieser Aufteilung folgten zwei Konditionierungstests, bei denen Reaktionen auf die Placebo-Fraktion in CS+ und CS- Kontexten bewertet wurden.

Während der Aufgaben hatten die Probanden schnellere einfache Reaktionszeiten sowie Auswahl - Reaktionszeiten nach der Koffeinverabreichung verglichen mit dem Placebopräparat. Außerdem steigerte sich im CS+ Umfeld die „mentale Klarheit“ und die Schläfrigkeit wurde verringert, wohingegen diese Beobachtungen beim CS- Kontext nicht gemacht wurden.

Zusammenfassend zeigen diese Ergebnisse eine Übereinstimmung mit den Koffeineffekten auf die Leistungsfähigkeit konditioniert zu Reizen, die im Vorfeld mit Koffeingabe gepaart wurden.

Außerdem entsprechen sie den Erkenntnissen des ersten Experimentes. (ATTWOOD A. et al., 2010)

Im Allgemeinen ist anzunehmen, dass Koffein die primären Kriterien einer Drogenabhängigkeit erfüllt. Dazu gehört die Psychoaktivität der Substanz, wobei man zwischen stimulierenden und subjektiven Wirkungen - wie Wachheit, Erregung, Vitalität, verringerte Müdigkeit - unterscheidet sowie die Tatsache, dass die Einnahme kontrolliert aber nicht zwanghaft erfolgt. Außerdem zählt man die Funktionen des Wirkstoffs als Reinforcer dazu, welche unter speziellen Bedingungen beim Menschen allerdings nicht bei Tieren auftreten. Deshalb hat Koffein ein begrenztes Abhängigkeitspotential. (HEISHMAN S.J. und HENNINGFIELD J.E., 1992)

6.2. Koffein Entzug

Erste Entzugserscheinungen (bei regelmäßigem und hoch dosiertem Koffeinkonsum) treten normalerweise innerhalb von 12 bis 24 Stunden nach Einstellung des Konsums auf (JULIANO L.M. und GRIFFITHS R.R., 2004), wobei die schlimmsten Empfindungen etwa 20 bis 51 Stunden danach erfolgen. Diese können aber eine Woche anhalten. Ab einem Grenzwert von 235 mg Koffein pro Tag (dies entspricht etwa 2,5 Tassen Kaffee) steigt die Wahrscheinlichkeit von Entzugserscheinungen rapide an. (LEIKIN J.B., 2007)

RICHARDSON et al. lieferten Beweise für die Existenz einer verstärkenden Wirkung des Koffeins, der möglicherweise eine signifikante Rolle bei der Erlangung von Präferenzen für koffeinhaltige Getränke spielt. Im Vergleich mit einer neuen Getränkesorte, die kein Koffein enthielt, zeigten die üblicherweise Koffein – konsumierenden Probanden (Users, n = 21) eine deutlich größere Vorliebe für dasselbe Getränk, welches allerdings koffeinhaltig (200 mg) war, als die Non-Users (n = 23). (RICHARDSON N.J. et al., 1996)

Frühere Studien zeigen, dass Koffein die Geschmacksvorlieben für neue, unbekannte Getränkesorten bei mäßig Koffein - konsumierenden Personen (250 mg Koffein / Tag), die einen Entzug durchgemacht hatten, verstärken kann. 48 Probanden konsumierten wissentlich 4 Wochen kein Koffein und nahmen stattdessen je nach Gruppe koffeinhaltige („Beibehaltungsgruppe“) oder entkoffeinierte („Entzugsgruppe“) Getränke auf. In den letzten beiden Wochen wurde an 4 nicht aufeinander folgenden Tagen ein neues Getränk verabreicht, das entweder 100 mg Koffein oder ein Placebopräparat enthielt. Während sich die Vorliebe für

das koffeinhaltige Getränk in der „Beibehaltungsgruppe“ über diese 4 Tage hinweg steigerte, sank die Sympathie für das gleiche Getränk in der „Entzugsgruppe“. Daraus wird ersichtlich, dass die Fähigkeit des Koffeins Veränderung der Geschmacksvorlieben zu verstärken auf einer Linderung der Entzugerscheinungen beruht, die bei gewohnheitsmäßigen Koffeinkonsumenten auftreten.

Grundsätzlich kann man allerdings nicht definieren, ob der Unterschied zwischen Menschen, die mittelmäßig oder wenig Koffein aufnehmen, auf prä - existenten Differenzen beruht oder direkt von den verschiedenen Dosierungsmengen, die normalerweise konsumiert werden, abhängt. (TINLEY E.M. et al., 2003)

Das bekannteste und zugleich häufigste Symptom bei einem Koffeinentzug ist Kopfschmerz. Etwa die Hälfte der Probanden in doppelblinden Untersuchungen meldeten Kopfschmerzen, die manchmal auch sehr stark ausfallen konnten. (SILVERMAN K. et al., 1992; TINLEY E.M. et al., 2003; JULIANO L.M. und GRIFFITHS R.R., 2004)

Daneben treten auch Müdigkeit und Erschöpfungszustände bei plötzlicher Koffeinabstinenz auf. Dies ist etwas seltener der Fall, wurde aber unter einer Vielzahl methodischer Bedingungen demonstriert. Somit sind Ermüdungserscheinungen ein anerkanntes Entzugssymptom. (JULIANO L.M. und GRIFFITHS R.R., 2004)

Zu den weiteren gültigen Entzugerscheinungen gehören eine verminderte Aktivität, Wachsamkeit und Sozialisierbarkeit, erhöhte Schläfrigkeit, Unzufriedenheit, gedrückte Stimmungslage, Konzentrationsschwierigkeiten, Reizbarkeit, Benommenheit sowie vermehrtes Gähnen. Zusätzliche Anzeichen für einen Entzug sind noch Zittern (Tremor), verminderte motorische Fähigkeiten, schnellerer Blutfluss, grippeähnliche Beschwerden und eingeschränkte kognitive Leistungsfähigkeit. Zur genaueren Abklärung dieser Symptome bedarf es allerdings noch weiterer Untersuchungen. (JULIANO L.M. und GRIFFITHS R.R., 2004)

Die Beschwerden hängen eng mit der vor dem Entzug üblicherweise aufgenommenen Menge zusammen. Eine wirkungsvolle Behandlung zielt auf eine graduelle Reduktion des Koffeinkonsums für einige Tage ab. Teilweise könnten Koffeinpräparate zur Linderung von Kopfschmerzen hilfreich sein. (LEIKING J.B., 2007)

Da die individuellen Effekte einer Koffeinabstinenz, die akute und chronische Verabreichung sowie die Toleranzentwicklung gut beschrieben sind, die entsprechenden neurophysiologischen Wirkungen dagegen nicht, wurde eine Untersuchung zu dieser Thematik durchgeführt.

Dabei stellte sich heraus, dass eine plötzliche Koffeinvermeidung nach langfristiger (14 - tägiger), regelmäßiger Aufnahme zu einer Erhöhung des systolischen, diastolischen und durchschnittlichen Blutflusses und zu einer Senkung des Puls-Index` führt. Außerdem kommt es zu einer Erniedrigung der theta Frequenz im EEG sowie einer schlechteren Bewertung der Autoren von Energie, Kraft und Lebhaftigkeit. Im Gegenzug nahmen jedoch Müdigkeit und Trägheit stark zu. (SIGMON S.C. et al., 2009)

6.3. Risiken der Koffeinverabreichung im Sport

Sowohl Spitzen- als auch Freizeitsportler greifen zu Nährstoffsupplementen und Substanzen, die ihre Leistung verbessern, ihre Ängstlichkeit reduzieren, ihre Muskelmasse erhöhen oder ihr Körpergewicht senken sollen. Der Missbrauch mit Dopingmitteln und –methoden hängt mit vielen gesundheitsgefährlichen Nebenwirkungen zusammen. Diese negativen Effekte sind im Allgemeinen abhängig von der Art des konsumierten Stoffes, der Menge, der Dauer der Einnahme und der Empfindlichkeit des Körpers, da es große interindividuelle Unterschiede in den Reaktionen auf die jeweilige Substanz gibt. Üblicherweise sind die Dosierungen zu sportlichen Zwecken um ein Vielfaches höher als jene, die im Therapiebereich Verwendung finden. Somit ist das Risiko für Nebenwirkungen in diesem Fall höher. (DELIGIANNIS et al., 2006)

Unter den medizinischen Effekten von Doping mit Koffein zählen die kardiovaskulären Risiken zu den schädlichsten. Herzinfarkt, Hyperlipidämie, Bluthochdruck, Thrombose, Herzrhythmusstörungen und plötzlicher Herztod wurden nach Drogenmissbrauch registriert. (DELIGIANNIS et al., 2006)

In Kombination mit anderen Stimulantien, wie Ephedrinen oder Amphetaminen, wurden ebenfalls kardiovaskuläre Gefahren und gegebenenfalls sogar Todesfälle dokumentiert. Hohe Koffeinmengen, die zusammen mit Ephedrin eingenommen werden, können lebensgefährliche Arrhythmien, Hypertension und Schlaganfälle auslösen. (VAHEDI K. et al., 2000; KEISLER B.D. und ARMSEY T.D., 2006)

Glücklicherweise birgt Koffein allein keine ernsthaften kardiovaskulären Risiken. Trotzdem kann es in hoher Dosierung ergolytisch wirken und zu Beunruhigung, Tremor, mentaler Verstärkung und ungewöhnlichen Arrhythmien führen. (VAHEDI K. et al., 2000)

Zu den psychomotorischen Nebenwirkungen des Koffeinkonsums gehören Angstzustände, Verwirrtheit und weitere Entzugserscheinungen. (ROGERS N. und DINGES D., 2005; KEISLER B.D. und ARMSEY T.D., 2006)

Aufgrund der stimulierenden Wirkungen der Substanz wurde vom Internationalen Olympischen Komitee und der National Collegiate Athletic Association ein Grenzwert für den Gebrauch von Koffein bei Wettkämpfen eingeführt. Dieser beträgt 12 µg / ml Harn. (FERNANDEZ M.M.F. und HOSEY R.G., 2009)

Prinzipiell gilt im Sport, ebenso wie in allen anderen Situationen, dass ein Übermaß an Koffein nicht förderlich ist und auch ungünstige Wirkungen auf den Körper haben kann.

Vor allem für die Wiederauffüllung der Wasserspeicher nach anstrengenden Belastungen (eventuell unter Hitzeeinfluss) sind koffeinhaltige Getränke nicht empfehlenswert. (TOMASITS J. und HABER P., 2007)

Die allgemeine tödliche Dosis von Koffein beträgt bei Erwachsenen zwischen 5 und 30 g, wobei Vergiftungserscheinungen bereits ab 0,5 g auftreten. Es kommt zu Nervosität, Zittern, Schlafstörungen, Tachykardie, bis hin zu Krampfanfällen und Wahnvorstellungen. (BÜTZER P., 2009)

Außerdem wird die Diurese beschleunigt, die Bronchokonstriktion verstärkt und Angstanfälle herbeigeführt. (SCHEK A., 2009)

Erschreckenderweise ist ein Großteil (88,9 %) der 72 beobachteten Leistungssportler, die in 7 unterschiedlichen Disziplinen aktiv sind, einer Studie bereit, Koffein und andere potentiell leistungssteigernde Supplemente aufzunehmen, obwohl oftmals kaum etwas über die genauen Wirkungen und eventuellen Gefahren der Einnahme bekannt ist. Diese Probanden gaben an, Nahrungsergänzungsmittel für sportliche Erfolge einzunehmen, um international konkurrenzfähiger zu werden. Koffein wurde von etwa einem Viertel (22,2 %) der Studienteilnehmer regelmäßig zu diesem Zweck aufgenommen. Gesundheitsrisiken und die Relevanz der Aufnahme bei einer ausgewogenen Ernährung wurden nicht hinterfragt. (DASCOMBE B.J. et al., 2010)

Aus diesem Grund liegt die größte Gefahr bei der Verwendung von Koffein als ergogenes Hilfsmittel im Sport in der unzureichenden Information über die richtige Handhabung und die möglichen Nebenwirkungen bei falscher Einnahme. Außerdem werden die Erwartungen meist viel zu hoch angesetzt, wodurch Enttäuschungen bei Misserfolgen vorprogrammiert sind. (DASCOMBE B.J. et al., 2010)

Besonders Risikogruppen müssen auf die Dosierung der Substanz achten. Im Falle einer Schwangerschaft sollten höchstens 600 mg Koffein pro Tag aufgenommen werden, zur Senkung der Gefahr von Früh- oder Fehlgeburten einzudämmen.

(<http://www.dopingnews.de/coffein.html>; Stand: 19.7.2010)

Andere Autoren schreiben einen Grenzwert von 300 mg täglich (entsprechend 3 Tassen Kaffee) vor (HIGDON J.V. und FREI B., 2006), um etwaigen Komplikationen vorbeugen zu können.

Im Prinzip gilt - vor allem für solche Personengruppen - Koffein als Leistungsförderer zu vermeiden und sich lieber auf eine gesunde, abwechslungsreiche Ernährung zu konzentrieren.

6.3.1. Überdosierungen, Toxizität

Im Allgemeinen gilt sowohl für die erwünschten Effekte als auch für die weniger gefragten Nebenwirkungen von Koffein, dass es auf die Häufigkeit und den Umfang der täglichen Aufnahme sowie auf individuelle Faktoren ankommt.

Bereits bei niedriger Dosierung (unter 200 mg Koffein pro Tag) ist mit Schlafstörungen, Herzrhythmusstörungen und gastrointestinalen Problemen (MERCK DURA GmbH, Fachinformation Coffeinum N 0,2 g) zu rechnen.

