



MASTERARBEIT | MASTER'S THESIS

Titel | Title

Einfluss des Konsums von Heidelbeeren auf trainingsinduzierte oxidative
Stressreaktionen bei jungen inaktiven Frauen

verfasst von | submitted by

Philipp Balaskovits BSc

angestrebter akademischer Grad | in partial fulfilment of the requirements for the degree of

Master of Science (MSc)

Wien | Vienna, 2026

Studienkennzahl lt. Studienblatt |
Degree programme code as it appears on the
student record sheet:

UA 066 826

Studienrichtung lt. Studienblatt | Degree
programme as it appears on the student
record sheet:

Masterstudium Sportwissenschaft

Betreut von | Supervisor:

Univ.-Prof. Dr. Daniel König

Inhalt

Kurzfassung	3
Abstract	4
Theoretischer Hintergrund	5
Entstehung von ROS	5
Physiologische Funktion von ROS	5
Abwehrmechanismen gegen oxidativen Stress	6
Physiologische Auswirkungen von oxidativem Stress	6
Oxidativer Stress und Entzündung im Kontext von intensivem Krafttraining	7
Funktionen und physiologische Auswirkungen pflanzlicher Lebensmittel in der Ernährung	9
Antioxidantien	9
Synergieeffekte	10
Omega-3-Fettsäuren	10
Energistoffwechsel	11
Pflanzliches Lebensmittel Heidelbeere	12
Physiologische Unterschiede von Männern und Frauen im Sport	13
Einfluss des Trainingszeitpunktes auf physiologische Reaktionen	14
Forschungsmethodik	16
Studienbeschreibung	16
Einschlusskriterien	17
Einschlusskriterien für Teilnahme an der Studie:	17
Aufwandsentschädigung:	18
Ablauf des Krafttrainingszirkels	18
Übungen:	19
Aufwärmprogramm	21
Ablauf Studientag 1:	22
Ablauf Studientag 2:	23
Ablauf Interventionsstudientag 1-7	24
Ergebnisse	26
Heart Rate & Borg Scale	26
Einfluss der Intervention auf die HIIT-Leistung (kg)	28
ROS	31
Diskussion	36
Zusammenfassung der Ergebnisse	36
Vergleich mit vorhandener Literatur	37
Limitationen	38

Literaturverzeichnis	40
Tabellenverzeichnis	44
Abbildungsverzeichnis	44

Kurzfassung

In dieser Masterarbeit wird die Auswirkung des Konsums pflanzlicher Lebensmittel, insbesondere von Heidelbeeren, auf die durch Krafttraining ausgelösten oxidativen Stressreaktionen bei jungen, inaktiven Frauen untersucht. Oxidativer Stress, welcher durch ein Ungleichgewicht der Produktion von reaktiver Sauerstoffspezies (ROS) und antioxidativer Abwehrmechanismen entsteht, kann Schäden in den Zellen und an der Zellstruktur auslösen. Daher stellt dessen Untersuchung, speziell im Bereich des Sports, welcher vermehrt zur Produktion von ROS führt, eine nicht zu unterschätzende Relevanz für zukünftige Trainings- und Ernährungsempfehlungen dar.

Für die Studie wurden Frauen ausgewählt, welche sich im Alter von 18-40 Jahren befanden und keinem regelmäßigen Sport (≤ 120 Minuten körperliche Aktivität/Woche) nachgingen. Den Probandinnen wurden an unterschiedlichen Interventionstagen je einmal Wasser und einmal Heidelbeeren vor einem intensiven Intervalltraining verabreicht. Die Herzfrequenz und das subjektive Belastungsempfinden (mittels BORG-Skala), wurden während der Trainingseinheit mitdokumentiert. Ebenso wurden zu mehreren Zeitpunkten Blutproben entnommen, um die ROS-Konzentration erheben zu können.

Es konnten Abweichungen im Bereich der ROS-Konzentration, der Herzfrequenz und dem subjektiven Belastungsempfinden vor und nach der Belastung festgestellt werden. Im Vergleich der beiden Interventionstage „Wasser“ und „Heidelbeere“ konnte jedoch kein statistisch signifikanter Unterschied festgestellt werden.

In dieser Arbeit konnte das Wissen um die Rolle der pflanzlichen Lebensmittel, insbesondere der Heidelbeere, im Kontext einer sportlichen Belastung und trainingsinduzierter oxidativer Stressreaktionen erweitert werden. Die Ergebnisse legen nahe, dass der regelmäßige Verzehr von Heidelbeeren als Teil einer gesundheitsfördernden Ernährung sinnvoll sein könnte, um die durch intensive körperliche Belastungen ausgelösten Stressreaktionen zu mildern.

