

Justus-Liebig-Universität Gießen
Fachbereich 06
Bewegung und Gesundheit

**Effekt einer Koffeinsupplementation auf das Anstrengungsempfinden
von Frauen bei einem 10-km-Lauf**

Abschlussarbeit zur Erlangung des akademischen Grades Bachelor of Science

vorgelegt dem
Institut für Sportwissenschaft
Abteilung für Trainingswissenschaft

von
Viola Kaets

Erstgutachter: Dr. Jörg Jäger
Zweitgutachter: Prof. Dr. Hermann Müller

vorgelegt am 02.07.2018

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	IV
Abkürzungsverzeichnis	V
1 Ableitung der Wirkung von Koffein auf das mentale Beanspruchungsempfinden von Ausdauerläuferinnen.....	1
2 Theoretischer Hintergrund.....	3
2.1 Koffein als chemische Substanz	3
2.2 Wechselwirkungen im Körper	3
2.2.1 Metabolisierung.....	5
2.2.2 Koffeinquellen und -konsum in Deutschland.....	5
2.2.3 Richtlinien zum Koffein-Konsum in Deutschland	6
2.3 Theoretische Grundlagen und Charakterisierung der 10-km-Ausdauerbelastung.....	7
2.4 Physiologische Anpassung durch spezifisches Langzeitausdauertraining	9
2.5 Charakteristika der ausdauerspezifischen Leistungsfähigkeit von Frauen	10
2.6 Ergogene Einflüsse der Koffein-Supplementation im Ausdauersport.....	11
2.7 Forschungsfrage und Arbeitshypothesen.....	12
3 Methoden	14
3.1 Untersuchungsdesign	14
3.1.1 Ein- und Ausschlusskriterien.....	15
3.1.2 Dosierung und Einnahme des Testsubstrats	15
3.1.3 Fragebogen zur Erfassung der wahrgenommenen körperlichen Verfassung.....	17
3.1.4 RPE-Skala zur Bestimmung des Anstrengungsempfindens	18
3.2 Stichprobenbeschreibung.....	18
3.3 Untersuchungsprotokoll.....	19
3.4 Durchführung der Testungen	21
3.5 Statistische Auswertung.....	22
4 Ergebnisse.....	24
5 Diskussion.....	28
6 Limitationen und Ausblick	32
7 Zusammenfassung	34
8 Literaturverzeichnis	41
9 Anhang.....	44
Erklärung zur Abschlussarbeit.....	49

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Ablaufskizze des Cross-Over-Studiendesigns	20
Abb. 2: Durchschnittlicher HF- und RPE-Verlauf unter Koffein- (Koff) und Placebo- Bedingung (Pla)	25
Abb. 3: Individuelle Differenz der wahrgenommenen Aktiviertheit ($t_1 - t_2$) unter Koffein- bzw. Placebo-Bedingung	25
Abb. 4: Zusammenhang zwischen der individuellen Koffeinsensitivität und der durchschnittlichen RPE- Differenz.....	27

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Ausgewählte Lebensmittel nach absteigendem Koffeingehalt (Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit [EFSA], 2015a)	6
Tab. 2: Charakterisierung der 10-km-Ausdauerbelastung anhand von ausgewählten Strukturierungskriterien nach Hottenrott und Hoos (2013, S. 461).....	8
Tab. 3: Items des WKV-20 (modifiziert nach Steinbacher, 2010)	17
Tab. 4: Mittelwerte (MW) \pm Standardabweichung (SD) anthropometrischer und leistungsbezogener Parameter der Stichprobe gruppiert nach Bedingung ...	19
Tab. 5: Interpretation der Grenzwerte des Effektstärkemaß „r“	23
Tab. 6: Durchschnittliche RPE und HF (MW \pm SD) nach jedem gelaufenen Drittel und 3-min NB	24

Abkürzungsverzeichnis

ATP	Adenosintriphosphat
BfR	Bundesinstitut für Risikobewertung
et al.	et alii
ED	Energydrink
EFSA	Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit
FFS	freie Fettsäuren
GABA	Gamma-Amino-Buttersäure
HF	Herzfrequenz
HF _{max}	maximale Herzfrequenz
IANS	individuelle anaerobe Schwelle
LZA	Langzeitausdauer
mg/kg KG	Milligramm pro Kilogramm Körpergewicht
mg/l	Milligramm pro Liter
min/Woche	Minuten pro Woche
MW	Mittelwert
N	Anzahl Probanden
NB	Nachbelastung
RPE	ratings of perceived exertion
SD	Standardabweichung
TN	Teilnehmerinnen
VO _{2max}	maximale Sauerstoffaufnahme-fähigkeit

1 Ableitung der Wirkung von Koffein auf das mentale Beanspruchungsempfinden von Ausdauerläuferinnen

Koffein wird im allgemeinen Sprachgebrauch oft mit einer gesteigerten Wachheit und Aufmerksamkeit durch die morgendliche Tasse Kaffee assoziiert. Als leistungssteigernde Substanz besitzt Koffein bei Ausdauersportlern längst eine hohe Akzeptanz und Anwendungsbereitschaft: Eine Befragung von Desbrow und Leveritt (2007) bei der Ironman Triathlon Weltmeisterschaft 2005 ergab bspw., dass 89% (Anzahl, N=124) der Sportler planen, während des Wettbewerbs auf Koffeinquellen zurückzugreifen. Leistungssteigernde, sogenannte ergogene Wirkungen von Koffein werden von den Athleten in einer verbesserten Konzentrationsfähigkeit (83%), als auch in einem positiven Einfluss auf die Ausdauer (73%) wahrgenommen (Desbrow & Leveritt, 2007). Jedoch besteht eine große Disparität zwischen dem hohen Zuspruch von Koffein und einer genauen Kenntnis der Dosis-Wirkungs-Beziehungen. Bei der Befragung von Desbrow und Leveritt (2007) gab die Mehrheit der Triathleten an, keine exakten Angaben über die erforderliche Dosierung zur Verbesserung ihrer Leistungsfähigkeit machen zu können (53%), stattdessen beruhe ihre persönliche Koffeinsupplementation eher intuitiv auf eigenen Erfahrungswerten und Selbstbeobachtung (16%).

Die Schwierigkeit der Erfassung konkreter Dosis-Wirkungs-Beziehungen von Koffein spiegelt sich auch in dem Umstand wider, dass Koffein im Jahr 2004 zwar von der Dopingliste gestrichen wurde (Clasing, 2004), die World Anti Doping Agency (WADA) seither aber innerhalb ihres Beobachtungsprogramms die Überprüfung genauer Zusammenhänge weiterführt. Die berichtete Unsicherheit der Athleten ist sicher auch auf heterogene Studienergebnisse zurückzuführen, deren Effektstärken sich in ihrer Ausprägung und ihrem Ausmaß je nach Art der Belastung und der Koffeindosierung stark voneinander unterscheiden. Darüber hinaus ist die Ableitung kritischer Koffeinkonzentrationen zur Leistungssteigerung im Ausdauersport aufgrund einer interindividuell stark variierenden Sensitivität gegenüber Koffein erschwert.

Zahlreiche wissenschaftliche Untersuchungen zum Einfluss von Koffein belegen bei Belastungen unter Ausbelastungs- oder Wettkampfbedingung einerseits verlängerte Zeitspannen bis zur Ausbelastung oder höhere (Watt-)Leistungen (Fröhlich et al., 2017; Hottenrott, Gronwald, Geissler, Schulze & Ludyga, 2015), während sich Koffein andererseits bei Belastungen mit definierter Intensität und Dauer auf eine gesenkte subjektive Anstrengung („ratings of perceived exertion“, RPE) auswirkt (Doherty & Smith, 2005). In diesem Zusammenhang könnten Koffein-Supplementationen im Hinblick auf reziprok gesteigerte Intensitäten im Training oder auch im Wettkampf eines Ausdauerathleten eine wichtige Rolle spielen. Frühere Studien zum Einfluss von Koffein auf die subjektive Anstrengung bei Langzeitausdauerbelastungen sind im Bereich

Radfahren mehrfach untersucht worden (z.B. Cox et al., 2002; Tarnopolsky, Atkinson, MacDougall, Sale & Sutton, 1989), jedoch ist die Studienlage im Distanzlaufen, in der für Halbmarathon- und Marathonläufer gängigen Trainingsdisziplin „10-km-Dauerlauf“ bislang dürftig. Darüber hinaus sind Untersuchungen geschlechtsspezifischer Unterschiede in der Wirkung von Koffein noch unzureichend in den Vordergrund gerückt, sodass die Forderung der Autoren der Metaanalyse lautet: „Future studies should attempt to balance the predominance of male-based studies“ (Doherty & Smith, 2005, S. 75). Erkenntnisse aus Studien mit einer ausreichend großen weiblichen Stichprobe liegen derzeit nur in Ausbelastungssettings der Disziplinen Multipler Sprint, Rudern oder Radfahren vor (z.B. Anderson et al., 2000; Burke, 2016; Butts & Crowell, 1985; Perkins & Williams, 1975). Ziel dieser Arbeit ist es daher, den Einfluss einer Koffeinsupplementation vor einem 10-km-Dauerlauf auf die Ausprägung der subjektiven Anstrengung bei einer weiblicher Stichprobe zu untersuchen, um daraus Erkenntnisse für die Trainingsoptimierung von Ausdauerläuferinnen ableiten zu können.

Die vorliegende Untersuchung unterscheidet sich in Hinblick der gewählten Distanz und konstanten Belastungsintensität von früheren Studien, die den Aspekt der Anstrengung unter Renn- bzw. Zeitfahrbedingung erhoben haben (Anderson et al., 2000; Bell, McLellan & Sabiston, 2002; Bridge & Jones, 2006). Des Weiteren erfolgte die Supplementation von Koffein ohne das komplexe Zusammenwirken mit Kohlenhydraten bspw. bei Energy Drinks, isotonischen Sportgetränken oder Koffein-Riegeln (Fröhlich et al., 2017; Hottenrott et al., 2015; Duncan & Hankey, 2013). Stattdessen wurde Koffein in der Kombination mit Kaffee verabreicht, um einen möglichst hohen Alltagstransfer für die Ableitung der gewonnenen Erkenntnisse herstellen zu können. In dieser Arbeit steht ausdrücklich die mentale Beanspruchungsempfindung unter dem Einfluss von Koffein im Vordergrund. In diesem Zusammenhang wird neben der RPE erstmalig auch auf einen Fragebogen zur wahrgenommenen körperlichen Verfassung (WKV-20) zurückgegriffen.

2 Theoretischer Hintergrund

Gegenstand dieses Abschnitts sind die physiologischen Wechselwirkungen von Koffein auf zellulärer und metabolischer Ebene. Anschließend werden grundlegende Aspekte des Ausdauersports und der in dieser Untersuchung vorliegenden Art der Ausdauerbelastung erläutert. Ziel ist es, eine theoretische Grundlage zu schaffen, auf der potenziell leistungssteigernde Effekte von Koffein auf die subjektive Wahrnehmung einer 10-km-Ausdauerbelastung von Frauen eingeordnet und diskutiert werden können.

2.1 Koffein als chemische Substanz

Die Wirkungen von Koffein im Organismus stehen in engem Zusammenhang mit der chemischen Struktur und sind durch diese erklärbar. Die chemische Formel von Koffein lautet 1,3,7-Trimethyl-2,6(1 H, 3 H)-purindion oder abgekürzt 1,3,7-Trimethylxanthin (Lugbauer, 2010, S. 3). Beiglböck (2016, S. 34) führt aus, dass die Summenformel $C_8H_{10}N_4O_2$ im Jahr 1832 erstmals von den Deutschen Christoph Pfaff und Justus von Liebig bestimmt werden konnte, wonach es sich bei der psychoaktiven Substanz um einen Verbund der Elemente Kohlenstoff, Wasserstoff, Stickstoff und Sauerstoff handelt. Koffein und seine Abbauprodukte Theophyllin, Theobromin und Paraxanthin gehören zur Gruppe der Methylxanthine (vgl. Lüllmann, Mohr & Hein, 2006, S. 332).

2.2 Wechselwirkungen im Körper

In seiner chemischen Struktur ähnelt Koffein dem körpereigenen Adenosin (Nieber, Felke & Schmalz, 2007), einer Substanz, die im Energiestoffwechsel eine wichtige Rolle einnimmt. Adenosin hat die Fähigkeit, phosphoryliert und wieder hydrolysiert werden zu können. Als Adenosintriphosphat (ATP) ist es ein universeller Energieträger, der an unzähligen Reaktionsvorgängen im Körper beteiligt ist, weshalb ATP auch als „Energie-währung des Körpers“ bezeichnet wird (Kinzel, 1981). Die der Bewegung vorausgehenden Muskelkontraktionen erfordern die Hydrolyse von ATP, wodurch der Adenosinspiegel im Körper ansteigt. Als physiologische Rückkopplung auf eine körperliche Belastung beschreibt Beiglböck (2016, S. 41) die Andockung von freiem Adenosin auf verschiedenen Adenosinrezeptoren, die die Ausschüttung von stimulierenden Nervenbotenstoffen wie Noradrenalin, Dopamin und Acetylcholin hemmt. Auf diese Weise werden die Aktivitäten des Nervensystems über eine Vasodilatation, die Senkung des Blutdrucks sowie einer Verlangsamung der Herzfrequenz (HF) bei verlängerter AV-Leitungs- und Refraktärzeit kontinuierlich wieder „heruntergefahren“ (Beiglböck, 2016, S. 41).

Da die Struktur des Koffeins der des Adenosins sehr ähnelt, kann Koffein die verschiedenen Adenosinrezeptoren besetzen und als sogenannter „kompetitiver Hemmer“ im Umkehrschluss die Herunterregulation des körpereigenen Systems nach einer Belastung reduzieren (Lüllmann et al., 2006, S. 530). Demnach liegt die ergogene Wirkung von Koffein nicht in der Stimulation von Nervenzellen selbst, sondern in der Verdrängung der Substanz von dem Wirkungsort, der die Ausschüttung der Stresshormone Noradrenalin und Dopamin hemmen soll (Beiglböck, 2016, S. 42).

Durch seine fettlösliche Eigenschaft kann Koffein Zellmembranen, darunter auch die Blut-Hirn-Schranke, leicht passieren (Guedes, Aguiar & Alves de Aguiar, 2012, S. 7). Im Zentralnervensystem kann Koffein somit theoretisch an alle Adenosinrezeptoren anhaften und zu einer gesteigerten „motor activity, increased arousal, attention, alertness and psychomotor stimulation“ (Acquas, Luca, Fenu, Longoni & Spina, 2012, S. 261) führen. Allerdings ist anzumerken, dass sich die Effekte bei chronischem Konsum von Koffein durch eine Toleranz der Rezeptoren sowie eine hochregulierte Synthese von neuen Adenosinrezeptoren abschwächen (Shearer, 2014, S. 138). Neben der Blockade von Adenosinrezeptoren liegen die weiteren zentralen Wechselwirkungen von Koffein nach Acquas et al. (2012, S. 248) in der „inhibition of phosphodiesterases, blockade of GABA_A receptors and translocation of intracellular calcium.“ Die Blockade der Rezeptoren der Gamma-Amino-Buttersäure (GABA) hat zur Folge, dass die sonst entspannende und schlaffördernde Wirkung von GABA herabgesetzt wird und im Umkehrschluss eine höhere Aktiviertheit und Wachheit vorherrschen (Beiglböck, 2016, S. 43). Auch die gesteigerte Ausschüttung von Acetylcholin als Folge der kompetitiven Inhibition der Adenosinrezeptoren führe laut Beiglböck (2016, S. 43) zu einer ähnlichen Wirkung bezogen auf Wachheit und Aufmerksamkeit. Durch diese Eigenschaften findet Koffein auch Anwendung als „Arzneimittel (...) zur Überwindung von Ermüdung“ (Lüllmann et al., 2006, S. 332).

Weitere Wirkungen von Koffein stellen sich nach Acquas et al. (2012, S. 249) meist nur bei sehr hohen, schwer verträglichen Dosierungen ein, jedoch können sie für die Forschung wichtige Ansatzpunkte darstellen. Eine für den Ausdauersport relevante Wirkung von Koffein ist beispielsweise die angeregte Aktivierung der Adenylatzyklase der Adipozyten und des damit gesteigerten Spiegels von zyklischem Adenosinmonophosphat (Beiglböck, 2016, S. 44). Die dadurch bedingte Phosphodiesterasehemmung steigert nach Lüllmann et al. (2006, S. 333) sowohl die Glykogenolyse als auch die Lipolyse. Bereits im Jahr 1970 konnten Beavo et al. feststellen, dass gekoppelte Zellsignale neben der gesteigerten Lipolyse auch eine erhöhte Konzentration von freien Fettsäuren im Plasma anregen. Aus dieser Erkenntnis schlussfolgert Beiglböck (2016, S. 44), dass bei körperlicher Belastung eine Energieversorgung vermehrt durch mobilisierte Fettreserven stattfindet und eine

Versorgung über die Glykogenspeicher somit längere Zeit zur Verfügung steht. Von diesem Mechanismus können insbesondere Ausdauerleistungen profitieren, die sich dadurch auszeichnen, über einen langen Zeitraum kontinuierlich ausgeübt zu werden (vgl. 2.3 Definition Ausdauerfähigkeit).

