



Hochschule für angewandte Wissenschaft Hamburg

Fakultät Life Science

Studiengang Ökotrophologie

Koffein und seine Wirkung auf Ausdauer, Kraft und Schnelligkeit

Bachelorarbeit

Eingereicht von: Mizevaite Jurgita

Matr.-Nr. 1974563

1.Gutachter: Prof. Dr. M. Hamm

2.Gutachter: Prof. Dr. H. Laberenz

Hamburg, 13.02.2013

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	5
1.1 Problem- und Fragestellung	5
1.2 Aufbau der Arbeit und methodische Vorgehensweise.....	6
2 Ausdauer	7
2.1 Definition und Arten der Ausdauer	7
2.2 Veränderungen in Organsystemen.....	8
2.3 Trainingsmethoden zur Entwicklung der Ausdauerfähigkeit.....	10
3 Kraft	11
3.1 Definition und Arten der Kraft	11
3.2 Veränderungen in Organsystemen.....	12
3.3 Trainingsmethoden zur Entwicklung der Kraftfähigkeit	13
4 Schnelligkeit	13
4.1 Definition und Arten der Schnelligkeit	13
4.2 Veränderungen in Organsystemen	14
4.3 Trainingsmethoden zur Entwicklung der Schnelligkeitsfähigkeit	14
5 Ausdauer-, Kraft- und Schnelligkeitssportarten	15
6 Koffein	16
6.1 Historischer Rückblick.....	16
6.2 Vorkommen von Koffein	16
6.3 Chemische Charakterisierung	18
6.4 Physiologische Eigenschaften.....	18
6.5 Wirkmechanismus des Koffeins im Sport.....	19
7 Wirkung von Koffein auf die Ausdauer	20
7.1 Studien.....	20
7.2 Zusammenfassung der Ergebnisse	26
7.3 Fazit der Studien und Ausblick.....	27
8 Wirkung von Koffein auf die Kraft	28
8.1 Studien.....	28
8.2 Zusammenfassung der Ergebnisse	34
8.3 Fazit der Studien und Ausblick.....	35

9 Wirkung von Koffein auf die Schnelligkeit	35
9.1 Studien.....	36
9.2 Zusammenfassung der Ergebnisse	39
9.3 Fazit der Studien und Ausblick.....	40
Zusammenfassung	41
Abstract.....	42
Abbildungsverzeichnis	44
Tabellenverzeichis.....	44
Literaturverzeichnis	45
Anhang.....	50

1 Einleitung

Die berühmte Sportdevise „Citius, altius, fortius“ – lat. schneller, höher, weiter – gilt schon seit Jahren als Motto der Olympischen Spiele und ist bekannt selbst für alle, die das Geringste Interesse für Sport und Sportveranstaltungen verspüren. Seit Ewigkeiten streben Menschen immer schon danach, sich mit seinesgleichen zu messen und zu vergleichen und das mit dem Ziel, den anderen überlegen zu sein. Sport ist dabei keine Ausnahme – auch hier wird immer eifrig nach den neuesten Möglichkeiten gesucht, um auch den kleinsten Vorsprung gegenüber seinem Mitbewerber zu erlangen.

Die Leistungsfähigkeiten des menschlichen Körpers werden von Sportwissenschaftlern immer besser erforscht und zu ihren Entwicklung bzw. zur Verbesserung neue Trainingsmethoden entwickelt, sodass in der heutigen Zeit nur Kleinigkeiten im sportlichen Wettkampf über Sieg oder Niederlage entscheiden. Dieser Fakt lässt die Sportler, egal ob Spitzen- oder Hobbysportler, immer häufiger zu Substanzen greifen, die laut Hersteller erheblich die Leistung verbessern sollen.

1.1 Problem- und Fragestellung

Seit Längerem werden in der sportwissenschaftlichen Literatur u.a. positive Effekte des Koffeins auf sportliche Leistungsfähigkeiten diskutiert. Diese Substanz wird unter Sportlern und ihren Trainern als legales Dopingmittel angepriesen und eingenommen mit der Hoffnung, eine Leistungssteigerung zu erzielen, obwohl genauere Wirkungsmechanismen und -möglichkeiten des Mittels nicht endgültig erforscht sind.

Das Hauptziel dieser Abschlussarbeit liegt darin, die Wirkung des Koffeins auf die Ausdauer, Kraft und Schnelligkeit anhand bereits existierender Studien festzustellen. Dabei soll hauptsächlich folgenden Fragestellungen nachgegangen werden:

- Welche Arten und Trainingsmethoden gibt es bei Ausdauer, Kraft und Schnelligkeit? Welche Veränderungen in Organsystemen sind dabei zu erwarten?
- Was ist Koffein und welche physiologische Wirkung hat er im Sport?
- Inwiefern kann durch Koffeinsupplementation Steigerung der angeführten motorischen Hauptbeanspruchungsformen erzielt werden?
- Welche Notwendigkeiten ergeben sich für die zukünftige Forschung der Wirkung von Koffein?

Die Arbeit soll die mögliche Wirkung der Koffeinaufnahme im Sport aufzeigen und somit zur problemorientierten Auseinandersetzung mit diesem Thema anregen.

1.2 Aufbau der Arbeit und methodische Vorgehensweise

In Kapitel 2 erfolgt eine detaillierte Darlegung zum Themenkomplex Ausdauer. Dabei werden die Definition sowie Arten der Ausdauer erläutert und anschließend betroffene Organsysteme bei Ausdauerbelastungen behandelt. Ferner werden die wichtigsten Trainingsmethoden zur Entwicklung der Ausdauerfähigkeit thematisiert.

In den Kapiteln 3 und 4 folgt die Auseinandersetzung mit der Kraft und Schnelligkeit. Zunächst werden die Definitionen und Arten dieser motorischen Hauptbeanspruchungsformen vorgestellt. Weiter werden die systemischen Veränderungen in den Organsystemen bei regelmäßigem Kraft- und Schnelligkeitstraining beschrieben und nachkommend die Trainingsmethoden zur Entwicklung dieser Fähigkeiten präsentiert.

In Kapitel 5 steht die Vorstellung von Koffein im Mittelpunkt. Nach einem kurzem Abriss der Historie sowie dem Vorkommen von Koffein, werden seine chemischen und physiologischen Eigenschaften dargestellt. Im Anschluss werden die neuesten wissenschaftlichen Theorien zum Wirkmechanismus des Koffeins vorgestellt und erläutert.

Die darauffolgenden Kapitel 7, 8 und 9 befassen sich mit der Beschreibung, Analyse und Bewertung der aktuellen Studien hinsichtlich der Koffeinwirkung auf Ausdauer, Kraft und Schnelligkeit. Anschließend wird ein Ausblick auf offene Fragen und weitere mögliche Entwicklungen gegeben. Die Recherchen fanden in verschiedenen medizinischen Online-Datenbanken wie PubMed, ScienceDirect College Edition und Google Scholar statt. Dabei wurden u.a. folgende Suchbegriffe eingegeben: Caffeine, Performance, Endurance, Strength, Sprint. Damit eine größtmögliche Aktualität gewährleistet werden kann, wurde der Hauptteil der wissenschaftlichen Studien aus einem Zeitraum von 2008 bis 2012 verwendet. Bei der Auswahl wurden nur die Studien berücksichtigt, bei denen die Koffeingabe in Tablettenform erfolgte. Aufgrund der geringen Probandenzahl konnten die zur Verfügung stehenden Untersuchungen nach den Leitlinien der Evidenz-basierten Medizin (EbM) nicht klassifiziert werden.

Die Schlussbetrachtung liefert einen zusammenfassenden Überblick über die Ergebnisse dieser Bachelorarbeit. Zur besseren Übersichtlichkeit liefert der Anhang detaillierte tabellarische Zusammenfassungen der angeführten Studien.

2 Ausdauer

2.1 Definition und Arten der Ausdauer

Im Allgemeinen wird unter Ausdauer die psychophysische Ermüdungswiderstandsfähigkeit eines Sportlers verstanden (WEINECK, 2010, S. 319). Dabei kann von einer zentralnervalen (psychischen) und peripheren muskulären (physischen) Ermüdung ausgegangen werden, die zur Leistungsabnahme führen können (HOTTENROTT/NEUMANN (a), 2010, S. 109).

In der Trainingswissenschaftlichen Literatur wird Ausdauer je nach Betrachtungsweise in verschiedene Arten unterteilt. Demzufolge existiert eine Vielzahl von Ausdauerarten, die unten näher erläutert werden.

Allgemeine und **lokale** Ausdauer werden nach dem Größenumfang der eingesetzten Muskulatur getrennt. Die allgemeine Ausdauer umfasst mehr als $1/7$ - $1/6$ (ca. 15 %) der gesamten Skelettmuskulatur. Die lokale Ausdauer ist durch eine Inanspruchnahme von weniger als $1/7$ - $1/6$ der Gesamtmuskelmasse gekennzeichnet (ZINTL/EISENHUT, 2009, S. 34).

Nach der vorrangigen Art der Energiebereitstellung im Training wird zwischen **aerober** und **anaerober** Ausdauer unterschieden. Bei der aeroben Ausdauer steht genügend Sauerstoff zur Verfügung, der zur oxidativen Verbrennung von Glykogen und Fettsäuren verbraucht wird. Die anaerobe Ausdauer zeichnet sich durch unzureichende Sauerstoffzufuhr aus: Die Stoffwechselvorgänge laufen ohne Beteiligung von Sauerstoff über die Glykolyse ab (HOTTENROTT/NEUMANN (b), 2010, S. 24). Es ist darauf hinzuweisen, dass die beiden Ausdauerformen in reiner Form in der Wettkampfpraxis äußerst selten vorkommen (ZINTL/EISENHUT, 2009, S. 35).

Da es in der Sportpraxis in den meisten Fällen zu einer belastungs- und intensitätsabhängigen Mischung der aeroben und anaeroben Energiebereitstellung kommt, wird die Ausdauer in **Kurzzeit-, Mittelzeit- und Langzeitausdauer** unterteilt. Bei der Kurzzeitausdauer (KZA) sind maximale Ausdauerbelastungen von etwa 35 s bis 2 min einzuordnen. Die Energiebereitstellung erfolgt überwiegend anaerob (HOTTENROTT/NEUMANN (a), 2010, S. 115). Die Mittelzeitausdauer (MZA) wird gefordert bei Wettkampfzeiten zwischen 2 und 8 Minuten und stellt den Abschnitt einer zunehmenden aeroben Energiegewinnung dar. Unter die Langzeitausdauer (LZA) fallen die Belastungen, die über 8 min ausgehen und fast ausschließlich durch die anaerobe Energiebereitstellung bestritten werden (WEINECK, 2010, S. 320).

Ein weiteres Differenzierungskriterium erfolgt nach der Einteilung des Trainings in Trainingsbereiche, die sich durch die Intensität und die Belastungsart unterscheiden. Demzufolge unterteilt man Ausdauer in **Grundlagenausdauer**, **Kraftausdauer** und **wettkampfspezifischer** Ausdauer. Unter Grundlagenausdauer wird die sportunabhängige Ermüdungswiderstandsfähigkeit bei Langzeitbelastungen unter Einsatz großer Muskelgruppen verstanden, wobei es zu einer ausschließlich aeroben Energiebereitstellung kommt (SCHMIDT, 1998, S. 11). Kraftausdauer ist die Ermüdungswiderstandsfähigkeit des Sportlers bei kürzeren Belastungen mit Kraftersätzen. Dabei erfolgt die Energiebereitstellung anaerob. Das Training der wettkampfspezifischen Ausdauer zielt auf die unmittelbare Entwicklung der sportartspezifischen Wettkampfleistung ab und ist im aeroben Bereich angesiedelt (ZINTL/EISENHUT, 2009, S. 44).

Nach der Arbeitsweise der Skelettmuskulatur differenziert man zwischen **statischer** und **dynamischer** Ausdauer. Bei der statischen Ausdauer wird die Muskulatur überwiegend durch isometrische (Halte-) Arbeit beansprucht (WEINECK, 2010, S. 321). Die dynamische Ausdauer dominiert in der Mehrzahl der Ausdauersportarten und bezieht sich auf die Bewegungsarbeit (SPRING/DVORAK, 2005, S. 54).

Eine weitere Unterscheidungsmöglichkeit ergibt die Betrachtung der Ausdauer unter dem Aspekt der sportartspezifischen Leistungsfähigkeit. Unter diesem Gesichtspunkt unterscheidet man zwischen der **allgemeinen** und der **speziellen** Ausdauer. Als allgemeine Ausdauer wird die Fähigkeit des Sportlers definiert, lange Zeit eine Übung auszuführen, die viele Muskelgruppen beansprucht und die Ausführung sportartspezifischer Belastungen unterstützt (HOTTENROTT/NEUMANN (b), 2010, S. 30). Die spezielle Ausdauer ist die Fähigkeit des Athleten, eine spezifische Belastung in einer Sportart innerhalb einer bestimmten Zeit auszuführen (WEINECK, 2010, S. 319).

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass Ausdauer eine komplexe motorische Fähigkeit ist, die in unterschiedlicher Form in Erscheinung tritt. In Anbetracht der Vielzahl von erwähnten Ausdauerarten gibt es die Ausdauer nicht, das heißt, der sportpraktische Gesamtkomplex Ausdauer lässt sich nur über mehrere Ausdauerarten erfassen.

2.2 Veränderungen in Organsystemen

Die Beanspruchung von Organsystemen ist die Folge eines regelmäßigen Ausdauertrainings. In den einzelnen Organen verläuft die Anpassung unterschiedlich. Der Sinn dieser Anpassung

besteht darin, wiederkehrende Trainingsreize mit geringerer Beanspruchung zu beantworten. Im Folgenden werden die bei Ausdauerbelastungen betroffenen Organsysteme thematisiert.

Bei der Ausdauerleistung spielt die **Skelettmuskulatur** eine erhebliche Rolle, da diese durch Kontraktion der Muskelfasern realisiert wird. Generell besitzen Ausdauersportler hohe Anteile an langsam kontrahierenden SF (slow twitch) Muskelfasern, die auf die Erfordernisse der Energiegewinnung und die Zuverlässigkeit der Arbeitsweise angepasst sind. Außerdem führt das Ausdauertraining aufgrund des Anstiegs der Kapillarzahl und der Erhöhung des Kapillarierungsgrades, zu einer verbesserten Durchblutung der Muskulatur. Zudem kommt es zu einem Anstieg von Volumen und Dichte der Mitochondrien (HOTTENROTT/NEUMANN (b), 2010, S. 230-231). Darüber hinaus können sich die Glykogenspeicher in den beanspruchten Muskelgruppen durch Ausdauertraining verdoppeln (WEINECK, 2010, S. 321).

Bei Ausdauerbelastungen wird neben der Skelettmuskulatur vor allem das **Atemsystem** beansprucht. Es kommt zur Vergrößerung der Respirationsfläche und zur Weitung von Lungenvenen und -arterien, was zur Erhöhung der ventilatorischen Kapazität führt. Somit wird eine Voraussetzung für die Steigerung der maximalen Sauerstoffaufnahme geschaffen (ZINTL/EISENHUT, 2009, S. 68). Durch Ausdauertraining können ebenfalls die Atemmuskulatur gekräftigt und die Atemökonomie verbessert werden, wodurch mehr Sauerstoff ins Blut aus einer bestimmten Menge eingeatmeter Luft übernommen wird. Aus diesem Grund atmen die ausdauertrainierten Sportler tiefer und seltener als Untrainierte und sparen damit Sauerstoff (HOTTENROTT/NEUMANN (b), 2010, S. 196-197).

Ein regelmäßig durchgeführtes Ausdauertraining führt ebenfalls zu charakteristischen Veränderungen im **Herz-Kreislauf-System** einschließlich des **Bluts**. Es kommt zur Ökonomisierung der Herzarbeit, die durch die Abnahme vom Ruhe- und Arbeitspuls verursacht wird. Durch den Anstieg des Schlagvolumens wird eine höhere Leistungsfähigkeit des Herzens ermöglicht (SPRING/DVORAK, 2005, S. 70-71). Weitere wesentliche Bestandteile der Adaption an das Ausdauertraining sind Herzmuskelhypertrophie, Verbesserung der Koronardurchblutung und Zunahme des Herzkammervolumens (ZINTL/EISENHUT, 2009, S. 68).