Abstract

This master's thesis investigates the effects of consuming plant-based foods, particularly blueberries, on oxidative stress reactions triggered by strength training in young, inactive women. Oxidative stress, which arises from an imbalance between the production of reactive oxygen species (ROS) and antioxidant defense mechanisms, can cause damage to cells and cellular structures. Therefore, studying this phenomenon, especially in the context of sports, which tends to increase ROS production, is of significant relevance for future training and nutritional recommendations.

For this study, women aged 18 to 40 years who did not engage in regular physical activity (≤ 120 minutes of physical activity per week) were selected. The participants were administered either water or blueberries before an intense interval training session on different intervention days. Heart rate and subjective perceived exertion (measured using the BORG scale) were recorded during the training session. Additionally, blood samples were taken at multiple time points to assess ROS concentration.

Variations in ROS concentration, heart rate, and subjective perceived exertion before and after the exercise were observed. However, no statistically significant difference was found when comparing the two intervention days, "water" and "blueberries."

This thesis contributes to the understanding of the role of plant-based foods, particularly blueberries, in the context of physical exertion and training-induced oxidative stress reactions. The findings suggest that the regular consumption of blueberries as part of a health-promoting diet may be beneficial in mitigating stress reactions triggered by intense physical activity.

Theoretischer Hintergrund

Entstehung von ROS

ROS entstehen als Nebenprodukt während des normalen oxidativen Stoffwechsels, und werden im Rahmen der Zellatmung von den Mitochondrien gebildet. Ein Teil des verstoffwechselten Sauerstoffs wird hierbei in die reaktive Sauerstoffspezies (engl. ROS=reactive oxygen species) wie Superoxidanionen und Wasserstoffperoxid umgewandelt. Superoxidanionen sind negativ geladen und membranundurchlässig. Im Vergleich zu anderen freien Radikalen besitzen sie eine lange Halbwertszeit und gelten als relativ unreaktiv. Superoxidanionen spielen eine wichtige Rolle bei der Immunabwehr und der Bekämpfung von eindringenden Pathogenen (wie z.B. Bakterien) (Powers, 2008).

ROS sind somit eine natürliche Reaktion in der mitochondrialen Elektronentransportkette und ein unvermeidliches Nebenprodukt. (Dröse & Brandt, 2012)

Zusätzlich zu Mitochondrien werden ROS des Weiteren von Enzymen generiert. Hierzu zählen unter anderem die NADPH-Oxidase und die Xanthinoxidase. ROS welche durch die NADPH-Oxidase produziert werden, tragen unter anderem zur Bekämpfung körperfremder Organismen und Krankheitserregern teil und regulieren die Genexpression (Bedard & Krause, 2007). Xanthinoxidase, ein Enzym des Purinstoffwechsels, generiert ebenfalls ROS, welche dann wiederum in einem komplexen Abwehrsystem als Reaktion auf äußere Reize angewendet werden. (Harrison, 2004)

Physiologische Funktion von ROS

Trotz ihres vermeintlich negativen Rufes übernehmen ROS wichtige Funktionen im menschlichen Körper und können, in moderaten Mengen, vorteilhafte Effekte bewirken. ROS fungieren, unter anderem, als Signalmoleküle für diverse zelluläre Prozesse. So modulieren sie beispielsweise Signalwege für die mTOR-Aktivierung welcher wichtig für die Proteinsynthese und in weiterer Folge auch für muskuläre Hypertrophieprozesse ist. Auch werden sie als Sekundärbotenstoffe eingesetzt, um auf Umweltveränderungen reagieren zu können. Darüber hinaus spielen ROS auch eine entscheidende Rolle in der Immunantwort und tragen zur Bekämpfung von Krankheitserregern bei (Reczek & Chandel, 2015). So erzeugen neutrophile Granulozyten beispielsweise ROS als Teil ihrer Immunantwort gegenüber Bakterien, Viren und Pilzen. Des Weiteren haben sie auch eine antimikrobielle Wirkung und können die DNA von

Mikroorganismen schädigen und somit deren ungewollte Vermehrung verhindern. (Nguyen et al., 2017)

Eine weitere wichtige Funktion üben ROS auch bei der Eliminierung von beschädigten oder nicht mehr funktionsfähigen Zellen aus, indem sie die Apoptose, den programmierten Zelltod, durch einen kontrollierten Anstieg von freien Radikalen regulieren können. (Simon et al., 2000)

Abwehrmechanismen gegen oxidativen Stress

Menschliche Zellen verfügen im Regelfall über diverse Abwehrmechanismen gegen ROS. So wandeln, unter anderem, Enzyme wie Superoxiddismutase (SOD), Katalase und Glutathionperoxidase ROS mittels chemischer Reaktionen in harmlosere Substanzen um. Superoxiddismutase, welche 1969 von McCord entdeckt wurde, bildet die erste Abwehrlinie gegen Superoxide. Dessen primäre Aufgabe besteht darin, die Erzeugung von Superoxidradikalen so niedrig wie möglich zu halten. (Chemistry And Biochemistry Of Superoxide Dismutases, 1981)