2.2.1 Metabolisierung

Durch seine fettlösliche Eigenschaft wird Koffein rasch und nahezu vollständig aus Magen und Darm resorbiert, sodass sich Koffein im Durchschnitt nach 45 Minuten im Blutkreislauf befindet, von wo aus es zu allen Organen weiterleitet wird (Acquas et al., 2012, S. 248). Die maximale Plasmakonzentration ist laut Beiglböck (2016, S. 45) nach etwa einer bis eineinhalb Stunden zu erwarten, wobei Aufnahmemenge, Darreichungsform als auch das Körpergewicht diesen Wert beeinflussen. Eintritt und Dauer der stimulierenden Effekte sind ebenfalls individuell unterschiedlich und hängen von weiteren Faktoren wie Geschlecht, Alter, Genetik, Gesundheitsstatus, Koffeinkonsum oder auch Lebensstilfaktoren, wie z.B. Rauchen oder Medikamentenkonsum, ab (Shearer, 2014, S. 139).

Der Abbau von Koffein findet nach Guedes et al. (2012, S. 7) fast ausschließlich in der Leber statt und wird in umgewandelter Form über den Harn ausgeschieden. Die Halbwertszeit, also der Zeitpunkt, an dem die Hälfte der Koffeinkonzentration abgebaut ist, beläuft sich nach Beiglböck (2016, S. 46) durchschnittlich auf 3,5 Stunden, wird aber ebenfalls von oben genannten Personenfaktoren beeinflusst. Frauen bauen Koffein laut Beiglböck (2016, S. 46) beispielsweise im Schnitt 20-30% schneller ab, jedoch können Kontrazeptiva die Halbwertszeit wiederum auf 5-10 Stunden verlängern. Obwohl Koffein durch seine anregende Wirkung auf die Nierenfunktion als Diuretikum gilt, zeigen neuere Studien, dass Kaffeetrinker nur unwesentlich mehr Flüssigkeit ausscheiden als Wassertrinker. Beiglböck (2016, S. 49) konstatiert auch für den Koffeinkonsum vor dem Sport „keine statistisch [bedeutsame] Zunahme der Entwässerung“.

2.2.2 Koffeinquellen und -konsum in Deutschland

Koffein verdankt seinen Trivialnamen der Kaffeepflanze („Coffea“), aus der es erstmals chemisch isoliert gewonnen werden konnte (Beiglböck, 2016, S. 40). Darüber hinaus ist Koffein noch in über 60 weiteren Pflanzenarten enthalten (Lugbauer, 2010, S. 5). In den in Tab. 1 exemplarischen Endprodukten zeigen sich je nach Herstellungs- und Zubereitungsform große Unterschiede in den Koffeinkonzentrationen. Eine durchschnittliche Tasse

Tab. 1: Ausgewählte Lebensmittel nach absteigendem Koffeingehalt (Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit [EFSA], 2015a)

Getränk	Portionseinheit	Koffein pro Portion*
Filterkaffee	eine Tasse (200 ml)	90 mg
Energydrink	eine Dose (250 ml)	80 mg
Espresso	eine Tasse (60 ml)	80 mg
Schwarzer Tee	eine Tasse (220 ml)	50 mg
Cola	eine Dose (355 ml)	40 mg
Grüner Tee	eine Tasse (200 ml)	30 mg
Zartbitterschokolade	halbe Tafel (50 g)	25 mg

*Anmerkung: Aufgrund starker Schwankungen im Koffeingehalt und der Portionsgröße, handelt es sich bei den Angaben um Näherungswerte.

aufgebrühten Kaffees enthält dabei nach Berechnung der Europäischen Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) rund 90 mg Koffein (s.Tab. 1). Aus der nationalen Verzehrsstudie 2007 ermittelte die EFSA (2015b, S. 87) einen durchschnittlichen Koffeinkonsum deutscher Erwachsener von täglich 238 mg Koffein, der laut Bundesinstitut für Risikobewertung [BfR] (2015) zu 85% in Form von Kaffee aufgenommen wird. Kaffee stellt damit die wesentliche Koffeinquelle deutscher Erwachsener dar. Im Zusammenhang mit Sport und Koffein erfreuen sich Energy Drinks (ED) einer wachsenden Popularität: Unter den mindestens einmal pro Woche Sporttreibenden gaben über die Hälfte der Konsumenten von ED an, diese in Verbindung mit der sportlichen Aktivität zu sich zu nehmen, 14% sogar „about every time“ (Zucconi et al., 2013, S. 62).

2.2.3 Richtlinien zum Koffein-Konsum in Deutschland

In der im Jahr 2015 publizierten Risikobewertung von Koffein leitet die EFSA sichere Aufnahmemengen von Koffein ab. Bei einer Einzeldosis gilt für gesunde Erwachsene der Konsum von 200 mg Koffein bzw. 3 Milligramm pro Kilogramm Körpergewicht (mg/kg KG), auch kurz vor einer intensiven körperlichen Aktivität, als unbedenklich (EFSA, 2015a). Das entspricht in etwa der Menge von zwei Tassen Filterkaffee (vgl. Tab. 1). Über den Tag verteilt sollte eine Aufnahme von 400 mg Koffein nicht überschritten werden, wohingegen hier für Kinder, Schwangere oder Stillende ein Grenzwert von 200 mg Koffein festgelegt ist (EFSA, 2015a). Die in Deutschland seit 2013 geltende gesetzliche Höchstmenge für Koffein liegt für ED bei 320 mg pro Liter (mg/l) (BfR, 2015). Übersteigt ein Getränk, Kaffee und Tee ausgenommen, einen Koffeingehalt von 150 mg/l, muss es

nach BfR (2015)grundsätzlich folgenden Zusatz und die genaue Angabe des enthaltenen Koffeingehaltes tragen: „Erhöhter Koffeingehalt. Für Kinder und schwangere oder stillende Frauen nicht empfohlen“. Für Nahrungsmittel bzw. Nahrungsergänzungsmittel, besteht ebenfalls eine Kennzeichnungspflicht der empfohlenen Verzehrsmenge und des enthaltenen Koffeingehalts (BfR, 2015).

2.3 Theoretische Grundlagen und Charakterisierung der 10-km-Ausdauerbelastung

Der Begriff Ausdauer wird im Allgemeinen als Ermüdungswiderstandsfähigkeit charakterisiert und bezeichnet nach Hottenrott und Hoos (2013, S. 460) eine konditionelle Fähigkeit, die es im Sinne physischer Belastung erlaubt, Bewegungen ohne größere Leistungsverluste über einen langen Zeitraum auszuüben. Neben der verzögerten Leistungsabnahme beeinflusst die Ausdauerfähigkeit auch die Erholungsfähigkeit des Organismus positiv und sichert eine belastungsadäquate Energieversorgung (Hottenrott & Hoos, 2013, S. 459). In diesem Sinne fügen die Autoren Grosser, Starischka und Zimmermann (2012, S. 125) zu der Begrifflichkeit „Ermüdungsresistenz“ noch den Zusatz „rasche Wiederherstellungsfähigkeit“ an.

Eine Ausdauerfähigkeit kann sich aufgrund unterschiedlicher Arten von Ausdauer in sehr heterogenen Erscheinungsformen äußern. Nach dem gängigen Schema von Hollmann und Hettinger (1976) wird zunächst auf muskulärer Ebene zwischen einer lokalen und einer allgemeinen Ausdauer differenziert, die metabolisch entweder bei aerober oder anaerober Energiebereitstellung erfolgt und nach statischer oder dynamischer Arbeitsweise unterteilt wird. Als der gängigste Messparameter und Prädiktor für eine gut ausgeprägte Ausdauerleistungsfähigkeit gilt eine hohe Ausprägung der maximalen Sauerstoffaufnahme-fähigkeit (VO_{2max}) (Jäger, Kurz & Müller, 2017, S. 78). Jedoch ergänzen Grosser et al. (2012, 131ff.) für zeitlich unterschiedliche Ausdauerbelastungs-formen weitere leistungslimitierende Parameter, wie die individuelle Laktattoleranz und Pufferkapazität bei kurzen Ausdauerbelastungen oder die Größe der Muskelglykogenspeicher und die Verfügbarkeit von Substraten für die aerob-glykolytische Energiebereitstellung bei Belastungen im Bereich der speziellen Langzeitausdauer (LZA).

Die nachfolgende Tabelle kategorisiert die in dieser Untersuchung gewählte Ausdauerbelastung eines 10-km-Dauerlaufs unter submaximaler Intensität (85% der Bestzeitgeschwindigkeit) in einem modifizierten Raster nach Hottenrott und Hoos (2013, S. 461). Zunächst ist für die Fortbewegungsart „Laufen“ eine dynamische Arbeitsweise der Skelettmuskulatur festzuhalten, die in einem komplexen Zusammenspiel von An- und Entspannung von agonistischen, synergistischen und antagonistischen funktionellen Muskelgruppen besteht (vgl. Hollmann & Strüder, 2009, S. 64). Die zeitliche Dauer und

Strukturierungsform	Erscheinungsform	Charakterisierung
Arbeitsweise der Skelettmuskulatur	Dynamische Ausdauer	Exzentrisch-konzentrische Muskelkontraktion
Vorrangige Energiebereitstellung	Aerobe Ausdauer	ausreichendes Sauerstoffangebot
Anteil der beanspruchten Muskulatur	Allgemeine Ausdauer	$>1/6 - 1/7$ der Skelettmuskulatur
Zeitdauer der Belastung	LZA II	Submaximale Belastung über 35-90 min
Bedeutung für die Leistungsfähigkeit	Spezifische Ausdauer	Anpassung an die Beanspruchungsstruktur einer Ausdauerdisziplin
Einteilung nach Trainingsbereichen	Spezifische Grundlagenausdauer (LZA)	Allgemeine aerobe Ausdauer mit hoher aerober Kapazität

Tab. 2: Charakterisierung der 10-km-Ausdauerbelastung anhand von ausgewählten Strukturierungskriterien nach Hottenrott und Hoos (2013, S. 461)

Intensität der Belastung lassen erwarten, dass die Probandinnen unterhalb ihrer individuellen anaeroben Schwelle (IANS) belastet werden. Letztere definieren Eisenhut und Zintl (2013, S. 73) als den Bereich des Übertritts des kritischen Laktatwertes, bei dem die „Laktatelimination mit der belastungsinduzierten Laktatproduktion nicht mehr Schritt halten kann.“ Die Energiebereitstellung erfolgt also überwiegend unter aerober Stoffwechsellage über die Oxidation von Glykogen, sowie einer zeitlich nachgeschalteten Fettoxidation (Grosser et al., 2012, S. 129). Als Kriterium zwischen einer lokalen und allgemeinen Ausdauerbelastung schlagen Hollmann und Strüder (2009, S. 297) einen Grenzwert von unter bzw. über $1/6$ der in Anspruch genommenen Skelettmuskulatur vor. Da bei dem 10-km-Lauf mehr als $1/6$ der Skelettmuskulatur in einem dynamischen Wechsel von Anspannung und Entspannung unter vornehmlich aerober Energiebereitstellung belastet wird, handelt es sich folglich um eine Anforderung an die allgemeine aerobe dynamische Ausdauerfähigkeit. Die benötigte Zeit für einen 10-km-Lauf beläuft sich je nach Leistungsstand auf eine Spanne zwischen 35 und 90 Minuten und ist damit dem Bereich LZA II zuzuordnen. Nach Grosser et al. (2012, S. 130) erfordert das spezifische Training der LZA II gegenüber der allgemeinen Grundlagenausdauer eine metabolische Anpassung der Skelettmuskulatur zur Verbesserung des aeroben Stoffwechsels. Zusammenfassend halten Hollmann und Strüder (2009, S. 297) die Größe und Verfügbarkeit der intramuskulären Glykogenspeicher sowie die individuelle VO_{2max} und die Höhe der IANS bei dieser Belastungsform als leistungsbegrenzende Faktoren fest.

2.4 Physiologische Anpassung durch spezifisches Langzeitausdauertraining

Strukturelle und funktionelle Anpassungserscheinungen in der Ausdauerleistungsfähigkeit werden durch einwirkende metabolische oder mechanische Stressoren auf den Organismus hervorgerufen (Hoppeler, 2018, S. 295). LZA-Training führt durch die langanhaltende Belastung nach Hoppeler (2018, S. 295) vor allem zu einem metabolischen Reiz auf die Muskelzelle. Als Reaktion des Organismus auf fortdauernde Zellbelastungen kommt es über eine Aktivierung spezifischer Gene zu einer Adaption im kardiovaskulären und neuromuskulären System, damit zukünftige Zellbelastungen relativ vermindert werden (Hollmann & Strüder, 2009, S. 372).

Im Vordergrund der Leistungssteigerung im allgemeinen Ausdauerbereich steht die Steigerung der aeroben Kapazität sowie die Verbesserung der VO_{2max} , die schon wie zuvor erwähnt, als Bruttokriterium der Ausdauerleistungsfähigkeit gilt (s. Seite 7). Hoppeler (2018, S. 295) beschreibt als einen allgemeinen Mechanismus zur Steigerung der aeroben Kapazität der Skelettmuskelzelle die transkriptionelle Hochregulierung der mitochondrialen Biogenese. Neben der Vermehrung der Mitochondrien, die vor allem in den für Ausdauertätigkeiten relevanten Typ-I-Fasern nachweisbar ist, stellen Hollmann und Strüder (2009, S. 379) bei Ausdauertrainierten auch eine Vergrößerung der Mitochondrien fest. Schon nach zwei- bis dreimonatigem Training sei (2009, S. 373) eine positive Veränderung der VO_{2max} von durchschnittlich 15-25% zu erwarten, die bei mehrjährigem Training sogar um bis zu 40% ansteigen kann. Auch die vermehrte Kapillarisation sowie ein ökonomisierter Blutfluss durch einen vergrößerten Durchmesser und einen verringerten Gefäßwiderstand sorgen für eine gesteigerte oxidative Kapazität des Organismus (Hoppeler, 2018, S. 299). Als Folge der Zunahme des Plasmavolumens und ein damit einhergehender Anstieg der Vorlast, steigt die Blutvolumenbelastung des Herzens, wodurch sich bei gut trainierten Ausdauerathleten eine belastungsinduzierte exzentrische Herzhypertrophie entwickeln kann (Kindermann & Scharhag, 2014, S. 327). Diese Sonderform des vergrößerten Herzens, auch „Sportherz“ genannt, weist gleichermaßen vergrößerte Ventrikel, dickere Myokarddurchmesser und eine Erweiterung der Herzkranzgefäßsystems auf (Kindermann & Scharhag, 2014, S. 328), sodass der verbesserte Transport größerer Blut- bzw. Sauerstoffmengen die aerobe Leistungsfähigkeit des Organismus positiv beeinflusst.

Nichtsdestotrotz ist nach Haber (2005, S. 69) bei optimaler Trainingsanpassung auch unabhängig vom Herzvolumen „eine Verdopplung des maximalen Schlagvolumens bei gleicher maximaler Herzfrequenz“ möglich. Das erhöhte Schlagvolumen ist ein Faktor für die bei Ausdauerathleten auftretende herabgesetzte Herzschlagrate unter submaximaler Belastung (Hollmann & Strüder, 2009, S. 376). Auf nervaler Ebene wird die erniedrigte HF unter Ruhebedingung zusätzlich durch einen erhöhten Tonus des parasympathischen Nervus vagus angeregt, wodurch auch der Blutdruck und die Laktatbildung unter

definierten Belastungen sinken (Hollmann & Strüder, 2009, S. 382). Die energetische Adaption durch dynamisch aerobe Ausdauer liegt nach Hollmann und Strüder (2009, S. 379) in der verbesserten „Fähigkeit des Skelettmuskels zur Verbrennung freier Fettsäuren“ (FFS). Diese Fähigkeit spielt in der Aufrechterhaltung von LZA-Belastungen eine entscheidende Rolle, da die Verbrennung von FFS gegenüber der Verbrennung aus Glykogen mehr Energie zur Verfügung stellt und Fettdepots gegenüber Muskelglykogenreserven praktisch unbegrenzte Speicher vorweisen (Neumann, Pfützner & Berbalk, 2000, S. 97). Eine herabgesetzte Entleerung der Glykogenspeicher sowie eine verstärkte Aktivität des parasympathischen Systems können positive Einflussfaktoren im Hinblick auf eine rasche Erholungsfähigkeit des Organismus darstellen.