Typische Anpassungen des Blutes an das Ausdauertraining sind die Zunahme des Blutvolumens, der Abnahme des Hämatokritwertes und die Erhöhung der Gesamthämoglobinmenge (HOTTENROTT/NEUMANN (b), 2010, S. 203).

Die Anpassungen auf eine ausdauerbetonte Belastung zeigen sich ebenfalls im **Hormonsystem**. Es kommt zu einer vermehrten Ausschüttung von Somatotropin, Aldosteron, Kortisol und

Katecholaminen (ZINTL/EISENHUT, 2009, S. 80-81). Darüber hinaus drückt sich Adaption an Ausdauertraining durch den geringeren Insulinbedarf bei gleicher Wirkung aus, was höhere Insulinempfindlichkeit des Gewebes bedeutet (KNECHTLE, 2002, S. 58).

2.3 Trainingsmethoden zur Entwicklung der Ausdauerfähigkeit

Die Ausdauertrainingsmethoden lassen sich in vier Hauptgruppen unterteilen: *die Dauermethode, die Intervallmethode, die Wiederholungsmethode* und *die Wettkampfmethode*.

Die Dauermethode zeichnet sich durch eine ununterbrochene Belastung mit relativ langer Zeitdauer aus (HOTTENROTT/NEUMANN (a), 2010, S. 130). Im Vordergrund steht bei dieser Methode die Verbesserung der aeroben Kapazität (WEINECK, 2010, S. 340).

- 1) Die kontinuierliche Dauermethode mit gleichbleibender leichter bis mittlerer Intensität wird im Ausdauersport am häufigsten angewandt und dient der Ausprägung und Stabilisierung der Grundlagenausdauerfähigkeit (HOTTENROTT/NEUMANN (b), 2010, S. 109).
- 2) Die wechselhafte Dauermethode wird zur Verbesserung der Leistungsfähigkeit im höheren Intensitätsbereich eingesetzt. Dabei wird das Tempo auf vorher bestimmten Streckenabschnitten bis in den aerob-anaeroben Mischbereich hinein erhöht (ZINTL/EISENHUT, 2009, S. 120).
- 3) Bei der Fahrtspielmethode wird die Belastungsintensität nicht vorausgeplant und das Tempo dem Gelände und den Windverhältnissen angepasst (SCHMIDT, 1998, S. 13).

Die Intervallmethode ist durch einen systematischen, geplanten Wechsel von Belastungs- und Erholungsphasen charakterisiert. Die Erholungspausen werden dabei aktiv und bei stark reduzierter Intensität gestaltet (SCHNABEL ET AL., 2003, S. 321).

- 1) Die extensive Intervallmethode dient zur Entwicklung der Grundlagenausdauerfähigkeit und zeichnet sich durch eine mittlere Belastungsintensität im aerob-anaeroben Stoffwechselbereich, einer Zeitdauer von 30 - 180 min und Intervallpausen von 2 - 3 min aus.
- 2) Die intensive Intervallmethode wird zur Ausbildung wettkampfnaher motorischer Anforderungen angewendet und ist durch mehrere aufeinanderfolgende Intervallbelastungen über 15 - 60 s bei hoher Intensität und Intervallpausen von 15 - 90 s gekennzeichnet (HOTTENROTT/NEUMANN (b), 2010, S. 116).

Im Gegensatz zur Intervallmethode zeichnet sich **die Wiederholungsmethode** durch vollständige Erholungspausen zwischen den mit Wettkampf- oder Überwettkampfintensität bewältigten Belastungsphasen aus (SCHMIDT, 1998, S. 14). Diese Wiederholungsmethode dient im Ausdauertraining zur Ausprägung der wettkampfspezifischen Leistungsfähigkeit des Sportlers (SCHNABEL ET AL., 2003, S. 324).

Bei der Wettkampfmethode handelt es sich um eine einmalige Belastung, die sich an die Anforderungen des Hauptwettkampfs orientiert. Diese Methode wird zur Verbesserung und Überprüfung von wettkampfspezifischer Ausdauerfähigkeiten des Athleten eingesetzt (HOTTENROTT/NEUMANN (b), 2010, S. 116).

3 Kraft

3.1 Definition und Arten der Kraft

Unter Kraft wird die Fähigkeit des Nerv-Muskelsystems verstanden, die es ermöglicht, durch Muskelaktivität Widerstände zu überwinden, ihnen entgegenzuwirken oder sie zu halten. (EHLENZ/GROSSER/ZIMMERMAN, 1998, S. 11). Die Muskelkraft gilt als eine Voraussetzung, um Körperbewegungen auszuführen (HOTTENROTT/NEUMANN (a), 2010, S. 141).

Genauso wie die Ausdauer lässt sich die Kraft je nach Betrachtungsweise in verschiedene Arten unterteilen.

Allgemeine und **lokale** Kraft unterscheidet man unter dem Aspekt des Anteils an der beteiligten Muskulatur. Dabei handelt es sich bei der allgemeinen Kraft um das entwickelte Kraftniveau der Hauptmuskelgruppen (Rumpf- und Extremitätenmuskulatur). Unter der lokalen Kraft wird der Einsatz einzelner Muskeln bzw. Muskelgruppen verstanden (WEINECK, 2010, S. 351).

Nach der Arbeitsweise der Muskulatur differenziert man zwischen der **dynamischen** und der **statischen** Kraft. Die dynamische Kraft ist durch eine Kontraktion bzw. Dehnung, also eine Längenveränderung des Muskels, gekennzeichnet. Bei der statischen Muskelarbeit wird die Kraft ohne äußerlich sichtbare Verkürzung oder Dehnung des Muskels entwickelt. Die meisten sportlichen Bewegungen erfordern jedoch Mischformen, die schwerpunktmäßig entweder dynamisch oder statisch sind (EHLENZ/GROSSER/ZIMMERMAN, 1998, S. 64-65).

Unter dem Aspekt des Körpergewichtsbezuges unterscheidet man die **absolute** von der **relativen** Kraft. Die absolute Kraft ist vom Körpergewicht unabhängig. Auf das Körpergewicht

bezogene Muskelkraft wird als Relativkraft bezeichnet. Mit einer Zunahme des Körpergewichts steigt bei Athleten unterschiedlicher Gewichtsklassen die Absolutkraft an und die relative Kraft verringert sich (ZATSIORSKY/KRAEMER, 2008, S. 77).

Nach der Sportartspezifität wird zwischen der **allgemeinen** und der **speziellen** Kraft getrennt. Allgemeine Kraft beinhaltet die sportunabhängige Kraft der Hauptmuskelgruppen. Die spezielle Kraft bezieht sich hingegen auf die an einem sportlichen Bewegungsablauf beteiligten leistungsbestimmenden Muskelgruppen. Bei der speziellen Kraft spielen koordinative Aspekte eine erhebliche Rolle (WEINECK, 2010, S. 351).

3.2 Veränderungen in Organsystemen

Krafttraining führt zu ganz anderen systemischen Veränderungen als Ausdauertraining. Bei regelmäßigem Krafttraining sind vor allem die Skelettmuskulatur, der passive Bewegungsapparat und das Hormonsystem betroffen.

Im Gegensatz zum Ausdauertraining kommt es beim ausreichend intensiven und längerfristigen Krafttraining zu einer prozentualen Zunahme der schnell kontrahierenden FT (fast twitch) Muskelfasern (KNECHTLE, 2002, S. 68). Durch die Querschnittszunahme der einzelnen Fasern wird die Vergrößerung des Muskelumfangs (Muskelhypertrophie) hervorgerufen, die in der Regel bei Bodybuildern zu beobachten ist (ZATSIORSKY/KRAEMER, 2008, S. 72). Parallel dazu findet Muskelzellvermehrung statt, die ebenfalls zur Muskelhypertrophie beiträgt (WEINECK, 2010, S. 354).

Die Wirkung des Krafttrainings beschränkt sich nicht nur auf die **Skelettmuskulatur**. Durch Druck, Zug und Biegung kommt es zu einer erhöhten Aktivität der knochenbildenden Zellen (Osteoblasten) im **passiven Bewegungsapparat** und somit zur Knochenneubildung. Daher werden mit zunehmender Muskelmasse die Knochendichte erhöht und die im Kraftübertragungsprozess beteiligten Strukturen wie Sehnen, Bänder und Gelenkknorpel verstärkt. Auch die Gelenkknorpelschicht zeigt eine Anpassungserscheinung, indem sie durch regelmäßiges kraftbetontes Training zunimmt (TOMASITS/HABER, 2008, S.46).

Krafttraining führt ebenfalls zu typischen Veränderungen **im Hormonhaushalt**. Dies betrifft vor allem die anabolen Hormone, die einen Einfluss auf das Muskelwachstum haben. Nach einem Krafttraining kommt es zu einer erhöhten Plasmakonzentration an Testosteron, dennoch konnte festgestellt werden, dass monatelanges Krafttraining zu keinem Anstieg der basalen Werte von Testosteron führen. Neben Testosteron sind Konzentrationen an Adrenalin,

Somatotropin und Kortisol während des kraftbetonten Trainings erhöht (KNECHTLE, 2002, S. 67).

3.3 Trainingsmethoden zur Entwicklung der Kraftfähigkeit

Für die Entwicklung der Kraftfähigkeit stehen generell 3 Methoden zur Verfügung: *die Methode maximaler Krafteinsätze*, *die Methode wiederholter Krafteinsätze* und *die Methode dynamischer Krafteinsätze*.

Bei der **Methode maximaler Krafteinsätze** handelt es sich um das Heben einer maximalen Last. Dazu ist es notwendig, das Einer-Maximum zu bestimmen. Diese Methode kann verwendet werden, um die größten Kraftzunahmen hervorzubringen und Muskelhypertrophie zu bewirken. Es ist wichtig, darauf hinzuweisen, dass diese Methode wegen der Verletzungsgefahr nicht für Anfänger empfohlen werden kann (EHLENZ/GROSSER/ZIMMERMAN, 1998, S. 111).

Die Methode wiederholter Krafteinsätze zeichnet sich durch das Heben einer nichtmaximalen Last bis zur Erschöpfung aus. Dabei wird zwischen den Sätzen eine Pause eingehalten. Diese Methode wird in erster Linie zum Muskelaufbau eingesetzt, dennoch ist sie weniger effektiv als das Heben maximaler Gewichte (ZATSIORSKY/KRAEMER, 2008, S. 116).

Die Methode dynamischer Krafteinsätze ist durch das Heben einer nichtmaximalen Last mit der höchstmöglichen Geschwindigkeit charakterisiert. Dieses Training richtet sich vor allem an den Kraftanstieg und die Kontraktionsverbesserung der Grundschnelligkeit (MÜHLFRIEDEL, 1994, S. 78).

4 Schnelligkeit

4.1 Definition und Arten der Schnelligkeit

Unter Schnelligkeit wird eine koordinativ-konditionelle Fähigkeit verstanden, in kürzester Zeit auf Reize zu reagieren bzw. Informationen zu bearbeiten oder motorische Aktionen (Bewegungshandlungen) mit höchster Geschwindigkeit auszuführen (SCHNABEL ET AL., 2003, S. 156).

Generell wird zwischen der **reinen** und der **komplexen** Schnelligkeit unterschieden.

Zu den reinen Arten der Schnelligkeit zählen:

- 1) *Die Reaktionsschnelligkeit*: Die Fähigkeit, auf einen Reiz oder Signal in kürzester Zeit zu reagieren (HOTTENROTT/NEUMANN (a), 2010, S. 178).
- 2) *Die Aktionsschnelligkeit*: Die Fähigkeit, azyklische (einmalige) Bewegungen mit höchster Geschwindigkeit gegen geringe Widerstände auszuführen (WEINECK, 2010, S. 392).
- 3) *Die Frequenzschnelligkeit*: Die Fähigkeit, zyklische (sich wiederholende) Bewegungen mit höchster Geschwindigkeit gegen geringe bis mittlere Widerstände auszuführen (HOTTENROTT/NEUMANN (a), 2010, S. 178).

Diese reinen Schnelligkeitsarten gehen keine direkte Beziehung mit den anderen Leistungsvoraussetzungen ein.

Die Komplexschnelligkeit äußert sich dagegen immer nur in einer Beziehung mit den anderen Leistungsvoraussetzungen und beschreibt Bewegungs- oder Handlungsleistungen, die in sehr kurzer Zeit realisiert werden (SCHNABEL ET AL., 2003, S. 156).

4.2 Veränderungen in Organsystemen

Bei dem längerfristigen schnelligkeitsbetonten Training kommt es vor allem zu Veränderungen in der **Skelettmuskulatur** und im **Hormonsystem**.

Wird schnelligkeitsorientiert trainiert, vergrößert sich der Anteil an schnell kontrahierenden FT (fast twitch) Muskelfasern. Damit optimieren sich die Voraussetzungen für ein höheres Schnelligkeitspotenzial. Darüber hinaus nimmt der Muskelfaserquerschnitt bei Schnelligkeitstraining zu, weswegen es zu einer schnelleren Kontraktion kommt. Die Kontraktionsgeschwindigkeit des Muskels steigt ebenfalls durch die Vermehrung der Kreatinphosphatspeicher und die Zunahme der Enzymaktivitäten an (WEINECK, 2010, S. 397-398).

Die schnelligkeitsbedingten Anpassungen vollziehen sich nicht nur im Skelettmuskelsystem. Der Hormonhaushalt ist ebenfalls davon betroffen. Dabei kommt es zum trainingsbedingten Anstieg des Testosteronspiegels. Zudem bewirkt das Schnelligkeitstraining eine vermehrte Ausschüttung von Wachstumshormon (WEINECK, 2010, S.398).

4.3 Trainingsmethoden zur Entwicklung der Schnelligkeitsfähigkeit

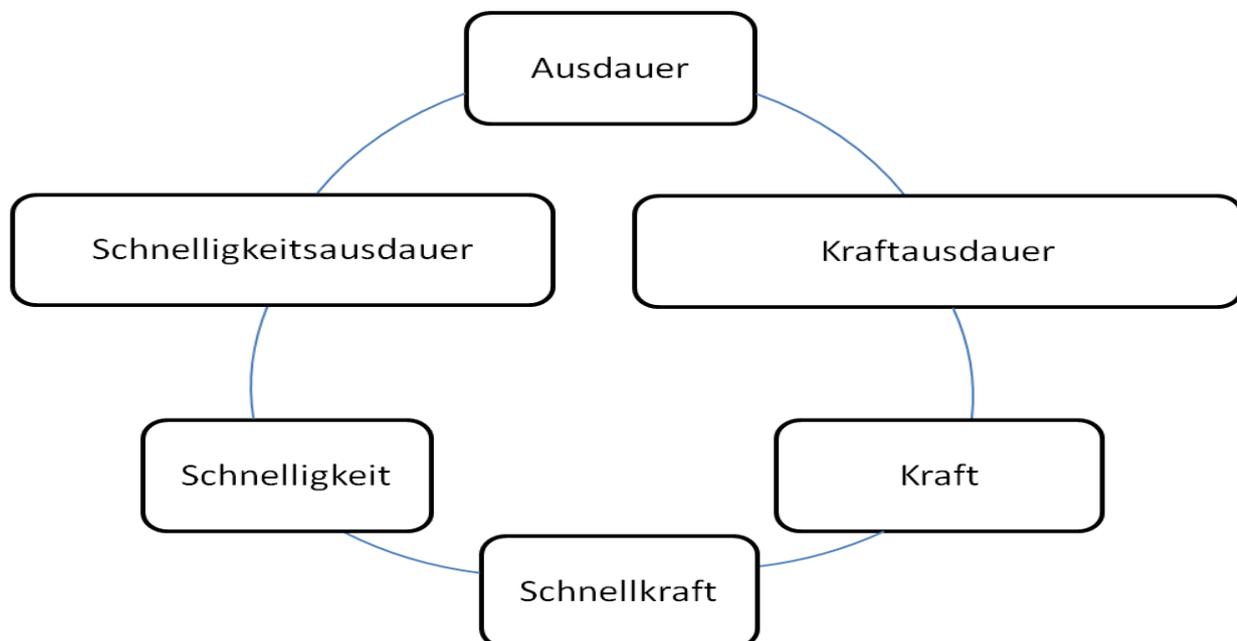
Als grundlegende Methode zur Verbesserung der Schnelligkeit gilt die **Wiederholungsmethode**, die nach der Aufwärmphase und bei hoher Konzentrationsfähigkeit eingesetzt wird. Da es beim Schnelligkeitstraining zur hohen psychischen und neuromuskulären Beanspruchungen

kommt, treten zentrale Ermüdungsreaktionen schnell ein (HOTTENROTT/NEUMANN (a), 2010, S. 182). Nur durch die vollständigen Pausen dieser Trainingsmethode kann die psychische und energetische Wiederherstellung gesichert und dadurch die maximale Geschwindigkeit ermöglicht werden (SCHNABEL ET AL., 2003, S. 307).