Außerdem treten mit steigender Aufnahmemenge noch Symptome wie Manie, Epilepsie, Schizophrenie und Kopfschmerzen auf. (ESTLER C.J., 2000; GRAHAM T.E., 2001)

Ab etwa 400 – 500 mg kommt es zu Dysphorie, die mit Unruhe, Angst und Tremor einhergeht, sowie eventuell zu Übelkeit und Erbrechen oder Krämpfen. (FORTH W. et al., 2001)

Ein überhöhter Konsum führt ab einer Gesamtdosis von etwa 1 g, welche in sehr kurzer Zeit aufgenommen wird, schließlich zu einer Koffeinintoxikation. (MERCK DURA GmbH, Fachinformation Coffeinum N 0,2 g)

Irreversible Schäden jedoch, die man früher mit Koffein in Verbindung gebracht hat, wurden bislang nicht bestätigt. Es treten also weder bösartige Tumore noch vermehrt Erkrankungen des Herz-Kreislaufsystems durch chronisch hohen Koffeinkonsum auf. (FORTH W. et al., 2001)

Schwerwiegende Überdosierungen von Koffein sind bei Erwachsenen normalerweise relativ selten zu beobachten und würden eine übermäßig große Einnahmemenge von etwa 5 g erfordern. (KERRIGAN S. und LINDSEY T., 2005)

Nichtsdestotrotz wurden Fälle beobachtet, bei denen ein derartiges Übermaß an Koffein zu gravierenden Problemen und schließlich zum Tod führte.

In einem derartigen Fall enthielt eine Blutprobe aus dem Oberschenkel einer 39-jährigen Frau mit Drogenhintergrund 192 mg Koffein / l. Dagegen fand man in einer Blutprobe einer Patientin, die eine Vorgeschichte als Diabetikerin aufwies und fettleibig war, eine Menge von 567 mg Koffein / l. Bei beiden Frauen wurde eine unbeabsichtigte Koffeinintoxikation als Todesursache festgestellt. (KERRIGAN S. und LINDSEY T., 2005)

Exzessive Koffeinaufnahme (etwa 10 g) kann also durchaus lebensgefährliche Konsequenzen, wie starke Herzrhythmusstörungen und eventuell darauf folgendes Kammerflimmern, nach sich ziehen. Dies kann zum Tod des Patienten führen. (RUDOLPH T. und KNUDSEN K., 2010)

Die offiziell letale Dosis für den Menschen beträgt 5 – 10 g Koffein (FORTH W. et al., 2001), was circa 40 Tassen sehr starken Kaffees entspricht. (BRAUN S., 1998)

6.3.2. Unerwünschte Wirkungen

6.3.2.1. Kardiovasuläre Erkrankungen und Herzrhythmusstörungen durch Koffein

In einer gesunden Probandengruppe wurde gezeigt, dass ein moderater täglicher Kaffeekonsum von bis zu 400 mg nicht mit toxikologischen oder kardiovaskulären Auswirkungen einhergeht. (NAWROT P. et al., 2003)

Trotzdem reichen mögliche toxische Wirkungen von Koffein von einer mäßigen Erhöhung der Herzfrequenz bis hin zu schwerwiegenden Herzrhythmusstörungen. (DONNERSTEIN R. et al., 1998; NAWROT P. et al., 2003)

Deshalb wurde dieser Effekt in Ruhe und während Belastungsphasen anhand gesunder Freiwilliger, die regelmäßig Koffein aufnehmen, untersucht. Bei einer Hälfte der Probanden wurde die Durchblutung vor und nach einer Ergometerbelastung eruiert, und darauf folgend derselbe Test nach Einnahme von 200 mg Koffein durchgeführt. Diese Menge entspricht in etwa 2 Tassen Kaffee. Dagegen erledigten die übrigen Teilnehmer den gleichen Test in einer simulierenden Höhenkammer (2400 m), um auf diese Weise einen Sauerstoffmangel – wie bei einer koronaren Herzkrankheit – vorzutäuschen. Auch sie erhielten danach Koffeinpräparate und führten das Experiment erneut durch. (NAMDAR M. et al., 2006)

Es zeigte sich, dass durch Koffein die Eigenschaft des Herzmuskels auf gesteigerte Leistungsanforderung mit einer Erhöhung der Durchblutung reagieren zu können, eindämmt bzw.

vermindert. Auch die so genannte belastungsinduzierte, myokardiale Durchblutungsreserve (Verhältnis der Durchblutung bei Leistung und in Ruhe) war direkt nach der Koffeinnahme um 22 % beim herkömmlichen Ergometertest bzw. 39 % beim Höhenkammertest tiefer.

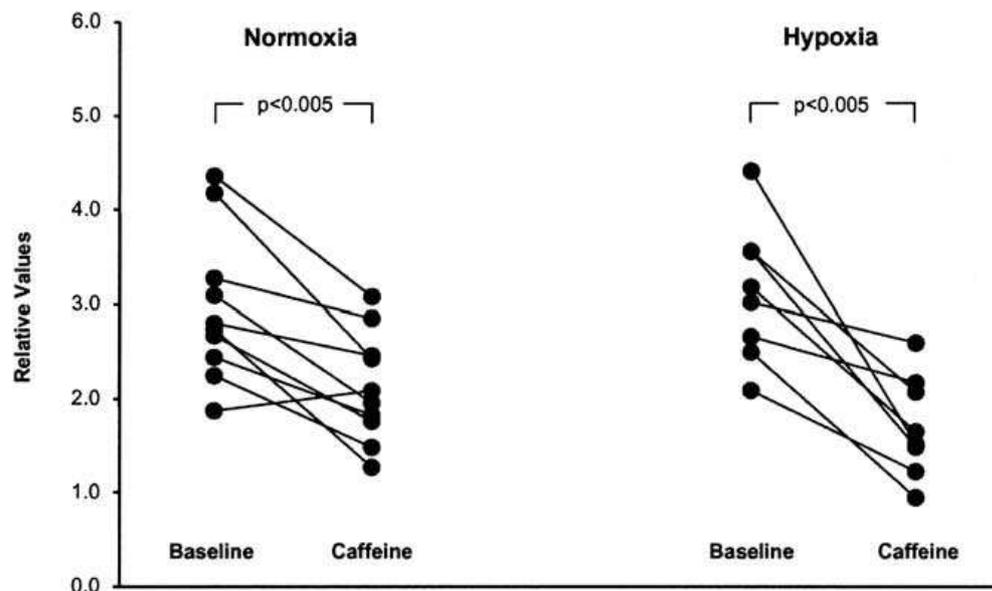


Abbildung 10: Individuelle myokardiale Durchblutungsreserve – Werte (MFR) vor und nach Koffeingabe
Koffein senkt MFR in beiden Interventionsgruppen
(NAMDAR M. et al., 2006; S. 420)

Diese Untersuchung liefert einen triftigen Grund zur Annahme, dass vor sportlicher Betätigung die Aufnahme koffeinhaltiger Getränke nicht empfehlenswert ist. Die Autoren begründen dies zusätzlich, indem sie auf die stärkere Effektivität von Koffein als subjektives Stimulans der Hirntätigkeit hinweisen und somit seine physische Wirkung verneinen. (NAMDAR M. et al., 2006) MARIDAKIS et al. zeigten auf der anderen Seite allerdings, dass Koffein zur Linderung und Reduzierung von Muskelkater nach exzessiver sportlicher Belastung hilfreich sein kann. Eine Dosis von 5 mg / kg KG bewirkte bei 9 Teilnehmerinnen eine signifikante Minderung der Muskelschmerzen, nachdem sie anstrengende Übungen im Fitnesscenter ausgeführt hatten. Somit kam man zum Schluss, dass 2 Tassen Kaffee vor dem Training empfehlenswert sind. (MARIDAKIS V. et al., 2007)

O'CONNOR kam in diesem Zusammenhang auf eine effektive Dosis von etwa 10 mg / kg KG zur Schmerzlinderung bei Beinmuskelschmerzen nach intensiver Belastung. (O'CONNOR P.J. et al., 2004)

Außerdem wurde beobachtet, dass sowohl für Personen, die aufgrund einer Prädisposition für unrythmische Herzfrequenzen, als auch für Gesunde, die Einnahme von Koffein in alltagsüblichen Mengen in einer unerwarteten Risikosenkung (für Herzarrhythmien) resultiert. Mit anderen Worten profitiert man demnach von der herkömmlichen Koffeinaufnahme im Alltag in Bezug auf Herzarrhythmien. (RASHID A. et al., 2006)

Die vermuteten ungünstigen Wirkungen bei der Entstehung von kardiovaskulären Erkrankungen werden wahrscheinlich durch die antiaggregatorischen Effekte von Koffein kompensiert. Als Parameter für die Untersuchungen fungierte häufig die Homocysteinkonzentration im Plasma, die ein Risikofaktor für derartige Erkrankungen ist. (VARANI K. et al., 2001; GEORGE S.E. et al., 2008)

Es zeigte sich beispielsweise, dass die Einnahme von Tee (50 mg Koffein / Tasse) in einer akuten Steigung der Homocysteinkonzentration resultieren kann, welche allerdings meist vergänglich ist. (HODGSON J.M. et al., 2007)

Demnach sind die Ergebnisse vieler aktueller Studien äußerst widersprüchlich und nicht eindeutig aussagekräftig. Obwohl Koffein ein weltweit gern konsumiertes Aufputsch- und Stimulierungsmittel ist, sind Kenntnisse über seine kardiovaskuläre Sicherheit und seine Wirkung auf die Herzdurchblutung leider noch weitgehend unklar. (NAMDAR M. et al., 2006; DELIGIANNIS et al., 2006)

6.3.2.2. Koffein und die Aggregation von Blutplättchen

Der Einfluss von Koffein auf die Blutplättchenaggregation ist noch immer nicht gänzlich geklärt und umstritten. Zudem sind Daten über die wirksame Konzentration von Koffein begrenzt vorhanden.

Einige Untersuchungen zeigen eine reduzierte Fähigkeit der Blutplättchen zur Aggregation bei Kaffeekonsum - vor allem aufgrund der Hochregulierung von A_{2A}-Adenosin-Rezeptoren. (BIAGGIONI L. et al., 1991; VARANI K. et al., 2000).

Andere Erkenntnisse weisen jedoch auf keine signifikante Veränderung der Aggregation von Blutplättchen bei Koffein - einnehmenden Probanden hin. (CHOI J.W., 2002)

Die Aggregation von Blutplättchen spielt im Zusammenhang mit kardiovaskulären Problemen eine bedeutende Rolle- insbesondere für die Krankheitsentstehung von koronarer Herzkrankheit und anderen thrombotischen Ereignissen. Der anti-thrombotische Effekt von Kaffee ist allerdings

unabhängig von seinem Inhaltsstoff Koffein und kann ein Resultat der Interaktion seiner Phenolsäuren mit intrazellulären Signalwegen zur Thrombozytenaggregation sein. (NATELLA F. et al., 2008)

6.3.2.3. Koffein und das Osteoporoserisiko

Überhöhte Mengen an Koffein - ab 2,5 Tassen Kaffee bzw. 5 Tassen Tee pro Tag (KIEL D.P., et al., 1990) - können unter Umständen in einem Anstieg des Knochenabbaus gipfeln, weil es die Calciumausscheidung erhöht und die intestinale Calciumabsorption senkt. (MASSEY L.K. und WITHING S.J., 1993; BARGER-LUX M.J. et al., 1995)

Somit kommt es ab diesen Einnahmemengen zu einer Erhöhung des Risikos für Knochen- insbesondere für Hüftknochen - Brüche. (KIEL D.P. et al., 1990)

Grundsätzlich gibt es jedoch genügend Beweise, dass die momentane Koffeinaufnahme keinen negativen Einfluss auf die Knochendichte von 35 – 60 jährigen Frauen hat. (HOLM K. et al., 2002)

Studienergebnisse zu dieser Thematik sind also widersprüchlich (LLOYD T. et al., 1997) und die angebliche Senkung der Calciumkonzentration ist auf den kombinierten Konsum von koffeinhaltigen Getränken mit Milch zurückzuführen. Ausgeglichen werden kann dieses Defizit ganz einfach durch 1 – 2 Esslöffel Milch. Wird also die Empfehlung für die tägliche Calciumaufnahme eingehalten, ist das Risiko für einen eingeschränkten Knochenmetabolismus durch den Konsum von Kaffee bzw. Koffein nicht überdurchschnittlich groß. (HEANY R.P., 2002)

Grundsätzlich gibt es genügend Beweise, dass die momentane Koffeinaufnahme keinen negativen Einfluss auf die Knochendichte von 35 – 60 jährigen Frauen hat. (HOLM K. et al., 2002)

7. Wechselwirkungen von Koffein mit anderen Substanzen

Durch den weit verbreiteten Gebrauch von Koffein ist eine hohe Wahrscheinlichkeit für Interaktionen zwischen dem Methylxanthin und anderen Substanzen gegeben. Es gibt Fälle, wo der Kombinationseffekt zweier drogenähnlicher Stoffe eindeutig gefragt ist oder ein Teil des Gemisches für die Modifikation der Wirkungen des anderen Bestandteiles notwendig ist. Ein Beispiel für letzteres ist die Verwendung von Koffein zur Umkehrung der Alkohol - induzierte Intoxikation. (HEISHMAN S.J. und HENNINGFIELD J.E., 1999)

Untersuchungen an erwachsenen Zwillingen zeigten, dass die Aufnahme von Koffein, die Koffeintoxizität und die –abhängigkeit deutlich mit verschiedenen psychiatrischen Störungen zusammenhängen. Dazu gehören neben Depressionen, generellen Angststörungen, Panikattacken und antisozialen Persönlichkeitsstörungen auch Abhängigkeiten von Alkohol, Cannabis oder Kokain. (KENDLER K.S. et al., 2006)

Andere Studien, die Zwillinge untersuchten, nehmen an, dass bei der Abhängigkeit von Nikotin, Koffein oder Alkohol ein bekannter genetischer Faktor („polysubstance use“), der dem Konsum dieser drei Substanzen zugrunde liegt, eine tragende Rolle spielt. (SWAN G.E. et al., 1996; HETTEMA J.M. et al., 1999)

KENDLER et al. erkannten, dass Koffein und Nikotin mit genetischen Faktoren assoziiert waren, die einzig für diese Substanzen bestimmt waren. (KENDLER K.S. et al., 2007)