2.5 Charakteristika der ausdauerspezifischen Leistungsfähigkeit von Frauen

Seit jeher weisen Wettkampf- bzw. Rekordzeiten von Distanzläufen auf höhere Leistungsfähigkeiten von männlichen gegenüber weiblichen Läufern hin, wobei geschlechtliche Unterschiede mit zunehmendem Leistungsniveau kleiner werden (Shangold & Mirkin, 1994). Ursächlich für geschlechtliche Leistungsunterschiede ist nach Haber (2018) die unterschiedliche Körperzusammensetzung und Fettverteilung von Männern gegenüber Frauen. So weisen Frauen (2018, S. 331) „einen geringeren Anteil an schlanker Körpermasse und einen [um 10%] größeren Anteil an Fett an der gesamten Körpermasse“ auf. Relativiert man den geschlechtsbedingten Unterschied in der VO_{2max} nicht am Körpergewicht (20%) sondern an der fettfreien Masse, so beträgt dieser zwischen Männern und Frauen lediglich 5% (Haber, 2018, S. 331). Darüber hinaus weisen Frauen insgesamt eine geringere aerobe Kapazität auf, die sich strukturell in einem kleineren Schlagvolumen als Folge eines morphologisch kleineren absoluten und relativen Herzvolumens begründet (Shangold & Mirkin, 1994, S. 81). Gründe für den bei Frauen niedrigeren Hämoglobinwert, der als entscheidender Faktor die Sauerstoffbindungskapazität im Blut determiniert, sehen Shangold und Mirkin (1994, S. 81f.) zum einen im monatlichen Blutverlust menstruierender Frauen und zum anderen in der geringeren Konzentration männlicher Sexualhormone, die die Bildung von Hämoglobin im Körper anregen.

2.6 Ergogene Einflüsse der Koffein-Supplementation im Ausdauersport

Auf der Grundlage von 21 wissenschaftlichen Studien, die den Effekt von Koffein bei einer konstanten Ausdauerbelastung untersuchten, konnten Doherty und Smith (2005) in ihrer Metaanalyse einen systematischen Effekt von Koffein auf eine verminderte subjektive Beanspruchung belegen. Die Effektstärke ($d=-.47$) ist nach einer vorgeschlagenen Einteilung von Cohen (1992, S. 157) als mittlerer Effekt einzustufen. Obwohl also zahlreiche Studien eine niedrigere Anstrengung bei definierter Belastung durch Koffein bestätigen, sind die zugrundeliegenden Mechanismen in ihrem Stellenwert immer noch nicht eindeutig geklärt (vgl. Doherty & Smith, 2005, S. 75). In diesem Abschnitt werden daher aktuelle Studienergebnisse hinsichtlich potenzieller Wirkung von Koffein auf den Organismus geprüft, die im Zusammenhang mit einer Verminderung der subjektiven Anstrengung stehen könnten.

Eine anregende Wirkung des koffeinbedingt erhöhten Katecholaminspiegels auf das respiratorische und kardiologische System scheint jedoch als ausschlaggebender Faktor für ein vermindertes Anstrengungsempfinden fraglich zu sein, denn: Signifikante Senkungen der RPE unter Koffeinsupplementation wurden sowohl bei gesteigerter HF (Hottenrott et al., 2015), erhöhtem Lungenvolumen und verbesserter Alveolarventilation (Birnbaum & Herbst, 2004), als auch bei unveränderten Reaktionen im relativen Sauerstoffverbrauch, der HF sowie im systolischen und diastolischen Blutdruck (Tarnopolsky et al., 1989) aufgezeigt.

Auch der Mechanismus eines vermehrten Fett- und damit eines reziprok verringerten Glykogenabbaus scheint nicht alleinig für das Zustandekommen eines Koffein-Effekts auf die subjektive Anstrengung ursächlich zu sein, da koffeinbedingte Leistungssteigerungen auch bei kurzen Ausdauerbelastungen (<30 min) nachgewiesen werden konnten (Ganio, Klau, Casa, Armstrong & Maresh, 2009), bei der die Lipolyse noch keinen relevanten Stellenwert in der Energiebereitstellung ausmacht. Aktuell wird der Mechanismus des antagonistischen Effekts von Koffein auf Adenosinrezeptoren im Zentralnervensystem (ZNS) als wesentlicher Wirkmechanismus der verminderten Anstrengungswahrnehmung diskutiert (Astorino & White, 2012, S. 317; Davis et al., 2003). Die Blockierung der Adenosinrezeptoren führe unter anderem zu einer gesteigerten Dopaminsekretion, wodurch perzeptuelle Vorgänge in der Aufmerksamkeit und Motivation positiv beeinflusst werden (Haile, Gallagher & J. Robertson, 2015). Außerdem konnte in einem Experiment mit Ratten eine koffeininduzierte Hemmung des zur Bildung von Serotonin notwendigen endogenen Enzyms Tryptophanhydroxylase nachgewiesen werden (Lim et al., 2001). Da ein im ZNS verringerter Serotoninspiegel wiederum eine verringerte Müdigkeit zur Folge hat (Astorino & White, 2012, 2012), stellt der antagonistische Einfluss von Koffein auf Adenosinrezeptoren einen bedeutenden Mechanismus in der Erklärung einer Anstren-

gungssenkung bzw. einer verzögerten Anstrengungsempfindung dar. In der Studie „Early effects of caffeinated and decaffeinated coffee on subjective state and gender differences“ von Adan, Prat, Fabbri und Sánchez-Turet (2008) wurde eine signifikant verringerte Müdigkeit und höhere Aktiviertheit unter der Koffein-Supplementation bestätigt, die bei Männern (N=238) stärker ausgeprägt war gegenüber Frauen (N=450). Des Weiteren konnten die Autoren (2008, S. 1702) ein höheres Ausmaß und eine längere zeitliche Dauer des Placebo-Effekts bei weiblichen Probanden feststellen: Zehn Minuten nach der Einnahme des entkoffeinierten Getränks stieg die subjektive Aktivierung der weiblichen Teilnehmerinnen (TN) gegenüber vor der Einnahme und gegenüber den männlichen TN an und fiel im Verlauf der folgenden zwanzig Minuten in geringerem Umfang ab.

2.7 Forschungsfrage und Arbeitshypothesen

Im Fokus dieser Arbeit steht der Aspekt der mentalen Wahrnehmung der Beanspruchung unter dem Einfluss von Koffein. Folgende Hauptforschungsfrage soll in dieser Untersuchung Beantwortung finden: Hat die Supplementation einer unbedenklichen Dosis von Koffein vor einem 10-km-Lauf einen positiven Effekt auf die subjektive Anstrengung von Ausdauerläuferinnen?

Aufbauend auf die Metaanalyse von Doherty und Smith (2005) wird die folgende Arbeitshypothese für die Beantwortung und Diskussion der Forschungsfrage herangezogen und statistisch bearbeitet:

1. H₁: Unter der Koffein-Bedingung ist die subjektive Anstrengung der Probandinnen im 10-km-Lauf gegenüber der Placebo-Bedingung herabgesetzt, was sich in durchschnittlich niedrigeren RPE-Werten niederschlägt.

In diesem Zusammenhang sollen Unterschiede zwischen den Messzeitpunkten untersucht werden, um eine Aussage darüber treffen zu können, zu welchem Abschnitt des 10-km-Laufs Koffein einen Einfluss auf die subjektive Anstrengung ausübt. Außerdem konnten Doherty und Smith (2005, S. 73) in ihrer Metaanalyse die Ausprägung der VO_{2max} als eine wichtige Determinante der koffeinbedingten RPE-Senkung herausstellen. Zur Überprüfung eines positiven Zusammenhangs zwischen der VO_{2max} und der RPE wird die aus dem Fragebogen (vgl. Anh. A4) ermittelte „Trainiertheit“ (Sportumfang in Minuten pro Woche (min/Woche) als Einflussvariable in die Analyse eingehen. Durch die Metaanalyse liegt ein hinreichender Verdacht vor, dass der Zusammenhang auch bei weiblichen Ausdauerläufern besteht.

2. H_1 : Läuferinnen mit einem hohen Sportumfang haben eine größere negative Differenz der RPE (Koffein- minus Placebo-Bedingung) als Läuferinnen mit einem geringen Sportumfang.

Als einziger objektiver Belastungsmarker wird die HF als abhängige Variable der kardiologisch-körperlichen Beanspruchung in die Untersuchung des Einflusses von Koffein eingehen. Da widersprüchliche Ergebnisse darüber vorliegen, wie sich Koffein auf die HF auswirkt, fehlt hier die Grundlage für eine gerichtete Hypothese. Dennoch wird vermutet, dass die Supplementation von Koffein einen Einfluss auf die Ausprägung der Herzkreislaufsystems ausübt:

3. H_1 : Die HF unterscheidet sich zwischen der Koffein- und der Placebo-Bedingung.

Im vierten Schritt wird die Ausprägung der wahrgenommenen Aktiviertheit unter dem Einfluss der Koffein- und Placebo-Bedingung statistisch untersucht. Durch die Annahme, dass die subjektive Anstrengung der 10-km-Belastung durch eine Koffeinsupplementation gepuffert wird, wird erwartet, dass auch die wahrgenommene Aktiviertheit unter Koffein geringer abfällt:

4. H_1 : Die Differenz der vor (t_1) und nach dem Lauf (t_2) empfundenen Aktiviertheit, ist unter Koffein-Bedingung geringer als unter Placebo-Bedingung.

Die im Abschnitt 2.2 bei chronischem Koffeinkonsum beschriebenen kompensatorischen Mechanismen der verminderten Affinität von Adenosinrezeptoren gegenüber Koffein, sowie die Hochregulierung der Synthese neuer Adenosinrezeptoren, legen die Vermutung nahe, dass der Einfluss von Koffein bei der 10-km-Belastung interindividuell stark durch den Umfang des persönlichen Koffeinkonsums variieren kann:

5. H_1 : Je höher die Koffeinsensitivität, desto stärker die Ausprägung einer verminderten RPE unter Koffein.

Durch die Auswertung dieser Fragestellung können eventuell wichtige Schlussfolgerungen für die Anwendungshäufigkeit von Koffein-Supplementationen in der Trainingsroutine oder gar Wettkampfsituation von ambitionierten Freizeit-Ausdauerläuferinnen abgeleitet werden.

3 Methoden

Die angewandte Methodik orientierte sich an den Untersuchungsprotokollen derjenigen Studien, die einen Effekt von Koffein auf die RPE feststellen konnten. Auf diese Weise wurde erwartet, den beschriebenen Effekt auch bei einer weiblichen Zielgruppe in einem Langzeitausdauerlauf nachweisen zu können. Eine a priori Stichprobenumfangsplanung ergab für den durch Doherty und Smith (2005) erwarteten Effekt von $d=-.47$ bei einem Signifikanzniveau von $p=.05$ und einer Teststärke von $1-\beta=.8$ eine erforderliche Anzahl von 30 Versuchspersonen ($N=30$).

Vor der Unterzeichnung der Einwilligungserklärung (s. Anh. A2) wurden die TN über den Ablauf der Testungen, die Einfach-Verblindung sowie über alle möglichen Risiken und Unannehmlichkeiten, die durch die körperliche Belastung und durch die verabreichte Koffeinsupplementation entstehen könnten, informiert (s. Anh. A1). Das Forschungsvorhaben wurde durch die lokale Ethikkommission des Fachbereichs 06 der Justus-Liebig-Universität Gießen geprüft und bewilligt.

3.1 Untersuchungsdesign

Die Testungen erfolgten als Feldstudie in einem randomisiert, kontrolliert und einfach verblindeten Cross-Over-Studiendesign. Im Gegensatz zu einem Parallelgruppen-Studiendesign ermöglicht dieses Vorgehen die Generierung eines möglichst großen Datenkollektivs bei einer zu erwartenden kleinen Stichprobengröße (Schulgen & Schumacher, 2007, S. 306). Überdies eignet sich ein intraindividueller Vergleich bei der Untersuchung von Unterschieden zwischen einem Testsubstrat und einem Placebo, da auf diese Weise eine Konfundierung von Einflussvariablen nahezu ausgeschlossen werden konnte.

Gegenstand des experimentellen Designs war der Einfluss der Bedingungen Koffein oder Placebo (unabhängige Variable) auf die Ausprägung der RPE (abhängige Variable) in einem 10-km-Lauf. Mögliche untersuchungsbedingte Störvariablen wurden durch eine randomisierte Zuordnung der Reihenfolgebedingung vermieden und durch einen standardisierten und protokollierten Untersuchungsablauf kontrolliert. Um etwaige personenbezogene Störvariablen im Nachhinein statistisch überprüfen zu können, wurde ein Fragebogen konzipiert, in dem die Probandinnen personenbezogene Angaben zu anthropometrischen Daten, Erkrankungen und dem sportlichen Ausdauerleistungsumfang machten (s. Anh. A4). Außerdem wurden darin persönliche Angaben dokumentiert (z.B. Raucher-Status, Gebrauch der Antibabypille und Medikamentenkonsum), die potenzielle Störfaktoren in Bezug auf die Metabolisierung und Wirksamkeit von Koffein darstellen könnten.

3.1.1 Ein- und Ausschlusskriterien

Alle an der Studie interessierten (Freizeit-)Ausdauerläuferinnen wurden für die Teilnahme nach speziellen Einschluss- und Ausschlusskriterien selektiert.

Aus dem bereits erwähnten Befund eines positiven Zusammenhangs zwischen einer hohen VO_{2max} und einer gesteigerten Reduktion der RPE unter Koffeinsupplementation während einer konstanten körperlichen Belastung, schlussfolgerten die Autoren der Metaanalyse, dass „studies whose participants have a high VO_{2max} will be more likely to have a lowered exercise RPE following caffeine ingestion“ (Doherty & Smith, 2005, S. 73). Daher wurde als Einschlusskriterium ein wöchentlicher Trainingsumfang von mindestens anderthalb Stunden Ausdauersport in den letzten sechs Monaten festgelegt. Außerdem wurden nur Probandinnen in die Studie aufgenommen, die eine ärztliche Bescheinigung über die Sporttauglichkeit nachweisen konnten oder sich unmittelbar vor der ersten Testung einer sportärztlichen Untersuchung unterzogen hatten. Eine körperliche Fitness und Vertrautheit mit der Streckendistanz wurden auf diese Weise zur Vermeidung von Verletzungen oder kardiovaskulären (Überlastungs-)Risiken vorausgesetzt.

Ausschlusskriterium für die Teilnahme an der Studie war das Vorliegen einer aktuellen Schwangerschaft (s. Anh. A3) oder die Laktation eines Säuglings (s. Anh. A4), da wie in Abschnitt 2.2.3 erläutert, niedrigere Verzehrsempfehlungen für Koffein bei Schwangeren und Säuglingen vorliegen. Probandinnen mit akuten oder chronischen Erkrankungen zum Zeitpunkt der Testungen wurden ausgeschlossen, um eine gestörte Metabolisierung des Koffeins oder eine Verstärkung von Krankheitssymptomen durch mögliche Wechselwirkungen von Koffein im Körper ausschließen zu können.

3.1.2 Dosierung und Einnahme des Testsubstrats

In diesem Abschnitt werden auf der Basis wissenschaftlicher Untersuchungen relevante Erkenntnisse erläutert, die bei der methodischen Planung der Verabreichung des Testsubstrats eine Rolle gespielt haben.

Frühere Studien deuten bei der Konzentration von Koffein auf einen optimalen relativen Dosierungsbereich zwischen drei und sechs mg/kg KG hin, unter bzw. über dem keine ergogenen Wirkungen mehr nachweisbar sind (Ganio et al., 2009, S. 322). Wiederum geben Studien, die weder eine Leistungssteigerung noch einen Effekt auf die RPE unter Koffein-Bedingung belegen konnten (Titlow, Ishee & Riggs, 1991) auch Aufschluss darauf, dass individuelle Unterschiede und Einflüsse in der Sensitivität von Koffein bestehen können und die Effekte daher stark variieren.

Ursächlich dafür können sowohl habituelle Unterschiede, z.B. der persönliche Koffeinkonsum, als auch genetisch determinierte Unterschiede in der Anzahl und Verteilung von Adenosinrezeptoren sein (Braun, 1998, S. 154).