5 Ausdauer-, Kraft- und Schnelligkeitssportarten

Es ist allgemein bekannt, dass die meisten Sportarten nur sehr selten allein auf einer motorischen Eigenschaft beruhen, sondern hauptsächlich in Mischformen vorkommen. In diesem Sinne stehen Ausdauer, Kraft und Schnelligkeit in ständiger Wechselbeziehung zueinander, wie in der unteren Abbildung (Abb.1) veranschaulicht wird.

Abbildung 1: Wechselbeziehung der konditionellen Fähigkeiten



QUELLE: modifiziert nach WEINECK, 2010, S. 318

Aus diesem Grund werden die meisten Sportarten den sogenannten Mischformen zugeordnet, die sich meistens aus zwei motorischen Hauptbeanspruchungsformen zusammensetzen.

In Ergänzung zu den vorangegangenen Kapiteln über die Charakterisierung der Ausdauer-, Kraft- und Schnelligkeit, werden die Sportarten in dieser Zuordnung in der Tabelle (Tab.1) dargestellt.

Tabelle 1: Zuordnung ausgewählter Sportarten

Kraftsport	Gewichtheben, Stoß- und Wurfdisziplinen
-------------------	---

Ausdauersport	Mittel- und Langstreckenlauf, Radsport, Schwimmen, Teamsportarten (Fußball, Handball etc.)
Kraftausdauersport	Renncrudern, Boxen, Judo
Schnellkraftsport	Kurzstreckenlauf, Sprint- und Sprungdisziplinen, Gymnastik, Skisprung

QUELLE: ELMADFA/LEITZMANN, 2004, S. 502

6 Koffein

6.1 Historischer Rückblick

Koffein aus Kaffeebohnen wurde erstmals um 1820 von Friedrich Ferdinand Runge (1794 - 1867) isoliert. Zur Entdeckung des Koffeins hat der große Dichter Johann Wolfgang von Goethe beigetragen, indem er dem Chemiker ein paar Kaffeebohnen schenkte und ihn dazu ermunterte, diese im Labor zu untersuchen (CARVALHO/EMMERLING/SCHNEIDER, 2012, S. 41).

Nahezu zeitgleich (1821) wurde Koffein auch von Pierre-Jean Robiquet (1740-1840) und Joseph-Bienaimé Caventou (1795 - 1877) isoliert. Erst im Jahre 1895 gelang Emil Fischer (1852 - 1919) die Totalsynthese des Koffeins, wofür dieser Chemiker Jahre später den Nobelpreis erhielt (GIEBELMANN/LOGEMANN/ARNDT, 2011, S. 507).

6.2 Vorkommen von Koffein

Der Wirkstoff Koffein ist außer in Kaffeebohnen auch in den Beeren, Samen und Blättern des Teestrauchs, der Matepflanze sowie des Kakao- und Kolabaumes enthalten (BÜTZER, 2010, S.3). Bis heute konnten mindestens 100 Pflanzenarten registriert werden, in denen sich Koffein findet, wenn auch in sehr unterschiedlichen Mengen. Dort dient dieser natürliche Inhaltsstoff als Schutz vor Fressfeinden und Parasiten (DÜRR, 2011, S. 6).

Im Folgenden (Tab.2) wird das Vorkommen von Koffein in verschiedenen Pflanzen dargestellt.

Tabelle 2: Koffeingehalte verschiedener Pflanzen

Pflanze	Verwendete Pflanzenteile	Koffein (mg/100g)
Kaffee		
<i>Coffea arabica</i>	geröstete Samen	1000
<i>Coffea robusta</i>		2000

Tee <i>Camellia sinensis</i>	Triebspitzen und junge Teeblätter, fermentiert (schwarzer Tee) oder nur getrocknet (grüner Tee)	2500
Kakao <i>Theobroma cacao</i>	getrocknete Samen	200
Guarana <i>Paulinia cupana</i>	geröstete und gemahlene Samen	3600

QUELLE: modifiziert nach WEIß, 2007, S. 210

Wie man aus obiger Tabelle entnehmen kann, enthalten die Samen von Guarana-Arten die größte Konzentration von Koffein (bis 6 %) (EBERMANN/ELMADFA, 2008, S. 613).

Neben den natürlichen Quellen wie Kaffee und Tee wird Koffein zahlreichen Genussmitteln und Erfrischungsgetränken zugesetzt. Die folgende Tabelle (Tab.3) fasst die Angaben zu Koffeingehalt in verschiedenen Getränken und Lebensmitteln zusammen.

Tabelle 3: Koffeingehalt in verschiedenen Getränken und Lebensmitteln

verzehrbliche Mengen verschiedener koffeinhaltiger Getränke und Lebensmittel		Koffeingehalt in mg
1 Tasse Filterkaffee	(125 ml)	60 - 100
1 Tasse Espresso	(50 ml)	50 - 60
1 Tasse schwarzer Tee	(125 ml)	20 - 50
1 Tasse Kakao	(125 ml)	1,7 - 5
1 Glas Cola-Getränk	(200 ml)	13 - 50
1 Dose Energy-Drink	(250 ml)	80
1 Glas heiße Schokolade	(200 ml)	8
1 Glas Schokoladenmilch	(200 ml)	4
Schokoladenkuchen	(1 Scheibe)	25
Milchschokolade	(30 g)	6

QUELLE: modifiziert nach HAMM/SCHOLZ, 2002, S.257 und BROUNS, 2004, S. 150

Noch höhere Dosierung mit meist 200 mg Koffein enthalten die im Handel verfügbaren Koffeintabletten (KNECHTLE, 2002, S. 257).

6.3 Chemische Charakterisierung

Koffein ist ein Trivialname, der nichts über die chemische Zusammensetzung aussagt. Nach der systematischen IUPAC-Nomenklatur lautet die vollständige Bezeichnung 1,3,7-Trimethyl-2,6-purindion (CARVALHO/EMMERLING/SCHNEIDER, 2012, S. 43).

Koffein zusammen mit Theobromin und Theophyllin gehören zu der Gruppe der Purinalkaloide (Methylxanthine) und sind sich in ihrem Aufbau sehr ähnlich (EBERMANN/ELMADFA, 2008, S. 477).

Strukturell gesehen weisen diese drei Substanzen das gleiche Xanthin-Grundgerüst auf und unterscheiden sich nur in der Zahl und den Positionen der Methylgruppen voneinander (CARVALHO/EMMERLING/SCHNEIDER, 2012, S. 43).

Die Strukturformeln von Koffein, Theobromin und Theophyllin lassen sich wie folgt darstellen:

Abbildung 2: Die wichtigsten Methylxanthine



QUELLE: BALTES/MATISSEK, 2011, S. 491

6.4 Physiologische Eigenschaften

Nach oraler Applikation wird Koffein innerhalb von 20 Minuten nahezu vollständig (90 %) aus dem Magen-Darm-Trakt absorbiert und gelangt ins Blut (CARVALHO/EMMERLING/SCHNEIDER, 2012, S. 23). In weniger als 5 Minuten erreichen die Koffeinmoleküle über die Blutbahn die Organe und das Nervensystem. Aufgrund seiner lipophilen Eigenschaften kann Koffein sowohl die Blut-Hirn- als auch die Plazentaschranke gut überwinden. Die Bioverfügbarkeit beträgt dabei 90 - 100 %, d.h. fast das gesamte Koffein wird verstoffwechselt (BÜTZER, 2011, S. 10-11).

Die Zeit, bis die maximale Konzentration von Koffein im Blut erreicht wird, beträgt etwa 30 bis 60 Minuten. Die Halbwertszeit hängt stark von dem Alter und Geschlecht ab und dauert im Durchschnitt 4 Stunden (WEINECK, 2010, S. 905). Durch Medikamente, Kontrazeptiva, Alkohol, Flavanoide im Tee, Zucker und Kaffeesatz (türkischer Kaffee) kann die Abbauzeit des Koffeins auf bis zu 6 Stunden verlängert werden (BÜTZER, 2011, S. 12).

Der Abbau von Koffein (80 %) findet in der Leber statt, wo es zu Paraxathin demethyliert wird. Der Rest (16 %) wird zu Theobromin und Theophyllin umgewandelt. 3 % des Koffeins wird über den Urin unverändert ausgeschieden (DÜRR, 2011, S. 7).

Koffein wirkt sich auf alle Bereiche des Zentralnervensystems aus. In erster Linie ist jedoch das Großhirn betroffen (WEINECK, 2010, S. 906). Koffein regt die Herztätigkeit an, steigert den Blutdruck, erweitert die Bronchien und Blutgefäße, stimuliert die Muskeltätigkeit und regt die Verdauung, sowie Diurese an. Darüber hinaus beeinflusst das Koffein die Stimmung, die Konzentrationsfähigkeit und den Schlaf (DÜRR, 2011, S. 7). Als unerwünschte Wirkungen bei zu hoher Zufuhr (über 200 mg) können Nervosität, Erregbarkeit, Schlaflosigkeit, Übelkeit, Kopfschmerzen, Tremor, Diurese erhöhte bzw. gestörte Herzschlagfrequenz und gastrointestinale Störungen auftreten (BECHTHOLD, 2011, S. 18).

6.5 Wirkmechanismus des Koffeins im Sport

Es wurde lange darüber diskutiert, über welche Mechanismen Koffein während des Trainings seine Effekte ausübt. Bis jetzt sind verschiedene Hypothesen nachgewiesen worden, der genaue Wirkmechanismus von Koffein ist trotzdem noch nicht vollständig erklärt.

Eine der vielen Theorien beruht auf der Freisetzung von intrazellulärem Kalzium und der Hemmung der Phosphodiesterase, wobei es zur Verzögerung des Abbaus von cAMP (zyklischem Adenosinmonophosphat) kommt. Die dafür notwendigen Koffeinkonzentrationen sind sehr hoch und in der Praxis schwer zu erreichen. Daher nimmt man an, dass die Koffeinwirkung über andere Mechanismen vermittelt wird (AKTORIES, 2009, S. 176).

Die nächste wissenschaftliche Theorie besagt, dass Koffein den Plasma-Adrenalinpiegel erhöht und dadurch die Fettoxidation verbessert, was zur Schonung der Glykogen-Reserven im Training und damit zum längeren Ausbleiben der Ermüdung führt (DAVIS/GREEN, 2009, S. 813). Zudem stimuliert das während der sportlichen Tätigkeit ausgeschüttete Adrenalin erhöhte Energieproduktion und verbessert den Blutfluss zu den Muskeln und dem Herzen, was ebenfalls zur Leistungssteigerung beitragen kann (GANIO ET AL., 2009, S. 323).

Die breiteste Akzeptanz findet inzwischen jedoch die Theorie, welche aussagt, dass Koffein das zentrale Nervensystem stimuliert, indem es antagonistisch zur Wirkung von Adenosin fungiert. Dabei streiten sich Koffein und Adenosin um die Besetzung der Andockstellen auf den A1 und A2a-Adenosin-Rezeptoren in den Zellen (CARVALHO/EMMERLING/SCHNEIDER, 2012, S. 23). So blockiert Koffein den Adenosin-Rezeptor, sodass sich kein Adenosin daran andocken kann. Da Koffein die beruhigende Wirkung von Adenosin verhindert, bleiben die Ermüdungserscheinungen aus und das Schmerzempfinden wird vermindert (DAVIS/GREEN, 2009, S. 813).

7 Wirkung von Koffein auf die Ausdauer

7.1 Studien

In der Vergangenheit wurden zahlreiche Studien durchgeführt, die die Effektivität einer Koffeinsupplementation auf die ausdauerbetonte Leistung wie z. B. Radfahren, Schwimmen und Laufen untersuchten, meist mit positiven Ergebnissen (BURKE, 2008, S. 1319). Im Folgenden werden die neuesten Studien zusammengefasst und kritisch betrachtet.

Wirkung von 1, 2 und 3 mg Koffein pro kg Körpergewicht beim Radfahren

Probanden. An der doppelblinden, randomisierten Studie nahmen 13 Radfahrer (Männer) teil. Methodik. Die Teilnehmer mussten 1 Stunde nach Koffein- oder Placeboeinnahme auf einem stationären Ergometer zuerst 15 Minuten bei 80 % der maximalen Sauerstoffaufnahme (VO₂max) fahren, die individuell vor dem Versuch bestimmt wurde. Nachdem sich die Sportler 4 Minuten aktiv erholt haben, fuhren sie weitere 15 Minuten bei der höchsten Sauerstoffaufnahme. Als Leistungsmaß zur Bestimmung der Ausdauerfähigkeit wurde die geschaffte Fahrstrecke gemessen. Ergebnisse. Im Vergleich zur Placebo-Gruppe bewirkten Koffeinzufuhren von 2 und 3 mg pro kg Körpergewicht eine Leistungsverbesserung von durchschnittlich 3 % und 4 %, was als statistisch signifikant bezeichnet werden konnte. Die Ergebnisse bei der Koffeineinnahme von 1 mg pro Körpergewicht zeigten jedoch keine statistische Signifikanz (JENKINS et al., 2008, S. 328).

Bewertung. Als kritisch anzusehen ist bei dieser Studie die geringe Probandenzahl, wodurch die Beweis- und Aussagekraft stark herabgesetzt ist. Außerdem gibt es keine Angaben, ob die Studienteilnehmer Koffeinkonsumenten sind. Der regelmäßige Koffeinkonsum führt zu einem Gewöhnungseffekt des Organismus, wodurch sich die anregende Wirkung dieser Substanz verringert (BÜTZER, 2011, S. 10-11). Außerdem gibt es keine Hinweise darauf, in welchem

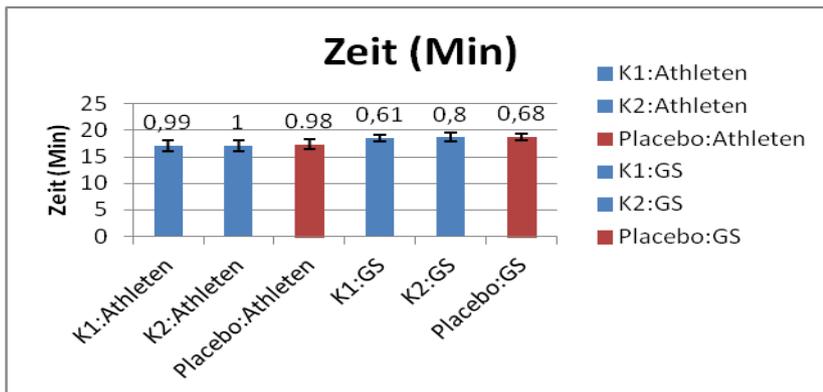
Ernährungszustand die Probanden die Tests durchgeführt haben. Dabei trägt beispielsweise Füllgrad des Glykogenspeichers ebenfalls zu einer Leistungsverbesserung bei ausdauerbetontem Training bei (WEINECK, 2010, S. 324). Auch durch die Einnahme von Alkohol und bestimmten Medikamenten kann die Koffeinwirkung beeinträchtigt werden (BÜTZER, 2011, S. 12). Weitere Faktoren wie persönliches Wohlbefinden, Stress oder Schlafmangel bei den Studienteilnehmern könnten ebenfalls die Versuchsergebnisse beeinflussen. Diese individuellen Eigenschaften der Probanden könnten von großer Bedeutung sein und müssen bei der Beurteilung der Koffeinwirkung berücksichtigt werden.