7.1. Koffein und Alkohol

Grundsätzlich handelt es sich bei der Wechselwirkung von Koffein und Alkohol um eine eher schwache Interaktion, die lediglich bei einigen Tierstudien eine aussagekräftige Kausalität zeigt. (FREDHOLM B.B. et al., 1999)

Eine sehr aktuelle und zunehmend verbreitete Problematik stellt der Konsum von Energydrinks in Kombination mit Alkohol vor allem bei Jugendlichen dar. (OTERI A. et al., 2007; O'BRIEN M.C. et al., 2008)

Etwa 24 % einer Gruppe von 4.271 Probanden (rund 60 % männlich und 40 % weiblich) mit einem Alter von durchschnittlich 20, 4 Jahren gaben zu, in den letzten 30 Tagen derartige

Getränke konsumiert zu haben. Männliche, weiße Mitglieder von Studentenvereinigungen oder ähnlichen Gemeinschaften innerhalb dieser Untersuchungsgruppe zeigten eine höhere Tendenz für den Konsum von Alkohol zusammen mit Energydrinks. (O`BRIEN M.C. et al., 2008)

In einer weiteren Befragung zu diesem Thema stellte man fest, dass von über 1000 interviewten Studenten durchschnittlich 29,55 % regelmäßig Energydrinks konsumierten und dass diese – im Vergleich zu den Nicht-Konsumenten – im Normalfall extremere Drinkmuster bezogen auf Alkohol aufwiesen. Außerdem zeigten sie eine viel größere Wahrscheinlichkeit auch andere Drogen zu konsumieren. (ARRIA et al., 2008)

Die große Gefahr dieser Getränke-Kombination ist das in den Energydrinks enthaltene Koffein, das sich zusammen mit Alkohol negativ auf Reaktionszeiten auswirken kann. Ethanol allein steigert die Serumkonzentration von Koffein. (BÜTZER P., 2009)

FERREIRA und Kollegen wiesen in ihrer Untersuchung einer derartigen Getränkemischung darauf hin, dass die Einnahme von RedBull zusammen mit Vodka die Selbstwahrnehmung der Studienteilnehmer bei der Kraftkoordinierung stärker einschränkte, als bei alleinigem Vodka - Konsum. Dennoch zeigte sich keine signifikante Verminderung der objektiven Maßzahlen einer alkoholinduzierten Hemmung der Koordination, der Reaktionszeit oder der Alkoholkonzentration in der Atemluft. (FERREIRA S.E. et al., 2006)

Aus diesem Grund fühlen „geübte“ Energydrink-Alkohol-Konsumenten wahrscheinlich keine Symptome einer Alkoholintoxikation, was wiederum die Möglichkeit alkoholbedingter Unfälle und Verletzungen erhöht. (REISSIG C.J. et al., 2009)

Tatsächlich ist auffällig, dass jene Verbraucher im Vergleich zu Alkoholkonsum allein, eine höhere Prävalenz für Folgen zeigen, die mit Alkohol in Verbindung stehen. Dazu zählen sexueller Missbrauch, betrunkenes Autofahren oder das Risiko verletzt zu werden. Zusätzlich verbindet man mit der Aufnahme von Alkohol zusammen mit Energydrinks häufigere und regelmäßige Zustände völliger Betrunkenheit. (O`BRIEN M.C. et al., 2008)

7.2. Koffein und Nikotin

Die Aufnahme von Koffein resultiert zusammen mit häufigem Zigarettenkonsum in einer Verstärkung der ursprünglichen Nikotinwirkungen. (GASIOR M. et al., 2002; JONES H.E. und GRIFFITHS R.R., 2003)

In epidemiologischen Untersuchungen wurde festgestellt, dass Raucher mehr Koffein konsumieren, als vergleichsweise Nichtraucher, wobei die pharmakologische Wirkung der Substanz im Kaffee zumindest teilweise dafür verantwortlich ist. (COOK D.G. et al., 1996; SWANSON J.A. et al., 1996)

Weitere Gründe für eine vermehrte Aufnahme von Koffein unter Rauchern liegen im beschleunigten Koffeinmetabolismus, der in dieser Personengruppe auffällig ist. (PARSONS W.D. und NEIMS A.H., 1978)

Schwangere Frauen beispielsweise, die die Kriterien für eine Koffeinabhängigkeit erfüllen, zeigen eine neunmal höhere Wahrscheinlichkeit täglich zu rauchen, als jene, die diese Merkmale nicht aufweisen. (SVIKIS D.S. et al., 2005)

Die positive Korrelation zwischen Kaffeekonsum und Rauchverhalten könnte mittels individueller Faktoren erklärt werden, etwa Prädispositionen für die Einnahme von Stimulantien. Vermutlich spiegelt der Zusammenhang eine spezielle Interaktion zwischen den beiden Substanzen wider. (HEISHMAN S.J. und HENNINGFIELD J.E., 1999)

Die Rauchrate ist während jener Tageszeiten, in denen koffeinhaltige Getränke verstärkt konsumiert werden, höher als in anderen Phasen des Tages. (LANE J.D., 1996)

Allerdings wurde festgestellt, dass nur ein minimaler Anteil der insgesamt gerauchten Zigaretten mit der Koffeinaufnahme assoziiert war, und dass nur die Hälfte des Koffeinkonsums mit gleichzeitigem Konsum einer Zigarette stattfand. Die beobachteten Grenzen dieses Zusammenhangs werfen Zweifel über die mögliche klinische Wichtigkeit auf, dass anregende Effekte in Verbindung mit sensorischen und motorischen Auswirkungen des Kaffeekonsums zum Verständnis des Rauchverhaltens haben könnten. (LANE J.D., 1996)

Koffein (aus Kaffee) und Nikotin (im Zigarettenrauch) wirken bei Menschen und in Tierversuchen außerdem des Öfteren schmerzstillend.

Man überprüfte die Effekte der beiden Substanzen zusammen auf die Schmerzempfindung in einer Gruppe mäßig nikotinabhängiger, Kaffee - trinkender Raucher. Das Rauchen erhöhte die Reizschwelle und die Toleranz für Schmerzen sowohl bei Männern als auch bei Frauen.

Zusätzlicher Kaffeekonsum verdoppelte diese Erhöhung der Schmerztoleranz, die anfänglich durch das Rauchen induziert worden war. Diese Wirkung konnte allerdings nicht mit einer kumulativen Steigerung des Blutdrucks erklärt werden. Demnach wird angenommen, dass Koffein den analgetischen Effekt von Nikotin verstärkt. (NASTASE A. et al., 2007)

Egal ob Koffein nun als Eintritt zu einer anderen Drogenabhängigkeit aufzufassen ist (PALLANTI S. et al., 2006), es ist noch weitere Forschung in diesem Bereich notwendig.

8. SCHLUSSBETRACHTUNG

Die wissenschaftliche Literatur zum Thema Koffein und seiner Wirkung auf sportliche Leistung ist umfangreich und überdies größtenteils aktuell, aber leider häufig widersprüchlich. Zudem ist die Wirkungskraft im Sport nicht klar einzugrenzen und vor allem von Trainingsgrad, individuellen Reaktionen der Athleten sowie von Intensität, Dauer und Art der Betätigung abhängig. Aus diesem Grund ist eine eindeutige Aussage über die eventuell günstigen, ergogenen Effekte schwierig zu treffen.

Die grundsätzlich anregenden Wirkungen von Koffein sind auf die Stimulierung des Herz-Kreislauf-Systems und unter anderem auf die vermehrte Ausschüttung von Katecholaminen zurückzuführen. Außerdem liefern Untersuchungen Grund zu der Annahme, dass Kaffeekonsum einen positiven und zugleich protektiven Einfluss auf die Entstehung von Herzerkrankungen und Bluthochdruck hat.

Die meisten positiven Wirkungen, wie beschleunigter Fettabbau, Glykogeneinsparung und damit verzögerte Ermüdung sowie eine länger mögliche Belastungsdauer, wurden im Bereich des Ausdauersports und bei Schnelligkeitssportarten bestätigt. In diesem Fall beläuft sich die als effektiv erkannte Koffeinmenge auf moderate 3 – 6 mg / kg KG, die vorwiegend eine Stunde vor Belastungsbeginn eingenommen werden sollte. Es wurde kein weiterer Nutzen mit höheren Dosierungen (> 9 mg / kg KG) festgestellt.

Für optimale Effekte ist eine Darreichung in Form anhydrierter Koffeinkapseln oder Tabletten empfehlenswerter als der Konsum koffeinhaltigen Kaffees.

Bezüglich des Einflusses von Koffein auf Kraftsportarten ist sich die wissenschaftliche Literatur uneinig und es ist nicht klar, ob die Widersprüche der Resultate auf unterschiedliche Trainingsprotokolle, Fitnessstufen oder Gewöhnungseffekte der Probanden zurückzuführen sind. Dennoch wird grundsätzlich angenommen, dass trainierte Kraftsportler eine leichte Leistungssteigerung durch Kaffeekonsum erlangen können. Weitere Forschung im Bereich der anaeroben Belastungen ist aber definitiv notwendig.

Positive Erkenntnisse liefert die Literatur auch im Teamsport und anderen hochintensiven Sportarten mit kurzer und periodischer Belastung. Eine moderate Koffeinsupplementierung von 4 bis 6 mg / kg KG kann sich insbesondere für Sportler mit hohem Trainingsniveau vorteilhaft

auswirken. Dagegen verschleiert vermutlich die Variabilität der Leistungen bei Untrainierten die positiven Effekte von Koffein.

Eine kombinierte Einnahme von Koffein und Kohlenhydraten (etwa 5 g Kohlenhydrat und 15 mg Koffein pro 100 ml) resultiert oftmals in einer signifikanten Verbesserung von Ausdauerleistungen und in einer Erhöhung der exogenen Kohlenhydratverbrennung – vor allem bei Radfahrern im Zeitfahren.

Trotzdem sind der Einfluss dieser Kombination auf die Leistungen im Ausdauersport sowie die physiologischen Hintergründe noch nicht gänzlich geklärt und weitere wissenschaftliche Untersuchungen notwendig.

Jüngste Erkenntnisse demonstrieren positive Effekte von Koffein (etwa 4 g Kohlenhydrat / kg KG plus 8 mg Koffein / kg KG) auf die Glykogen – Resynthese während der Erholungsphase nach einer Belastung. Somit ist anzunehmen, dass Koffein in den Regenerierungsprozessen unterstützend wirkt und diese beschleunigt.

Während anspruchsvoller Zeitabschnitte, in denen Schlafentzug mit Stresssituationen und erhöhter Konzentrationsforderung einhergeht – zum Beispiel in Militäreinheiten - stellt Koffein in moderaten Dosen (etwa 200 mg pro Tag bzw. 5 mg Koffein / kg KG) ebenfalls ein wirksames Hilfsmittel dar. Es kann die kognitiven Parameter, wie Konzentration und Wachsamkeit, verbessern und so das Erreichen der geforderten Ziele vereinfachen.

Forschungsergebnisse, die diesen speziellen Nutzen von Koffein in kürzeren Phasen hochintensiver Belastung und in Bezug auf das Wahrnehmungsvermögen beschreiben sind jedoch widersprüchlich. Eine Erläuterung wird diesbezüglich angestrebt, wobei insbesondere der Unterschied zwischen Trainierten und Nicht-Trainierten abgeklärt werden soll.

Die kognitive Performance kann zudem in Verbindung mit Ausdauersportarten und eventuell auch mit anaeroben Belastungen nach Verabreichung von Koffein verbessert werden.

Auffällig in der vorhandenen Literatur ist, dass kaum Studien existieren, die Koffein – supplementierende Frauen betreffen. Die wenigen, aktuellen Erkenntnisse lassen einen Vorteil für konditionierte, Kraftsport - trainierende Athletinnen erkennen und zeigen eine leichte Leistungsverbesserung von Hobbysportlerinnen. Die empfehlenswerten Aufnahmemengen für optimale Effektivität bei Frauen sind allerdings kontrovers und noch nicht eindeutig definiert.

Aufgrund der wissenschaftlich belegten Beweise des ergogenen Potentials von Koffein und des damit vermehrt aufgetretenen Missbrauchs zu Dopingzwecken, wurde vom IOC ein Grenzwert von 12 µg/ml Harn festgelegt. Heute scheint Koffein im Monitoring – Programm der WADA auf,

die für die Kontrolle und Überwachung der Substanzanwendung in sportlichen Wettbewerben verantwortlich ist.

Kontraindikationen für die Verwendung von Koffein zu sportlichen Zwecken stützen sich sehr häufig auf die altbewährte Theorie, dass Koffein und koffeinhaltige Getränke die Diurese fördern und somit entwässernd wirken. Studien zeigten allerdings, dass Koffeinkonsum keine Veränderungen der Schweißproduktion, des Wasserverlustes oder eine negative Flüssigkeitsbilanz zur Folge hat, was die Leistung negativ beeinflussen würde. Dies gilt vor allem in den zu leistungssteigernden Effekten verabreichten Mengen. Auch die alltäglich aufgenommenen Mengen an Koffein führen zu keinem verstärkten Flüssigkeitsentzug oder einer bedenklichen Flüssigkeitsimbalance.

Dennoch sind Kaffee und koffeinhaltige Getränke keinesfalls zu Rehydrierungszwecken nach Belastungsphasen geeignet, unter anderem, da sie zu wenige Mineralstoffe enthalten.

Die beste Methode den sportbedingten Flüssigkeitsverlust wieder auszugleichen liegt in der Aufnahme von Mineralwässern, iso- oder hypotoner Getränke. Die umfangreich angebotenen Sportlergetränke sind zusätzlich mit Kohlenhydraten und Elektrolyten angereichert und sollen die Leistung verbessern. Dieser anregende Effekt lässt sich jedoch gänzlich auf die Substanz Koffein zurückführen.

Indessen wirken Energydrinks als schnell verfügbare Energielieferanten, indem sie sehr viel Kohlenhydrate und aufputschende Zusatzstoffe wie Koffein und Vitaminmischungen enthalten. Sie sind kein adäquater Ersatz für die im Training verbrauchte Energie und deshalb nicht für sportliche Zwecke geeignet.