In der Metaanalyse zum Effekt von Koffein auf die RPE konnten Doherty und Smith (2005, S. 72) keine signifikanten Einflüsse der Parameter „caffeine abstinence“, „caffeine ingestion – exercise test interval“ und „caffeine dose“ feststellen. Daher richtete sich die in dieser Untersuchung gewählte Dosierung von 200 mg Koffein nach der empfohlenen maximalen Aufnahmemenge bei einer Einzeldosis (BfR, 2015). Auf diese Weise konnten ethische Richtlinien eingehalten und mögliche Effekte von Koffein bei gesundheitlich unbedenklicher Dosierung für die Trainingsempfehlung abgeleitet werden. Zur Gewährleistung einer exakten Dosierung wurde nicht auf koffeinhaltigen Kaffee zurückgegriffen, sondern anhydriertes Koffein aus einer Kapsel entnommen und entkoffeiniertem Kaffee (40 g auf einen Liter Wasser) beigefügt. Da sich hinsichtlich der Darreichungsform von Koffein statistisch keine Unterschiede im ergogenen Effekt ergeben (Doherty & Smith, 2005; Ganio et al., 2009), wurde für eine hohe Übertragbarkeit auf die Trainingsroutine von Freizeit-Ausdauersportlerinnen die Darreichung mit Kaffee, als wesentliche Koffeinquelle deutscher Erwachsener (BfR, 2015), ausgewählt. Das in dieser Arbeit verwendete Koffein wurde aus Koffeinkapseln mit 200 mg Dosierung pro Kapsel der Marke „Mach dich wach!“ entnommen, einem in Deutschland produzierenden Hersteller, dessen Produktqualität nach DIN Norm kontrolliert wird. Das Produkt wurde für diese Untersuchung ausgewählt, weil es im Gegensatz zu vielen gängigen Koffeinkapseln und Koffeintabletten gänzlich auf Zusatz- bzw. Füllstoffe verzichtet.

Bei der Durchführung der Testungen erhielten die TN unter Placebo-Bedingung je einen Becher mit 200 ml entkoffeiniertem Kaffee, während die TN der Koffein-Bedingung je einen Becher mit 200 ml entkoffeiniertem Kaffee mit beigemischem Koffeinpulver erhielten. Die Zeit zwischen Getränkegabe und Laufbeginn betrug 60 Minuten, um sicherzustellen, dass die Probandinnen ausreichend Gelegenheit erhielten, auf die Toilette zu gehen, da ein diuresefördernder Einfluss des Kaffees zu erwarten war. Außerdem sollte gewährleistet sein, dass das Koffein bei allen TN vor der Ausdauerbelastung trotz möglicher hemmender Faktoren vollständig resorbiert und die maximale Koffeinkonzentration im Plasma erreicht wurde. Da die Halbwertszeit von Koffein wie erwähnt durchschnittlich 3,5 Stunden beträgt, konnte davon ausgegangen werden, dass die Plasmakoffeinkonzentration während des 10-km-Laufs noch unwesentlich abgefallen sind.

3.1.3 Fragebogen zur Erfassung der wahrgenommenen körperlichen Verfassung

Der eingesetzte Fragebogen WKV-20 von Kleinert erfasst die aktuelle wahrgenommene körperliche Verfassung (Kleinert, 2006). Die 20 verwendeten Items operationalisieren den körperlich orientierten Befindlichkeitszustand und messen laut Kleinert (Kleinert, 2006, S. 161) sensible kurz- bis mittelfristige Veränderungen in der körperlichen Verfassung. In einem Likert-Format schätzen die TN in einer sechsstufigen Rangskala, die von „gar nicht“ (null) bis „völlig“ (fünf) verbal eingegrenzt ist, ihr körperliches Befinden ein. Jeweils fünf Items bilden eine der vier Dimensionen Aktiviertheit, Trainiertheit, Beweglichkeit und Gesundheit (s. Tab. 3).

Tab. 3: Items des WKV-20 (modifiziert nach Steinbacher, 2010)

Aktiviertheit	Trainiertheit	Beweglichkeit	Gesundheit
energielos*	kräftig	unbeweglich*	lädiert*
platt*	stark	gelenkig	krank*
ausgelaugt*	fit	steif*	angeschlagen*
abgeschlafft*	durchtrainiert	dehnfähig	gesund
schlapp*	kraftvoll	beweglich	verletzt*

*Items werden zur Auswertung umgepolt

Um den aktuellen emotional und kognitiv wahrgenommenen körperlichen Befindlichkeitszustand der Probandinnen zu evaluieren, wird der WKV-20 jeweils einmal vor und nach dem 10-km Lauf ausgefüllt. Auf diese Weise können eventuelle negativ konnotierte körperliche Befindlichkeiten, die nicht aus dem Lauf an sich resultierten, sondern vorab durch anderweitige Umstände der Probandinnen entstanden sind, antizipiert und in der statistischen Auswertung berücksichtigt werden.

Die Instruktion des WKV-20 wurde von Steinbacher (2010) entnommen:

„Bitte schätzen Sie spontan, ohne viel zu überlegen, ein, inwieweit die folgenden Aussagen auf ihren körperlichen Allgemeinzustand im Augenblick zutreffen. Machen Sie ein Kreuz an der entsprechenden Stelle.“ (s. Anh. B6)

Die deskriptive Auswertung erfolgt anschließend durch Mittelwertbildung der zugehörigen Items nach Umpolung der negativ konnotierten Adjektive. Die Items der Dimension „Aktiviertheit“ spiegeln vor allem energetische Komponenten wider, die einen wesentlichen Bestandteil in Bezug auf die Beanspruchungswahrnehmung ausmachen. Die statistische Verarbeitung der Daten auf Intervallskalenniveau gilt als inhaltlich begründet (Steinbacher, 2010, 92f.) und liefert damit die Voraussetzung der Verwendung parametrischer Verfahren in der statistischen Untersuchung des Einflusses von Koffein.

3.1.4 RPE-Skala zur Bestimmung des Anstrengungsempfindens

Die „RPE“-Skala (RPE, „ratings of perceived exertion“) ist eine von Borg (1998) konstruierte numerische Skala, die die Beanspruchung von körperlichen Belastungen wiedergibt. Der Zahlenbereich reicht von sechs bis zwanzig, jede zweite Ziffer ist mit einem verbalen Beschreibungslabel von „sehr, sehr leicht“ bis „sehr, sehr anstrengend“ (s. Anh. B5) versehen. Dadurch ergibt sich eine Rangordnungsstruktur zwischen den Merkmalsunterschieden, die sich durch äquidistante Zahlenabstände auszeichnen, wodurch eine Verarbeitung der Messdaten auf Intervallskalenniveau nach Bortz und Döring (2006, S. 68) legitimiert ist.

Die RPE- oder auch Borg-Skala basiert auf der Annahme, dass zwischen „dem sensorischen Empfinden und dem physikalischen Reiz“ eine logarithmische Beziehung besteht und ist so konstruiert, dass sie linear mit einer Belastung ansteigt (Borg, 2004, S. 1017). Die RPE-Werte reichen von sechs bis zwanzig und sollen damit dem Herzfrequenzbereich von 60 bis 200 Schlägen pro Minute (min^{-1}) entsprechen (Borg-Wert $\times 10 = \text{HF}$). Hinsichtlich der Reliabilität und Validität weist die RPE-Skala sehr gute Werte auf (Borg, 2004, S. 1018) und gilt als ein etabliertes Schätzmittel der subjektiven Bewertung der wahrgenommenen Anstrengung (Löllgen, 2004).

3.2 Stichprobenbeschreibung

Es handelte sich bei der Gelegenheitsstichprobe um Studentinnen der Justus-Liebig-Universität Gießen. Von vierzig Interessentinnen erfüllten elf Probandinnen alle Einschlusskriterien sowie die terminliche Teilnahmebereitschaft an beiden 10-km-Läufen. Durch einen Drop-out während eines ersten 10-km-Laufs lagen für die statistische Auswertung letztlich zehn vollständige Datensätze vor. Eine Übersicht über die durchschnittlichen anthropometrischen Daten und Trainingsumfänge der Probandinnen ist in Tab. 4 abgetragen. Trotz der geringen Versuchspersonenzahl unterscheiden sich die Werte in den beiden Gruppen nur marginal, der Kolmogorov-Smirnov-Test bestätigt für alle Variablen eine Normalverteilung der Daten.

Tab. 4: Mittelwerte (MW) ± Standardabweichung (SD) anthropometrischer und leistungsbezogener Parameter der Stichprobe gruppiert nach Bedingung

Bedingung [△]	Alter	BMI	Dosis [△]	Laufsport [↓]	Ausdauersport gesamt [↓]
B1 (N=6)	25.3 ± 3.5	21.2 ± 2.6	3.3 ± 0.45	170 ± 88.3	380 ± 171.5
B2 (N=4)	22.5 ± 3.1	21.6 ± 2.1	3.1 ± 0.7	195 ± 113.6	365 ± 212.4

Anmerkung: [△]B1 entspricht der Koffeingabe im ersten Lauf; B2 entspricht der Koffeingabe im zweiten Lauf; [△]Relative Dosis von 200 mg Koffein [mg/kg KG]; [↓] Einheiten in [min/Woche];

Die weitere Auswertung des Fragebogens zeigt, dass die Freizeit-Ausdauerläuferinnen bis auf zwei Ausnahmen seit mindestens fünf Jahren Ausdauersport betreiben. In Bezug auf die Störfaktoren der Koffeinmetabolisierung ist nur eine TN als Raucherin herauszustellen. Die Einnahme von oralen Kontrazeptiva wird von der Hälfte der Stichprobe angegeben. Die Dosis von 200 mg Koffein beläuft sich in Relation zum Körpergewicht auf durchschnittlich 3.3 mg/kg KG bzw. 3.1 mg/kg KG und befindet sich damit in dem beschriebenen optimalen ergogenen Wirkungsbereich von Koffein (s. Abschnitt 3.1.2). Sechs der zehn Probandinnen berichten einen täglichen Koffeinkonsum und nur zwei Probandinnen geben einen selteneren Konsum als einmal pro Woche an. Die Verwendung von Koffein zur bewussten Leistungssteigerung im Sport nimmt bei 70% dieser Stichprobe keinen Stellenwert ein.

3.3 Untersuchungsprotokoll

Die Probandinnen wurden randomisiert und verblindet auf B1 und B2 aufgeteilt. Die Erhebung der subjektiven Einschätzung der RPE auf der Borg-Skala erfolgte nach jedem gelaufenen Kilometer. Als weitere abhängige Variable wurde die HF als physiologische Ausprägung der Belastung mittels Herzfrequenz-Sensor der Marke „POLAR“ erhoben und zusammen mit der RPE kilometerweise dokumentiert. In diesem Zusammenhang ist zu berücksichtigen, dass die Herzfrequenz in der Einheit „Schläge pro Minute“ bereits minimale Veränderungen in der Belastung aufzeigt, wohingegen die RPE nur in ganzen Zahlen angegeben wird (ein verbales Wertelabel pro zwei Zahlen) und sich kleine Unterschiede in der subjektiven Anstrengung nicht unmittelbar in einem Sprung auf ein anderes Wertenniveau bemerkbar machen. Eine Veränderung der HF ist somit nicht zwangsläufig deckungsgleich mit einer Veränderung der RPE um einen Skalenwert.

Zur Erfassung der Einwirkung des 10-km-Laufs auf die wahrgenommene Aktiviertheit wurde der WKV-20 herangezogen. Durch die schon vor dem 10-km-Lauf (Zeitpunkt t_1 , vgl. Abb. 1) erhobenen Angaben im WKV-20 konnten Rückschlüsse untersuchungsunabhängiger körperlicher und gesundheitlicher Störvariablen identifiziert werden.

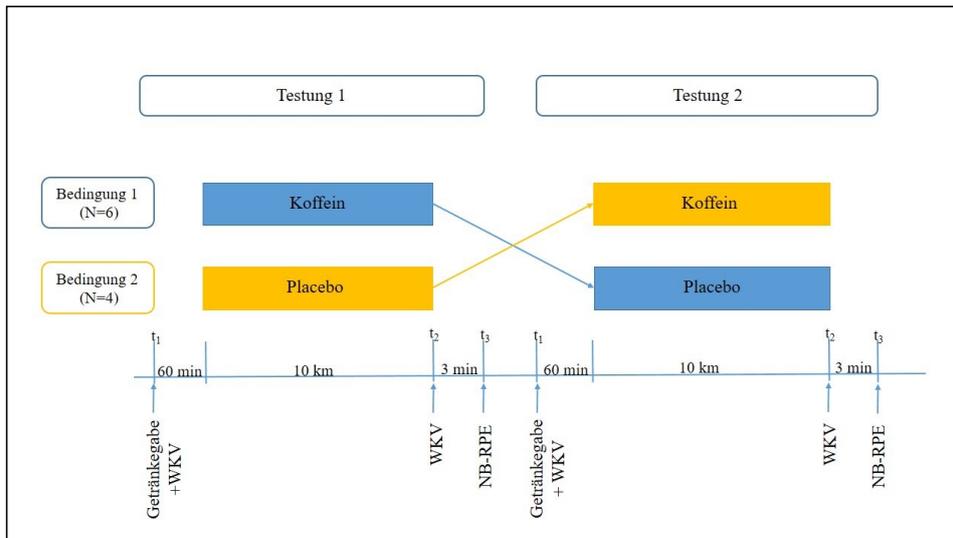


Abb. 1: Ablaufskizze des Cross-Over-Studiendesigns

Wiederum erfasste der Vergleich der Angaben von t_1 und t_2 untersuchungsabhängige, durch den 10-km-Lauf beeinflusste Veränderungen. Zur Erhebung der individuellen Sensitivität gegenüber Koffein wurde ein Index aus der Häufigkeit des täglichen und der speziell im Sport angegebenen Häufigkeit des Konsums gebildet, der sich von hoch sensitiv (null) bis gar nicht sensitiv (minus fünf) erstreckt.

Die Berechnung der Laufgeschwindigkeit auf Grundlage der individuellen maximalen HF, wie es Hottenrott und Hoos (2013, S. 463) vorschlagen, wurde aufgrund eines möglichen Einflusses des Koffeins auf die HF als nicht valide Messgröße eingestuft. Aus zeitlich-organisatorischen Gründen musste von einer vorangehenden VO_{2max} -Bestimmung mittels Ausbelastungstest abgesehen werden, aus der die individuelle Laufgeschwindigkeit bei definierter relativer Herzfrequenz hätte abgeleitet werden können. Stattdessen wurde für jede Probandin die in der Untersuchung ausgewählte submaximale Intensität (85%) von der Geschwindigkeit der persönlichen Bestzeit abgeleitet, die vorab im Fragebogen erhoben wurde (s. Anh. A4). Bei dieser Vorgehensweise waren Ungenauigkeiten in der Belastungsbestimmung durch bspw. unterschiedliche Wettkampfabitionen der TN oder „veraltete“ Bestzeitangaben nicht auszuschließen. Der intraindividuelle Vergleich zwischen den Bedingungen blieb von diesem Umstand jedoch unbeeinflusst.

Mit je einer Woche Abstand absolvierten die TN zwei 10-km-Läufe, die auf einer ausgemessenen 200 m-Laufbahn (50 m Seiten- und 50 m Kreisbogenlänge) auf einem Kunstrasenplatz des Sportinstituts der Justus-Liebig-Universität Gießen stattfanden. Aus organisatorischen Gründen wurden für den ersten Durchlauf drei Testtage veranschlagt, wodurch sich mit dem zweiten Lauf insgesamt sechs Untersuchungstage ergaben. Um einen Einfluss des individuellen zirkadianen Rhythmus zu minimieren, fand der zweite Lauf am selben Wochentag und zur selben Tageszeit des ersten Laufs statt. Die Außentemperatur und Bodenbeschaffenheit des Kunstrasenplatzes variierten innerhalb der sechs Testtage deutlich, jedoch waren die intraindividuell zugehörigen Läufe zufällig von geringer Varianz (± 1 Grad Celcius) und konnten daher in der statistische Analyse weitestgehend vernachlässigt werden.

Die Probandinnen wurden 24 Stunden vor den Testungen angewiesen den Konsum von koffeinhaltigen Lebensmitteln zu unterlassen und ihre Ernährung an beiden Tagen ähnlich zu halten. Außerdem sollte auf anstrengende körperliche Aktivitäten in den zwölf Stunden vor dem Lauf abgesehen werden. Vor beiden Testläufen wurden die TN gefragt, ob sie sich insgesamt gesund und körperlich in der Lage fühlen, einen 10-km-Lauf zu absolvieren (s. Anh. A4).

3.4 Durchführung der Testungen

Die Probandinnen erhielten 60 Minuten vor den jeweiligen Läufen das Getränk entsprechend ihrer zugewiesenen Bedingung. Anschließend unterschrieben sie beim ersten Termin die Einwilligungserklärung (s. Anh. A2) und das Formular zum Ausschluss einer Schwangerschaft (s. Anh. A3). Danach füllten die TN an beiden Terminen den WKV-Fragebogen aus. In der Pause zwischen Getränkegabe und dem 10-km-Lauf hatten die Probandinnen ausreichend Zeit sich umzuziehen und die Brustgurte der Herzfrequenzsensoren anzulegen. Die initiale HF wurde nach Anlegen des Gurtes notiert. Da die HF aber starken Schwankungen ausgesetzt ist und keine standardisierte Sitzpause eingehalten werden konnte, wurde die HF in Ruhe unter den beiden Bedingungen nicht in die statistische Analyse einbezogen.