Wirkung von 5 mg Koffein pro kg Körpergewicht bei Athleten und Freizeitsportlern beim Radfahren

Probanden. An dieser einfachblinden Studie mit Cross-Over Design nahmen 8 ausdauertrainierte und 8 Gelegenheitsportler teil. Alle Probanden waren männlich und ließen sich der Gruppe *regelmäßige Koffeinkonsumer* zu ordnen, d.h., 2 - 7 Tage pro Woche wurden koffeinhaltige Getränke und Lebensmittel eingenommen. Der Gebrauch von solchen Produkten war 48 Stunden vor dem Studienbeginn nicht gestattet. Zudem musste 24 Stunden vor dem Versuch der speziell erstellte Ernährungsplan eingehalten werden, damit die Glykogenspeicher bei den Studienteilnehmern möglichst gleich aufgefüllt sind. Methodik. Die Teilnehmer mussten 1 Stunde nach der Koffein (5 mg pro kg Körpergewicht)- oder Placeboeinnahme die 10 km lange Fahrt absolvieren. Mit jedem Probanden wurde der Versuch 3 Mal mit einem Abstand von 48 Stunden durchgeführt, um ein repräsentatives Ergebnis zu erhalten. Dabei wurden Fahrzeiten nach je 1,6 km gemessen. Ergebnisse. In dieser Untersuchung konnten bessere Fahrzeiten nach der Koffeineinnahme sowohl bei Athleten (1,6 bis 2 %) als auch bei Gelegenheitsportlern (0,3 bis 1,0 %) verglichen mit der Placebo-Gruppe, registriert werden. Die beobachteten Unterschiede zwischen den Koffein- und Placebogruppen konnten als statistisch signifikant eingestuft werden (ASTORINO et al. (a), 2011, S. 179).

Diese Studie zeigt auf, dass Koffein bei den sportlich aktiven Männern, unabhängig vom ihrem Trainingszustand (Athleten oder Freizeitsportler), ergogen wirkt. Die Ergebnisse sind in der folgenden Graphik (Abb.3) zusammengefasst (K1-Koffeingruppe 1; K2-Koffeingruppe 2; GS-Gelegenheitsportler).

Abbildung 3: Mittelwert \pm Standardabweichung der Zeit bei der 10 km Fahrt



QUELLE: modifiziert nach ASTORINO et al. (a), 2011, S. 181

Bewertung. Im Bezug auf diese Studie ist zum einen die geringe Probandenzahl anzumerken, zum anderen die zu kurze Koffein-Entwöhnungsphase, die lediglich 48 Stunden dauerte. Dabei muss der Fakt berücksichtigt werden, dass der Prozess der Koffeinentwöhnung sehr individuell ist und 2 bis 9 Tage dauern kann (RIDELL et al., 2012, S. 24). Zudem können die Pausen von 48 Stunden zwischen den Versuchen mit jedem Probanden wegen des sogen. Carry-Over-Effects als kritisch angesehen werden, da die Koffeindosis von dem vorherigen Versuch möglicherweise noch wirken kann. Was an dieser Untersuchung als positiv bewertet werden kann, ist die Verwendung des speziell erstellten Ernährungsplanes, was die Unterschiede hinsichtlich des Ernährungszustandes bei den Probanden ausschließen lässt.

Wirkung von 3 mg Koffein pro kg Körpergewicht bei professionellen Radfahrern

Probanden. An der doppelblinden, randomisierten Studie mit Cross-Over Design haben 12 männliche professionelle Radfahrer und Triathleten teilgenommen. Die ausgewählten Sportler wurden durch die Befragung mittels eines Fragebogens als *regelmäßige Koffeinkonsumenten* eingestuft, die täglich 240 ± 162 mg Koffein zu sich nahmen. Methodik. Bei dieser Studie wurde zusätzlich die 4-tägige Koffeinentwöhnungsphase eingeführt und berücksichtigt, um herauszufinden, welchen Einfluss der Koffeinentzug auf die erbrachte Leistung während des ausdauerbetonten Trainings haben könnte. Folgende Maßnahmen wurden bei jedem Probanden durchgeführt: a) 4 Tage Einnahme von Placebotabletten und anschließende Placeboeinnahme 90 Minuten vor dem Versuch, b) 4 Tage Einnahme von Placebotabletten und anschließende Koffeineinnahme 90 Minuten vor dem Versuch (3 mg pro kg Körpergewicht), c) 4 Tage Einnahme von Koffein (1,5 mg pro kg Körpergewicht) und anschließende Placeboeinnahme 90 Minuten vor dem Versuch, d) 4 Tage Einnahme von Koffein (1,5 mg pro kg Körpergewicht) und anschließende Koffeineinnahme 90 Minuten vor dem Versuch (3 mg pro kg Körpergewicht). An

dem Versuchstag absolvierten die Teilnehmer eine 60-minütige Fahrt bei 75 % der maximalen Sauerstoffaufnahme, die individuell vor dem Test festgestellt wurde. Als Leistungsmaß zur Beurteilung der Ausdauerfähigkeit wurden geschaffte Fahrstrecken gemessen. Ergebnisse. Im Gegensatz zur Placebo-Gruppe wurde in der Koffein-Gruppe nach der 4-tägigen Koffeinzugsphase eine signifikante Steigerung der Leistung von 3% nachgewiesen. Bei den Athleten, die in den letzten Tagen weiterhin koffeinhaltige Lebensmittel konsumiert hatten, wurde ebenfalls im Vergleich zur Placebo-Gruppe eine signifikante Leistungsverbesserung von 3,6 % festgestellt (IRWIN et al., 2011, S. 509).

Aufgrund der Ergebnisse der oben angeführten Studie kann man davon ausgehen, dass sowohl bei Koffeinkonsumenten als auch bei Nicht-Koffeinkonsumenten eine signifikante Leistungssteigerung nach einer akuten Koffeingabe von 3 mg pro kg Körpergewicht 90 Minuten vor der Trainingseinheit möglich ist.

Bewertung. Auch bei dieser Untersuchung lässt sich ein erheblicher Mangel bei der Probandenzahl (n=12) feststellen, wodurch die Aussage- und Beweiskraft der Ergebnisse zumindest teilweise abgeschwächt wird. Außerdem werden nur männliche Probanden untersucht. Ferner gibt es keine Angaben zu den Ernährungszuständen der Probanden an dem Versuchstag, was eine erhebliche Rolle bei der erbrachten Leistung während des Testes spielen könnte. Weitere Faktoren wie persönliches Wohlbefinden, Stress oder Schlafmangel werden ebenfalls nicht berücksichtigt. Außerdem wird nicht erwähnt, in welchen Zeitabständen die 4 beschriebenen Maßnahmen mit jedem Studienteilnehmer durchgeführt wurden. Da dies eine Cross-Over Studie ist, besteht bei zu kleinen Zeitabständen die Gefahr eines Carry-Over-Effects, wenn die Koffeindosis von dem letzten Test möglicherweise noch wirken kann.

Wirkung von 6 mg Koffein pro kg Körpergewicht bei ausdauertrainierten Männern beim Radfahren

Probanden. An der randomisierten Untersuchung nahmen 12 ausdauertrainierte Männer teil. Die Probanden wurden von Anfang an informiert, dass das Ziel dieser Studie darin liegt, die mögliche positive Wirkung von Koffein auf die Ausdauerfähigkeit zu untersuchen. Vor dem Test wurde mithilfe eines Fragebogens festgestellt, dass die Studienteilnehmer im Durchschnitt 228 ± 81 mg Koffein pro Tag konsumierten. 60 Stunden vor dem Versuch war der Konsum der koffeinhaltigen Lebensmittel und Getränke nicht gestattet. Außerdem musste 24 Stunden vor dem Test der speziell erstellte Ernährungsplan eingehalten werden, damit die Studienteilnehmer in möglichst gleichen Ernährungszuständen zum Versuch erscheinen. Methodik. Die Pro-

banden mussten 1 Stunde nach der Koffein- (6 mg pro kg Körpergewicht) oder Placebosupplementation bei 70 % der maximalen Sauerstoffaufnahme, die individuell vor dem Versuchstag festgestellt wurde, eine 90-minütige Fahrt auf einem stationären Ergometer absolvieren. Als Leistungsmaß zur Einschätzung der Ausdauerfähigkeit wurde während der Untersuchung die geschaffte Fahrstrecke gemessen. Ergebnisse. Es konnte kein Unterschied in der Ausdauerleistung zwischen der Placebo- und Koffeingruppe nachgewiesen werden (BACKHOUSE et al., 2011, S. 249).

Bewertung. Im Bezug auf diese Studie sind neben der geringen Teilnehmerzahl und der Teilnahme von nur männlichen Studienteilnehmern negativ anzumerken, dass die Probanden von Anfang an über das Ziel der Untersuchung informiert waren, was möglicherweise zu Verzerrungen der Ergebnisse führen konnte. Aus diesem Grund ist die Verblindung (im Idealfall Doppelverblindung) bei solchen Untersuchungen als erforderlich anzusehen. Außerdem sollte die Koffeinentwöhnungsphase von 48 Stunden als zu kurz betrachtet werden, da der Prozess der Koffeinentwöhnung sehr individuell ist und von 2 bis 9 Tagen dauern kann (RIDELL et al., 2012, S. 24). Was an dieser Studie als positiv bewertet werden kann, ist der Einsatz der speziell entwickelten Ernährungspläne. Diese Maßnahme lässt die Unterschiede hinsichtlich des Ernährungszustandes bei den Studienteilnehmern ausschließen. Die weiteren Parameter, die ebenfalls einen Einfluss auf die Leistung haben könnten wie persönliches Wohlbefinden, Stress oder Schlafmangel wurden jedoch nicht berücksichtigt.

Wirkung von 10 mg Koffein pro kg Körpergewicht bei Studenten beim Radfahren

Probanden. An der doppelblinden, randomisierten Studie nahmen 16 untrainierte Studenten (Männer) teil, die regelmäßige Koffeinkonsumenten waren. Methodik. Die Teilnehmer absolvierten die 30-minütige Fahrt bei 60 % der maximalen Sauerstoffaufnahme, die individuell vor dem Testtag bestimmt wurde, auf einem stationären Ergometer. Den Teilnehmern wurde eine Stunde vor dem Versuch eine wesentlich höhere Dosis als in den anderen Studien (10 mg pro kg Körpergewicht Koffein) oder Placebo verabreicht. Während des Versuchs wurden Sauerstoffverbrauch, Atem- sowie Herzfrequenz gemessen und später mithilfe dieser Belastungsparameter die erbrachte Leistung ausgerechnet, was als Leistungsmaß zur Bestimmung der Ausdauerfähigkeit bei den Studenten herangezogen wurde. Ergebnisse. Dabei konnte keine signifikante Leistungssteigerung in der Koffeingruppe festgestellt werden, verglichen mit der Placebogruppe. (MOTL/O'CONNOR/DISHMAN, 2003, S. 318). Hier könnte die Aussage in Erwägung gezogen werden, dass positive Koffeinwirkung auf die Ausdauerfähigkeit nur bei trainierten Personen (egal, ob Gelegenheitssportlern oder Athleten) beobachtet werden kann,

die die Internationale Gesellschaft für Sportlerernährung in ihrem Statement 2010 veröffentlicht hat (GOLDSTEIN et al (a)., 2010, S. 1). Weitere Studien sind dennoch notwendig, um die Ergebnisse besser zu belegen.

Bewertung. Als negativ zu betrachten ist die im Vergleich zu den anderen Studien hohe Koffeingabe von 10 mg pro kg Körpergewicht, da dabei unerwünschte Wirkungen wie Schlaflosigkeit, Übelkeit, Kopfschmerzen, Diurese und gastrointestinale Störungen zu erwarten sind, die zur Beeinträchtigung der sportlichen Leistung führen können (BECHTHOLD, 2011, S. 18). Zudem gibt es keine Angaben zu den Ernährungszuständen der Studienteilnehmer sowie zu weiteren Faktoren wie Stress, Schlafmangel oder persönliches Wohlbefinden an dem Versuchstag, was von entscheidender Bedeutung bei der erbrachten Leistung während des Versuches sein könnte.

Wirkung von 3 mg Koffein pro kg Körpergewicht bei Marathonläufern in einem 8-km-Lauf (Mittelstrecke)

Probanden. An der doppelblinden, randomisierten Feldstudie nahmen 8 männliche Marathonläufer teil. Keiner der Sportler war regelmäßiger Koffeinkonsument. Methodik. Den Teilnehmern wurde eine Stunde vor dem Test 3 mg Koffein pro kg Körpergewicht oder Placebo verabreicht. Die Untersuchung wurde draußen in einem Stadion durchgeführt. Während des Versuchs wurden die Laufzeiten der Teilnehmer als Leistungsmaß zur Beurteilung der Ausdauerfähigkeit gemessen. Ergebnisse. Dabei wurde eine signifikante Leistungssteigerung (1,2 %) in der Koffeingruppe im Vergleich zur Placebo-Gruppe festgestellt. Die Athleten, die vor dem Laufen eine Koffeinsupplementierung erhalten haben, haben durchschnittlich 23,8 s schneller ihre Ziellinie erreicht (BRIDGE/JONES, 2006, S. 433).

Bewertung. Es gibt weder Angaben zu den Ernährungszuständen der Probanden noch zu weiteren Faktoren wie Stress, Schlafmangel oder persönlichen Wohlbefinden an dem Versuchstag, was von entscheidender Bedeutung bei der erbrachten Leistung während des Versuches sein könnte. Als kritisch anzumerken ist wie bei den oben erwähnten Studien die geringe Teilnehmerzahl. Außerdem sind alle Probanden männlichen Geschlechts. Als positiv zu betrachten ist, dass es hier sich um eine Feldstudie handelt, d.h., die wissenschaftliche Beobachtung unter natürlichen Bedingungen, also außerhalb des Labors stattfindet. Somit ist die Übertragbarkeit der Ergebnisse in die Anwendungssituation besser gewährleistet.

7.2 Zusammenfassung der Ergebnisse

4 von 6 der oben dargestellten Studien zeigten eine positive Wirkung von Koffein auf die Ausdauer auf. In 4 von 6 Untersuchungen konnte die Leistungssteigerung nach der Koffeingabe als statistisch signifikant eingestuft werden, wobei der p-Wert unter 0,05 gesetzt wurde. Die Leistungsverbesserung in ausdauerbetonten Sportarten wird ebenfalls in einschlägiger Literatur begründet (WEINECK, 2010, S. 907; KNECHTLE, 2002, S. 258; BROUNS, 2004, S. 154).

Probandenzahl. Bei allen Untersuchungen lassen sich erhebliche Mängel in der Probandenzahl (n), die von 8 bis zu 16 Teilnehmern variieren, feststellen. Dadurch ist die Beweis- und Aussagekraft stark herabgesetzt und die Generalisierbarkeit der Studienergebnisse erschwert. Dennoch sind die Relation von Kosten- und Nutzenaufwand der meist universitären Forschungsinstituten zu berücksichtigen.