Die größte Gefährdung bei der Anwendung von Koffein als ergogenes Hilfsmittel liegt in der unzureichenden Kenntnis über die richtige Handhabung und die potentiellen Nebenwirkungen. Zudem zählen die suchterzeugenden Eigenschaften von Koffein und damit die häufig auftretenden Entzugserscheinungen zu den Gefahrenquellen. Grundsätzlich gilt aber, dass sogar eine chronische Aufnahme, die Gesundheit von Konsumenten bei angemessener Dosierung nicht gefährdet.

Zusammenfassend ist anzumerken, dass eine moderate Koffeindosis einen positiven Einfluss auf sportliche Leistungen – insbesondere im Ausdauersport - hat. Dennoch ist zukünftige Forschung in diesem Bereich notwendig, damit eine derartige Koffeinanwendung lohnend und vor allem nicht gesundheitsschädlich ist.

Für einen gesunden Athleten gilt grundsätzlich, dass eine bedarfsgerechte, abwechslungsreiche und vor allem gesunde Ernährung die Verwendung von Koffein als ergogenes Hilfsmittel in den Hintergrund drängt.

Die leichten Verbesserungen, die durch Koffein erreicht werden, sind natürlich vor allem in Wettkampfsituationen vorteilhaft, sollten aber dennoch nicht überbewertet werden. Immerhin hängt der Erfolg im Spitzensport von vielen Faktoren ab, die zum Wettbewerbszeitpunkt perfekt aufeinander abgestimmt sein müssen.

9. ZUSAMMENFASSUNG

Koffein ist die am häufigsten genutzte pharmakologisch aktive Substanz weltweit und wird in Form allseits beliebter Getränke und Lebensmittel aufgenommen.

Die vorliegende Arbeit beschreibt die natürlichen Koffeinquellen und ihre Anwendungsgebiete bevor die allgemeinen Empfehlungen zu angemessener Ernährung im Sport aufgezeigt werden.

Es werden die Wirkungsmechanismen von Koffein und der Einfluss der Verabreichung auf die Leistungen von Athleten in verschiedenen Sportarten erörtert. Es wurden sowohl Untersuchungen im Ausdauer- wie auch im Kraftsport diskutiert und der Zusammenhang der Koffeinverabreichung mit Leistungsparametern verglichen. Dazu zählen etwa Laufzeiten, Puls- und Herzfrequenzen, sowie Zeitspannen bis zur Erschöpfung, kognitive Messwerte und Stoffwechselmarker.

Die Verwendung von Koffein im Sport basiert hauptsächlich auf seiner stimulierenden Eigenschaft, der Einwirkung auf den Fettstoffwechsel sowie auf verzögerten Ermüdungserscheinungen. In moderater Dosierung von etwa 3 bis 9 mg / kg KG helfen Koffeinpräparate vor allem Ausdauersportlern und Athleten in Schnelligkeitssportarten ihre Leistungen zu verbessern.

Weitere positive Ergebnisse wurden im Bereich der kognitiven Leistungen gefunden, was Grund zu der Annahme liefert, dass dadurch besonders für anspruchsvolle und taktische Sportarten ein Vorteil besteht.

Je nach Anforderung der Sportart ist der Beweggrund für eine Supplementierung unterschiedlich. Ausdauersportler bevorzugen eine verbesserte Vo_{2max} und im Falle von intensiveren, periodischen Belastungen eine rasche Energiebereitstellung, wohingegen im Kraftsport kürzere Regenerierungsphasen und schnelles Muskelwachstum angestrebt wird.

Grundsätzlich ist Vorsicht bei übermäßiger Einnahme von Koffein – sei es in Form von Präparaten, Sportlergetränken oder als Kaffeegetränk – geboten, da Nebenwirkungen und eventuell Abhängigkeitssymptome auftreten können.

Koffein als ergogenes Hilfsmittel ist für gesunde, ambitionierte Athleten, die sich bedarfsgerecht ernähren, nicht zwingend erforderlich. Eine Verabreichung kann jedoch, bei richtigem Training, einem passenden Ernährungsplan und in Zusammenarbeit mit einem qualifizierten Betreuer, Vorteile für sportliche Leistungen bringen.

10. SUMMARY

Caffeine enjoys a worldwide popularity as the most consumed pharmacological active substance and it is absorbed in the form of universally used food and beverages.

The present study describes the natural sources of caffeine, general recommendations to adequate nutrition in sports and the application of caffeine to the use in sports.

The main part deals with the key mechanisms of action of caffeine and the influence of its intake on athletes` performance. I discussed studies concerning both endurance and strength sports and compared the results with performance parameters. These include for example running times, pulse and heart rates, time to exhaustion, cognitive measurements and metabolic markers. Generally, the use of caffeine in sport is mainly based on its stimulating properties, on its effect on lipid metabolism and on its ability to delay fatigue. Moderate doses of caffeine (3 – 9 mg / kg BW) may especially help to improve the performance of endurance athletes and athletes in speed sports.

Other positive results were found concerning cognitive performance. It provides reason to believe that caffeine affords an advantage for performance, particularly in challenging and tactical sports like soccer or hockey.

Motives for supplementation vary depending on the requirements of the practiced sport. Endurance athletes prefer an improved maximum oxygen uptake and in case of more intensive, periodic loads a quick energy supply, whereas athletes in strength sports need shorter regeneration time and rapid muscle growth.

Basically one should be careful when ingesting caffeine excessively - whether in the form of supplements, sports drinks or coffee - as side effects and eventually addiction symptoms may occur.

For healthy, ambitious athletes who eat as needed, ergogenic aids - like caffeine, are not mandatory for success in sports. However, with proper training, an elaborated diet plan and in collaboration with a qualified tutor, caffeine may influence ones athletic performance positively.

11. LITERATURVERZEICHNIS

ADAN A., PRAT G., FABBRI M. Und SÀNCHEZ-TURET M. (2008): Early effects of caffeinated and decaffeinated coffee on subjective state and gender differences, *Progress in Neuro-Psychopharmacology and Biological Psychiatry* 32(7): 1698 - 1703

AGES (2010): Verbraucherinformation zu Energydrinks, erstellt am 2.6. 2010 <http://www.ages.at/ages/ernaehrungssicherheit/fluessige-lebensmittel/energie-getraenke/> (Stand: 8.7. 2010)

AHRENS J.N., CRIXELL S.H., LLOYD L.K. und WALKER J.L. (2007a): The physiological effects of caffeine in women during treadmill walking, *Journal of Strength and Conditioning Research* 21(1): 164 - 168

AHRENS J.N., LLOYD L.K., CRIXELL S.H. und WALKER J.L. (2007b): The effects of caffeine in women during aerobic-dance bench stepping, *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 17(1): 27 - 34

ALFORD C., COX H. und WESCOTT R. (2001): The effects of a red bull energy drink on human performance and mood, *Amino Acids* 21(2): 139 - 150

ALTIMARI L.R., DeMORAES A.C., TIRAPÉGUI J. Und MOREAU R.L.D.M. (2006): Caffeine and performance in anaerobic exercise, *Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas* 42(1): 17 - 27

ANDERSEN T. und FOGH J. (2001): Weight loss and delayed gastric emptying following a South American herbal preparation in overweight patients, *Journal of Human Nutrition and Dietetics* 14(3): 243 - 250

ANDERSON M.E., BRUCE C.R., FRASER S.F., STEPTO N.K., KLEIN R., HOPKINS W.G. und HAWLEY J.A. (2000): Improved 2000-meter rowing performance in competitive oarswomen after caffeine ingestion, *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 10(4): 464 - 475

ANDREWS K., SCHWEITZER A., ZHAO C. HOLDEN J.M., ROSELAND J.M., BRANDT M., DWYER J.T. und DOUGLAS L. (2007): The caffeine contents of dietary supplements commonly purchased in the US: analysis of 53 products with caffeine-containing ingredients, *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. 389(1): 231 – 239

ANGELO P.C.S., NUNES-SILVA C.G., BRIGIDO M.M., AZEVEDO J.S.N., ASSUNÇÃO E.N., SOUSA A.R.B., PATRICIO F.J.B. und ASTOLFI-FILHO S. (2008): Guarana (*Paullinia cupana* var. *sorbilis*), an anciently consumed stimulant from the Amazon rain forest: the seeded-fruit transcriptome, *Plant Cell Reports* 27(1): 117 – 124

ARANDA M. und MORLOCK G. (2006): Simultaneous determination of riboflavin, pyridoxine, nicotinamide, caffeine and taurine in energy drinks by planar chromatography-multiple detection with confirmation by electrospray ionization mass spectrometry, *Journal of Chromatography A* 1131(1-2): 253 - 260

ARMSTRONG L.E. (2002): Caffeine, body fluid-electrolyte balance, and exercise performance, *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 12(2): 189 - 206

ARMSTRONG L.E., CASA D.J., MARESH C.M. und GANIO M.S. (2007): Caffeine, Fluid-Electrolyte Balance, Temperature Regulation, and Exercise-Heat Tolerance, *Exercise and Sport Sciences Reviews* 35(3): 135 - 140

ARRIA A.M., CALDEIRA K.M., KASPERSKI S.J., O-GRADY K.E., VINCENT K.B., GRIFFITHS R.R. und WISH E.D. (2008): Increased alcohol consumption, nonmedical prescription drug use, and illicit drug use are associated with energy drink consumption among college students, *Journal of Addiction Medicine* 4(2): 74 - 80

ASTORINO T.A., ROHMANN R.L. und FIRTH K. (2008): Effect of caffeine ingestion on one-repetition maximum muscular strength, *European Journal of Applied Physiology* 102(2): 127 - 132

ATTWOOD A., TERRY P. und HIGGS S. (2010): Conditioned effects of caffeine on performance in humans, *Physiology & Behavior* 99(3): 286 - 293

AVOIS J., ROBINSON N., SAUDAN C., BAUME N., MANGIN P. und SAUGY M. (2006): Central nervous system stimulants and sport practice, *British Journal of Sports Medicine* 40(1): 16 - 20

BABU K., CHURCH R.J. und LEWANDER W. (2008): Energy Drinks: The new eye-opener for adolescents, *Clinical Podiatric Emergency Medicine* 9(1): 35 - 42

BARGER-LUX M.J., HEANEY R.P., LANSPA S.J., HEALY J.C. und DeLUCA H.F. (1995): An investigation of sources of variation in calcium absorption efficiency, *Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism* 80(2): 406 - 411

BARON D.K. (1999): *Optimale Ernährung des Sportlers*, 2. Auflage, S.Hirzel Verlag, Stuttgart

BATTRAM D.S., SHEARER J., ROBINSON D. und GRAHAM T.E. (2004): Caffeine ingestion does not impede the resynthesis of proglycogen and macroglycogen after prolonged exercise and carbohydrate supplementation in humans, *Journal of Applied Physiology* 96(3): 943 - 950

BAUM M. und WEISS M. (2001): The influence of a taurine containing drink on cardiac parameters before and after exercise measured by echocardiography, *Amino Acids* 20(1): 75 - 82

BAYARD V., CHAMORRO F., MOTTA J. und HOLLENBERG N.K. (2007): Does flavanol intake influence mortality from nitric oxide-dependent processes? Ischemic heart disease, stroke, diabetes mellitus, and cancer in panama, *International Journal of Medicine and Science* 4(1): 53 - 58

BECH B.H., OBEL C., HENRIKSEN T.B. und OLSEN J. (2007): Effect of reducing caffeine intake on birth weight and length of gestation: randomised controlled trial, *British Medical Journal* 334(7590): 409

BECK T.W., HOUSH T.J., SCHMIDT R.J., JOHNSON G.O., HOUSH D.J., COBURN J.W. und MALEK M.H. (2006): The acute effects of a caffeine-containing supplement on strength, muscular endurance, and anaerobic capabilities, *Journal of Strength and Conditioning Research* 20(3): 506 - 510

BELLARDIO F., MARTELLI A. Und VALLE M.G. (1985): HPLC determination of caffeine and theophylline in *Paullinia cupana* Kunth (guarana) and *Cola* spp., *Samples, European Food Research and Technology* 180(5): 398 – 401

BELL D.G. und McLELLAN T.M. (2002): Exercise endurance 1, 3, and 6 h after caffeine ingestion in caffeine users and nonusers, *Journal of Applied Physiology* 93(4): 1227 – 1234

BELL D.G. und McLELLAN T.M. (2003): Effect of repeated caffeine ingestion on repeated exhaustive exercise endurance, *Medicine and Science in Sports and Exercise* 35(8): 1348 – 1354

BERG A. und KÖNIG D. (2008): *Optimale Ernährung des Sportlers*, 4.Auflage, S.Hirzel Verlag Stuttgart

BERNSTEIN G.A., CARROLL M.E., THURAS P.D., COSGROVE K.P. und ROTH M.E. (2002): Caffeine dependence in teenagers, *Drug and Alcohol Dependence* 66(1): 1 - 6

BfR (Bundesinstitut für Risikobewertung) (2008): Neue Humandaten zur Bewertung von Energydrinks
http://www.bfr.bund.de/cm/208/neue_humandaten_zur_bewertung_von_energydrinks.pdf (Stand: 8.7. 2010)

BIAGGIONI L., PAUL S., PUCKETT A. und ARZUBIAGA C. (1991): Caffeine and theophylline as adenosine receptor antagonists in humans, *Journal of Pharmacology and Experimental Therapeutics* 258(2): 588 - 593

BÖHM V. (1999): Antioxidative Aktivität von Tee: Einfluss der Extraktionszeit und der Extraktionsvorgänge, <http://www.teeverband.de/texte/download/wit2-99-2.pdf> (Stand: 19.9.2010)

BONCI L., M.P.H., R.D. (2002): "Energy" drinks: help, harm or hype?, *Sports Science Exchange* 84, 15(1)