Auf dem Kunstrasenplatz wurden die Probandinnen schließlich aufgefordert, sich mit der Borg-Skala vertraut zu machen, die als Plakat gut sichtbar an der Laufbahn angebracht war. Auf ein gemeinsames oder auch individuelles Aufwärmen wurde aufgrund der Standardisierung verzichtet. Mögliche Verletzungsgefahren durch einen „Kaltstart“ konnten für diese spezifische submaximale Laufbelastung als nahezu ausgeschlossen werden. Die Laufgeschwindigkeit wurde den TN durch ein individuelles akustisches Signal dargeboten. Die Probandinnen wurden angewiesen, mit dem jeweiligen Signalton beim nächsten Markierungshütchen (alle 50 m) einzutreffen. Ein zweimaliges Nicht-

Erreichen des Hütchens beim entsprechenden Signal galt als Abbruchkriterium. Damit sich die TN an die individuelle Geschwindigkeit gewöhnen konnten, wurde an beiden Testtagen vorab ein 200-m-Testlauf durchgeführt. In der Einbehaltung der konstanten Laufgeschwindigkeit ergaben sich bei den TN keine Schwierigkeiten. Lediglich eine Läuferin musste ihren 10-km-Lauf vorzeitig beenden (Drop-out).

Die Herzfrequenz und der persönliche Wert auf der Borg-Skala wurde kilometerweise sowie drei Minuten im Anschluss (3-min NB) an den Lauf abgefragt. Die Testungen endeten jeweils mit dem erneuten Ausfüllen des WKV-20.

3.5 Statistische Auswertung

In der statistischen Auswertung der abhängigen Variablen wurde der erste Messzeitpunkt (nach dem ersten gelaufenen Kilometer) nicht in die Analyse aufgenommen, da Aussagen über die subjektive Anstrengung und die Herzkreislauf-Beanspruchung erst nach mentaler und physischer Akklimatisierung an die Belastung sinnvoll erscheinen. Auf diese Weise ergaben sich aus dem 10-km-Lauf insgesamt neun Messwerte, die in Drittel gruppiert den Einfluss von Koffein auf die RPE und HF zu Beginn (Kilometer zwei bis vier), in der Mitte (Kilometer fünf bis sieben) und gegen Ende (Kilometer acht bis zehn) betrachten.

Die statistische Analyse erfolgte mit der Software IBM SPSS Statistics Version 20. Für die Auswertung der gruppierten Messzeitpunkte unter Koffein- und Placebo-Bedingung wurden Differenzvariablen gebildet und anhand eines Streudiagramms oder Boxplots auf Ausreißer überprüft. Lagen hierbei keine Auffälligkeiten vor, konnte der T-Test für verbundene Stichproben, aufgrund seiner hohen Robustheit gegenüber kleineren Abweichungen (Tobinski, 2008), auch ohne strenge Normalverteilung der Daten zur Bestimmung von Mittelwertunterschieden verwendet werden.

Das Signifikanzniveau wurde für alle statistischen Analysen standardmäßig auf $p=.05$ festgelegt. Vor dem Hintergrund einer nicht erfüllten Stichprobenumfangsplanung wurde bei nicht-signifikanten Ergebnissen zusätzlich eine a posteriori Teststärkenbestimmung mithilfe der Software G*Power Version 3.1.9.2 durchgeführt, um eine Ablehnung der Alternativhypothese sicher interpretieren zu können. Nach Konvention (Cohen, 1992) wurde hierfür eine Teststärke von mindestens 80% ($1-\beta=.8$) benötigt.

Bei statistisch signifikanten Ergebnissen diente das Effektstärkenmaß „ r “ des Korrelationskoeffizienten nach Bravais-Pearson zur Einschätzung der inhaltlichen Bedeutsamkeit des gefundenen Effekts. Gegenüber Cohens „ d “ hat das Effektstärkenmaß „ r “ den Vorteil, dass es nur Werte zwischen null (kein Zusammenhang) und eins (ein streng linearer Zusammenhang) annehmen kann (Rasch, 2008, S. 125).

Die Interpretation der Effektstärke basiert auf der von Cohen (1992) vorgeschlagenen Einteilung:

Tab. 5: Interpretation der Grenzwerte des Effektstärkemaß „r“

r=.10	schwacher Effekt
r=.30	mittlerer Effekt
r=.50	starker Effekt

Der Einfluss des Koffeins auf die Entwicklung der wahrgenommenen Aktiviertheit im 10-km-Lauf wurde mit einer einfaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholung überprüft. Die Voraussetzungen der Varianzanalyse auf Sphärizität waren durch die zweistufige Ausprägung des Faktors Zeit (vor und nach dem Lauf) gegeben. Das Cross-Over-Verfahren versicherte eine Abhängigkeit der Messwerte und auch die Interpretation der Aktiviertheit auf Intervallskalenniveau galt als gerechtfertigt (Steinbacher, 2010, 92f., vgl. Hinweis S. 17). Daher war vorab lediglich eine optische Prüfung der Messdatenverteilung auf Ausreißer durchzuführen. Als Effektstärkenmaß auf Stichprobenebene diente hierbei das partielle Eta-Quadrat, welches multipliziert mit dem Faktor 100 den prozentualen Anteil der aufgeklärten Varianz der Aktiviertheit durch die Supplementation von Koffein wiedergibt (Rasch, 2008, S. 92).

Der Einfluss der Koffeinsensitivität auf das Ausmaß der durchschnittlichen RPE in der Koffein- bzw. Placebo-Bedingung wurde als Index mit der Differenzvariable der RPE korreliert. Als Voraussetzungsprüfung für eine Bravais-Pearson Korrelation sollten die Residuen aus einer Regression zwischen den beiden Variablen einer annähernden Normalverteilung folgen, was mithilfe eines Streudiagramms zwischen beiden Variablen beurteilt wurde.

Mögliche geschlechtsspezifische Einflussfaktoren, wie das Vorliegen der Regelblutung während des Messzeitraums oder die Einnahme von oralen Kontrazeptiva, konnten durch die zu geringe Verfügbarkeit der dafür benötigten Daten nicht in die statistische Analyse eingehen.

4 Ergebnisse

Die deskriptive Analyse der subjektiven Anstrengung zeigt für den 10-km-Lauf eine Gesamtstreuung von 7 („sehr, sehr leicht“) bis 15 („anstrengend“) unter der Koffein-Bedingung bzw. 8 („sehr, sehr leicht“) bis 15 unter der Placebo-Bedingung. Die höchsten HF-Messwerte innerhalb des 10-km-Laufs zeigen eine Spannweite zwischen 136 und 186 min^{-1} unter der Koffein- bzw. zwischen 135 und 181 min^{-1} unter der Placebo-Bedingung auf. Das entspricht einer durchschnittlichen relativen Belastungsintensität von 70-96% bzw. 71-93% der altersgeschätzten maximalen HF ($\text{HF}_{\text{max}}=207.7-0.64 \times \text{Lebensalter}$) nach Hottenrott und Hoos (2013, S. 462).

Die in Tab. 6 dargestellten Mittelwerte veranschaulichen unter der Koffein-Bedingung zu allen Messzeitpunkten niedrigere Messwerte der abhängigen Variablen RPE und HF. Bei den HF-Daten sind die Unterschiede zwischen den Bedingungen geringfügig und weisen eine hohe Standardabweichung auf. Lediglich zum Zeitpunkt 3-min NB bildet sich im Verhältnis ein größerer Unterschied zugunsten einer erniedrigten HF unter Koffein-Bedingung ab. Eine zusätzliche Berechnung der relativen HF-Senkung von Kilometer zehn zu 3-min NB beläuft sich im Mittel (Median) auf 67% unter der Koffein- bzw. 69% unter der Placebo-Bedingung.

Tab. 6: Durchschnittliche RPE und HF (MW \pm SD) nach jedem gelaufenen Drittel und 3-min NB

		1/3	2/3	3/3	3-min NB
RPE [6-20]	Koffein	9.43 \pm 2.2	10.17 \pm 2.1	10.79 \pm 1.9	7.2 \pm 1*
	Placebo	9.97 \pm 1.6	10.9 \pm 1.9	11.5 \pm 1.8	8.2 \pm 1.1
HF [min^{-1}]	Koffein	152.5 \pm 14.8	154.8 \pm 16.2	157.3 \pm 17.1	105.8 \pm 22.9
	Placebo	154.7 \pm 14	158.7 \pm 14.2	160.9 \pm 14.5	113.4 \pm 15.8

* $p < 0,05$ im Vergleich zu Placebo

In Abb. 2 sind die durchweg niedrigeren Werte der RPE und HF unter Koffein-Bedingung in der Darstellung der durchschnittlichen Entwicklungsverläufe nachvollziehbar. Die Differenzen zwischen den Bedingungen erreichen das größte Ausmaß zum Zeitpunkt der Nachbelastung. Eine Übersicht der individuellen RPE-Werte unter Koffein- und Placebo-Bedingung zum Zeitpunkt 3-min NB (Anh. C7) bestätigt diesen Befund.

Die deskriptive Auswertung der Entwicklung der wahrgenommenen Aktiviertheit (s. Anh. C8) belegt unter der Koffein-Bedingung einen mittleren (Median) Anstieg von 3.3 (t_1) auf 3.7 (t_2) bei einer Skalenspannweite von 0 („gar nicht“) bis 5 („völlig“). Demgegenüber ist ein Abfall der Aktiviertheit unter der Placebo-Bedingung von 3.4 (t_1) auf 3.0 (t_2) zu

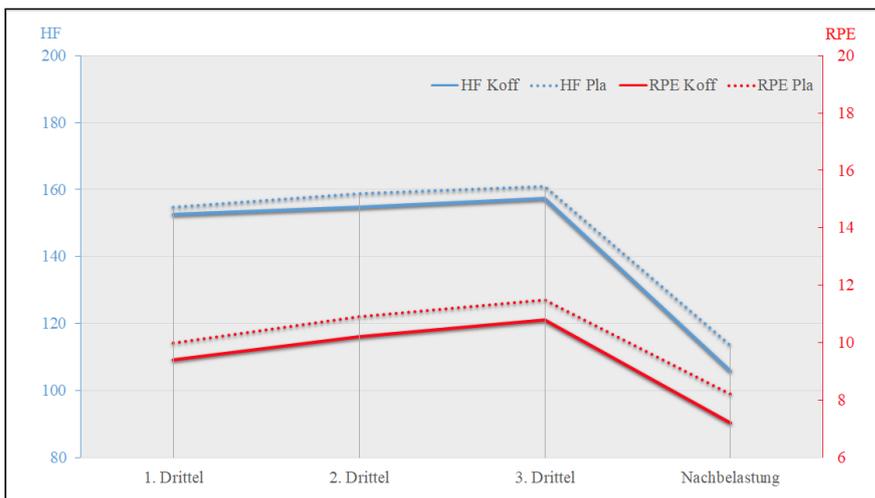


Abb. 2: Durchschnittlicher HF- und RPE-Verlauf unter Koffein- (Koff) und Placebo-Bedingung (Pla)

verzeichnen. Diese Ergebnistendenz findet sich in der in Abb. 3 dargestellten individuellen Entwicklung der wahrgenommenen Aktiviertheit wieder. Hier zeigt sich, dass nur zwei TN unter Koffein einen Abfall und unter Placebo einen Anstieg der Aktiviertheit wahrnahmen. Bei den übrigen Probandinnen fiel die wahrgenommene Aktiviertheit unter der Koffein-Bedingung entweder geringer gegenüber der Placebo-Bedingung ab, oder sie stieg in einem größeren Umfang als unter Placebo-Bedingung nach dem Lauf an.

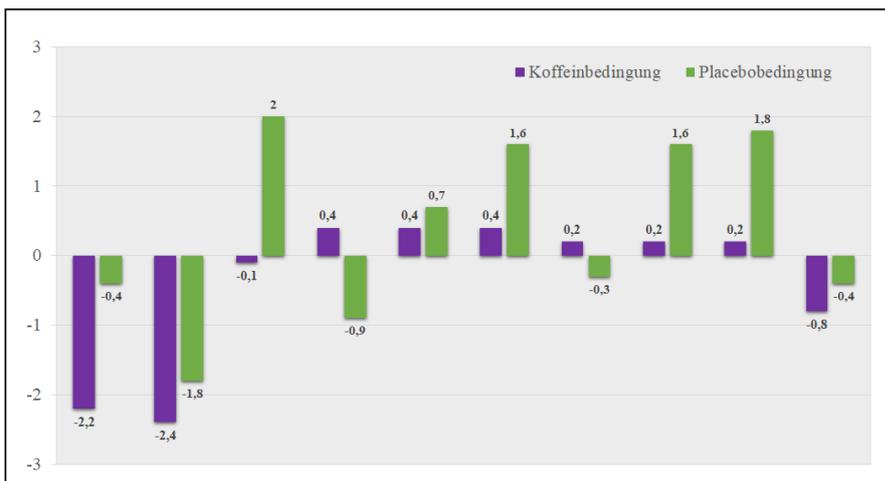


Abb. 3: Individuelle Differenz der wahrgenommenen Aktiviertheit ($t_1 - t_2$) unter Koffein- bzw. Placebo-Bedingung

Anmerkung: Eine negative Differenz repräsentiert eine gestiegene Aktiviertheit nach dem Lauf; eine positive Differenz repräsentiert eine herabgesetzte Aktiviertheit nach dem Lauf

Die inferenzstatistische Auswertung der Mittelwertdifferenzen ergab zwischen der Koffein- und Placebo-Bedingung zu keinem Zeitabschnitt während des 10-km-Laufs signifikante Unterschiede in der Ausprägung der subjektiven Anstrengung (1/3: $t=.705$, $p=.5$, $n=10$; 2/3: $t=-1.22$, $p=.25$, $n=10$; 3/3: $t=-1.31$, $p=.22$, $n=10$). Die ermittelten Teststärken verhindern jedoch eine Aussage über das Nichtvorhandensein eines Koffein-

Effekts auf die RPE ($1-\beta < .8$). Drei Minuten nach Belastungsende gaben die Probandinnen unter der Koffein-Bedingung ($MW=7.2$, $SD=1$) gegenüber der Placebo-Bedingung ($MW=8.2$, $SD=1.1$) eine signifikant verringerte subjektive Anstrengung an ($t=-3$, $p=.015$, $n=10$). Die Einschätzung der inhaltlichen Relevanz des gefundenen Unterschieds ergab einen starken Effekt ($r=.7$) von Koffein, der 50% ($\eta^2=.5$) der Streuung in der Gesamtvarianz der subjektiven Anstrengung erklärt. In der untersuchten Stichprobe stand der Ausdauersportumfang als Ausmaß der Trainiertheit zu keinem Messzeitpunkt in einem korrelativen Zusammenhang mit dem Ausmaß der subjektiven Anstrengung (1/3: $r=.26$, $p=.234$, $n=10$; 2/3: $r=-.06$, $p=.43$, $n=10$; 3/3: $r=.18$, $p=.31$, $n=10$; 3-min NB: $r=-.02$, $p=.48$, $n=10$; für alle Messzeitpunkte gilt $1-\beta < .8$).

Die statistische Auswertung der HF-Messwerte konnte keine Unterschiede zwischen den beiden Bedingungen während des 10-km-Laufs belegen (1/3: $t=-.705$, $p=.5$, $n=10$; 2/3: $t=-1.22$, $p=.25$, $n=10$; 3/3: $t=-1.3$, $p=.22$, $n=10$). Ein Effekt von Koffein auf die HF während der Belastung kann bei den vorliegenden Daten nicht sicher ausgeschlossen werden ($1-\beta < .8$). Zum Zeitpunkt der Nachbelastung zeigte die Prüfung der Verteilung der Differenzvariable einen deutlichen Ausreißer, der für die nachfolgende Prüfung der Mittelwertdifferenz zwischen Koffein- und Placebo-Bedingung ausgeschlossen wurde. Nach Bereinigung der Messwerte konnte zwischen den Bedingungen Koffein (100.67 ± 17.18) und Placebo (113.78 ± 16.67) ein signifikanter Unterschied in der HF ($t=-2.66$, $p=.03$, $n=9$) herausgestellt werden, der als starker Effekt ($r=.69$) zu bewerten ist.

Die inferenzstatistische Überprüfung der Entwicklung der wahrgenommenen Aktiviertheit konnte aufgrund einer annähernden symmetrischen Datenverteilung mithilfe einer Varianzanalyse mit Messwiederholung durchgeführt werden. Diese belegt für die Wechselbeziehung Zeit (vor vs. nach dem 10-km-Lauf) und Bedingung (Koffein vs. Placebo) bei knapper Überschreitung des Signifikanzniveaus keinen signifikanten Einfluss von Koffein auf eine verringerte Aktiviertheitsabnahme bei einem 10-km-Lauf ($F[1.9]=5.006$, $p=.052$, $\eta^2=.357$, $n=10$).

In Abb. 4 ist die Wechselbeziehung zwischen der Koffeinsensitivität und der Differenz der durchschnittlichen RPE abgetragen. Hier wird ein negativer Zusammenhang angedeutet, der Probandinnen mit geringer Koffeinsensitivität eine geringere RPE-Differenz voraussetzt, als diejenigen mit hoher Koffeinsensitivität.