Probanden. Für die Untersuchungen wurden die Probanden aus verschiedenen möglichen Populationen gezogen, wie z. B. Studenten, Gelegenheitssportler oder Athleten, die sich in ihrem Trainingszustand, ihrer Ernährung und dementsprechend in körperlichen Leistungsfähigkeiten abweichen. Ebenfalls gibt es Unterschiede hinsichtlich des Koffeinkonsums unter den Probanden. Bei einer Studie ist es gar nicht erwähnt, ob die Studienteilnehmer überhaupt Koffeinkonsumenten sind (JENKINS et al., 2008, S. 328). Dieser Faktor kann bei der Untersuchung von entscheidender Bedeutung sein, da der regelmäßige Koffeinkonsum zu einem Gewöhnungseffekt führen kann, wodurch sich die ergogene Wirkung dieser Substanz verringert (BÜTZER, 2011, S. 10-11). Diese individuellen Eigenschaften der Probanden können bei den Tests eine entscheidende Rolle spielen und müssen bei der Beurteilung der Koffeinwirkung berücksichtigt werden. Außerdem sind alle Probanden, die untersucht wurden, männlich.

Studienprotokoll. Nur bei drei Untersuchungen wurden die Versuchspersonen aufgefordert, einen bestimmten Zeitraum auf koffeinhaltige Lebensmittel zu verzichten, um den Gewöhnungseffekt bei Koffein und den damit verbundenen möglichen Nachlass der Wirkung ausschließen zu können (IRWIN et al., 2011, S. 509; ASTORINO et al. (a), 2011, S. 179; BACKHOUSE et al., 2011, S. 249). Dabei muss der Zeitabschnitt von 48 Stunden als kritisch angesehen werden, da der Prozess der Koffeinentwöhnung sehr individuell ist und zwischen 2 und 9 Tagen dauern kann (RIDELL et al., 2012, S. 24). Außerdem gibt es nicht überall Hinweise darauf, in welchem Ernährungszustand die Probanden die Tests durchgeführt haben (JENKINS et al., 2008, S. 328; IRWIN et al., 2011, S. 509; MOTL/O'CONNOR/DISHMAN, 2003, S. 318; BRIDGE/JONES, 2006, S. 433). Dabei trägt beispielsweise der Füllgrad des Glykogenspeichers ebenfalls zu einer Leistungsverbesserung bei ausdauerbetontem Training

bei (WEINECK, 2010, S. 324). Auch durch die Einnahme von Alkohol und bestimmten Medikamenten kann die Koffeinwirkung beeinträchtigt werden (BÜTZER, 2011, S. 12). Weitere Faktoren wie persönliches Wohlbefinden, Stress oder Schlafmangel bei den Studienteilnehmern könnten ebenfalls die Versuchsergebnisse beeinflussen.

Supplementation. Auch die verabreichten Dosen von Koffein variieren zwischen den Untersuchungen deutlich. Die Studienteilnehmer erhielten 1 bis 10 mg Koffein pro kg Körpergewicht. Die Zufuhr von 10 mg pro kg Körpergewicht ist allerdings als kritisch anzusehen, da dabei unerwünschte Wirkungen wie Schlaflosigkeit, Übelkeit, Kopfschmerzen, Diurese und gastrointestinale Störungen zu erwarten sind, die zur Beeinträchtigung der sportlichen Leistung führen können (BECHTHOLD, 2011, S. 18). Außerdem wurde bei der Koffeingabe von 10 mg pro kg Körpergewicht keine ausdauerbetonte Leistungsverbesserung festgestellt (MOTL/O'CONNOR/DISHMAN, 2003, S. 318). Auch bei kleiner Gabe von Koffein (1 mg pro kg Körpergewicht) kommt es zur keiner Verbesserung der Leistung hinsichtlich der Ausdauer (JENKINS et al., 2008, S. 328).

Studiendesign. Bei 5 von 6 Untersuchungen handelt es sich um Laborstudien, daher sind Ergebnisse nicht ohne weiteres übertragbar in das Anwendungsfeld (auf der Straße oder im Stadion). In der Laborwelt ist außerdem mit der Verhaltensbeeinflussung von Probanden zu rechnen, da Studienteilnehmer sich hier beobachtet wissen. Zudem ist auch nicht jeder aus seiner Zielgruppe bereit an einer Studie im Labor teilzunehmen, z. B. besitzen Topathleten oder Weltmeister meistens mit Trainingseinheiten überfüllte Terminkalender und sind deswegen schwer zu solchen Studien zu rekrutieren.

7.3 Fazit der Studien und Ausblick

Anhand der angeführten Diskussion lassen sich folgende Punkte hervorheben:

- 1) Koffein hat einen geringen positiven Einfluss auf die Ausdauer.**
- 2) Die positive Koffeinwirkung auf die Ausdauer kann nur bei trainierten Personen (unabhängig von ihrem Trainingszustand, d.h. egal ob Gelegenheitsportlern oder Athleten) festgestellt werden.**
- 3) In den sechs ausgewählten Studien bleiben Fragen aufgrund der geringen Probandenzahl, des Geschlechts der Probanden sowie ihrer individuellen Eigenschaften wie Koffeinkonsum, Ernährung, alltäglicher Stress und dementsprechend körperliche Leistungsfähigkeiten offen.**

Für die zukünftige Forschung der Wirkung von Koffein ergeben sich folgende Notwendigkeiten:

- höhere Probandenzahlen zu untersuchen;
- individuelle Parameter der Probanden wie alltäglicher Koffeinkonsum und Ernährung bei den Untersuchungen zu berücksichtigen und abzugrenzen;
- die Wirkung von Koffein auf die Ausdauer auch bei weiblichen Probanden zu untersuchen;
- die Ernährung vor dem Versuchstag zu standardisieren, um Abweichungen im Füllgrad des Glykogenspeichers zu vermeiden;
- zu untersuchen, ob die Koffeinwirkung wirklich nur bei trainierten Personen zu beobachten ist;
- zu klären, welche einsetzbare Dosis von Koffein die effektivste bei einem ausdauerbetonten Training ist, damit eine möglichst große Leistungssteigerung erreicht werden kann;
- den Wirkmechanismus des Koffeins während des ausdauerbetonten Trainings vollständig aufzuklären;
- mehr Feldstudien durchzuführen, um die Übertragbarkeit in die Anwendungssituation zu sichern;
- die Koffeinwirkung nicht nur beim Radfahren, sondern auch bei anderen ausdauerbetonten Sportarten wie beim Rudern, Schwimmen bzw. bei Teamsportarten wie Fußball, Handball oder Basketball zu untersuchen.

8 Wirkung von Koffein auf die Kraft

8.1 Studien

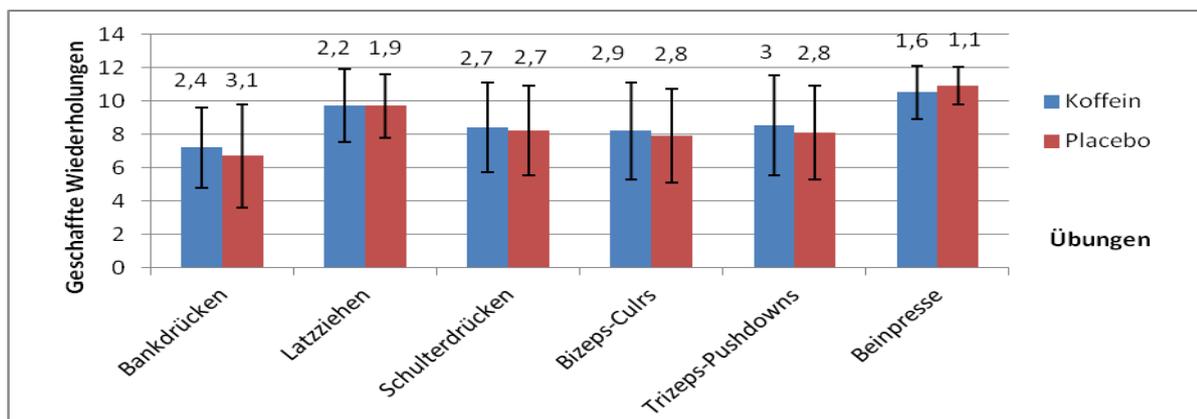
In den letzten Jahren wurden auch im Bereich des Krafttrainings zahlreiche Studien durchgeführt, um die Koffeinwirkung auf die Kraft festzustellen.

Wirkung von 6 mg Koffein pro kg Körpergewicht beim Bankdrücken, Lastziehen, Schulterdrücken, Bizeps-Curls, Trizeps-Pushdowns und Beinpresse

Probanden. An der doppelblinden, randomisierten Studie nahmen 10 krafttrainierte Männer teil, die regelmäßige Koffeinkonsumenten waren (<200 mg pro Tag). Die Teilnehmer wurden aufgefordert, für mehr als 8 Wochen auf Kreatin- und Alaninpräparate zu verzichten, um die ergogene Wirkung dieser Substanzen ausschließen zu können. Methodik. Vor der Untersuchung wurde bei jedem Studienteilnehmer die individuelle Belastungskapazität (1 Repetition Maxi-

zum) bestimmt. Am Testtag mussten die Probanden 1 Stunde nach der Koffein- (6 mg Koffein pro kg Körpergewicht) oder Placeboeinnahme mit einer Belastungsintensität von 50 % der individuellen Maximalkraft in 2 Tests folgende Übungen bis zur totalen Erschöpfung ausführen: Bankdrücken, Lastziehen, Schulterdrücken, Bizeps-Curls, Trizeps-Pushdowns und Beinpresse. Gemessen wurden während des Versuchs die geschafften Wiederholungen. Ergebnisse. Im Vergleich zur Placebogruppe haben die Probanden nach der Koffeingabe bei allen Übungen mehr Wiederholungen geschafft. Jedoch konnte nur beim Bankdrücken der Unterschied zwischen der Koffein- und Placebogruppe als signifikant eingestuft werden. Kein signifikanter Unterschied wurde bei den anderen Übungen zwischen den beiden Gruppen registriert (DAVIS/GREEN/LAURENT, 2012, S.31). Die Ergebnisse der Koffein- und Placebogruppen sind in der unteren Graphik (Abb.4) zusammengefasst.

Abbildung 4: Mittelwert \pm Standardabweichung der geschafften Wiederholungen bei durchgeführten Übungen



QUELLE: modifiziert nach: DAVIS/GREEN/LAURENT, 2012, S.33

Bewertung. Im Hinblick auf die Studie ist positiv anzumerken, dass die Probanden dazu aufgefordert wurden, für einen längeren Zeitraum auf ergogen wirkende Kreatin- und Alaninpräparate zu verzichten, um Verzerrungen der Studienergebnisse aufgrund dieser anregenden Substanzen auszuschließen. Jedoch war der Konsum der koffeinhaltigen Lebensmittel und Getränke vor dem Versuchstag weiterhin erlaubt. Wie bereits erwähnt wurde, kann es durch regelmäßigen Koffeinkonsum zu einem Gewöhnungseffekt kommen, wodurch sich die anregende Wirkung dieser Substanz verringert (BÜTZER, 2011, S. 10-11). Dies könnte der Grund dafür sein, dass die signifikante Leistungssteigerung nur bei einer Übung (Bankdrücken) nachgewiesen werden konnte.

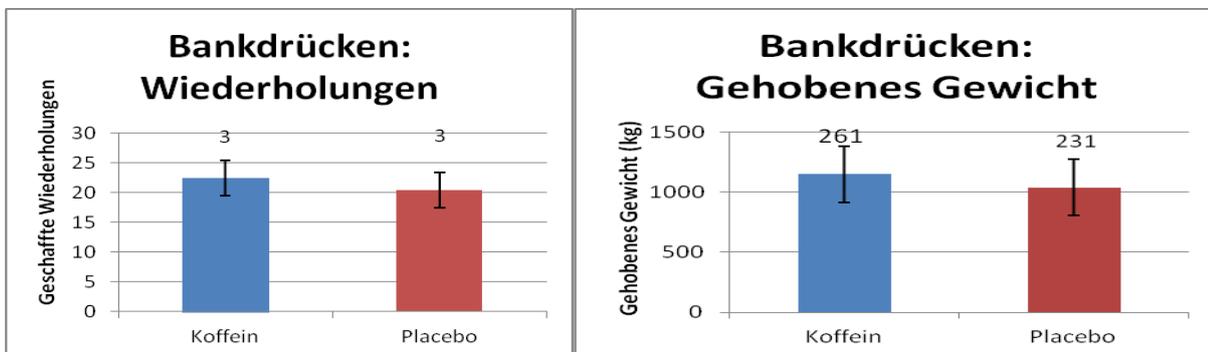
Wirkung von 5 mg Koffein pro kg Körpergewicht beim Bankdrücken

Probanden. An der doppelblinden, randomisierten Studie haben 13 Teamsportler (Rugby-, Fußball- und Basketballspieler) teilgenommen, die regelmäßige Koffeinkonsumenten waren. Im Gegensatz zur vorherigen Studie haben die Sportler 48 Stunden vor dem Versuch auf koffeinhaltige Lebensmittel verzichtet. Ebenfalls wurden die Teilnehmer gebeten, 3 Monate vor der Untersuchung die Einnahme von den ergogen wirkenden Sportlerpräparaten zu unterlassen.

Methodik. Am Versuchstag führten die Probanden 1 Stunde nach der Koffein (5 mg pro kg Körpergewicht)- oder Placeboeinnahme mit einer Belastungsintensität von 60 % der zuvor individuell bestimmten Maximalkraft Bankdrücken bis zur totalen Erschöpfung aus. Dabei wurden die geschafften Wiederholungen gezählt und das gehobene Gewicht gemessen.

Ergebnisse. Im Gegensatz zur Placebo-Gruppe haben die Sportler nach der Koffeinsupplementation sowohl signifikant mehr Wiederholungen geschafft als auch mehr Gewicht gehoben (DUNCAN/OXFORD, 2011, S. 178). Die Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle (Abb.5) zusammengefasst.

Abbildung 5: Mittelwert \pm Standardabweichung der Wiederholungen und gehobenen Gewichts beim Bankdrücken



QUELLE: modifiziert nach DUNCAN/OXFORD, 2011, S. 1

Bewertung. Im Bezug auf diese Studie sticht positiv hervor, dass die Probanden eine Zeitlang sowohl auf verschiedene Sportpräparate als auch auf die koffeinhaltigen Lebensmittel und Getränke verzichten mussten. Allerdings ist die Zeitdauer von 48 Stunden, wie bereits erwähnt wurde, als zu kurz zu betrachten, da die Koffeinentwöhnungsphase sehr individuell sein kann (RIDELL et al., 2012, S. 24).

Wirkung von 6 mg Koffein pro kg Körpergewicht bei weiblichen Probanden beim Bankdrücken

Probanden. An der doppelblinden, randomisierten Untersuchung mit dem Cross-Over Design nahmen 15 krafttrainierte Frauen teil. Die Sportlerinnen haben 12 Stunden auf Nahrung und 24 Stunden vor dem Test auf Koffein verzichtet. Methodik. An dem Versuchstag absolvierten die Probandinnen 1 Stunde nach der Koffein (6 mg pro kg Körpergewicht)- oder Placeboeinnahme mit einer Belastungsintensität von 60 % der zuvor individuelle bestimmten Maximalkraft Bankdrücken bis zur totalen Erschöpfung. Ergebnisse. Dabei wurden die geschafften Wiederholungen gezählt. Verglichen mit der Placebogruppe, ist es der Koffeingruppe nicht gelungen, mehr Wiederholungen zu schaffen (GOLDSTEIN et al. (b), 2010, S. 4).