BOYLAN S.M., CADE J.E., KIRK S.F.L., GREENWOOD D.C., WHITE K.I.M., SHIRES S., SIMPSON N.A.B. und HAY A.W.M. (2008): Assessing caffeine exposure in pregnant women, *British Journal of Nutrition* 100(4): 875 - 882

BRAGANZA S.F. und LARKIN M. (2007): Riding high on energy drinks, *Contemporary Pediatrics* 24 (5): 61, 62, 65, 68, 69, 73

BRAUN S. (1998): Der alltägliche Kick von Alkohol und Koffein, Birkhäuser Verlag, 1.Auflag, Basel

BRIDGE C. und JONES M. (2006): The effect of caffeine ingestion on 8 km run performance in a field setting, *Journal of Sports Science* 24(4): 433 - 439

BRUCE C.R., ANDERSON M.E., FRASER S.F., STEPTO N.K., KLEIN R., HOPKINS W.G. und HAWLEY J.A. (2000): Enhancement of 2000-m rowing performance after caffeine ingestion, *Medicine and Science in Sports and Exercise* 32(11): 1958 - 1963

BURDOCK G.A., CARABIN I.G. und CRINCOLI C.M. (2008): Safety assessment of kola nut extract as a food ingredient, *Food and Chemical Toxicology* 47(8): 1725 - 1732

BURKE L.M. (2008): Caffeine and sports performance, *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism* 33(6): 1319 - 1334

BURN ENERGY SHOT, Verpackung, Stand: 4.3.2010

BÜTZER P. (2009): Coffein - Dynamik, Pädagogische Hochschule St.Gallen
<http://www.buetzer.info/fileadmin/pb/pdf-Dateien/COFFEIN.pdf> (Stand: 8.5. 2010)

CARR A., DAWSON B., SCHNEIKER K., GOODMAN C. und LAY B. (2008): Effect of caffeine on repeated sprint running performance, *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 48(4): 472 - 478

CARVALHO M., JERÓNIMO C., VALENTÃO P., ANDRADE P.B. und SILVVA B.M. (2010): Green tea: A promising anticancer agent for renal cell carcinoma, *Food Chemistry* 122(1): 49 – 54

CHOI J.W. (2002): Incidence of nonresponsiveness to Epinephrine in platelets from healthy humans, *Acta Haematologica* 108(2): 106 - 108

CLAUSON K.A., SHIELDS K.M., McQUEEN C.E. und PERSAD N. (2008): Safety issues associated with commercially available energy drinks, *Journal of the American Pharmacists Association* 48(3): 55 - 67

CLIFFORD M.N. und RAMIREZ-MARTINEZ J.R. (1990): Chlorogenic acids and purine alkaloids contents of mate (*Ilex paraguariensis*) leaf and beverage, *Food Chemistry* 35(1): 13 – 21

CLIFFORD M.N. (1999): Chlorogenic acids and other cinnamates: Nature, occurrence and dietary burden. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 79(3): 362 – 372

COLLOMP K., AHMAIDI S., AUDRAN M., CHANAL J.-L. und PREFAUT C. (1991): Effects of caffeine ingestion on performance and anaerobic metabolism during the wingate test, *International Journal of Sports Medicine* 12(5): 439 - 443

COLLOMP K., AHMAIDI S., CHATARD J.C., AUDRAN M. und PREFAUT C. (1992): Benefits of caffeine ingestion on sprint performance in trained and untrained swimmers, *European Journal of Applied Physiology* 64(4): 377 - 380

COOK D.G., PEACOCK J.L., FEYERABEND C., CAREY I.M., JARVIS M.J., ANDERSON H.R. und BLAND J.M. (1996): Relation of caffeine intake and blood caffeine concentrations during pregnancy to fetal growth: prospective population based study, *British Medical Journal* 313(7069): 1358 - 1362

CROWE M.J., LEICHT A.S. und SPINKS W.L. (2006): Physiological and cognitive responses to caffeine during repeated, high-intensity exercise, *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 16(5): 528 - 544

CURETON K.J., WARREN G.L., MILLARD-STAFFORD M.L., WINGO J.E., TRILK J. und BUYCKX M. (2007): Caffeinated sports drink: ergogenic effects and possible mechanisms, *International Journal of Nutrition Exercise and Metabolism* 17(1): 35 - 55

CUTLER G.J., NETTLETON J.A., ROSS J.A., HARNACK L.J., JACOBS Jr.D.R., SCRAFFORD C.G., BARRAJ L.M. und ROBIEN K. (2008): Dietary flavonoid intake and risk of cancer in postmenopausal women: the Iowa Women's Health Study, *International Journal of Cancer* 123(3): 664 - 671

DASCOMBE B.J., KARUNARATNA M., CARTOON J., FERGIE B. und GOODMAN C. (2010): Nutritional supplementation habits and perceptions of elite athletes within a state-based sporting institute, *Journal of Science and Medicine in Sports* 13(2): 274 - 280

DAVIS J.K., GREEN M., LAURENT M., BACON N. und WHITNEY T. (2008): The effect of a nutritionally enriched coffee drink on repeated flying 40yd sprint performance, *Journal of International Society of Sports Nutrition* 5(1): P1

DAVIS J.K. und GREEN J.M. (2009): Caffeine and anaerobic performance: ergogenic value and mechanisms of action, *Sports Medicine* 39(10): 813 - 832

DEMURA S., YAMADA T. und TERASAWA N. (2007): Effect of coffee ingestion on physiological responses and ratings of perceived exertion during submaximal endurance exercise, *Perceptual Motor Skills* 105(3/2): 1109 - 1116

DePAULIS T., SCHMIDT D.E., BRUCHEY A.K., KIRBY M.T., McDONALD M.P., COMMERS P., LOVINGER D.M. und MARTIN P.R. (2002): Dicinnamoylquinides in roasted coffee inhibit the human adenosine transporter, *European Journal of Pharmacology* 442(3): 215 - 223

DeLCOSO J., ESTEVEZ E. und MORA-RODRIGUEZ R. (2009): Caffeine during exercise in the heat: Thermoregulation and fluid-electrolyte balance, *Medicine and Science in Sports and Exercise* 41(1): 164 - 173

DELIGIANNIS A., BJÖRNSTAD H., CARRE F., HEIDBÜCHEL H., KOUIDI E., PANHUYZEN-GOEDKOOP N.M., PIGOZZI F., VANHEES L. (2006): ESC Study Group of Sports Cardiology Position Paper on adverse cardiovascular effects of doping in athletes, *European Journal of Cardiovascular Prevention and Rehabilitation* 13(5): 687 - 694

DESBROW B., BARRETT C.M., MINAHAN C.L., GRAND G.D. und LEVERITT M.D. (2009): Caffeine, cycling performance, and exogenous CHO oxidation: A dose-response study, *Medicine and Science in Sports and Exercise* 41(9): 1744 - 1751

DESBROW B. und LEVERITT M. (2007): Well-trained endurance athletes' knowledge, insight, and experience of caffeine use, *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 17(4): 328 - 339

DEWS P. (1984): Caffeine, Springer Verlag, Berlin Heidelberg

DGE (2000): Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr, Umschau Buchverlag, Frankfurt am Main

DGE (2001): Stellungnahme des DGE-Arbeitskreises "Sport und Ernährung": Taurin in der Sporternährung, *Forschung, Klinik und Praxis* (08)
<http://www.dge.de/modules.php?name=News&file=print&sid=294> (Stand: 7.7. 2010)

DGE (2005): <http://www.dge.de/modules.php?name=News&file=article&sid=463> (Stand: 27.6. 2010)

DILLINGER T.L., BARRIGA P., ESCÀREGA S., JIMENEZ M, LOWE D.S. und GRIVETTI L.E. (2000): Food of the Gods: cure for humanity? A cultural history of the medicinal and ritual use of chocolate, *Journal of Nutrition* 130(8): 2057 – 2072

DONNERSTEIN R., ZHU D., SAMSON R., BENDER A.M. und GOLDBERG S.J. (1998): Acute effects of caffeine ingestion on signal-averaged electrocardiograms, *American Heart Journal* 136(4): 643 - 646

<http://www.dopingnews.de/coffein.html> (Stand: 19.7. 2010)

http://www.dshs-koeln.de/momentum/DB_biochemie/koffein_vwb.htm#nebenw (Stand: 7.8. 2010)

DULGOSZ L. und BRACKEN M.B. (1992): Reproductive effects of caffeine: a review and theoretical analysis, *Epidemiologic Reviews* 14: 83 - 100

EBERMANN R. und ELMADFA I. (2008): Lehrbuch Lebensmittelchemie und Ernährung, Springer Verlag Wien

EICHLER O. (1975): Kaffee und Coffein, Springer Verlag 2. Auflage, Heidelberg

EINÖTHER S.J.L., MARTENS V.E.G., RYCROFT J.A. und DeBRUIN E.A. (2010): T-Theanine and caffeine improve task switching but not intersensory attention or subjective alertness, *Appetite* 54(2): 406 - 409

ELLENDER L. und LINDER M.M. (2005): Sports pharmacology and ergogenic aids, Journal of Primary Care 32(1): 277 - 292

ELMADFA I., FREISLING H., NOWAK V., HOFSTÄDTER D., HASENEGGER V., FERGE M., FRÖHLER M., FRITZ K., MEYER A.-L., PUTZ P., RUST P., GROSSGUT R., MISCHKEK D., KIEFER I., SCHÄTZER M., SPANBLÖCHEL J., STURTZEL B., WAGNER K.-H., ZILBERSZAC A., VOJIR F. und PLSEK K. (2008): Österreichischer Ernährungsbericht 2008, 1. Auflage, März 2009, Institut für Ernährungswissenschaften, S. 165

ERLICK E.W. (2007) Red Bull Energy Drink: "Special Ingredients" or a Caffeine and Sugar Effect?, Project Number J1510, California State Science Fair
<http://www.usc.edu/CSSF/History/2007/Projects/J1510.pdf> (Stand: 6.7.2010)

ESSIG D., COSTILL D.L. und VanHANDEL P.J. (1980): Effects of caffeine ingestion on utilisation of muscle glycogen and lipid during leg ergometer cycling, International Journal of Sports Medicine 1(2): 86 - 90

ESTLER C.J. (2000): Pharmakologie und Toxikologie. Lehrbuch für Studierende der Medizin, Pharmazie und Naturwissenschaften, Schattauer F.K. Verlag, 5. Auflage, Stuttgart 2000

EVANS W.E. (1996): Cola in: Trease and Evans Pharmacognosy, 14. Auflage, W.B. Saunders, New York, S. 43, 403

FALK B., BURSTEIN R., ROSENBLUM J., SHAPIRO Y., SYLBER-KATZ E. und BASHAN N. (1990): Effects of caffeine ingestion on body fluid balance and thermoregulation during exercise, Canadian Journal of Physiological Pharmacology 68(7): 889 - 892

FERNANDEZ M.M.F. und HOSEY R.G. (2009): Performance-enhancing drugs snare nonathletes, too, Journal of Family Practice 58(1): 16 - 23

FERREIRA S.E., DeMELLO M.T., POMPEIA S. und DeSOUZA-FORMIGONI M.L.O. (2006): Effects of Energy Drink Ingestion on Alcohol Intoxication, Alcoholism Clinical and Experimental Research 30(4): 598 - 605

FIALA K.A., CASA D.J. und ROTI M.W. (2004): Rehydration with a caffeinated beverage during the nonexercise periods of 3 consecutive days of 2-a-day practices, International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism 14(4): 419 - 429

FISONE G., BORGKVIST A. und USIELLO A. (2004): Caffeine as a psychomotor stimulant: mechanism of action, Cellular and Molecular Life Science 61(7-8): 857 - 872

Foods Standards Agency (2004): <http://www.food.gov.uk/multimedia/pdfs/fsis5304.pdf>, Stand: 2.8.2010

FORBES S.C., CANDOW D.G., LITTLE J.P. MAGNUS C. und CHILIBECK P.D. (2007): Effect of Red Bull energy drink on repeated Wingate cycle performance and bench-press muscle endurance, International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism 17(5):433 - 444

FORTH W., HENSCHLER D. und RUMMEL W. (2001): Allgemeine und spezielle Pharmakologie und Toxikologie, Urban & Fischer Verlag, 8. Auflage, München 2001

FOSKETT A., ALI A. Und GANT N. (2009): Caffeine enhances cognitive function and skill performance during stimulated soccer activity, *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 19 (4): 410 - 423

FRANK G., POLMER U. und WARMUTH S. (2003): Lexikon der Fitness Irrtümer, 1.Auflage, Eichborn Verlag Frankfurt am Main, S. 98 ff

FREDHOLM B.B., BÄTTIG K., HOLMÈN J., NEHLIG A. und ZVARTAU E.E. (1999): Actions of caffeine in the brain with special reference to factors that contribute to its widespread use, *Pharmacological Reviews* 51(1): 83 - 133

FRIEDRICH W. (2006): Optimale Sporternährung – Grundlagen für Leistung und Fitness im Sport, 1.Auflage, Spitta Verlag GmbH & Co KG

GANIO M.S., KLAU J.F., CASA D.J., ARMSTRONG L.E. und MARESH C.M. (2009): Effect of caffeine on sport-specific endurance performance: a systematic review, *Journal of Strength and Conditioning Research* 23(1): 315 - 324

GANMAA D., WILLETT W.C., LI T.Y., FESKANICH D., VanDAM R.M., LOPEZ-GARCIA E. HUNTER D.J. und HOLMES M.D. (2008): Coffee, tea, caffeine and risk of breast cancer: a 22-year follow-up, *International Journal of Cancer* 122(18): 2071 – 2076

GARDNER E.J., RUXTON C.H.S. und LEEDS A.R. (2007): Black tea – helpful or harmful? A review of the evidence, *European Journal of Clinical Nutrition* 61(1): 3 - 18

GASIOR M., JASZYNA M., MUNZAR P., WITKIN J.M. und GOLDBERG S.R. (2002): Caffeine potentiates the discriminative-stimulus effects of nicotine in rats, *Psychopharmacology* 162(4): 385 – 395