5 Diskussion

Die vorliegende Studie ist als explorative Untersuchung im Forschungsbereich der Koffeinsupplementation im weiblichen Ausdauersport zu verstehen und hat vorrangig zum Ziel, die Ausprägung der subjektiven Anstrengung von Läuferinnen bei einem 10-km-Lauf zu untersuchen.

Der in den Ergebnissen visuell dargelegte Verlauf der subjektiven Anstrengung (s. Abb. 2) konnte unter der Koffein-Bedingung ein herabgesetztes Niveau der RPE aufzeigen. Während die 10-km-Belastung die HF nur unwesentlich ansteigen ließ, stieg die subjektive Anstrengung im Gegensatz dazu während der Belastung kontinuierlich an. Die statistische Auswertung ($p > .05$; $1 - \beta < .8$) erlaubt indes keine sichere Interpretation des Zusammenhangs zwischen einer Koffein-Supplementation und einer verminderten RPE. Bei einer größeren weiblichen Stichprobe bleibt ein Effekt von Koffein auf eine gesenkte subjektive Anstrengung daher weiterhin möglich. Bei der Betrachtung der kardiologischen Beanspruchung des 10-km-Laufs ist die große Varianz der Belastungsintensitäten der Probandinnen ein maßgeblicher Störfaktor in der Überprüfung von Mittelwertdifferenzen. Eine unveränderte HF deckt sich jedoch mit dem Ergebnis der methodisch ähnlichen Studie von Backhouse, Biddle, Bishop und Williams (2011), die bei einer 90-minütigen Ergometerbelastung mit ebenfalls vordefinierter, konstanter Intensität (70% der VO_{2max}) ebenfalls keinen Einfluss von Koffein auf die HF nachweisen konnten.

Die nach Beendigung des Laufs (3-min NB) beobachtete auseinandergehende Schere, sowohl zwischen den Bedingungen der kardiologischen Beanspruchung als auch in der subjektiven Anstrengung (s. Abb. 2), manifestiert sich statistisch in signifikanten Unterschieden beider Variablen. Jedoch ist in Bezug auf die HF ein zufälliges Zustandekommen des statistischen Effekts aufgrund der hohen Standardabweichung der Messwerte sowie die unter beiden Bedingungen in gleichem Ausmaß nachweisbare relative HF-Senkung zumindest denkbar. In diesem Sinne kann anhand dieser Stichprobe keine vorbehaltlose Aussage zu der Hypothese eines Einfluss von Koffein auf die HF erfolgen. Tendenzielle Unterschiede in der kardialen Beanspruchung der Nachbelastung können aber Anlass für zukünftige Forschungsansätze sein. Im Gegensatz zur kardialen Belastungsantwort bestätigen bei der subjektiven Anstrengung auch die Rohdaten einen relevanten Unterschied in der RPE durch den Einfluss von Koffein, wenngleich es sich bei dem starken Effekt im Durchschnitt nur um die Senkung um einen niedrigeren Skalenwert (Koff: 7.2 ± 1 ; Pla 8.2 ± 1.1) auf der Borg-Skala handelte. Die Annahme der Hypothese zur herabgesetzten subjektiven Anstrengung unter der Koffein-Bedingung kann also für den Zeitpunkt 3-min NB bestätigt werden.

Der vermutete positive Einfluss des Trainingszustands der Probandinnen auf die Durchschlagskraft von Koffein auf die Ausprägung der RPE, ließ sich statistisch nicht bestätigen. Diese Erkenntnis könnte wohl aber vor allem dem Umstand geschuldet sein, dass in dieser Stichprobe überhaupt kein statistischer Nachweis des Koffein-Effekts vorlag. Die dargelegten Ergebnisse besitzen daher keine interpretative Aussagekraft über den von Doherty und Smith (2005, S. 73) beobachteten Zusammenhang. Stattdessen ist zu vermuten, dass die Durchführung einer linearen Regression des reziproken Zusammenspiels der Bedingungen (Koffein und Placebo) und dem Trainingsumfang auf die RPE bei einer größeren Fallzahl eine statistisch sinnvollere Vorgehensweise wäre.

Ein über die subjektive Anstrengung hinaus einwirkender perzeptueller Einfluss von Koffein auf die wahrgenommene Aktiviertheit konnte in dieser Untersuchung statistisch nicht untermauert werden. Die in Abb. 3 dargestellten Differenzen in der wahrgenommenen Aktiviertheit unter der Koffein- und der Placebo-Bedingung veranschaulichen dennoch eine interessante Entwicklungstendenz, die im Sinne der explorativen Forschung zu diskutieren ist. Es konnte hierbei gezeigt werden, dass die wahrgenommene Aktiviertheit unter der Koffein-Bedingung zum Ende des Laufs (t_2) geringer abfiel, sodass zusammen mit dem Effekt der gesenkten subjektiven Anstrengung (3-min NB) ein belastungspuffernder Einfluss von Koffein wahrscheinlich gilt. Eine gegenüber dem Ausgangsniveau (t_1) deutlich angestiegene Aktiviertheit konnte bei denjenigen TN aufgezeigt werden, die sowohl unter der Koffein- als auch der Placebo-Bedingung einen Anstieg in ihrer Aktiviertheit wahrnahmen. Diese Beziehung deutet auf einen generellen, aktivierenden Einfluss der Bewegung bzw. der damit einhergehenden hormonellen Stressreaktion an. Leider konnten im Zusammenhang mit Koffein keine Evidenzen auf den Einfluss der körperlichen Befindlichkeit aufgefunden werden, obwohl zwischen der subjektiven Anstrengung und der wahrgenommenen Aktiviertheit eine enge Verknüpfung in der perzeptuellen Wahrnehmung von Belastung anzunehmen ist.

In Bezug auf den Zusammenhang zwischen der individuellen Koffeinsensitivität und der durchschnittlichen subjektiven Anstrengung spricht die empirische stark negative Korrelation für die Hypothese eines nachlassenden Koffein-Effekts auf die RPE bei chronischem Koffeinkonsum. Jedoch zeigt sich im aufgezeigten linearen Zusammenhang (s. Abb. 4) eine hohe Abhängigkeit eines einzelnen Datenpunkts ($x=0, y=-3$) für die starke Ausprägung der Korrelation. Da nur eine Probandin angab, seltener als einmal wöchentlich Koffein zu konsumieren, stellt dieser Wert exemplarisch die alleinige Ausprägung der RPE-Differenz von Nicht-Konsumenten dar und ist daher als zufällig und wenig repräsentativ zu bewerten. Eine erneute konfirmatorische Überprüfung bei a priori berechneter Zufallsstichprobe ist hier also unerlässlich.

Als zentrales Resultat dieser Arbeit ist der Nachweis eines Effekts von Koffein auf eine verminderte Ausprägung der subjektiven Anstrengung im Anschluss (3-min NB) an eine konstante LZA-Belastung herauszustellen. Eine herabgesetzte Anstrengung als logische Folge einer verminderten kardialen Beanspruchung gilt in dieser untersuchten Stichprobe aufgrund der nur unbedeutend herabgesetzten HF unter der Koffein-Bedingung als unwahrscheinlich. Stattdessen bestätigt der intraindividuelle Vergleich der RPE-Werte zwischen den Bedingungen (s. Anh. C7) einen tatsächlich vorhandenen Effekt von Koffein, der sich zeitlich verzögert auf die perzeptuelle Wahrnehmung der Belastung auswirkt. Für die Trainingspraxis ambitionierter Freizeit-Ausdauerläuferinnen könnte ein subjektiv weniger anstrengend empfundener 10-km-Trainingslauf einen positiven Einfluss auf die allgemeine Zufriedenheit und Compliance der Athletin gegenüber ihrem Trainingsprogramm bedeuten. Ein motivationaler Effekt könnte über eine Bereitschaft für höhere Belastungsintensitäten oder gesteigerte Trainingsfrequenzen darauffolgender Trainingseinheiten indirekt auch einen ergogenen Einfluss auf die spezifische 10-km-Ausdauerleistungsfähigkeit nehmen. Allerdings ist ein mit der Zeit nachlassender Effekt durch beschriebene rezeptorische Kompensationsmechanismen (s. Abschnitt 2.2) anzunehmen. Diesbezüglich konnte auch in dieser Untersuchung ein verminderter Einfluss von Koffein bei häufigem Koffeinkonsum (geringer Koffeinsensitivität) aufgezeigt werden, der für eine regelmäßige Koffeinsupplementation im Zuge der Trainingsoptimierung nur vorübergehend eine positive Auswirkung voraussagt. Auch frühere Studien kamen zu dem Schluss (Bell & McLellan, 2002), dass Personen mit einem seltenen Koffeinkonsum gegenüber denjenigen mit häufigem Koffeinkonsum eine erhöhte Wahrscheinlichkeit einer koffeinvermittelten verminderten RPE aufweisen. Eine Einschätzung der Effektivität einer dementsgegen gesteigerten Koffeindosierung ist zum derzeitigen Forschungsstand noch nicht vorzunehmen. Zur Gewährleistung eines größtmöglichen ergogenen Koffein-Effekts auf die körperliche Ausdauerleistungsfähigkeit schlagen Ganio et al. (2009, S. 315) eine Restriktion von mindestens sieben Tagen vor einer Koffeinsupplementation vor.

Die Datenlage zum Koffein-Effekt in der Nachbelastungsphase von Ausdauersportlerinnen ist derzeit noch dürftig. Die hier nachgewiesene verzögerte Wirkung auf die RPE widerspricht aber bspw. den Ergebnissen der Studie von Ruderinnen (Anderson et al., 2000, S. 470), deren subjektive Anstrengung unmittelbar nach einem 2000-m-Rennen unter Koffein unverändert gegenüber einem Placebo vorlag. Demgegenüber liegt eine Untersuchung von Burke (2016) vor, die den Einfluss von Koffein (400 mg) bei zwölf Sprints von 18 Profi-Fußballerinnen überprüfte und hierbei trotz teilweise signifikant gesteigerter Sprintzeiten lediglich beim letzten Sprint eine signifikante Verminderung in der RPE ($p=.03$; Placebo 16.3 ± 0.8 , Koffein 15.7 ± 0.9) feststellen konnte.

Eine umfangreiche Datenlage des Einflusses von Koffein besteht jedoch im Bereich der metabolischen und kardiorespiratorischen Erholung. Pedersen et al. (2008) stellten in ihrer Ergometrie-Studie bspw. eine um 66% gesteigerte Muskelglykogenresynthese vier Stunden nach einer verabreichten Koffein-Kohlenhydrat-Mischung gegenüber einer reinen Kohlenhydratgabe (57.7 ± 18.5 vs. 38.0 ± 7.7 mmol x kg dw⁻¹ x h⁻¹), $p < .05$) fest. Einen ähnlichen Hinweis für eine gesteigerte metabolische Erholung konnten Donnelly und McNaughton (1992) feststellen: Unter dem Einfluss von Koffein lag die Sauerstoffaufnahme und der FFS-Plasmaspiegel während und eine Stunde nach submaximaler Belastung signifikant erhöht vor. Zusammen mit einem signifikant verminderten respiratorischen Quotienten deutet dieses Ergebnis darauf hin, dass die Energiegewinnung überwiegend auf Fetten basierte und Koffein damit ein Einfluss einer gesteigerten metabolischen Rate zugeschrieben werden kann. Wiederum konnten Noble und Robertson (1996, zitiert nach Doherty & Smith, 2005, S. 75) die metabolische Rate auf Basis vieler Reviews als wichtigste Determinante der subjektiven Anstrengung herausstellen. Eine verringerte RPE nach einer Ausdauerbelastung hinge demzufolge nicht hauptsächlich mit perzeptuellen Wirkungen im ZNS zusammen, sondern vor allem mit dezentralen hormonellen und zellulären Wechselwirkungen der Peripherie, die in Verbindung mit einer Steigerung des Stoffwechsels stehen.

Letztlich steht das in dieser Arbeit hypothesenkonträre Ausbleiben des anstrengungsmindernden Effekts von Koffein während der Ausdauerbelastung von Freizeit-Ausdauerläuferinnen im Widerspruch mit der mittleren Effektstärke von Koffein auf die RPE der Metaanalyse von Doherty und Smith (2005). Es ist daher zu diskutieren, ob die durchgeführte Studie durch methodische Mängel keine neuen Erkenntnisse liefern konnte. Eine Studie von Denadai und Denadai (1998), die die Auswirkung von Koffein auf die RPE bei einer Ergometerausbelastung unter- und oberhalb der vermuteten IANS untersuchte, konnte belegen, dass eine Koffein-Supplementation nur unterhalb der IANS einen signifikanten Effekt auf eine verminderte RPE ausübte. Im Zusammenhang mit der geschilderten Problematik der stark variierenden Belastungsintensität zwischen einem niedrigen, aeroben Herzfrequenzbereich (70% der geschätzten HF_{max}) und einem erhöhten, anaeroben Übergangsbereich (96% der geschätzten HF_{max}), könnten die hoch belasteten Läuferinnen Störfaktoren und somit eine mögliche Ursache für die unveränderte RPE unter der Koffein-Bedingung dargestellt haben.

6 Limitationen und Ausblick

Im Folgenden werden Einschränkungen der verwendeten Methodik und Limitationen der aufgezeigten Ergebnisse kritisch erläutert, um Schlussfolgerungen für zukünftige Forschungsansätze ableiten zu können. Als eine große Schwäche der vorliegenden Untersuchung ist die geringe Fallzahl zu betonen. Es muss darauf hingewiesen werden, dass die Anzahl der Probandinnen (N=10) und damit die Teststärke für einen Nachweis kleiner Effekte nicht ausreichend groß war und die Signifikanzwerte damit nicht als gesichert angesehen werden können. Die Wahrscheinlichkeit, einen relevanten Effekt in dieser Untersuchung fälschlicherweise zu übersehen, lag selbst für einen nach Cohen (1992) großen Effekt ($d=.8$) noch bei 25%.

Hinzu kommen methodische Ungenauigkeiten in der individuellen Belastungsintensität der Probandinnen, die gesicherte Aussagen zum Einfluss von Koffein auf die Herzfrequenz verhindern. Des Weiteren sind die teilweise sehr hohen anaeroben Intensitäten auch als ein hemmender Faktor der ergogenen Wirkung von Koffein zu diskutieren. Darüber hinaus erfordert die Verwendung der RPE-Skala zur Erfassung der subjektiven Anstrengung eine gewisse Handhabungsroutine, wodurch Unsicherheiten in der RPE-Einschätzung bei erstmaligen Gebrauch der Läuferinnen zu berücksichtigen sind. Die Einschätzung des eigenen Befindens ist überdies eine Fähigkeit, die nicht als gegeben vorausgesetzt werden kann, sondern zunächst erlernt werden muss und daher interindividuell stark variiert. Obwohl die Probandinnen aufgefordert wurden, ihre RPE-Werte unmittelbar und rein subjektiv einzuschätzen, sind verfälschte RPE-Werte durch Vergleichsprozesse, soziale Scham o.ä. bei der Gruppenuntersuchung ebenfalls nicht auszuschließen.

Die externe Validität der Studienergebnisse ist durch die aus einer Gelegenheitsstichprobe stammenden Messwerte stark limitiert, wodurch Aussagen auf Ebene der Grundgesamtheit erst nach erneuter Übereinstimmung einer repräsentativen Zufallsstichprobe getroffen werden. Dennoch konnte diese Untersuchung mit dem Nachweis eines Einflusses von Koffein auf eine verringerte mental wahrgenommene Anstrengung nach einer LZA einen wichtigen Impuls für zukünftige Forschungsansätze setzen.

Es bedarf nun confirmatorischer Untersuchungen, die das Ausmaß und die zeitliche Entwicklung des Effekts bei variierender Belastungsintensität und über einen längeren Zeitraum überprüfen. Idealerweise findet eine erneute Analyse der Auswirkung von Koffein auf die Beanspruchungsvariablen und deren Beziehung untereinander in einer multifaktoriellen Varianzanalyse im direkten geschlechtlichen Vergleich und bei standardisierter und kontrollierter aerober Belastungssteuerung statt. Die Ergebnistendenzen in der wahrgenommenen Aktiviertheit suggerieren die Anwendung weiterer Erhebungsinstrumente, um die Erscheinungsformen des verminderten Anstrengungs-

empfindens umfassend beschreiben zu können. Im Hinblick auf längerfristige koffeinbedingte Veränderungen in der Beanspruchung könnte über die Borg-Skala hinaus die Nutzung spezifischer Skalen weitere interessante Aspekte des ergogenen Koffein-Effekts hervorbringen, wie bspw. die von Hitzschke et al. (2015) konzipierte Kurzskala zur Erfassung von Erholung und Beanspruchung im Sport (KEB). Es liegen darüber hinaus begründete Hinweise vor, die eine methodische Verknüpfung der Untersuchung der mentalen Beanspruchung zusammen mit metabolischen Wechselwirkungen von Koffein, die die Erholung nach einer sportlichen Belastung fördern, notwendig machen.