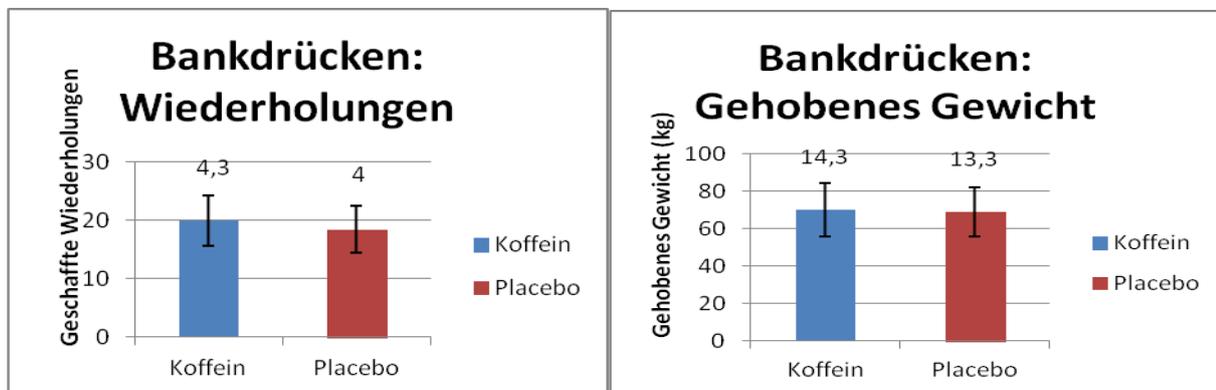
Bewertung. Dies ist die erste der präsentierten Studien, die weibliche Probanden untersucht. Generell wurden in der Vergangenheit wesentlich weniger Studien mit Frauen hinsichtlich der Koffeinwirkung im Sport durchgeführt (GOLDSTEIN et al. (b), 2010, S. 1). Es werden jedoch keine Angaben dazu gemacht, ob die Teilnehmerinnen Konsumenten von anderen ergogen wirkenden Sportpräparaten sind, um die Verzerrungen der Studienergebnisse aufgrund dieser Substanzen ausschließen zu können. Ferner ist nicht erwähnt, ob die Probandinnen überhaupt Koffeinkonsumentinnen sind. In diesem Fall wäre die Entwöhnungsphase von 24 Stunden als viel zu kurz zu betrachten.

Wirkung von 6 mg Koffein pro kg Körpergewicht beim Bankdrücken und beim Beinpressen

Probanden. An der doppelblinden, randomisierten Studie nahmen 22 krafttrainierte Männer teil, die Koffeinkonsumenten waren. Die Probanden haben 48 Stunden vor dem Versuch auf die koffeinhaltigen Lebensmittel verzichtet. Methodik. An den verschiedenen Versuchstagen mussten die Teilnehmer 1 Stunde nach der Koffein (6 mg pro kg Körpergewicht)- oder Placeboeinnahme Bankdrücken mit Langhanteln oder Beinpressen mit einer Belastungsintensität von 60 % der Maximalkraft bis zur totalen Erschöpfung absolvieren. Die individuelle Belastungsintensität der Sportler wurde vor dem Testtag bestimmt. Die Forschungsleiter haben das gehobene Gewicht gemessen und die geschafften Wiederholungen gezählt. Ergebnisse. Im Vergleich zur Placebogruppe, hat die Koffeingruppe 11 % mehr Gewicht beim Bankdrücken und 12 % beim Beinpressen gehoben. Dennoch konnte bei dieser Untersuchung weder beim Bankdrücken noch beim Beinpressen das Signifikanzlevel erreicht werden

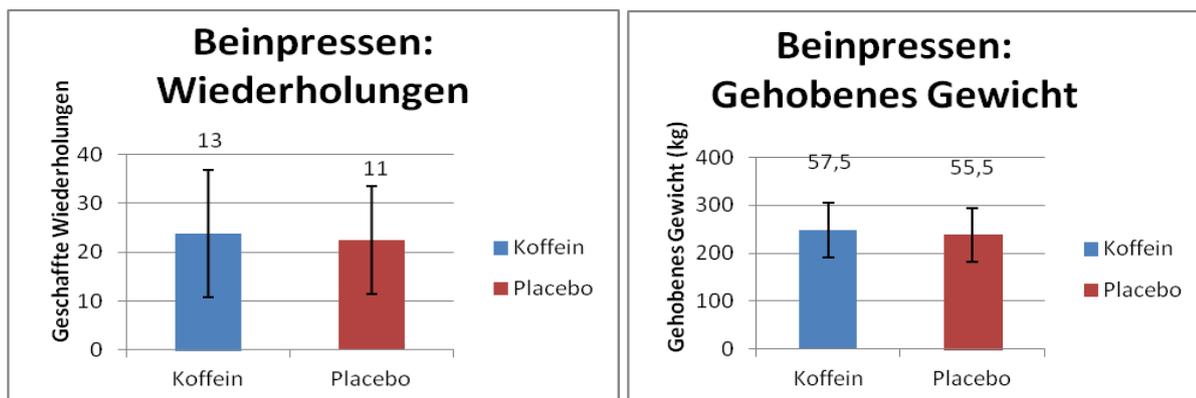
(ASTORINO/ROHMANN/FIRTH, 2008, S. 127). Die folgende Graphiken (Abb.6 und 7) fassen die Ergebnisse zusammen.

Abbildung 6: Mittelwert \pm Standardabweichung der Wiederholungen und gehobenen Gewichts beim Bankdrücken



QUELLE: modifiziert nach ASTORINO/ROHMANN/FIRTH, 2008, S. 129

Abbildung 7: Mittelwert \pm Standardabweichung der Wiederholungen und des gehobenen Gewichts beim Beinpressen



QUELLE: modifiziert nach ASTORINO/ROHMANN/FIRTH, 2008, S. 129

Bewertung. Wie auch bei einigen bisher erwähnten Studien, wurden hier keine Informationen bezüglich des Konsums der ergogen wirkenden Präparaten erhoben, um mögliche Verzerrungen der Ergebnisse zu vermeiden. Ferner ist der Zeitabschnitt von 48 Stunden, bei dem die koffeinhaltigen Lebensmittel und Getränke nicht gestattet wurden als zu kurz zu anzumerken.

Wirkung von 6 mg Koffein pro kg Körpergewicht beim Bank- und Schulterdrücken, Beinpressen und bilateraler Druckübung

Probanden. Zu dieser doppelblinden, randomisierten Studie wurden 14 krafttrainierte männliche Probanden, die regulär Koffein konsumierten, eingeladen. Der Konsum von koffeinhaltigen

Lebensmitteln und Getränken wurde 48 Stunden vor dem Versuchsbeginn nicht erlaubt. Methodik. 1 Stunde nach der Koffein (6 mg pro kg Körpergewicht)- oder Placebogabe führten die Probanden 4 Sätze der erwähnten Übungen mit einer Belastungsintensität von 70 - 80 % der Maximalkraft durch, die individuell bei jeder Person vor dem Test festgestellt wurde. Zwischen den Sätzen wurden 2-minütige Pausen eingelegt. Während des Versuchs wurden die Wiederholungen gezählt und das gehobene Gewicht gemessen. Ergebnisse. Nur beim Beinpressen haben die Studienteilnehmer in der Koffeingruppe mehr Wiederholungen geschafft, verglichen mit der Placebogruppe. Dieser Unterschied konnte als signifikant bezeichnet werden. Das gehobene Gewicht beim Ausführen aller 4 Übungen blieb bei den beiden Gruppen ähnlich (ASTORINO et al. (b), 2011, S. 1752).

Bewertung. Dass die signifikante Leistungssteigerung nur beim Beinpressen festgestellt werden konnte, liegt möglicherweise daran, dass die Zeitdauer von 48 Stunden als für zu kurz gehalten werden kann, da die Koffeinentwöhnung individuell von 2 bis 9 Tagen dauern kann (RIDELL et al., 2012, S. 24). Außerdem wurden keine Angaben bezüglich des möglichen Konsums der Sportpräparate gemacht.

Wirkung von 5 mg Koffein pro Körpergewicht auf die isokinetische Muskelkraft beim Kniebeugen und -strecken

Probanden. An der doppelblinden, randomisierten Untersuchung nahmen insgesamt 31 untrainierte Studenten teil, davon 17 Männer und 14 Frauen. Die Probanden haben durchschnittlich 200 mg Koffein pro Woche konsumiert. Zum Zwecke der Studie verzichteten sie mindestens 5 Tage vor dem Versuch auf die koffeinhaltigen Lebensmittel. Methodik. Vor dem Versuch wurden bei jedem Probanden mithilfe des Computers die durchschnittliche und die Spitzenkraft des Quadrizeps beim Kniebeugen und -strecken bestimmt. Dabei wurden die geschafften Wiederholungen gezählt. An dem Testtag erhielten die Studienteilnehmer Koffein oder Placebo und absolvierten nach 1 Stunde dieselbe Übung. Ergebnisse. Bei den Studenten in der Koffeingruppe wurde eine Zunahme sowohl der durchschnittlichen als auch der Spitzenkraft in dem Quadrizeps beobachtet, verglichen mit der Placebogruppe. Dennoch konnte diese Zunahme nicht als repräsentativ bezeichnet werden (ARCHNA/JASPAL, 2010, S. 1).

Bewertung. Im Bezug auf diese Studie ist zum einen der Einbezug der weiblichen Probanden als positiv anzumerken, zum anderen die im Vergleich zu anderen Untersuchungen längere Koffein-Entwöhnungsphase von 5 Tagen. Auch wie bei den oben angeführten Studien fehlen hier Hinweise auf weitere individuelle Parameter der Probanden wie das persönliche Befinden,

alltäglicher Stress oder Schlafmangel, wodurch möglicherweise die Studienergebnisse beeinflusst werden können.

8.2 Zusammenfassung der Ergebnisse

In 5 von 6 der oben angeführten Studien wurde die positive Wirkung von Koffein auf die Kraftfähigkeit bewiesen. Dennoch konnte die Leistungssteigerung nur in 3 Untersuchungen als statistisch signifikant eingestuft werden, wobei der p-Wert unter 0,05 gesetzt wurde.

Probandenzahl. Bei allen durchgeführten Tests lassen sich Mängel in der Teilnehmerzahl (n) anmerken, die zwischen 10 und 31 variieren. Die Beweis- und Aussagekraft ist dadurch stark herabgesetzt, außerdem ist die Generalisierbarkeit der Studienergebnisse erschwert.

Probanden. Für die Studien wurden die Probanden aus verschiedenen möglichen Populationen rekrutiert, wie z. B. Studenten, Team- oder Kraftsportler. Dementsprechend unterscheiden sich die Teilnehmer in ihrem Trainingszustand und ihren Kraftfähigkeiten, was die Beurteilung der Koffeinwirkung erschwert. Ebenfalls gibt es Abweichungen hinsichtlich des Koffeinkonsums unter den Probanden. Diese individuellen Eigenschaften der Teilnehmer könnten möglicherweise eine entscheidende Rolle bei den Ergebnissen spielen und müssen bei der Beurteilung der Koffeinwirkung auf die Kraft strenger berücksichtigt werden. Zudem wurden die weiblichen Personen nur in zwei Studien untersucht (GOLDSTEIN et al., 2010, S. 4; ARCHNA/JASPAL, 2010, S. 1).

Studienprotokoll. Bei 5 von 6 Untersuchungen wurden die Versuchspersonen aufgefordert, 24 Stunden bis 5 Tage vor Versuchsbeginn auf die Einnahme von koffeinhaltigen Lebensmitteln zu verzichten, damit der Gewöhnungseffekt des Koffeins und der damit verbundene mögliche Nachlass seiner Wirkung ausgeschlossen werden kann. Hier muss wiederum die Tatsache berücksichtigt werden, dass der Prozess der Koffeinentwöhnung individuell ist und von 2 bis 9 Tagen dauern kann (RIDELL et al., 2012, S. 24). Nur bei 2 von 6 Untersuchungen wurden die Probanden gebeten, über einen längeren Zeitraum auf andere ergogen wirkende Substanzen zu verzichten (DAVIS/GREEN/LAURENT, 2012, S.31; DUNCAN/OXFORD, 2011, S. 178). Daher ist es nicht klar, ob bei den anderen 4 Studien die Ergebnisse von anderen leistungssteigernden Präparaten beeinflusst sein können. In keiner Studie gibt es Hinweise auf persönliches Wohlbefinden, Stress oder Schlafmangel der Probanden. Diese Faktoren können möglicherweise ebenfalls die Versuchsergebnisse beeinflussen.

Studiendesign. Die beschriebenen Untersuchungen sind doppelblind und randomisiert. Die Probanden und Studienleiter wussten daher nicht, welche Substanz verabreicht wird, deswegen können die Manipulationen der Ergebnisse als unmöglich angesehen werden. Die systematischen Unterschiede zwischen den Gruppen durch die Zufallszuteilung der Personen zur Koffein- oder Placebogruppe können ebenfalls weitgehend ausgeschlossen werden.

8.3 Fazit der Studien und Ausblick

Anhand der angeführten Diskussion lassen sich weitere Schlussfolgerungen ziehen:

- 1) Zur leistungsfördernden Koffeinwirkung auf die Kraft kann zurzeit keine klare Aussage getroffen werden.**
- 2) In den sechs ausgewählten Untersuchungen bleiben Fragen aufgrund der geringen Probandenzahl, des Geschlecht, ihrer individuellen Eigenschaften wie Kaffeekonsum, Trainingszustand, möglicher Wirkung von anderen ergogenen Substanzen, persönliches Wohlbefinden und alltäglicher Stress offen.**

Für die zukünftige Forschung der Wirkung von Koffein auf die Kraftfähigkeit sollen folgende Punkte berücksichtigt werden:

- die Untersuchung einer höheren Probandenzahl;
- die strenge Berücksichtigung von individuellen Parametern der Probanden wie alltäglicher Kaffeekonsum und die Einnahme von anderen ergogenen Substanzen bei den Untersuchungen;
- die Durchführung von mehr Untersuchungen mit weiblichen Probanden;
- die Klärung, welche einsetzbare Dosis von Koffein die effektivste beim Krafttraining ist, um eine möglichst große Leistungssteigerung zu erzielen;
- die vollständige Aufklärung des Wirkmechanismus des Koffeins während des kraftbetonten Trainings.

9 Wirkung von Koffein auf die Schnelligkeit

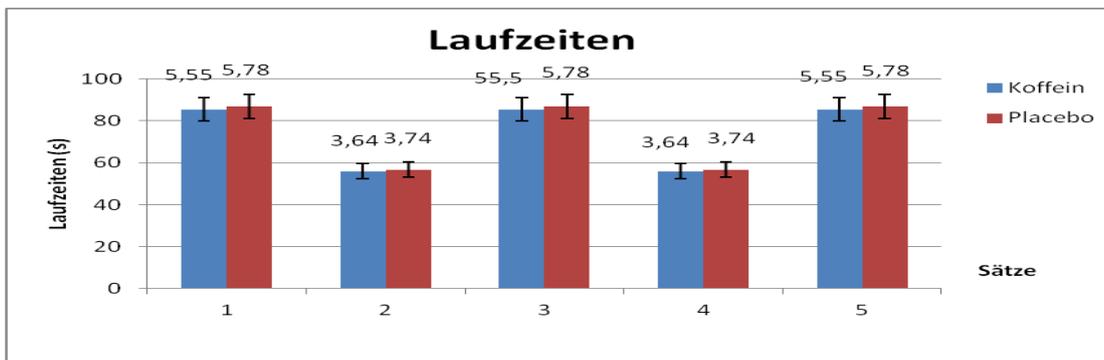
Auch mit der Wirkung des Koffeins auf die Schnelligkeit hat man sich in den letzten Jahren auseinandergesetzt, um die möglichen ergogenen Effekte dieser Substanz zu entdecken.

9.1 Studien

Wirkung von 6 mg Koffein pro kg Körpergewicht bei wiederholten Sprints

Probanden. An der doppelblinden, randomisierten Untersuchung nahmen 10 männliche Teamsportler teil. Methodik. Die Studienteilnehmer mussten 1 Stunde nach der Koffein- (6 mg pro kg Körpergewicht) oder Placeboeinnahme in insgesamt 5 Sätzen 6 x 20 Meter sprinten. Zwischen den Sätzen wurden kleine Pausen zum Ausruhen eingelegt. Dabei wurden die Laufzeiten gemessen. Ergebnisse. Die Sportler waren nach der Koffeingabe an der Ziellinie durchschnittlich schneller, verglichen mit Placebogruppe. Der Unterschied zwischen den Gruppen konnte als signifikant eingestuft werden. (CARR et al, 2008, S. 472). Die Ergebnisse sind in der Graphik (Abb.8) dargestellt.