GEISS K.R., JESTER I., FALKE W., HAMM M. und WAAG K.-L. (1994): The effect of a taurine-containing drink on performance in 10 endurance-athletes, *Amino Acids* 7(1): 45 – 56

GEORGE S.E., RAMALAKSHMI K. und RAO L.J.M. (2008): A perception on health benefits of coffee, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 48(5):464-86

GLAISTER M., HOWATSON G., ABRAHAM C.S., LOCKEY R.A., GOODWIN J.E., FOLEY P. und MCINNES G. (2008): Caffeine supplementation and multiple sprint running performance, *Medicine and Science in Sports and Exercise* 40(10): 1835 - 1840

GOLDSTEIN E.R., ZIEGENFUSS T., KALMAN D., KREIDER R., CAMPBELL B., WILBORN C., TAYLOR L. und ANTONIO J. (2010): International society of sports nutrition position stand: caffeine and performance, *Journal of International Society of Sports Nutrition* 7(5)

GOLDSTEIN E., JACOBS P.L., WHITEHURST M., PENHOLLOW T. und ANTONIO J. (2010): Caffeine enhances upper body strength in resistance-trained women, *Journal of the International Society of Sports Nutrition* 7(18)

GRAHAM T.E., HIBBERT E. und SATHASIVAM P. (1998): Metabolic and exercise endurance effects of coffee and caffeine ingestion, *Journal of Applied Physiology* 85(3): 883 - 889

GRAHAM T.E. (2001): Caffeine and exercise, metabolism, endurance and performance, *American Journal of Sports Medicine* 31(11): 785 - 807

GRAHAM T.E. (2001): Caffeine, coffee and ephedrine: impact on exercise performance and metabolism, *Canadian Journal of Applied Physiology* 26(6): 103 - 109

GRAHAM T.E. und SPRIET L.L. (1995): Metabolic, catecholamine, and exercise performance responses to various doses of caffeine, *Journal of Applied Physiology* 78(3): 867 - 874

GRANDJEAN A.C., REIMERS K.J., BANNICK K.E. und HAVEN M.C. (2000): The effect of caffeinated, non-caffeinated, caloric and non-caloric beverages on hydration, *Journal of the American College of Nutrition* 19(5): 591 - 600

GREEN R.M. und STILES G.L. (1986): Chronic caffeine ingestion sensitizes the A1 adenosine receptor-adenylate cyclase system in rat cerebral cortex, *Journal of Clinical Investigation* 77(1): 222 - 227

GREENBERG J.A., CHOW G. und ZIEGELSTEIN R.C. (2008): Caffeinated coffee consumption, cardiovascular disease and heart valve disease in the Elderly (from the Framingham Study)", *American Journal of Cardiology* 102(11): 1502 - 1508

GREER F., McLEAN C. und GRAHAM T.E. (1998): Caffeine, performance, and metabolism during repeated wingate exercise tests, *Journal of Applied Physiology* 85(4): 1502 - 1508

HARLAND B. (2000): Caffeine and nutrition, *Nutrition* 16(7-8): 522 - 526

HEANY R.P. (2002): Effects of caffeine on bone and the calcium economy, *Food and Chemical Toxicology* 40(9): 1263 - 1270

HEISHMAN S.J. und HENNINGFIELD J.E. (1992): Stimulus functions of caffeine in humans: relation to dependence potential, *Neuroscience & Biobehavioral Reviews* 16(3): 273 - 287

HEISHMAN S.J. und HENNINGFIELD J.E. (1999): Caffeine and behaviour: current views and research trends, B.S. Gupta Uma Gupta Verlag, online unter:
<http://books.google.at/books?hl=de&lr=&id=RcNpltbGtdlC&oi=fnd&pg=PP15&dq=caffeine+and+behavior:+current+views+and+research+trends&ots=VK5X8SdBbX&sig=uAnqPrqINN19qc5OrCYbdZelwt0#v=onepage&q&f=false> (Stand: 28.7. 2010)

HENDERSON J.S., JOYCE R.A., HALL G.R., HURST W.J. und McGOVERN P.E. (2007): Chemical and archaeological evidence for the earliest cacao beverages, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* 104(48): 18937 - 18940

HENMAN A.R. (1982): Guarana (*Paullinia cupana* var. *sorbilis*): Ecological and social perspectives on an economic plant of the Central Amazon Basin, *Journal of Ethnopharmacology* 6(3): 311 – 338

HERZ R.S. (1999): Caffeine effects on mood and memory, *Behaviour Research and Therapy* 37(9): 869 - 879

HETTEMA J.M., COREY L.A. und KENDLER K.S. (1999): A multivariate genetic analysis of the use of tobacco, alcohol, and caffeine in a population based sample of male and female twins, *Drug and Alcohol Dependence* 57(1): 69 – 78

HIDGON J.V. und FREI B. (2006): Coffee and health: a review of recent human research, *Critical Reviews Food Science and Nutrition* 46(2): 101 - 123

HODGSON J.M., PUDDEY L.B., VanBOCKXMEER F.M. und BURKE V. (2007): Acute effects of tea on fasting and non-fasting plasma total homocysteine concentrations in human subjects, *British Journal of Nutrition* 97(5): 842–846

HOGERVORST E. et AL. (2005): Caffeine improves physical and cognitive performance during exhaustive exercise, *Aviation, Space and Environmental Medicine* 76: 39 - 45

HOGERVORST E., BANDELOW S., SCHMITT J., JENTJENS R., OLIVEIRA M., ALLGROVE J., CARTER T. und GLEESON M. (2008): Caffeine improves physical and cognitive performance during exhaustive exercise, *Medicine and Science in Sports and Exercise* 40(10): 1841 - 1851

HOLLENBERG N.K. und FISHER N.D.L. (2007): Is it the dark in dark chocolate?, *Circulation* 116(21): 2360 - 2362

HOLLENBERG N.K., FISHER N.D.L. und McCULLOUGH M.L. (2009): Flavanols, the Kuna, cocoa consumption, and nitric oxide, *Journal of the American Society of Hypertension* 3(2): 105 - 112

HOLM K., DAN A., WILBUR J., LI S. und WALKER J. (2002): A longitudinal study of bone density in midlife women, *Health Care for Women International* 23(6-7): 678 - 691

HOLT R.I.G., EROKRIKTOU-MULLIGAN I. und SÖNKSEN P.H. (2009): The history of doping and growth hormone abuse in sport, *Growth Hormone & IGF Research* 19(4): 320 - 326

HUANG Y.-W., LIU Y., DUSHENKOV S., HO C.T. und HUANG M.-T. (2009): Anti-obesity effects of caffeine and their combinations in a mouse model, *Journal of Functional Foods* 1(3): 304 - 310

HULSTON C.J. und JEUKENDRUP A.E. (2008): Substrate metabolism and exercise performance with caffeine and carbohydrate intake, *Medicine and Science in Sports and Exercise* 40(12): 2096 - 2104

ILLY A. und VIANI R. (2005): *Espresso Coffee – The Science of Quality*, Elsevier Academic Press, 2nd edition

IMAGAWA T.F., HIRANO I., UTSUKI K., HORIE M., NAKA A., MATSUMOTO K. und IMAGAWA S. (2009): Caffeine and taurine enhance endurance performance, *International Journal Sports Medicine* 30(7): 485 - 488

ISHITANI K., LIN J., MANSON J.E., BURING J.E. und ZHANG S.M. (2008): Caffeine consumption and the risk of breast cancer in a large prospective cohort of women, *Archives of Internal Medicine* 168(18): 2022 – 2031

IVY J.L., COSTILL D.L., FINK W.J. und LOWER R.W. (1979): Influence of caffeine and carbohydrate feedings on endurance performance, *Medicine and Science in Sports and Exercise* 11(1): 6 - 11

JACKMAN M., WENDLING P., FRIARS D. und GRAHAM T.E. (1996): Metabolic, catecholamine, and endurance responses to caffeine during intense exercise, *Journal of Applied Physiology* 81(4): 1658 – 1663

JENKINS N.T., TRILK J.L., SINGHAL A., O'CONNOR P.J. und CURETON K.J. (2008): Ergogenic effects of low doses of caffeine on cycling performance, *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 18(3): 328 – 342

JESALIS C.E. und BAHRKE M.S. (2002): History of doping in sport, in: BAHRKE M.S und JESALIS C.E., *Performance-enhancing substances in Sport and exercise*, 1st edition Human Kinetics Champaign Il, 1 – 20

JEUENDRUP A.E. (2004): Carbohydrate intake during exercise and performance, *Nutrition* 20(7-8): 669 - 677

JEUENDRUP A.E. (2008): Carbohydrate feeding during exercise, *European Journal of Sports Science* 8(2): 77 - 86

JONES G. (2008): Caffeine and other sympathomimetic stimulants: modes of action and effects on sports performance, *Essays Biochemie* 44: 109 - 123

JONES H.A. und LEJUEZ C.W. (2005): Personality correlates of caffeine dependence: the role of sensation seeking, impulsivity, and risk taking, *Experimental Clinical Psychopharmacology* 13(3): 259 - 266

JONES H.W. und GRIFFITHS R.R. (2003): Oral caffeine maintenance potentiates the reinforcing and stimulant subjective effects of intravenous nicotine in cigarette smokers, *Psychopharmacology* 165(3): 280 – 290

JENKINS N.T., TRILK J.L., SINGHAL A., O'CONNOR P.J., CURETON K.J. (2008): Ergogenic effects of low doses of caffeine on cycling performance, *Int. International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 18 (3): 328 - 342

JU J., LU G., LAMBERT J.D. und YANG C.S. (2007): Inhibition of carcinogenesis by tea constituents, *Seminars in Cancer Biology* 17(5): 395 – 402

JULIANO L.M. und GRIFFITHS R.R. (2004): A critical review of caffeine withdrawal: empirical validation of symptoms and signs, incidence, severity, and associated features, *Psychopharmacology* 176(1): 1 – 29

<http://www.kaffeeteeverband.at/cms/cms.php?pageName=42&faqId=6>; Stand: 27.7.2010

KAMIMORI G.H., KARYEKAR C.S., OTTERSTETTER R., COX D.S., BALKIN T.J., BELENKY G.L. und EDDINGTON N.D. (2002): The rate of absorption and relative bioavailability of caffeine administered in chewing gum versus capsules to normal healthy volunteers, *International Journal of Pharmaceutics* 234(1-2): 159 - 167

KEAST R.S.J. und RIDDELL L.J. (2006): Caffeine as a flavour additive in soft drinks, *Appetite* 49(1): 255 - 259

KENDLER K.S., MYERS J. und GARDNER C.O. (2006): Caffeine intake, toxicity and dependence and lifetime risk for psychiatric and substance use disorders: an epidemiologic and co-twin control analysis. *Psychological Medicine* 36(12): 1717 – 1725

KENDLER K.S., MYERS J. und PRESCOTT C.A. (2007): Specificity of genetic and environmental risk factors for symptoms of cannabis, cocaine, alcohol, caffeine, and nicotine dependence. *Archives of General Psychiatry* 64(11): 1313 – 1320

KEISLER B.D. und ARMSEY T.D. (2006): Caffeine as an ergogenic aid, *Current Sports Medicine Reports* 5(4): 215 - 219

KENNEDY D.O., HASKELL C.F., ROBERTSON B., REAY J., BREWSTER-MAUND C., LUEDEMANN J., MAGGINI S., RUF M., ZANGARA A. und SCHOLEY A.B. (2007): Improved cognitive performance and mental fatigue following a multi-vitamin and mineral supplement with added guaranà (*Paullinia cupana*), *Appetite* 50(2-3): 506 - 513

KERRIGAN S. und LINDSEY T. (2005): Fatal caffeine overdose: two case reports, *Forensic Science International* 153(1): 67 – 69

KHOKHAR S. und MAGNUSDOTTIR S.G.M. (2002): Total phenol, catechin, and caffeine contents of teas commonly consumed in the United Kingdom, *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50(3): 565 - 570

KIEL D.P., FELSON D.T., HANNAN M.T., ANDERSON J.J. und WILSON P.W. (1990): Caffeine and the risk of hip fracture: the Framingham Study, *American Journal of Epidemiology* 132(4): 675 - 684

KIM H. und KEENEY P.G. (1984): Epicatechin content in fermented and unfermented cocoa beans, *Journal of Food and Science* 49(4): 1090 – 1092

KING A., LLUCH A., STUBBS R.J. und BLUNDELL J.E. (1997): High dose exercise does not increase hunger or energy intake in free living males, *European Journal of Clinical Nutrition* 51(7): 478

KLEIN H., LÖTSCH B. und KETZER M. (2006): Sportgetränke – Ernährungsphysiologische Betrachtung und praktische Umsetzung, *Journal für Ernährungsmedizin* 8(3): 30 - 38

KOMES D., HORZIC D., BELSCAK A., GANIC K. und BALJAK A. (2009): Determination of caffeine content in tea and maté tea by using different methods, *Czech Journal of Food Science* 27(spec.Issue): 213 - 216

KONOPKA P. (2008): Sporternährung – Leistungsförderung durch vollwertige und bedarfsangepasste Ernährung, BLV Buchverlag GmbH München

KOVACS E.M.R., STEGEN J.H.C.H. und BROUNS F. (1998): Effect of caffeinated drinks on substrate metabolism, caffeine excretion, and performance, *Journal of Applied Physiology* 85(2): 709 - 715

KÜCER N. (2010): The relationship between daily caffeine consumption and withdrawal symptoms: a questionnaire-based study, *Turkish Journal of Medical Sciences* 40(1): 105 - 108

LAMBERT J.D. und YANG C.S. (2003): Cancer chemopreventive activity and bioavailability of tea and tea polyphenols, *Mutation Research* 523–524: 201 – 208

LANE J.D. (1996): Association of coffee drinking with cigarette smoking in the natural environment, *Experimental and Clinical Psychopharmacology* 4(4): 409 – 412

LARSSON S.C., MÄNNISTO S., VIRTANEN M.J., KONTTO J., ALBANES D. Und VIRTAMO J. (2008): Coffee and tea consumption and risk of stroke subtypes in male smokers, *Stroke* 39(6): 1681 - 1687