7 Zusammenfassung

Der Effekt einer Supplementation von Koffein auf das subjektive Beanspruchungsempfinden ist bei Ausdauerbelastungen bereits umfassend untersucht worden. Es liegen jedoch keine Studien zu diesem Effekt bei einer konstanten Langzeitausdauerbelastung weiblicher Ausdauerläufer vor. Das Ziel dieser Untersuchung war es daher, die Wirkung von einer Koffeinsupplementation auf die subjektive Anstrengung (RPE), Herzfrequenz (HF) und subjektiv wahrgenommene Aktiviertheit zu überprüfen.

Dazu erhielten zehn Ausdauerläuferinnen in einem randomisierten einfachblinden Cross-Over-Studiendesign einen entkoffeinierten Kaffee ohne Supplement (Placebo) oder mit supplementiertem Koffein (200 mg) eine Stunde vor einem 10-km-Lauf bei individueller, konstanter Laufgeschwindigkeit (85% der persönlichen Bestzeitgeschwindigkeit). Die Probandinnen nahmen jeweils einmal unter Placebo- und einmal unter Koffein-Bedingung an zwei 10-km-Läufen mit einer Woche Abstand teil. Die RPE und HF wurde pro gelaufenen Kilometer und drei Minuten nach Belastungsende abgefragt und die Entwicklung der wahrgenommenen Aktiviertheit wurde aus einem jeweils vor und nach Lauf ausgefüllten Fragebogen (WKV-20) entnommen.

Während des 10-km-Laufs zeigten sich keine statistischen Unterschiede zwischen den Bedingungen auf die Ausprägung der RPE, HF und wahrgenommenen Aktiviertheit ($p > .05$). Auch das Ausmaß der Trainiertheit übte bei der untersuchten Stichprobe keinen relevanten Einfluss auf die subjektive Anstrengung aus ($p > .05$). Davon unabhängig zeigte sich eine Begünstigung einer durchschnittlich niedrigeren RPE bei einer hohen Koffeinsensitivität ($r = -.68$, $p = .03$, $n = 10$). Drei Minuten nach Belastungsende gaben die Probandinnen eine signifikant verminderte Anstrengung an ($t = -3$, $p = .015$, $n = 10$).

Obwohl Koffein während der Langzeitausdauerbelastung nachweislich keinen Unterschied auf die mentale Belastungswahrnehmung der untersuchten Läuferinnen ausmachte, zeigt der starke Effekt ($r = .7$) zum Zeitpunkt der Nachbelastung eine positive Beeinflussung der aus dem Lauf resultierenden Beanspruchung. Somit konnte in dieser Studie ein verzögerter Einfluss von Koffein auf eine verminderte subjektive Anstrengung von Freizeit-Ausdauerläuferinnen herausgestellt werden.

8 Literaturverzeichnis

- Acquas, E., Luca, M. A. de, Fenu, S., Longoni, R. & Spina, L. (2012). Caffeine and the Brain. An Overview. In V. R. Preedy (Hrsg.), *Caffeine* (Food and Nutritional Components in Focus, S. 247-267). Cambridge: Royal Society of Chemistry.
- Adan, A., Prat, G., Fabbri, M. & Sánchez-Turet, M. (2008). Early effects of caffeinated and decaffeinated coffee on subjective state and gender differences. *Progress in neuro-psychopharmacology & biological psychiatry*, 32 (7), 1698-1703.
- Anderson, M.E., Bruce, C.R., Fraser, S.F., Stepto, N.K., Klein, R., Hopkins, W.G. et al. (2000). Improved 2000-Meter Rowing Performance in Competitive Oarswomen After Caffeine Ingestion. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* (10), 464-475.
- Astorino, T. A. & White, A. C. (2012). Caffeine and Exercise Performance. In V. R. Preedy (Hrsg.), *Caffeine* (Food and Nutritional Components in Focus, S. 314-336). Cambridge: Royal Society of Chemistry.
- Backhouse, S. H., Biddle, S. J. H., Bishop, N. C. & Williams, C. (2011). Caffeine ingestion, affect and perceived exertion during prolonged cycling. *Appetite*, 57 (1), 247-252. Zugriff am 19. Mai 2018.
- Beavo, J., Rogers, N., Crofford, O., Hardman, J., Sutherland, E. & Newman, E. (1970). Effects of Xanthine Derivatives on Lipolysis and on Adenosine 3',5'-Monophosphate Phosphodiesterase Activity. *Molecular Pharmacology*, 6 (6), 597-603. Zugriff am 02. Mai 2018 unter <http://molpharm.aspetjournals.org.ezproxy.uni-giessen.de/content/molpharm/6/6/597.full.pdf>
- Beiglböck, W. (2016). *Koffein. Genussmittel oder Suchtmittel?* Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Bell, D. G. & McLellan, T. M. (2002). Exercise endurance 1, 3, and 6 h after caffeine ingestion in caffeine users and nonusers. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 93 (4), 1227-1234.
- Bell, D. G., McLellan, T. M. & Sabiston, C. M. (2002). Effect of ingesting caffeine and ephedrine on 10-km run performance. *Medicine and science in sports and exercise*, 34 (2), 344-349.
- Birnbaum, L. J. & Herbst, J. D. (2004). Physiologic Effects of Caffeine on Cross-Country Runners. *Journal of strength and conditioning research*, 18 (3), 463.
- Borg, G. (1998). *Borg's perceived exertion and pain scales*. Champaign Ill. u.a.: Human Kinetics.
- Borg, G. (2004). Anstrengungsempfinden und körperliche Aktivität. *Deutsches Ärzteblatt*, 101 (15), 1016-1021.
- Bortz, J. & Döring, N. (Hrsg.). (2006). *Forschungsmethoden und Evaluation. Für Human- und Sozialwissenschaftler; mit 87 Tabellen* (Springer-Lehrbuch Bachelor, Master, 4., überarb. Aufl., [Nachdr.]. Heidelberg: Springer-Medizin-Verl.
- Braun, S. (1998). *Der alltägliche Kick. Von Alkohol und Koffein*. Basel: Springer Basel AG.
- Bridge, C. A. & Jones, M. A. (2006). The effect of caffeine ingestion on 8 km run performance in a field setting. *Journal of sports sciences*, 24 (4), 433-439.
- Bundesinstitut für Risikobewertung. *Fragen und Antworten zu Koffein und koffeinhaltigen Lebensmitteln, einschließlich Energy Drinks*, Bundesinstitut für Risikobewertung. Zugriff unter www.bfr.bund.de/de/fragen_und_antworten_zu_koffein_und_koffeinhaltigen_lebensmitteln_einschliesslich_energy_drinks-194760.html
- Burke, N. R. (2016). *Effects of caffeine supplementation on Women's National League soccer players' performance*. Ph.D, University of Chester.
- Butts, N. K. & Crowell, D. (1985). Effect of Caffeine Ingestion on Cardiorespiratory Endurance in Men and Women. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 56 (4), 301-305.
- Clasing, D. (2004). Dopingverbotslist der WADA. World Anti-Doping Code- Die 2004 Verbotsliste. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 55 (2), 52-55. Zugriff am 04. April 2018 unter https://www.zeitschrift-sportmedizin.de/fileadmin/content/archiv2004/heft02/praxis_WADA_02_04.pdf
- Cohen, J. (1992). A power primer. *Psychological Bulletin*, 112, 155-159.
- Cox, G. R., Desbrow, B., Montgomery, P. G., Anderson, M. E., Bruce, C. R., Macrides, T. A. et al. (2002). Effect of different protocols of caffeine intake on metabolism and endurance performance. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 93 (3), 990-999.
- Davis, J. M., Zhao, Z., Stock, H. S., Mehl, K. A., Buggy, J. & Hand, G. A. (2003). Central nervous system effects of caffeine and adenosine on fatigue. *American journal of physiology. Regulatory, integrative and comparative physiology*, 284 (2), R399-404.

- Denadai, B. S. & Denadai, M.L.D.R. (1998). Effects of caffeine on time to exhaustion in exercise performed below and above the anaerobic threshold. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, 31 (4), 581-585.
- Desbrow, B. & Leveritt, M. (2007). Well-Trained Endurance Athletes' Knowledge, Insight, and Experience of Caffeine Use. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 17 (4), 328-339.
- Doherty, M. & Smith, P. M. (2005). Effects of caffeine ingestion on rating of perceived exertion during and after exercise. A meta-analysis. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 15 (2), 69-78.
- Donnelly, K. & McNaughton, L. (1992). The effects of two levels of caffeine ingestion on excess postexercise oxygen consumption in untrained women. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 65 (5), 459-463.
- Duncan, M. J. & Hankey, J. (2013). The effect of a caffeinated energy drink on various psychological measures during submaximal cycling. *Physiology & behavior*, 116-117, 60-65.
- Eisenhut, A. & Zintl, F. (2013). *Ausdauertraining. Grundlagen, Methoden, Trainingssteuerung* (Sportwissen, 8. Aufl.). München: BLV.
- Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit (2017a, 10. Oktober). *Koffein. FAQ*, Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit. Zugriff unter <https://www.efsa.europa.eu/de/topics/topic/caffeine>
- Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit. (2015b). Scientific Opinion on the safety of caffeine. *EFSA Journal*, 13 (5), 1-4102. Zugriff am 30. Juni 2018.
- Fröhlich, H., Gatterer, H., Philippe, M., Insam, K., Gröbner, F. & Burtscher, M. (2017). Effekte ergogener Substanzen eines Sportgetränks auf die Ausdauerleistung – eine randomisierte Cross-Over-Studie. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 2017 (01), 14-19.
- Ganio, M. S., Klau, J. F., Casa, D. J., Armstrong, L. E. & Maresh, C. M. (2009). Effect of caffeine on sport-specific endurance performance. A systematic review. *Journal of strength and conditioning research*, 23 (1), 315-324.
- Grosser, M., Starischka, S. & Zimmermann, E. (2012). *Das neue Konditionstraining. Grundlagen, Methoden, Leistungssteuerung, Übungen, Trainingsprogramme* (Sportwissen, 11., neu bearb. Aufl., (Neuausg.)). München: BLV.
- Guedes, R. C. A., Aguiar, M. J. L. de & Alves de Aguiar, C. R. R. (2012). Caffeine and Nutrition. An Overview. In V. R. Preedy (Hrsg.), *Caffeine (Food and Nutritional Components in Focus*, S. 3-21). Cambridge: Royal Society of Chemistry.
- Haber, P. (2005). *Leitfaden zur medizinischen Trainingsberatung. Rehabilitation bis Leistungssport* (2., aktualisierte und erweiterte Auflage). Vienna: Springer-Verlag/Wien.
- Haber, P. (2018). Frauen betreiben Sport. In P. Haber (Hrsg.), *Leitfaden zur medizinischen Trainingsberatung. Rehabilitation bis Leistungssport* (4. Aufl. 2018, S. 329-334). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Haile, L., Gallagher, M. & J. Robertson, R. (2015). Effects of Caffeine on Perceptual and Affective Responses to Exercise. In L. Haile, J. M. Gallagher & R. J. Robertson (Eds.), *Perceived Exertion Laboratory Manual. From Standard Practice to Contemporary Application* (pp. 219–232). New York, NY: Springer New York.
- Hitzschke, B., Kölling, S., Ferrauti, A., Meyer, T., Pfeiffer, M. & Kellmann, M. (2015). Entwicklung der Kurzsкала zur Erfassung von Erholung und Beanspruchung im Sport (KEB). *Zeitschrift für Sportpsychologie*, 22 (4), 146-162.
- Hollmann, W. & Hettinger, T. (1976). *Sportmedizin. Arbeits- und Trainingsgrundlagen ; mit 68 Tabellen*. Stuttgart: Schattauer.
- Hollmann, W. & Strüder, H. K. (2009). *Sportmedizin. Grundlagen für körperliche Aktivität, Training und Präventivmedizin ; mit 91 Tabellen* (5., völlig neu bearb. u. erw. Aufl.). Stuttgart u.a.: Schattauer.
- Hoppeler, H. (2018). Anpassung an Ausdauertraining. In N. Bachl, H. Löllgen, H. Tschann, H. Wackerhage & B. Wessner (Hrsg.), *Molekulare Sport- und Leistungsphysiologie. Molekulare, zellbiologische und genetische Aspekte der körperlichen Leistungsfähigkeit* (S. 291-304). Vienna: Springer Vienna.
- Hottenrott, K., Gronwald, T., Geissler, S., Schulze, S. & Ludyga, S. (2015). Bio-Koffein-Riegel vor dem Zeitfahren verbessern die Leistung und senken das Beanspruchungsempfinden. *Schweizerische Zeitschrift für Sportmedizin und Sporttraumatologie*, 63 (1), 29-34.
- Hottenrott, K. & Hoos, O. (2013). Sportmotorische Fähigkeiten und sportliche Leistungen – Trainingswissenschaft. In A. Güllich & M. Krüger (Hrsg.), *Sport. Das Lehrbuch für das Sportstudium* (1. Aufl., S. 439-500). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

- Jäger, J. M., Kurz, J. & Müller, H. (2017). Linear and Nonlinear Prediction Models Show Comparable Precision for Maximal Mean Speed in a 4x1000 m Field Test. *International Journal of Computer Science in Sport*, 16 (2), 2015. Zugriff am 02. März 2018.
- Kindermann & Scharhag. (2014). Die physiologische Herzhypertrophie (Sportherz). *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 65 (12), 327-332.
- Kinzel, H. (1981). Adenosintriphosphat, die „Energie-währung“ des Lebens. *Biologie in unserer Zeit*, 11 (2), 48-57.
- Kleinert, J. (2006). Adjektivliste zur Erfassung der Wahrgenommenen Körperlichen Verfassung (WKV). *Zeitschrift für Sportpsychologie*, 13 (4), 156-164.
- Lim, B. V., Jang, M. H., Shin, M. C., Kim, H. B., Kim, Y. J., Kim, Y. P. et al. (2001). Caffeine inhibits exercise-induced increase in tryptophan hydroxylase expression in dorsal and median raphe of Sprague-Dawley rats. *Neuroscience letters*, 308 (1), 25-28.
- Löllgen, H. (2004). Das Anstrengungsempfinden (RPE, Borg-Skala). *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 55 (11), 299-300. Zugriff am 10. Februar 2018.
- Lugbauer, S. (11.2010). *Die Effektivität von Koffein auf die sportliche Leistungsfähigkeit*. Diplomarbeit, Universität Wien. Wien. Zugriff am 30. Mai 2018 unter <http://ubdata.univie.ac.at/AC08344911>
- Lüllmann, H., Mohr, K. & Hein, L. (2006). *Pharmakologie und Toxikologie. Arzneimittelwirkungen verstehen - Medikamente gezielt einsetzen* (16., vollst. überarb. Aufl.). Stuttgart: Thieme.
- Neumann, G., Pfützner, A. & Berbalk, A. (2000). *Successful endurance training*. Aachen: Meyer und Meyer Sport.
- Nieber, K., Felke, S. & Schmalz, A. (2007). Coffein: Genussmittel und Arzneistoff. *Pharmazeutische Zeitung* (04). Zugriff am 25. Juni 2018 unter <https://www.pharmazeutische-zeitung.de/index.php?id=2523>
- Noble, R.J. & Robertson, R.J. (1996). *Perceived Exertion*. Champaign, Illinois: Human Kinetics.
- Pedersen, D. J., Lessard, S. J., Coffey, V. G., Churchley, E. G., Wootton, A. M., Ng, T. et al. (2008). High rates of muscle glycogen resynthesis after exhaustive exercise when carbohydrate is coingested with caffeine. *Journal of applied physiology*, 105 (1), 7-13. doi:10.1152/jappphysiol.01121.2007
- Perkins, R. & Williams, M. H. (1975). Effect of caffeine upon maximal muscular endurance of females. *Medicine and science in sports*, 7 (3), 221-224.
- Rasch, B. (2008). *Quantitative Methoden. Einführung in die Statistik* (Springer-Lehrbuch Bachelor, 2., erw. Aufl., korrigierter Nachdr). Heidelberg: Springer.
- Schulgen, G. & Schumacher, M. (2007). Cross-Over Studien. In M. Schumacher & G. Schulgen (Hrsg.), *Methodik klinischer Studien. Methodische Grundlagen der Planung, Durchführung und Auswertung* (Statistik und ihre Anwendungen, Zweite, überarbeitete und erweiterte Auflage, S. 305-317). Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Shangold, M. M. & Mirkin, G. (1994). *Women and exercise. Physiology and sports medicine* (2. ed.). Philadelphia: F.A. Davis.
- Shearer, J. (2014). Methodological and metabolic considerations in the study of caffeine-containing energy drinks. *Nutrition reviews*, 72 Suppl 1, 137-145. doi:10.1111/nure.12131
- Steinbacher, A. (2010, 8. Dezember). *Erfassung körperlicher Befindlichkeit im Sport. Studien zur Anwendbarkeit und Validität des Antwortformats "Kognitives Dilemma"*. Dissertation, Deutsche Sporthochschule Köln. Köln.
- Tarnopolsky, M. A., Atkinson, S. A., MacDougall, J. D., Sale, D. G. & Sutton, J. R. (1989). Physiological responses to caffeine during endurance running in habitual caffeine users. *Medicine and science in sports and exercise*, 21 (4), 418-424.
- Titlow, L. W., Ishee, J. H. & Riggs, C. E. (1991). Failure of caffeine to affect metabolism during 60 min submaximal exercise. *Journal of sports sciences*, 9 (1), 15-22. doi:10.1080/02640419108729851
- Tobinski, D. (04. / 2008). *Inferenzstatistik. Die Normalverteilung*. Skript, Universität Duisburg Essen. Essen. Zugriff am 31. Mai 2018 unter https://www.uni-due.de/imperia/md/content/dokforum/skript_teil_2.pdf
- Zucconi, S., Volpato, C., Adinolfi, F., Gandini, E., Gentile, E., Loi, A. et al. (2013). *Gathering consumption data on specific consumer groups of energy drinks. Supporting Publications* unter www.efsa.europa.eu/publications

Teilnehmer-ID (vom Versuchsleiter auszufüllen): _____

Einwilligungserklärung für die Studie

„Effekt einer Koffein-Supplementation auf das subjektive Belastungsempfinden von Frauen bei einem 10km-Lauf“

Ich habe die Probandeninformation über Ziel und Ablauf der Untersuchung sowie studienbedingte Erfordernisse und mögliche Nebenwirkungen erhalten, gründlich gelesen und verstanden. Ich hatte ausreichend Gelegenheit, mich bei dem/der Versuchsleiter/in über den Untersuchungshergang zu informieren, sowie auftretende Fragen zu stellen. Diese wurden mir von dem/der Versuchsleiter/in beantwortet. Eine Kopie der Probandeninformation habe ich erhalten. Ich hatte ausreichend Zeit, mich für oder gegen die Teilnahme an dieser Studie zu entscheiden. Mit meiner Unterschrift erkläre ich, dass ich das Vorhaben der Untersuchung verstanden habe und freiwillig an dieser Studie teilnehme. Ich habe verstanden, dass ich jederzeit ohne Angabe von Gründen aus der Studie ausscheiden kann, ohne dass mir persönliche Nachteile entstehen. Auch der Versuchsleiter kann die Studie jederzeit beenden.