Abbildung 8: Mittelwert \pm Standardabweichung der Laufzeiten beim wiederholten Sprinten



QUELLE: modifiziert nach CARR et al, 2008, S. 472

Bewertung. Im Hinblick auf diese Studie gibt es keine Angaben, ob die Probanden Koffeinkonsumenten sind. Die Ergebnisse können beeinflusst worden sein, da es beim regelmäßigen Koffeinkonsum zu einem Gewöhnungseffekt kommen kann, wodurch die ergogene Wirkung dieser Substanz sich verringert (BÜTZER, 2011, S. 10-11). Außerdem gibt es keine Hinweise darauf, ob die Sportler über einen längeren Zeitraum auf die anderen anregenden Sportpräparaten verzichtet haben, um die Verzerrungen der Studienergebnisse durch diese Supplemente ausschließen zu können. Ferner wurden keine Angaben zu persönlichem Wohlbefinden, Stress oder Schlafmangel bei den Studienteilnehmern gemacht, wodurch die Versuchsergebnisse ebenfalls beeinflusst werden können.

Wirkung von 6 mg Koffein pro kg Körpergewicht bei wiederholten Sprints

Probanden. An der Studie nahmen 16 männliche Teamsportler teil. Methodik. Nach der Koffein- (6 mg pro kg Körpergewicht) oder Placeboeinnahme 1 Stunde vor dem Versuch absolvier-

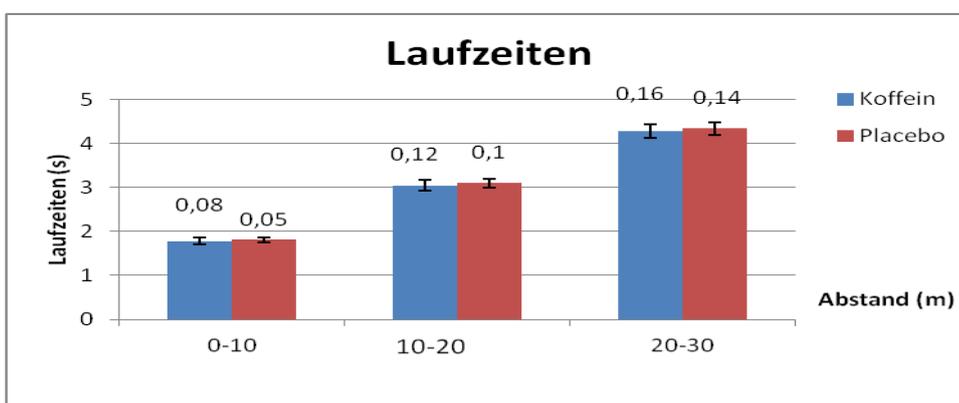
ten die Probanden 10 x 20 Meter Sprints. Zwischen den Sprints wurden kleine Pausen eingelegt. Während der Untersuchung wurden die Laufzeiten protokolliert. Ergebnisse. Verglichen mit Placebo, konnten bei der Koffeingruppe sehr ähnliche Zeiten gemessen werden: nach der Koffeingabe erreichten die Teamsportler ihre Ziellinie während 10 wiederholten Sprints durchschnittlich 0,1 % schneller. Dieser kleine Unterschied zwischen den beiden Gruppen konnte jedoch nicht als statistisch signifikant eingestuft werden (PATON/HOPKINS/VOLLEBREGT, 2001, S. 822).

Bewertung. Es könnte sein, dass die Ergebnisse dieser Untersuchung durch die fehlenden Faktoren, die in der Bewertung von der oben präsentierten Studie erwähnt wurden, negativ beeinflusst wurden und das gewählte Signifikanzniveau deshalb nicht erreicht wurde.

Wirkung von 5 mg Koffein pro kg Körpergewicht bei wiederholten Sprints

Probanden. Zur doppelblinden, randomisierten Untersuchung wurden 21 guttrainierte männliche Personen rekrutiert, die regelmäßige Koffeinkonsumenten waren. 48 Stunden vor dem Versuchstag war der Verzehr von koffeinhaltigen Lebensmitteln nicht gestattet. Methodik. 1 Stunde nach der Koffein- (5 mg pro kg Körpergewicht) oder Placebogabe absolvierten die Teilnehmer 12 x 30 Meter Sprints mit 35 s Pausen dazwischen. Die Zeiten wurden nach jedem 10. Meter gemessen. Ergebnisse. Im Vergleich zur Placebo-Gruppe, haben die Probanden nach der Koffeinnahme 1,4 % schnellere Zeiten erzielt. Der Unterschied konnte als statistisch signifikant bezeichnet werden (GLAISTER et al., 2008, S. 11). Die unten angeführte Graphik fasst die Ergebnisse der schnellsten Sprintzeiten in den beiden Gruppen zusammen (Abb.9).

Abbildung 9: Mittelwert \pm Standardabweichung der Laufzeiten beim wiederholten Sprinten



Quelle: modifiziert nach GLAISTER, et al., 2008, S. 11

Bewertung. Als positiv ist in dieser Studie die Koffeinentwöhnungsphase (48 Stunden) anzumerken, wobei wie bereits erwähnt wurde, diese möglicherweise auch zu kurz sein kann

(RIDELL et al., 2012, S. 24). Weiter fehlen hier Angaben sowohl zum möglichen Gebrauch von anderen ergogenen Sportpräparaten, als auch zu persönlichen Wohlbefinden, Stress oder Schlafmangel bei den Probanden, was wiederum die Ergebnisse der Untersuchung beeinflussen könnte.

Wirkung von 2, 4, 6, 8 und 10 mg Koffein pro kg Körpergewicht beim Sprinten auf einem Fahrrad

Probanden. An der doppelblinden, randomisierten Untersuchung nahmen 17 guttrainierte männliche Koffeinkonsumenten teil, die 48 Stunden vor dem Versuch zum Zwecke der Studie auf die koffeinhaltigen Lebensmittel und Getränke verzichteten. Methodik. An den Versuchstagen absolvierten die Probanden 7 maximal 10 s dauernde Sprints auf einem stationären Ergometer. Dabei wurden die erbrachte durchschnittliche und die höchste Leistung, sowie die Zeit bis zum Erreichen der höchsten Leistung gemessen und protokolliert. 1 Stunde vor der Durchführung des Tests wurden den Probanden 2, 4, 6, 8 und 10 mg Koffein pro kg Körpergewicht oder Placebo verabreicht. Ergebnisse. Im Vergleich zur Placebogruppe, wurden bei den Studienteilnehmern nach den Koffeingaben bessere Leistungen beobachtet. Auch die kürzeren Zeiten bis zur erreichten Höchstleistung wurden bei der Koffeingruppe festgestellt. Die Unterschiede zwischen den beiden Gruppen konnten die Signifikanz jedoch nicht erreichen (GLAISTER et al., 2012, S. 9).

Bewertung. Auch bei dieser Untersuchung können die Ergebnisse durch die bereits erwähnten Faktoren, wie beispielsweise zu kurze Entwöhnungsphase, alltäglichen Stress oder Schlaflosigkeit beeinträchtigt werden. Dies könnte Grund dafür sein, warum die Ergebnisse nicht als statistisch signifikant festgestellt werden konnten.

Wirkung von 5 mg pro kg Körpergewicht auf die Schnelligkeit beim Radfahren

Probanden. Zur Untersuchung wurden 8 Radfahrer eingeladen. Die Studienteilnehmer haben 48 Stunden vor dem Test die Einnahme von koffeinhaltigen Lebensmitteln und Getränken unterlassen. Methodik. Die Sportler haben an dem Versuchstag nach der Koffein (5 mg pro kg Körpergewicht)- oder Placeboeinnahme einen 1 km Sprint auf einem stationären Ergometer absolviert. Dabei wurden die individuellen Fahrzeiten gemessen. Ergebnisse. Verglichen mit der Placebogruppe, haben die Probanden in der Koffeingruppe die Fahrt um 3,1 % schneller absolviert. Der Unterschied zwischen den beiden Gruppen konnte als statistisch signifikant eingestuft werden (WILES et al., 2006, S. 1165).

Bewertung. Obwohl sich das Untersuchungsergebnis als statistisch signifikant erwiesen hat, kann es jedoch durch möglicherweise zu kurze Koffein-Entwöhnungsphase, Stress oder Schlafmangel beeinflusst worden sein. Zudem ist negativ anzumerken, dass nur männliche Probanden in dieser und den oben angeführten Studien untersucht wurden.

9.2 Zusammenfassung der Ergebnisse

In allen oben angeführten Studien konnte die positive Koffeinwirkung auf die Schnelligkeit registriert werden. Als statistisch signifikant konnte die Leistungssteigerung in 3 Studien eingestuft werden, wobei der p-Wert unter 0,05 gesetzt wurde.

Probandenzahl. Bei allen Studien lassen sich aufgrund der geringen Teilnehmerzahl Mängel feststellen, da dadurch die Beweis- und Aussagekraft stark herabgesetzt und die Generalisierbarkeit der Studienergebnisse erschwert werden.

Probanden. Auch in den Studien hinsichtlich der Schnelligkeit wurden die Probanden aus verschiedenen möglichen Populationen in unterschiedlichen Sportzuständen untersucht, wie z. B., Guttrainierte, Rad- oder Teamsportler. Daher unterscheiden sich die Teilnehmer in ihrem Trainingszustand und ihre Leistungsfähigkeiten. Zudem gibt es bei manchen Studien keine Hinweise darauf, ob die Probanden Koffeinkonsumenten waren (CARR et al, 2008, S. 472; (PATON/HOPKINS/VOLLEBREGT, 2001, S. 822). Diese individuellen Eigenschaften müssen bei der Beurteilung der Koffeinwirkung auf die Schnelligkeit strenger berücksichtigt werden. Zudem nahmen keine weiblichen Probanden an den Untersuchungen teil.

Studienprotokoll. Bei 3 von 5 Tests wurden die Probanden aufgefordert, 48 Stunden die Einnahme von koffeinhaltigen Lebensmitteln zu unterlassen, um den Gewöhnungseffekt des Koffeins und den damit verbundenen möglichen Nachlass seiner Wirkung ausschließen zu können (GLAISTER et al., 2008, S. 11; GLAISTER et al., 2012, S. 9; WILES et al., 2006, S. 1165). Auch hier sollte man die Tatsache berücksichtigen, dass der Prozess der Koffeinentwöhnung sehr individuell ist und 2 bis 9 Tage dauern kann (RIDELL et al., 2012, S. 24). In diesem Fall wäre diese Zeitdauer als zu kurz zu betrachten. In keiner der angeführten Untersuchungen gibt es Hinweise darauf, ob die Probanden vor dem Versuch über einen längeren Zeitraum auf andere ergogen wirkende Sportpräparate verzichtet haben. Weitere Faktoren wie persönliches Wohlbefinden, Stress oder Schlafmangel bei den Probanden wurden bei der Bewertung der Versuchsergebnisse ebenfalls nicht berücksichtigt, wodurch die Studienergebnisse beeinflusst werden können.

Studiendesign. Alle angeführten Studien sind doppelblind und randomisiert, was positiv zu bewerten ist, da weder die Probanden noch Studienleiter wussten, welche Substanz verabreicht wird. Aus diesem Grund können die Manipulationen der Ergebnisse als unmöglich angesehen werden. Außerdem können die systematischen Unterschiede zwischen den Gruppen aufgrund der Zufallszuteilung der Personen zur Koffein- oder Placebogruppe ebenfalls weitgehend ausgeschlossen werden.

Zusätzlich lässt sich hervorheben, dass auch eine kleine leistungssteigernde Wirkung des Koffeins beim Sprinten eine große Rolle während eines sportlichen Wettkampfs spielen kann, wobei nicht Sekunden, sondern Zehntelsekunden zwischen dem ersten und zweiten Platz entscheiden.

9.3 Fazit der Studien und Ausblick

Anhand der angeführten Diskussion kann man weitere Schlussfolgerungen ziehen:

- 1) Koffein hat einen geringen positiven Einfluss auf die Schnelligkeit.**
- 2) In den 5 ausgewählten Untersuchungen bleiben Fragen aufgrund der geringen Probandenzahl, Geschlecht und ihrer individuellen Eigenschaften wie Koffeinkonsum, möglicher Wirkung von anderen ergogenen Substanzen, persönlichen Wohlbefinden und alltäglicher Stress offen.**

Für die zukünftige Forschung der Wirkung von Koffein auf die Schnelligkeit sollen folgende Punkte berücksichtigt werden:

- das Rekrutieren von mehr Probanden;
- die strengere Berücksichtigung der individuellen Parameter der Probanden wie alltäglicher Koffeinkonsum, Einnahme von anderen ergogenen Substanzen bei den Untersuchungen;
- die Untersuchung von weiblichen Probanden;
- die Klärung, welche einsetzbare Dosis von Koffein die effektivste beim Schnelligkeitstraining ist, um eine möglichst große Leistungssteigerung zu erzielen?
- die vollständige Aufklärung des Wirkmechanismus des Koffeins während des Schnelligkeitstrainings.

Die oben angeführten wissenschaftlichen Untersuchungen zeigen, dass das Interesse an der ergogenen Koffeinwirkung unter den Sportlern und Trainern offenbar nicht unbegründet ist. Im

Hinblick der Streuung der vorliegenden Forschungsdaten sind klare Empfehlungen hierzu jedoch kaum zu geben. Grundsätzlich gilt es jedoch festzuhalten, dass jeder Sportler im Training seine eigenen Erfahrungen mit Koffein machen muss. Dabei sollten die Sportler zunächst mit geringen Dosierungen beginnen und den Effekt über einen Zeitraum beobachten, bevor sie Koffein im Wettkampf einsetzen.

Zusammenfassung

Die vorliegende Abschlussarbeit befasst sich mit dem Thema Koffein und seiner Wirkung im Ausdauer-, Kraft- und Schnelligkeitssport. Hierzu wurde eine Metaanalyse erstellt, in der die Wirkung bzw. nicht Wirkung dieser Substanz anhand bereits existierender Studien dokumentiert wurden.

Zu diesem Zweck wurden im theoretischen Teil chemische und neueste wissenschaftliche Theorien zum Wirkmechanismus des Koffeins im Sport präsentiert und erläutert. Die zurzeit am häufigsten vertretene Theorie ist, dass Koffein das zentrale Nervensystem stimuliert, indem es antagonistisch zur Wirkung von Adenosin fungiert. Da Koffein die beruhigende Wirkung von Adenosin verhindert, bleiben Ermüdungserscheinungen aus. Dennoch bleibt der zugrunde liegende Wirkmechanismus von Koffein nicht vollständig geklärt.

Die Ergebnisse der Metaanalyse zeigen, dass eine Koffeinsupplementation vor der Trainingseinheit bei den motorischen Hauptbeanspruchungsformen Ausdauer, Kraft und Schnelligkeit zu einer besseren Leistung führen kann. Beim Ausdauersport jedoch konnte nur bei trainierten Personen eine positive Koffeinwirkung auf die Leistung registriert werden. Beim Sprinten könnte die beobachtete kleine ergogene Wirkung dieser Substanz eine erhebliche Rolle während eines Wettkampfs spielen, wo Zehntelsekunden über Gold- und Silbermedallien entscheiden. Während die Untersuchungen für Ausdauer- und Schnelligkeitssport einen leistungsfördernden Effekt von Koffein belegen, ist dieser bei Kraftbelastungen weniger eindeutig.

Obgleich fast in allen angeführten Studien eine kleine leistungsfördernde Wirkung von Koffein festgestellt werden konnte, gilt es diese aufgrund der geringen Probandenzahl, des Geschlechts und der individuellen Eigenschaften der Probanden wie Koffeinkonsum, Ernährungszustand, möglicher Wirkung von anderen ergogenen Substanzen, Wohlbefinden und Stress kritisch zu betrachten.