LARSSON S.C. (2009): Coffee and black tea consumption and risk of breast cancer by estrogen and progesterone receptor status in a Swedish cohort, *Cancer Causes Control* 20(19): 2039 - 2044

LEIKIN J.B. (2007): Substance-related disorders in adults, *Disease-a-Month* 53(6): 313 - 335

LESK V.E., HONEY T.E.M. und DeJAGER C.A. (2009): The effect of recent consumption of caffeine-containing foodstuffs on neuropsychological tests in the elderly, *Dementia and Geriatric Cognitive Disorders* 27(4): 322 - 328

LIEBERMAN H.R., THARION W.J., SHUKITT-HALE B., SPECKMAN K.L. und TULLEY R. (2002): Effects of caffeine, sleep loss, and stress on cognitive performance and mood during U.S. navy SEAL training, *Psychopharmacology* 164(3): 250 - 261

LLOYD T., ROLLINGS N., EGGLI D.F., KIESELHORST K. und CHINCHILLI V.M. (1997): Dietary caffeine intake and bone status of postmenopausal women, *American Journal of Clinical Nutrition* 65(6): 1826 - 1830

LORINO A.J., LLOYD L.K., CRIXELL S.H. und WALKER J.L. (2006): The effects of caffeine on athletic agility, *Journal of Strength and Condition Research* 20(4): 851 - 854

LOWERY L. und FORSYTHE C. E. (2006): Protein and Overtraining: Potential Applications for Free-Living Athletes, *Journal of the International Society of Sports Nutrition* 3(1): 42 - 50

LUNT M.J., RAGAB S., BIRCH A.A., SCHLEY D. und JENKINSON D.F. (2004): Comparison of caffeine-induced changes in cerebral blood flow and middle cerebral artery blood velocity shows that caffeine reduces middle cerebral artery diameter, *Physiological Measurement* 25(2): 467 – 474

MAGKOS F. und KAVOURAS S.A. (2005): Caffeine use in sports, pharmacokinetics in man, and cellular mechanisms of action, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 45(7-8): 535 - 562

MAIER H.G. (1981): Kaffee, Verlag Paul Paray, Berlin und Hamburg

MAJHENIC L., SKERGET M. und KNEZ Z. (2007): Antioxidant and antimicrobial activity of guarana seed extracts, *Food Chemistry* 104(3): 1258 - 1268

MALIK V.S., SCHULZE M.B. und HU F.B. (2006): Intake of sugar-sweetened beverages and weight gain: a systematic review, *American Journal of Clinical Nutrition* 84(2): 274 - 288

MANNINEN A.H. (2004): Protein hydrolysates in sports and exercise: A brief review, *Journal of Sports Science and Medicine* 3(2): 60 - 63

MARCZINSKI C.A. und FILLMORE M.T. (2006): Clubgoers and their trendy cocktails: Implications of mixing caffeine into alcohol on information processing and subjective reports of intoxication, *Experimental and Clinical Psychopharmacology* 14(4): 450 - 458

MARX F. (1990): Analysis of guarana seeds: II. Studies on the composition of the tannin fraction, *Journal für Lebensmitteluntersuchung und Forschung* 190(5): 429 – 431

<http://www.masccware.de/regeldge.htm> (Stand: 1.7.2010)

MASSEY L.K. und WITHING S.J. (1993): Caffeine, urinary calcium, calcium metabolism and bone, *Journal of Nutrition* 123(9): 1611 - 1614

MAUGHAN R., KING D.S. und LEA T. (2004): Dietary supplements, *Journal of Sports Sciences* 22(1): 95 - 113

MAUGHAN R.J. und GRIFFIN J. (2003): Caffeine ingestion and fluid balance: a review, *Journal of Human Nutrition & Dietetics* 16(6): 411- 420

MARIDAKIS V., O'CONNOR P.J., DUDLEY G.A. und McCULLY K.K. (2007): Caffeine attenuates delayed-onset muscle pain and force loss following eccentric exercise, *The Journal of Pain* 8(3): 237 - 243

McARDLE W.D., KATCH F.I. und KATCH V.L. (2007): Exercise physiology: In energy, nutrition, & human performance, Verlag Lippincott Williams & Wilkins

McCLARAN S. und WETTER T.J. (2007): Low doses of caffeine reduce heart rate during submaximal cycle ergometry, *International Journal of Sport Nutrition* 4(11): 1 - 9

McCUSKER R.R., GOLDBERGER B.A. und CONE E.J. (2006): Caffeine content of energy drinks, carbonated sodas, and other beverages, *Journal of Analytical Toxicology* 30(2): 112 - 114

McLELLAN T.M. und BELL D.G. (2004): The impact of prior coffee consumption on the subsequent ergogenic effect of anhydrous caffeine, *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 14(6): 698 - 708

McLELLAN T.M., KAMIMORI G.H., VOSS D.M., BELL D.G., COLE K.G. und JOHNSON D. (2005): Caffeine maintains vigilance and improves run times during night operations for special forces, *Aviation, Space and Environmental Medicine* 76(7/1): 647 - 654

McLELLAN T.M., KAMIMORI G.H., BELL D.G., SMITH I.F., JOHNSON D. und BELENKY G. (2005): Caffeine maintains vigilance and marksmanship in simulated urban operations with sleep deprivation, *Aviation, Space and Environmental Medicine* 76(1): 39 - 45

McLELLAN T.M., KAMIMORI G.H., VOSS D.M., TATE C. und SMITH S.J.R. (2007): Caffeine effects on physical and cognitive performance during sustained operations, *Aviation, Space Environmental Medicine* 78(9): 871 - 877

McNAUGHTON L.R., LOVELL R.J., SIEGLER J.C., MIDGLEY A.W., SANDSTROM M. und BENTLEY D.J. (2008): The effects of caffeine ingestion on time trial cycling performance, *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 48(3): 320 - 325

MEADOWS-OLIVER M. und RYAN-KRAUSE P. (2007): Powering up with sports and energy drinks, *Journal of Pediatric Health Care* 21(6): 413 - 416

MERCK DURA GmbH, Fachinformation Coffeinum N 0,2g,
<http://www.zurrose.de/productimages/hashed/4/5/8/4584676p.pdf> (Stand: 29.7. 2010)

MILLARD-STAFFORD M.L., CURETON K.J., WINGO J.E., TRILK J., WARREN G.L. und BUYCKX M. (2007): Hydration during exercise in warm, humid conditions: Effect of a caffeinated sports drink, *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 17(2): 163 - 177

MOCH J. (1999): Sportler brauchen keine spezielle Nahrung, www.dge.de, Ergebnisse des Journalistenseminars "Sport und Ernährung" der DGE

MOORE T. (1992): Take time for a winning cup of coffee, *New Scientist* (18.7.1992), S. 8

MOTL R.W., O`CONNOR P.J., TUBANDT L., PUETZ T. und ELY M.R. (2006): Effect of caffeine on leg muscle pain during cycling exercise among females, *Medicine and Science in Sports and Exercise* 38(3): 598 - 604

MUTSCHLER E., GEISSLINGER G., KROEMER H.K., RUTH P. und SCHÄRFER-KORTING M. (2008): Arzneimittelwirkungen. Lehrbuch der Pharmakologie und Toxikologie, 9. Auflage. Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH, Stuttgart

http://www.nada.at/files/doc/Unterrichtsmaterial/Be_fair_Play_true.pdf (Stand: 21.6.2010)

<http://www.nada.at/files/doc/Unterrichtsmaterial/Handbuch-fuer-Leistungssportler.pdf>
(Stand: 21.6.2010)

http://www.nada.at/de/menu_2/medizin/risiken-und-nebenwirkungen/marketshow-s6.-stimulanzien?s=koffein (Stand: 23.6.2010)

NAMDAR M., KOEPFLI P., GRATHWOHL R., SIEGRIST P.T., KLAINGUTI M., SCHEPIS T., DELALOYE R. und KAUFMANN P.A. (2006): Caffeine decreases exercise-induced myocardial flow reserve, *Journal of American College of Cardiology* 47(2): 405 - 410

NANDHINI A.T., THIRUNAVAKKARASU V. und ANURADHA C.V. (2005): Taurine modifies insulin signaling enzymes in the fructose-fed insulin resistant rats, *Diabetes Metabolism* 31(4/1): 337 - 344

NASTASE A., IOAN S., BRAGA R.I., ZAGREAN L. und MOLDOVAN M. (2007): Coffee drinking enhances the analgesic effect of cigarette smoking, *Neuroreport* 18(9): 921 - 924

NAWROT P., JORDAN S., EASTWOOD J., ROTSTEIN J., HUGENHOLTZ A. und FEELEY M. (2003): Effects of caffeine on human health, *Food Additives. Contaminants* 20(1): 1 - 30

NEUHÄUSER-BERTHOLD M., BEINE S., VERWIED S.C. und LÜHRMANN S.C. (1997): Coffee consumption and total body water homeostasis as measured by fluid balance and bioelectrical impedance analysis, *Annals Nutrition Metabolism* 41: 29 – 36

NOREEN E.E., BARR C., McNEAL M. und DRURY D.G. (2008): The effect of caffeine ingestion on perception of muscle pain during a sustained submaximal isometric contraction of the quadriceps, *Journal of International Society of Sports Nutrition* 5(1): P18

O'BRIEN M.C., McCOY T.P., RHODES S.D., WAGONER A. und WOLFSON M. (2008): Caffeinated cocktails: get wired, get drunk, get injured, *Academic Emergency Medicine* 15(5): 453 – 460

O'CONNOR P.J., MOTL R.W., BROGLIO S.P. und ELY M.R. (2004): Dose-dependent effect of caffeine on reducing leg muscle pain during cycling exercise is unrelated to systolic blood pressure, *Pain* 109(3): 291-298

O'DEA J.A. (2003): Consumption of nutritional supplements among adolescents: usage and perceived benefits. *Health Education Research* 18(1): 98 – 107

OBERSTAR J.V., BERSTEIN G.A. und THURAS P.D. (2002): Caffeine and dependence in adolescents: one year follow-up, *Journal of Child and Adolescent Psychopharmacology* 12(2): 127 - 135

OGAWA N. und UEKI H. (2007): Clinical importance of caffeine dependence and abuse, *Psychiatry and Clinical Neurosciences* 61(3): 263 – 268

- OLBRICH J. (2008): Energydrinks – Gefährlicher Kick
<http://www.sueddeutsche.de/leben/energydrinks-gefaehrlicher-kick-1.592572> (Stand: 8.7.2010)
- OLCINA G.J., MUNOZ D., TIMON R., CABALLERO M.J., MAYNAR J.L., CORDOVA A. und MAYNAR M. (2006): Effect of caffeine on oxidative stress during maximum incremental exercise, *Journal of Sports Science and Medicine* 5(4): 621 - 628
- OLCINA G.J., TIMON R., MUNOZ D., MAYNAR J.L., CABALLERO M.J. und MAYNAR M. (2008): Caffeine ingestion effects on oxidative stress in a steady-state test at 75% Vo₂max, *Science & Sports* 23(2): 87 - 90
- OLIVEIRA C.H., MORAES M.E.A., MORAES M.O, BEZERRA F.A.F., ABIB E. und DeNUCCI G. (2005): Clinical toxicology study of an herbal medicinal extract of *Paullinia cupana*, *Trichilia catigua*, *Ptychopetalum olacoides* and *Zingiber officinale* (Catuama) in healthy volunteers, *Phytotherapy Research* 19(1): 54 – 57
- OTERI A., SALVO F., CAPUTI A.P. und CALAPAI G. (2007): Intake of energy drinks in association with alcoholic beverages in a cohort of students of the school of medicine of the University of Messina, *Alcoholism Clinical and Experimental Research* 31(10): 1677 - 1680
- OWENS P.M. (2007): The potential effects of pH and buffering capacity on dental erosion, *General Dentistry* 55(6): 527 - 531
- PALLANTI S., BERNARDI S. Und QUERCIOLO L. (2005): The Shorter PROMIS Questionnaire and the Internet Addiction Scale in the assessment of multiple addictions in a high-school population: prevalence and related disability, *CNS Spectrums* 11(12): 966 – 974
- PALUSKA S.A. (2003): Caffeine and exercise, *Current Sports Medicine Reports* 2(4): 213 - 219
- PAPADOPOULOU S.K. und S.D. (2010): Nutritional Status of top team-sport athletes according to body-fat, *Nutrition and Food Science* 40(1): 64 - 73
- PARSONS W.D. und NEIMS A.H. (1978): Effect of smoking on caffeine clearance, *Clinical Pharmacology & Therapeutics* 24: 40 - 45
- PASMAN W.J., VanBAAK M.A., JEUKENDRUP A.E. und DeHAAN A. (1995): The effect of different dosages of caffeine on endurance performance time, *International Journal of Sports Medicine* 16(4): 225 - 230
- PEDERSEN D.J., LESSARD S.J., COFFEY V.G., CHURCHLEY E.G., WOOTTON A.M., NG T., WATT M.J. und HAWLEY J.A. (2008): High rate of muscle glycogen resynthesis after exhaustive exercise when carbohydrate is coingested with caffeine, *Journal of Applied Physiology* 105: 7 - 13
- POHL K. (2009): Sportlernahrung – Bewegung braucht Brennstoff, *Pharmazeutische Zeitung* 20; <http://www.pharmazeutische-zeitung.de/index.php?id=29803> (Stand: 1.7. 2010)

POHLER H. (2010): Caffeine intoxication and addiction, *The Journal of Nurse Practitioners* 6(1): 49 - 52

POLTEV V.I., RODRIGUEZ E., GROKHLINA T.I., DERIABINA A. und GONZALEZ E. (2010): Computational study of molecular mechanisms of caffeine action: Caffeine complexes with adenosine receptors, *International Journal of Quantum Chemistry* 110(3): 681 - 688