Hiermit erkläre ich außerdem, dass ich keine akute (z.B. grippale) sowie keine chronische Erkrankung (z.B. Diabetes mellitus oder Herz-Kreislauf- sowie Stoffwechselerkrankungen) habe und mir die Belastung von einem 10km-Lauf psychisch und physisch zutraue.

Ich bin damit einverstanden, dass die im Rahmen der Untersuchung erhobenen Daten zu wissenschaftlichen Zwecken ausgewertet werden. Ich bin darüber aufgeklärt worden, dass diese Daten unter Einhaltung des Hessischen Datenschutzgesetzes erhoben, gespeichert und verarbeitet werden. Ich bin damit einverstanden, dass meine Daten nach Beendigung dieses Semesters mindestens 10 Jahre aufbewahrt werden. Ich bin darüber informiert, dass alle Untersucher/innen der Verschwiegenheitsverpflichtung nach §203StGB unterliegen und die Speicherung und Auswertung meiner Daten nach gesetzlichen Bestimmungen gemäß §33 Hessisches Datenschutzgesetz in pseudonymisierter Form erfolgt. Ich erkläre, dass ich über die Freiwilligkeit meiner Zustimmung zur wissenschaftlichen Datenverwertung und die Möglichkeit, meine Zustimmung jederzeit zu widerrufen, aufgeklärt wurde. Ich bin darüber aufgeklärt worden, dass ich nach Widerruf meiner Einwilligung zur Studienteilnahme das Recht habe, Einsicht in meine bis dahin gespeicherten Daten zu verlangen und deren Löschung zu beantragen, sofern keine anderweitigen gesetzlichen Vorgaben bestehen. Meine bis dahin gespeicherten Daten dürfen nur dann weiter verwendet werden, wenn ich einer weiteren Verwendung zum Zeitpunkt des Widerrufs meiner Teilnahme zustimme. Aus dem Widerruf werden mir keine Nachteile entstehen.

Ich bin über die Behandlung der erhobenen Daten und über die Möglichkeit, dass autorisierte Personen der Studie und der zuständigen Ethikkommission unter Wahrung der Vertraulichkeit in Originalbefunde Einsicht nehmen, informiert worden und erkläre mich damit einverstanden. Diese Einwilligungserklärung habe ich in Kopie erhalten.

Vorname: _____ Nachname: _____

Gießen, Datum _____

Unterschrift Proband/in

Unterschrift Versuchsleiter/in

Anh. A2: Einwilligungserklärung für die Teilnahme an der Studie

Teilnehmer-ID (vom Versuchsleiter auszufüllen): _____

Auskunft über eine Schwangerschaft für die Studie „Effekt einer Koffein-Supplementation auf das subjektive Belastungsempfinden von Frauen bei einem 10km-Lauf“

Ausschlusskriterium Schwangerschaft

Liebe Teilnehmerin,

in unserer Studie verwenden wir die Supplementation von Koffein. Die hier verwendete Methode und Dosierung ist laut Europäischer Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) bei Vorliegen einer Schwangerschaft als **bedenklich** einzustufen. Sie sollten deshalb nur dann an unserer Studie teilnehmen, wenn Sie eine mögliche Schwangerschaft **ausschließen** können. Wir bitten Sie daher um die folgenden Angaben:

1. Sind Sie schwanger?

ja nein

falls nein (freiwillige Angabe):

Wann war Ihre letzte Regelblutung? vor _____ Tagen

2. Können Sie eine Schwangerschaft im Frühstadium ausschließen (z. B. weil kein Geschlechtsverkehr seit der letzten Regelblutung stattgefunden hat oder weil Sie ein sehr sicheres Verhütungsmittel verwendet haben)?

ja nein

falls nein:

Haben Sie einen Schwangerschaftstest durchführen lassen?

ja nein

falls ja, mit welchem Ergebnis?

schwanger nicht schwanger (noch) nicht bekannt

Ort, Datum & Unterschrift der Teilnehmerin:

Name der Teilnehmerin in Druckschrift:

Anh. A3: Auskunft über den Ausschluss einer vorliegenden Schwangerschaft

Fragebogen der Studie

„Effekt einer Koffein-Supplementation auf das subjektive Belastungsempfinden von Frauen bei einem 10km-Lauf“

Persönlicher Teilnehmercode __:__:__:__:__

1. Die beiden letzten Buchstaben des Geburtsnamens Ihrer Mutter
2. Die Anzahl der Buchstaben des (ersten) Vornamens Ihrer Mutter
3. Die beiden letzten Buchstaben des (ersten) Vornamens Ihres Vaters
4. Ihr eigener Geburtstag (nur der Monat, z.B. Januar =01)

1. Wie alt sind Sie? (Angabe in Jahren)

2. Wie groß sind Sie? (Angabe in Metern)

3. Wie viel wiegen Sie? (Angabe in kg)

4. Stillen Sie zurzeit?

 ja nein

5.

6. Sind Sie Raucher?

 ja nein

6. Wie lange betreiben Sie schon Ausdauersport?

 < ½ Jahr ½ Jahr - 1 Jahr 1 - 2 Jahre > 2 Jahre > 5 Jahre > 10 Jahre

7. Wie viele Stunden pro Woche betreiben Sie Laufsport?

8. Wie häufig betreiben Sie Laufsport?

 < einmal pro Woche einmal pro Woche mehrmals pro Woche (~ __ mal) jeden Tag9. Betreiben Sie außer Laufsport noch andere Ausdauersportarten (z.B. Radfahren, Rudern, Triathlon, etc.)? Wenn ja, welche und wie viele Minuten betreiben Sie diese pro Woche? (Mehrfachnennungen möglich)

_____ Minuten pro Woche

_____ Minuten pro Woche

_____ Minuten pro Woche

10. Sind Sie im Training oder im Wettkampf bereits 10km am Stück gelaufen? Wenn ja, wie lautet Ihre Bestzeit? (Angabe in min)

11. Haben Sie schon einmal koffeinhaltige Getränke (z.B. schwarzer Tee, Kaffee, Cola, Energydrinks) konsumiert? Wenn ja, welche?

12. Wenn Sie Frage 11 mit "Ja" beantwortet haben: Wie häufig konsumieren Sie diese Getränke?

- < einmal pro Woche einmal pro Woche
 mehrmals pro Woche (~ __ mal) jeden Tag

13. Wenn Sie Frage 11 mit "Ja" beantwortet haben: Konsumieren Sie koffeinhaltige Getränke bewusst zur Leistungssteigerung beim Sport, z.B. während eines Wettkampfes?

- nie selten manchmal immer

14. Sind bei Ihnen je chronische Erkrankungen diagnostiziert worden, z.B. Stoffwechselerkrankungen, Diabetes mellitus, Muskel-Skelett-Erkrankungen, Herz-Kreislauf-Erkrankungen? Wenn ja, welche?

- ja nein ich bin mir unsicher
-

15. Nehmen Sie zurzeit irgendwelche Medikamente ein (z.B. die Antibabypille)? Wenn ja, welche?

16. Fühlen Sie sich insgesamt gesund und in der körperlichen Verfassung einen 10km-Ausdauerlauf zu machen?

- ja nein ich bin mir unsicher

(17.) Freiwillige Angabe:

a). Haben Sie zum heutigen Zeitpunkt der Testung Ihre Menstruationsblutung?

- ja nein ich bin mir unsicher

b). Haben Sie zum Zeitpunkt der zweiten Testung (nächste Woche) Ihre Menstruationsblutung?

- ja nein ich bin mir unsicher

Anh. A4: Persönlicher Fragebogen

B) Verwendete Skalen und Fragebögen zur Erhebung der abhängigen Variablen

6
7 Sehr, sehr leicht
8
9 Sehr leicht
10
11 Recht leicht
12
13 Etwas anstrengender
14
15 Anstrengend
16
17 Sehr anstrengend
18
19 Sehr, sehr anstrengend
20

Anh. B5: RPE-Skala (Borg, 1998)

Skala zur wahrgenommenen körperlichen Verfassung (WKV-20)

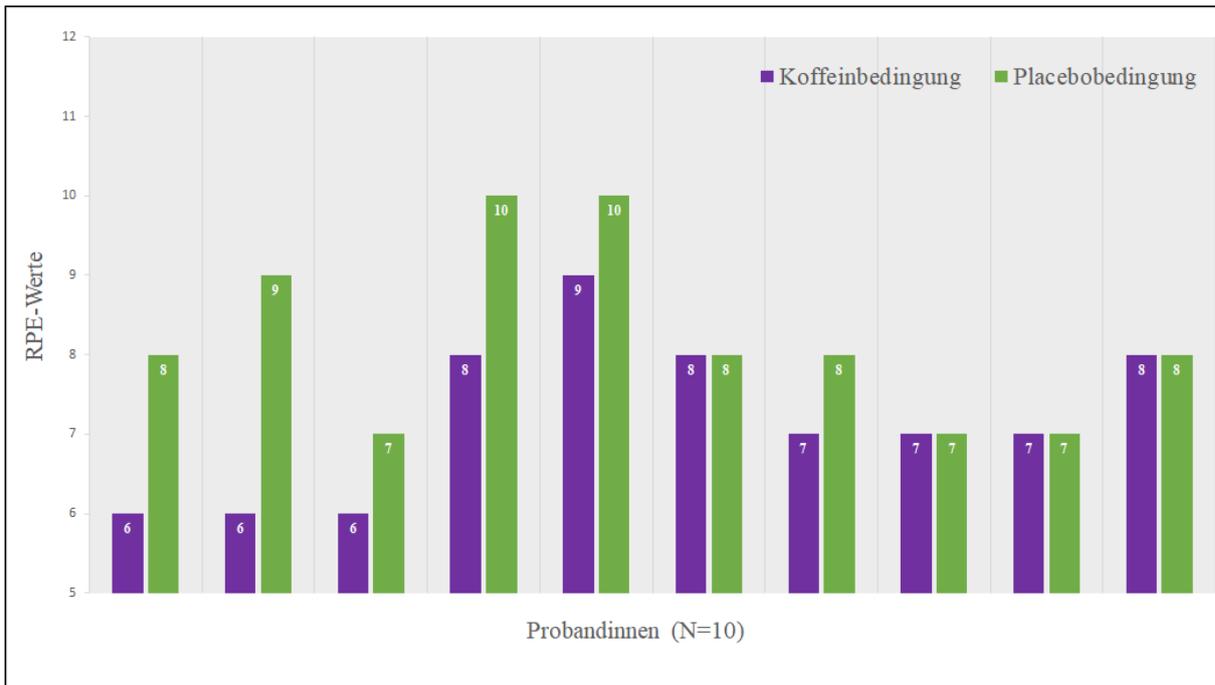
Persönlicher Code: _____

Bitte schätzen Sie spontan, ohne viel zu überlegen ein, inwieweit die folgenden Aussagen auf Ihren **körperlichen Allgemeinzustand im Augenblick** zutreffen. Machen Sie ein Kreuz an der entsprechenden Stelle:

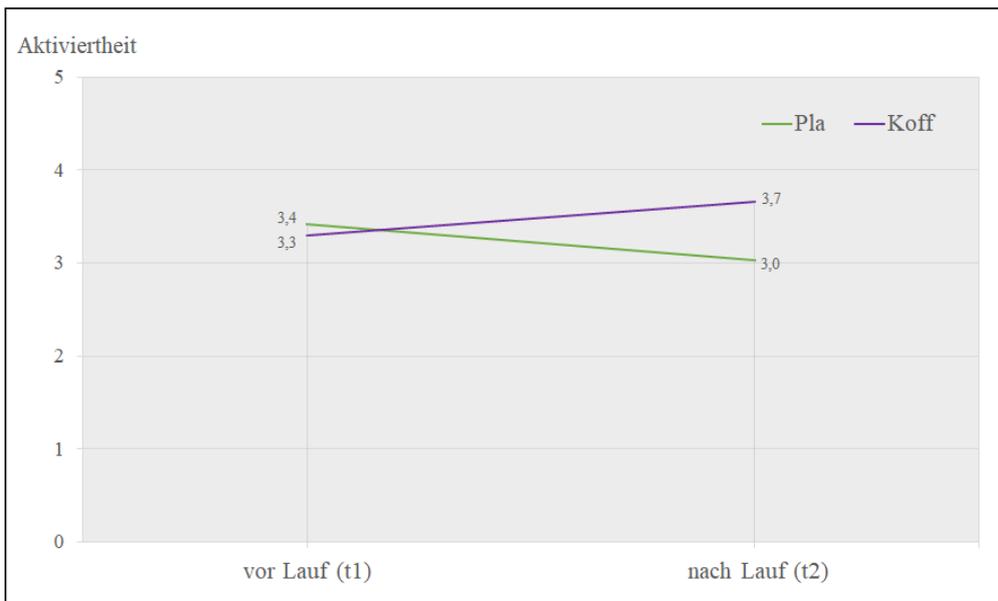
Im Augenblick fühle ich mich körperlich ...	völlig	gar nicht
kräftig	⑤ ④ ③ ② ① ①	
energielos	⑤ ④ ③ ② ① ①	
unbeweglich	⑤ ④ ③ ② ① ①	
platt	⑤ ④ ③ ② ① ①	
lädiert	⑤ ④ ③ ② ① ①	
gelenkig	⑤ ④ ③ ② ① ①	
ausgelaugt	⑤ ④ ③ ② ① ①	
krank	⑤ ④ ③ ② ① ①	
abgeschlafft	⑤ ④ ③ ② ① ①	
stark	⑤ ④ ③ ② ① ①	
steif	⑤ ④ ③ ② ① ①	
fit	⑤ ④ ③ ② ① ①	
schlapp	⑤ ④ ③ ② ① ①	
durchtrainiert	⑤ ④ ③ ② ① ①	
angeschlagen	⑤ ④ ③ ② ① ①	
gesund	⑤ ④ ③ ② ① ①	
dehnfähig	⑤ ④ ③ ② ① ①	
kraftvoll	⑤ ④ ③ ② ① ①	
verletzt	⑤ ④ ③ ② ① ①	
beweglich	⑤ ④ ③ ② ① ①	

Im Augenblick habe ich körperliche ...	extrem stark	gar nicht
Schmerzen	⑤ ④ ③ ② ① ①	
Beschwerden	⑤ ④ ③ ② ① ①	

C) Weitere Abbildungen der Ergebnisdarstellung



Anh. C7: Rohwerte der subjektiven Anstrengung unter Koffein- bzw. Placebo-Bedingung zum Zeitpunkt der 3-min NB



Anh. C8: Entwicklung der wahrgenommenen Aktiviertheit unter Koffein- und Placebo-Bedingung