Diese enzymatischen Aktivitäten können auch in engem Zusammenspiel miteinander fungieren; so wandelt SOD Superoxidanionen in Wasserstoffperoxid um, während Katalase Wasserstoffperoxid wiederum in Wasser und Sauerstoff umwandelt. (Stoklasová A. 1989) Zusätzlich zu den enzymatischen Abwehrmechanismen, spielen auch einige Vitamine mit antioxidativen Eigenschaften eine entscheidende Rolle, um oxidativem Stress entgegenzuwirken. So dienen Vitamin C und E als Radikalfänger und schützen die Zellen vor oxidativem Stress.

Physiologische Auswirkungen von oxidativem Stress

ROS können zahlreiche Funktionen und Zellorganellen des menschlichen Körpers beeinflussen und mitunter auch negative Folgereaktionen bewirken. In normalen Stoffwechselvorgängen, sowie auch unter oxidativem Stress, entstehen hochreaktive Sauerstoffspezies, welche die Fähigkeit besitzen Proteine zu oxidieren oder auch Lipid- und Kohlenhydratverbindungen in funktionelle Verbindungen umzuwandeln, welche dann wiederum auf Proteine reagieren können. Im Zuge dieser Prozesse entstehen dann wiederum Protein-Carbonylderivate. Diese können als Indikatoren herangezogen werden, um verursachte Schäden an Proteinen mittels ROS zu identifizieren.

Eine auffällige Anhäufung von geschädigten Proteinen kann auf ein gestörtes Gleichgewicht zwischen Produktion und Abbau von ROS hinweisen. Auch werden oxidativ geschädigte Proteine

immer häufiger mit diversen Erkrankungen sowie dem Fortschritt des Alterungsprozesses in Verbindung gebracht. (Stadtman & Berlett, 1998)

Ebenso wird eine übermäßige Produktion von ROS beispielsweise mit verschiedenen neurodegenerativen Erkrankungen, Krebs, Herz-Kreislauf-Erkrankungen oder entzündlichen Erkrankungen in Verbindung gebracht. (Reuter et al., 2010)

Während körperlicher Aktivität, wie beispielsweise intensivem Sport oder schwerer körperlicher Arbeit, steigt der Sauerstoffbedarf- und verbrauch über das Normalmaß hinaus an, was, in Verbindung mit vermehrter Muskelkontraktion und damit verbundener erhöhter NADPH-Oxidase Aktivität zu einer gesteigerten ROS-Produktion führt.

Oxidativer Stress und Entzündung im Kontext von intensivem Krafttraining

Bereits 1978 vermutete man, dass körperliche Aktivität zu einem erhöhten oxidativen Stresslevel führt, welcher wiederum Gewebsschädigungen nach sich ziehen kann. Obwohl innerhalb der letzten 4 Jahrzehnte zahlreiche neue Informationen über oxidativen Stress hinzugewonnen wurden und es auch belegt werden konnte, dass die Skelettmuskulatur sowohl in Ruhe als auch während sie aktiv ist und kontrahiert ROS und RNS produziert, sind die genauen Ursachen für deren Produktion während körperlicher Belastung noch unerforscht.

Werden ROS in moderaten Mengen produziert, können sie als Signalmoleküle fungieren und Mechanismen für erforderliche, oder im Sport auch wünschenswerte Trainingsanpassungen, wie unter anderem Hypertrophie, bewirken. Durch körperliche Aktivität wird der Körper einem erhöhten Stresslevel ausgesetzt, welcher, abhängig vom Grad des oxidativen Stresslevels, zu positiven oder negativen Auswirkungen und Anpassungen führen kann. So können speziell längere, intensive körperliche Belastungen, Proteine und Lipide, welche sich in den kontrahierenden Muskelzellen befinden, oxidativen Schädigungen ausgesetzt sein. Da Oxidantien, des Weiteren, über die Fähigkeit verfügen, Zellsignalwege zu modulieren, sowie die Expression von Genen in eukaryotischen Zellen zu regulieren, können auf diesem Wege Schädigungen durch oxidativen Stress auftreten. Gleichzeitig sind niedrige und physiologische Konzentrationen von ROS für eine normale Kraftproduktion in der Skelettmuskulatur unerlässlich (Powers, 2008). Wird die sportliche Aktivität im Kontext einer Gesundheitsförderung betrieben, wird der Körper einer kontrollierten Stressreaktion ausgesetzt, wodurch dieser gezwungen wird, Anpassungsmechanismen zu entwickeln, um zukünftige Schädigungen durch diese Stressoren zu verhindern. Verschiedene Studien unterstützen hierbei die Idee einer kurzfristigen Erhöhung

des Stresslevels, um adaptive Prozesse während und insbesondere nach dem Krafttraining auszulösen. Unter anderem kann die durch regelmäßig betriebenen Sport gebildeten ROS dazu führen, dass das körpereigene antioxidative Enzymsystem sich anpasst und leistungsfähiger wird.