POWELL K.R., IUVONE P.M. und HOLTZMAN S.G. (2001): The role of dopamine in the locomotor stimulant effects and tolerance to these effects of caffeine, *Pharmacology Biochemistry and Behavior* 69(1-2): 59 - 70

REDOVNIKOVIC I.R., DELONGA K., MAZOR S., DRAGOVIC-UZELAC V., CARIC M. und VORKAPIC-FURAC J. (2009): Polyphenolic Content and Composition and Antioxidative Activity of Different Cocoa Liquors, *Czech Journal of Food Sciences* 27(5): 330 – 337

RASHID A., HINES M., SCHERLAG B.J., SAMANASHI W.S. und LOVALLO W. (2006): The effects of caffeine on the inducibility of atrial fibrillation, *Journal of Electrocardiology* 39(4): 421 - 425

REES J., LOYN T. und McANDREW R. (2005): The acidic and erosive potential of five sports drinks, *European Journal of Prosthodontics and Restorative Dentistry* 13(4): 186 - 190

REISSIG C.J., STRAIN E.C. und GRIFFITHS R.R. (2009): Caffeinated energy drinks – A growing problem, *Drug and alcohol dependence* 99(1-3): 1 - 10

RICE-EVANS C.A., MILLER N.J. und PAGANA G. (1996): Structure-antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acids, *Free Radical Biology and Medicine* 20(7): 933 – 956

RICHARDSON N.J., ROGERS P.J. und ELLIMAN N.A. (1996): Conditioned flavour preferences reinforced by caffeine consumed after lunch, *Physiology & Behavior* 60(1): 257 - 263

RICHELLE M., TAVAZZI I., ENSLEN M. und OFFORD E.A. (1999): Plasma kinetics in man of epicatechin from black chocolate, *European Journal of Clinical Nutrition* 53: 22 – 26

ROBERTSON D., WADE D. und WORKMAN R. (1981): Tolerance to the Humoral and Hemodynamic Effects of Caffeine in Man, *Journal of Clinical Investigation* 67: 111 - 117

RODRIGUEZ N.R., DiMARCO N.M. und LANGLEY S. (2009): Position of the American Dietetic Association, Dietitians of Canada, and the American College of Sports Medicine: Nutrition and Athletic Performance, *Journal of the American Dietetic Association* 109(3): 509 - 527

ROGERS N. und DINGES D. (2005): Caffeine: implications for alertness in athletes, *Clinics in Sports Medicine* 24: 1 - 13

ROTI M.W., CASA D.J., PUMERANTZ A.C., WATSON G., JUDELSON D.A., DIAS J.C., RUFFIN K. und ARMSTRONG L.E. (2006): Thermoregulatory responses to exercise in the heat: chronic caffeine intake has no effect, *Aviation Space and Environmental Medicine* 77: 124 - 129

- RUDOLPH T. und KNUDSEN K. (2010): A case of fatal caffeine poisoning, *Acta Anaesthesiologica Scandinavica* 54: 521 – 523
- RUSCONI M. und CONTI A. (2010): Theobroma cacao L., the Food of the Gods: A scientific approach beyond myths and claims, *Pharmacological Research* 61: 5 – 13
- RUXTON C.H.S. (2008): The impact of caffeine on mood, cognitive function, performance and hydration: a review of benefits and risks, *Nutrition Bulletin* 33: 15 - 25
- RUXTON C.H.S. (2009): The health effects of black tea and flavonoids, *Nutrition & Food Science* 39(3): 283 - 294
- RYAN A.J., LAMBERT G.P., SHI X., CHANG R.T., SUMMERS R.W. und GISOLFI C.V. (1998): Effect of hypohydration on gastric emptying and intestinal absorption during exercise, *Journal of Applied Physiology* 84(5): 1581 - 1588
- SCHEK A. (2004): Steigerung der Leistungsfähigkeit durch die Ernährung und Stellenwert von Nahrungsergänzungsmitteln, Fachtagung Gießen 2004
[http://www.sportmedizin-hellersen.de/dfs/Dr. Alexandra Schek-Fachtagung_Zusammenfassung.pdf](http://www.sportmedizin-hellersen.de/dfs/Dr._Alexandra_Schek-Fachtagung_Zusammenfassung.pdf) (Stand: 5.5. 2010)
- SCHNEIKER K.T., BISHOP D., DAWSON B. und HACKETT L.P. (2006): Effects of caffeine on prolonged intermittent-sprint ability in team-sport athletes, *Medicine and Science in Sports and Exercise* 38(3): 578 - 585
- SCHWEIZ. LEBENSMITTELBUCH (2005): Kakao, Kakaomasse, Kakaopulver, Schokoladepulver Kapitel 36A
http://www.baganw.admin.ch/SLMB_Online_PDF/Data%20SLMB_MSDA/Version%20D/36A_Kakao.pdf (Stand: 26.7.2010)
- SHAO A. und HATHCOCK J.N. (2008): Risk assessment for the amino acids taurine, L-glutamine and L-arginine, *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 50(3): 376 – 399
- SHARANGI A.B. (2009): Medicinal and therapeutic potentialities of tea (*Camellia sinensis* L.) – A review, *Food Research International* 42(5-6): 529 – 535
- SHI D. und DALY J.W. (1999): Chronic effects of xanthines on levels of central receptors in mice, *Cellular and Molecular Neurobiology* 19(6): 719 - 732
- SHUKLA Y. (2007): Tea and cancer chemoprevention: a comprehensive review, *Asia Pacific Journal of Cancer Prevention* 8(2): 155 - 166
- SIGMON S.C., HERNING R.I., BETTER W., CADET J.L. und GRIFFITHS R.R. (2009): Caffeine withdrawal, acute effects, tolerance, and absence of net beneficial effects of chronic administration: cerebral blood flow velocity, quantitative EEG, and subjective effects, *Psychopharmacology* 204(4): 573 – 585

SIMMONDS M.J., MINAHAN C.L. und SABAPATHY S. (2010): Caffeine improves supra-maximal cycling but not the rate of anaerobic energy balance, *European Journal of Applied Physiology* (16): 1 - 9

SILVERMAN K., EVANS S.M., STRAIN E.C. und GRIFFITHS R.R. (1992): Withdrawal syndrome after the double-blind cessation of caffeine consumption, *New England Journal of Medicine* 327(16): 1109 - 1114

SKINNER T.L., JENKINS D.G., COOMBES J.S., TAAFFE D.R. und LEVERITT M.D. (2010): Dose response of caffeine on 2000-m rowing performance, *Medicine and Science in Sports and Exercise* 42(3): 571 - 576

SLVIKA D., HAILES W., CUDDY J. und RUBY B. (2008): Caffeine and carbohydrate supplementation during exercise when in negative energy balance: effects on performance, metabolism, and salivary cortisol, *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism* 33(6): 1079 - 1085

SMITH A., STURGESS W. und GALLAGHER J. (1999): Effects of a low dose of caffeine given in different drinks on mood and performance, *Human Psychopharmacology: Clinical and Experimental* 14(7): 473 - 482

SMITH N. und ATROCH A.L. (2010): Guarana's Journey from regional tonic to aphrodisiac and global energy drink, *Evidence-based Complementary and Alternative Medicine* 7(3): 279 - 282

www.sport-fitness-advisor.com/wingate-test.html (Stand: 9.6. 2010)

SÖKMEN B., ARMSTRONG L.E., KRAEMER W.J., CASA D.J., DIAS J.C., JUDELSON D.A. und MARESH C.M. (2008): Caffeine use in sports: Considerations for the athlete, *Journal of Strength Conditioning Research* 22(3): 978 - 986

SPRIET L.L., McLEAN D.A., DYCK D.J., HULTMAN E., CEDERBLAD G. und GRAHAM T.E. (1992): Caffeine ingestion and muscle metabolism during prolonged exercise in humans, *American Journal of Physiology* 262(6): 891 - 898

SPRIET L.L. (1995): Caffeine and performance, *International Journal of Sport Nutrition* 5: 84 - 99

STEVENSON E.J., HAYES P.R. und ALLISON S.J. (2009): The effects of a carbohydrate-caffeine sports drink on simulated golf-performance, *Applied Physiology Nutrition Metabolism* 34(4): 681 - 688

STRAIN E.C., MUMFORD G.K., SILVERMAN K. und GRIFFITHS R.R. (1994): Caffeine dependence syndrome: Evidence from case histories and experimental evaluation, *Jama* 272(13): 1043 - 1048

STUART G.R., HOPKINS W.G., COOK C. und CAIRNS S.P. (2005): Multiple effects of caffeine on simulated high-intensity team-sport performance, *Medicine and Science in Sports and Exercise* 37(11):1998 - 2005

SVIKIS D.S., BERGER N., HAUG N.A. und GRIFFITHS R.R. (2005): Caffeine dependence in combination with a family history of alcoholism as a predictor of continued use of caffeine during pregnancy, *American Journal of Psychiatry* 162(12): 2344 - 23651

SWAN G.E., CARMELLI D. und CARDON L.R. (1996): The consumption of tobacco, alcohol, and coffee in Caucasian male twins: a multivariate genetic analysis, *Journal of Substance Abuse Treatment* 8(1): 19 – 23

SWANSON J.A., LEE J.W. und HOPP J.W. (1994): Caffeine and nicotine: a review of their joint use and possible interactive effects in tobacco withdrawal, *Addiction Behavior* 19(3): 229 – 256

THOMAS-BARBERAN F.A., CIENFUEGOS-JOVELLANOS E., MARÌN A., MUGUERZA B., GIL-IZQUIERDO A., CERDÀ B., ZAFRILLA P. und ESPÌN J.C. (2007): A new process to develop a cocoa powder with higher flavonoid monomer content and enhanced bioavailability in healthy humans, *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 55(10): 3926 – 3935

TINLEY E.M., YEOMANS M.R. und DURLACH P.J. (2003): Caffeine reinforces flavour preference in caffeine-dependent, but not long-term withdrawn, caffeine consumers, *Psychopharmacology* 166(4): 416 – 423

TOMASITS J. und HABER P. (2007): *Leistungsphysiologie – Grundlagen für Trainer, Physiotherapeuten und Masseur*, 3. Auflage, Springer Verlag Wien

TSUANG Y.-H., SUN J.-S., CHEN L.-T., SUN S.C.-K. und CHEN S.-C. (2006): Direct effects of caffeine on osteoblastic cells metabolism: the possible causal effect of caffeine on the formation of osteoporosis, *The Journal of Orthopaedic Surgery* 1(7): 1 - 10

TUNNICLIFFE J.M., ERDMAN K.A., REIMER R.A., LUN V. und SHEARER J. (2008): Consumption of dietary caffeine and coffee in physically active populations: physiological interactions, *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism* 33(6): 1303 – 1310

VAHEDI K., DOMIGO V., AMARENCO P. und BOUSSER M.-G. (2000): Ischemic stroke in a sportsman who consumed MaHuang extract and creatine monohydrate for body building, *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry* 68(1): 112 - 113

VARANI K., PORTALUPPI F., MERIGHI S., ONGINI E., BELARDINELLI L. und BOREA P.A. (1999): Caffeine alters A2A Adenosine receptors and their function in human platelets, *Circulation* 99(19): 2499 - 2502

WADA (World Anti Doping Agency):

http://www.wada-ama.org/Documents/World_Anti-Doping_Program/WADP-Prohibited-list/WADA_Monitoring_Program_2010_EN.pdf (Stand: 23.6.2010)

WALLMAN K.E., GOH J.W. und GUELFI K.J. (2010): Effects of caffeine on exercise performance in sedentary females, *Journal of Sports Science and Medicine* 9(2): 183 - 189

WEMPLE R.D., LAMB D.R. und McKEEVER K.H. (1997): Caffeine vs. caffeine-free sports drinks: effects of urine production at rest and during prolonged exercise, *International Journal of Sports Medicine* 18(1): 40 - 46

WENG X., ODOULI R. und LI D.-K. (2008): Maternal caffeine consumption during pregnancy and the risk of miscarriage: a prospective cohort study, *American Journal of Obstetrics and Gynaecology* 198(3): 279

WEINBERG B.A. und BEALER B.K. (2002): *The caffeine advantage - How to Sharpen Your Mind, Improve Your Physical Performance, and Achieve Your Goals - the Healthy Way*, The Free Press: New York: 256

WESTERTERP K.R. (2010): Physical activity, food intake, and body weight regulation: insights from doubly labelled water studies, *Nutrition Reviews* 68(3): 148 - 154

WILES J.D.C.D., BIRD S.R., HOPKINS J. und RILEY M. (1992): Effect of caffeinated coffee during running speed, respiratory factors, blood lactate, and perceived exertion during 1500m-treadmill running, *British Journal of Sports Medicine* 26(2): 116 - 120

WILES J.D.C.D., COLEMAN D., TEGERDINE M. Und SWAINE L.L. (2006): The effects of caffeine ingestion on performance time, speed and power during a laboratory-based 1 km cycling time-trial, *Journal of Sports Science and Medicine* 24(11): 1165 - 1171

WILLIAMS M. (2005): Dietary supplements and sports performance: Amino Acids, *Journal of the International Society of Sports Nutrition* 2(2): 63 - 67

WISEMAN S.A. und BALENTINE D.A. (1997): Antioxidants in tea, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 37: 705 - 718

WOOLF K., BIDWELL W.K. und CARLSON A.G. (2008): The effect of caffeine as an ergogenic aid in anaerobic exercise, *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* (18): 412 - 429

WOOLF K., BIDWELL W.K. und CARLSON A.G. (2009): Effect of caffeine as an ergogenic aid during anaerobic exercise performance in caffeine naive collegiate football players, *Journal of Strength and Conditioning Research* 23: 1363 - 1369

YANG C.S., MALIAKAL P. und MENG X. (2002): Inhibition of carcinogenesis by tea, *Annual Review of Pharmacology and Toxicology* 42: 25 - 54

YEO S.E., JENTJENS R.L.P.G., WALLIS G.A. und JEUKENDRUP A.E. (2005): Caffeine increases exogenous carbohydrate oxidation during exercise, *Journal of Applied Physiology* 99: 844 - 850