In jedem Fall zeigt all dies, dass das Interesse an der leistungsfördernden Wirkung von Koffein unter den Sportlern und Trainern offenbar nicht unbegründet ist. Grundsätzlich gilt jedoch festzuhalten, dass jeder, egal ob professioneller Athlet oder ambitionierter Freizeitsportler, im Training seine eigenen Erfahrungen mit Koffein machen muss.

Diese Abschlussarbeit zeigt auf, dass Koffeineinsatz im Ausdauer-, Kraft- und Schnelligkeitssport zu Leistungssteigerungen führen kann, jedoch sind weitere Untersuchungen notwendig, die die oben erwähnten Faktoren sowie die persönlichen Eigenschaften der Probanden streng berücksichtigen.

Abstract

The objective of the Bachelor's Thesis are caffeine and its effects on endurance, muscle power and sprint performance. For this end was a meta-analysis carried out, where the effects or no effects of this substance are documented based on existing studies.

For this purpose in the theoretical part of this work the newest scientific theories for mechanism of action of caffeine have been presented and explained. There is currently the most represented theory, which states that caffeine the central nervous system stimulates by acting antagonistically to effects of adenosine. Since caffeine prevents adenosine's calming effect, fatigue may failure. Nevertheless, the underlying mechanism of action of caffeine is not fully understood.

The meta-analysis reveals that caffeine supplementation before training session may lead to better endurance, resistance and sprint performance. On endurance sports the positive effects of caffeine have been registered only in trained individuals. On sprinting performances little ergogenic effects observed of this substance could play a significant role on sport competition, where tenths of a second decide on gold and silver medals. During the investigations of endurance and sprint sports reserve a small performance-enhancing effect of caffeine, this is less clear on resistance performance.

Although in almost all studies listed small performance-promoting effect was found of caffeine, it is due to consider critical to the small number of participants, gender and individual characteristics of them such as caffeine intake, nutritional status, possible effects of other ergogenic substances, wellness and stress.

In any case, all the data reveal that the interest of the ergogenic effects of caffeine among athletes and sport coaches does not seem unfounded. It is important to note, however, that every-

one, whether a professional athlete or an ambitious recreational athletes should do on individual training his own experiences with caffeine.

This thesis reveals that use of caffeine on endurance, strength and sprinting sports may lead to better performance though additional studies are necessary to consider strictly the above factors as well as listed personal characteristics of the subjects.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Wechselbeziehung der konditionellen Fähigkeiten.....	15
Abbildung 2: Die wichtigsten Methylxanthine	18
Abbildung 3: Mittelwert \pm Standardabweichung der Zeit bei der 10 km Fahrt	22
Abbildung 4: Mittelwert \pm Standardabweichung der geschafften Wiederholungen bei durchgeführten Übungen.....	29
Abbildung 5: Mittelwert \pm Standardabweichung der Wiederholungen und gehobenen Gewichts beim Bankdrücken.....	30
Abbildung 6: Mittelwert \pm Standardabweichung der Wiederholungen und gehobenen Gewichts beim Bandrücken	32
Abbildung 7: Mittelwert \pm Standardabweichung der Wiederholungen und des gehobenen Gewichts beim Beinpressen	32
Abbildung 8: Mittelwert \pm Standardabweichung der Laufzeiten beim wiederholten Sprinten	36
Abbildung 9: Mittelwert \pm Standardabweichung der Laufzeiten beim wiederholten Sprinten	37

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zuordnung ausgewählter Sportarten.....	15
Tabelle 2: Koffeingehalte verschiedener Pflanzen.....	16
Tabelle 3: Koffeingehalt in verschiedenen Getränken und Lebensmitteln	17

Literaturverzeichnis

Bücher

- AKTORIES, K. et al. (2009): Allgemeine und spezielle Pharmakologie und Toxikologie. Begründet von W. Forth, D. Henschler, W. Rummel. München: Urban & Fischer Verlag, 10. Aufl.
- BALTES, W.; MATISSEK, R. (2011): Lebensmittelchemie. Berlin: Springer Verlag, 7. Aufl.
- BROUNS, F. (2004): Essentials of sports nutrition. Weinheim: Wiley-VCH Verlag, 2. Aufl.
- CARVALHO, J., J.; EMMERLING, F.; SCHNEIDER, R., J. (2012): The Chemistry of Caffeine. In: PREEDY, V., R. (Hrsg.): Caffeine: Chemistry, Analysis, Function and Effects. Cambridge: RSC Publishing
- DÜRR, I. (2011): Kaffee: Wirkungen auf die Gesundheit. Gladenbach: Jürgen Haas Print Consulting, 3. Aufl.
- EBERMANN, R.; ELMADFA, I. (2008): Lehrbuch Lebensmittelchemie und Ernährung. Wien: Springer Verlag
- EHLENZ, H.; GROSSER, M.; ZIMMERMANN, E. (1998): Krafttraining: Grundlagen, Methoden, Übungen, Leistungssteuerung, Trainingsprogramme. München: BLV-Verlag, 6. Aufl.
- ELMADFA, I.; LEITZMANN, C. (2004): Ernährung des Menschen. Stuttgart: UTB Verlag, 4. Aufl.
- HAMM, M.; SCHOLZ, A. (2003): Muscle Food: optimale Performance und effektiver Muskelaufbau durch den richtigen Einsatz von Sportlernahrung. München: Droemer Knauer
- HOTTENROTT, K.; NEUMANN, G. (2010) (a): Trainingswissenschaft. Aachen: Meyer & Meyer Verlag
- HOTTENROTT, K.; NEUMANN, G. (2010) (b): Methodik des Ausdauertrainings. Schorndorf: Hofmann-Verlag, 2. Aufl.
- KNECHTLE, B. (2002): Aktuelle Sportphysiologie. Leistung und Ernährung im Sport. Basel: Karger Verlag
- MÜHLFRIEDEL, B. (1994): Trainingslehre. Frankfurt am Main: Verlag Moritz Diesterweg, 5. Aufl.
- RIDELL, L. et al. (2012): The Chemistry of Caffeine. In: PREEDY, Victor R. (Hrsg.): Caffeine: Chemistry, Analysis, Function and Effects. Cambridge: RSC Publishing
- SCHMIDT, A. (1998): Trainingsplaner für Radsport, MTB, Triathlon, Duathlon, Lauf, Skilanglauf, Schwimmen, Eisschnelllauf, In-Line-Skating. Aachen: Meyer & Meyer Verlag, 1. Aufl.
- SCHNABEL, G. et al. (2003): Trainingswissenschaft: Leistung, Training, Wettkampf. Berlin: Sportverlag, 3. Aufl.

SPRING, H.; DVORAK, J.; DVORAK, V. (2005): Theorie und Praxis der Trainingstherapie. Beweglichkeit, Kraft, Ausdauer, Koordination. Stuttgart: Thieme-Verlag, 2. Aufl.

TOMASITS, J.; HABER, P. (2008): Leistungsphysiologie: Grundlagen für Trainer, Physiotherapeuten und Masseur. Wien: Springer Verlag, 3. Aufl.

WEINECK, J. (2010): Sportbiologie. Balingen: Spitta Verlag, 10. Aufl.

ZATSIORSKY, V., M; KRAEMER, W. (2008): Krafttraining: Praxis und Wissenschaft. Aachen: Meyer & Meyer Verlag, 3. Aufl.

ZINTL, F.; EISENHUT, A. (2009): Ausdauertraining. Grundlagen, Methoden, Trainingssteuerung. München: BLV-Verlag, 7. Aufl.

Zeitschriften

ASTORINO, T.,A. et al. (2011) (a): Minimal effect of acute caffeine ingestion on intense resistance training performance. In: Journal of strength and conditioning research, Heft 6: S. 1752-1758

ASTORINO, T.,A. et al. (2011) (b): Ergogenic effects of caffeine on simulated time-trial performance are independent of fitness level. In: Journal of caffeine research, Heft 3: S. 179-185

ASTORINO, T.,A.; ROHMANN, R., L.; FIRTH, K. (2008): Effect of caffeine ingestion on one-repetition maximum muscular strength. In: European journal of applied physiology, Heft 102: S. 127-132

BACKHOUSE S., H. et al. (2011): Caffeine ingestion, affect and perceived exertion during prolonged cycling. In: Appetite, Heft 57: S. 247-252

BECHTHOLD, A. (2011): Energy Drinks und Energy Shots. In: Ernährungsumschau, Heft 5: S. 17-20

BRIDGE, C. A.; JONES, M., A. (2006): The effect of caffeine ingestion on 8 km run performance in a field setting. In: Journal of sports sciences, Heft 24 (4): S. 433-439

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

CARR, A. et al. (2008): Effect of caffeine supplementation on repeated sprint running performance. In: The journal of sports medicine and physical fitness, Heft 48 (4): S. 472-478

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

DAVIS, J.,K.; GREEN, J.,M.; LAURENT, C.,M. (2012): Effects of caffeine on resistance training performance on repetitions to failure. In: Journal of caffeine research, Heft 2: S. 31-37

DUNCAN, M.,J.; OXFORD, S.,W. (2011): The effect of caffeine ingestion on mood state and bench press performance to failure. In: Journal of strength and conditioning research, Heft 25 (1): S. 178-185

GANIO, M., S. et al. (2009): Effect of caffeine on sport-specific endurance performance: a systematic Review. In: The journal of strength and conditioning research, Heft 23 (1): S. 315-324

GIEBELMANN, R.; LOGEMANN, E.; ARNDT, T. (2011): Kulturgeschichtliches zu den Rötengewächsen. In: Toxichem Krimtech, Heft 78 (3): S.504-511

IRWIN, C., D. et al. (2011): Caffeine withdrawal and high-intensity endurance cycling performance. In: Journal of sports science and medicine, Heft 29 (5): S. 509-515

JENKINS, N., T. (2008): Ergogenic effects of low doses of caffeine on cycling performance. In: International journal of sport nutrition and exercise metabolism, Heft 18 (3): S. 328-342

MOTL, R.,W.; O'CONNOR, P. J.; DISHMAN, R., K. (2003): Effect of caffeine on perceptions of leg muscle pain during moderate intensity cycling exercise. In: The journal of pain, Heft 6: S. 316-321

PATON, C., D.; HOPKINS, W., G.; VOLLEBREGT, L. (2001): Little effects of caffeine ingestion on repeated sprints in team-sport athletes. In: Medicine and sciences in sports and exercise, Heft 33 (5): S. 822-825

WEIß, C. (2007): Koffein. In: Ernährungsumschau, Heft 4: S.210-215

WILES, J., D. et al. (2006): The effects of caffeine ingestion on performance time, speed and power during a laboratory based 1 km cycling time-trial. In: Journal of sports sciences, Heft 11: S. 1165-1171

Internet-Abrufe

ARCHNA, S.; JASPAL, S.,S. (2010): Effects of caffeine ingestion on strength and endurance performance on normal young adults. Letzter Zugriff am 15.12.12 unter: <http://dopingjournal.org/content/7/2/>

BÜTZER, P. (Juni 2011): Coffein-Dynamik. Letzter Zugriff am 01.12.2012 unter: <http://www.buetzer.info/fileadmin/pb/pdf-dateien/coffein.pdf>

GLAISTER, M. et al. (2008): Caffeine supplementation and multiple sprint running performance. Letzter Zugriff am 21.12.2012 unter <http://research.smuc.ac.uk/111/1/Glaister-Caffeine-Supplementation.pdf>

GLAISTER, M. et al. (2012): Caffeine and sprinting performance: dose responses and efficacy. Letzter Zugriff am 21.12.2012 unter: <http://research.smuc.ac.uk/108/1/Glaister-Caffeine-and-Sprinting.pdf>

GOLDSTEIN, E. et al. (2010) (a): Caffeine enhances upper body strength in resistance-trained women. Letzter Zugriff am 14.12.2012 unter: <http://www.jissn.com/content/7/1/18>

GOLDSTEIN, E. et al. (2010) (b): International society of sports nutrition position stand: caffeine and performance. Letzter Zugriff am 13.12.2012 unter: <http://www.jissn.com/content/pdf/1550-2783-7-5.pdf>

Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere eidesstattlich durch eigenhändige Unterschrift, dass ich die Arbeit selbständig und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Veröffentlichungen entnommen sind, habe ich als solche kenntlich gemacht. Ich weiß, dass bei der Abgabe einer falschen Versicherung die Prüfung als nicht bestanden zu gelten hat.

Mizevaite, _____

Anhang

Studie	n	Probanden (Geschlecht)	Koffeindosis (mg/kg/KG)	Übung	Gemessene Parameter	Ergebnisse (Signifikanz)
Radfahren						
Jenkins et al.	13	Radfahrer (Männer)	1, 2,3	15 Min bei 80 % VO2max+4 Min aktive Erho- lung+15 Min VO2max	Fahrstrecke	nur bei 2 und 3 mg/kg/KG ↑ (s.s. ¹ .)
Astorino et al.	16	8 Athleten und 8 Gelegenheits- sportler (Män- ner)	5	10 km	Fahrzeit	↑ (s.s.)
Irwin et al.	12	Athleten (Män- ner)	3	60 Min bei 75 % VO2	Fahrstrecke	↑ (s.s.)
Backhouse et al.	12	Radfahrer (Männer)	6	90 Min bei 70 % VO2	Fahrstrecke	↑ (n.s.s. ²)
Motl/O'Conno r/Dishman	16	Studenten (Männer)	10	30 Min bei 60 % VO2	erbrachte Leistung	→ (n.s.s.)
Laufen						
Bridge/Jones	8	Marathonläufer (Männer)	3	8 km	Laufzeiten	↑ (s.s.)

¹ statistisch signifikant (p < 0,05)

² nicht statistisch signifikant (p>0,05)

Studie	n	Probanden (Geschlecht)	Koffeindosis (mg/kg/KG)	Übung	Gemessene Parameter	Ergebnisse (Signifikanz)
Davis/Green/Laurent	10	Krafttrainierte (Männer)	6	Bankdrücken, Latziehen, Schulterdrücken, Bizeps-Curls, Trizeps-Pushdowns und Beinpresse	geschaffte Wiederholungen	bei allen Üb. ↑, dennoch nur beim Bankdrücken s.s.
Duncan/Oxford	13	Teamsportler (Männer)	5	Bankdrücken	geschaffte Wiederholungen und das gehobene Gewicht	↑ (s.s.)
Goldstein et al.	15	Krafttrainierte (Frauen)	6	Bankdrücken	geschaffte Wiederholungen	→ (n.s.s.)
Astorino/Rohmann/Firth	22	Krafttrainierte (Männer)	6	Bankdrücken und Beinpresse	geschaffte Wiederholungen und das gehobene Gewicht	↑ (n.s.s.)
Astorino et al.	14	Krafttrainierte (Männer)	6	Bank- und Schulterdrücken, Beinpressen, und bilaterale Druckübung	geschaffte Wiederholungen und das gehobene Gewicht	Nur beim Beinpressen Wiederholungen ↑ (s.s.)
Archana/Jaspal	31	Untrainierte Studenten	5	Kniebeugen und – strecken	geschaffte Wiederholungen	↑ (n.s.s.)

Studie	n	Probanden (Geschlecht)	Koffeindosis (mg/kg/KG)	Übung	Gemessene Parameter	Ergebnisse (Signifi- kanz)
Carr et al.	10	Teamsportler (Männer)	6	5S.x6x20m Sprints	Laufzeiten	↑ (s.s.)
Paton/Hopkins/Vollebregt	16	Teamsportler (Männer)	6	10x20m Sprints	Laufzeiten	↑ (n.s.s.)
Glaister et al.	21	Sportler (Männer)	5	12x30 Sprints	Laufzeiten	↑ (s.s.)
Glaister et al.	17	Guttrainierte (Männer)	2, 4, 6, 10	7x10s Sprints a. Fahrrad	durchschn., höchste Leis- tung (W) u. Zeit zur Höchstleis- tung	↑ (n.s.s.)
Wiles et al.	8	Radfahrer (Männer)	5	1 km Sprint	Fahrzeiten	↑ (s.s.)