Muskelzellen weisen ein ausgeklügeltes System auf, um einer Überbelastung durch ROS, über eine lange Zeit, entgegenwirken zu können. Denn in den Muskelfasern befinden sich, an strategisch wichtigen Punkten (Mitochondrien, verteilt im Blutplasma, etc.) sowohl enzymatische als auch nicht-enzymatische Antioxidantien, deren Aufgabe in der Regulierung der ROS besteht. Des Weiteren befinden sich auch im extrazellulären, sowie im vaskulären Raum nicht-enzymatische Antioxidantien. Zusammengenommen schützen diese die Muskelfasern vor Schädigungen während einer länger andauernden körperlichen Belastung. (Powers, 2008).

An dieser Stelle sei auch angemerkt, dass es, trotz der mannigfaltigen Kompensationsmechanismen, wichtig ist, ebenso die individuellen Grenzwerte des oxidativen Stresslevels zu beachten. So kann ein kurzfristiges Übermaß an oxidativem Stress Anpassungsreaktionen im Körper auch verlangsamen, unterdrücken oder auch Strukturen schädigen. Die individuelle Reaktion auf oxidativen Stress durch körperliche Aktivität, kann interindividuell stark variieren, sodass es schwierig ist, allgemeine Aussagen hierzu treffen zu können. Faktoren wie Trainingszustand, sportliche Vorerfahrung, genetische Disposition und psychische Belastbarkeit spielen eine wichtige Rolle hierbei.

Die Entzündungsreaktionen, die durch den oxidativen Stress, welcher wiederum durch die belastenden Reize während eines intensiven Krafttrainings entsteht, können somit sowohl negativ als auch positiv, für den Körper ausgelegt werden. Einerseits kann ein ausgewogenes Verhältnis von oxidativem Stress adaptive Prozesse stimulieren, andererseits, könnte ein Übermaß an oxidativem Stress zu schädlichen Entzündungsantworten führen. Ein Mindestmaß an oxidativem Stress ist für eine körperliche Anpassungsreaktion jedoch unerlässlich.

Krafttraining führt zu mikroskopischen Gewebsschädigungen in der beanspruchten Muskulatur, was im Körper wiederum eine Entzündungsreaktion auslöst. Diese Entzündungen wiederum, bei denen unter anderem vor allem proinflammatorische Zytokine wie Interleukin 6, eine zentrale Rolle spielen, lösen wichtige Heilungsprozesse im Körper aus. Diese Entzündungsreaktionen sind nach einem intensiven Krafttraining im Blutkreislauf nachweisbar und können als Nachweis dazu dienen, wie intensiv ein Training oder ein Wettkampf war, was für die zukünftige Trainingssteuerung interessant sein kann (Peake et al., 2005). Die Optimierung der Trainingssteuerung, sowie die Berücksichtigung individueller Unterschiede könnten dazu

beitragen, positive Anpassungsmechanismen im Körper zu fördern und potenziell negative Auswirkungen rechtzeitig zu erkennen und zu minimieren.

Funktionen und physiologische Auswirkungen pflanzlicher Lebensmittel in der Ernährung

In der menschlichen Ernährung spielen pflanzliche Lebensmittel eine wichtige Rolle. Über vollwertige pflanzliche Lebensmittel können diverse wichtige Nährstoffe wie Magnesium, Kalium, Ballaststoffe und auch sekundäre Pflanzenstoffe aufgenommen werden. Pflanzliche Lebensmittel bieten, aufgrund ihrer diversen Inhaltsstoffe, die Möglichkeit zahlreiche unterschiedliche physiologische Reaktionen im Körper aufrechtzuerhalten und zu unterstützen. Diese, durch die pflanzlichen Lebensmittel aktivierten, chemischen Reaktionen sind oftmals eng mit den sogenannten Antioxidantien verbunden, welche sich in vielen pflanzlichen Lebensmitteln befinden.

Antioxidantien

Wenn man von Antioxidantien spricht, spricht man von Molekülen, welche in der Lage sind, die im Körper befindlichen freien Radikale, zu neutralisieren. Bei freien Radikalen handelt es sich wie bereits erwähnt, um Moleküle mit kurzer Lebensdauer, die aufgrund eines ungepaarten Elektrons besonders reaktiv agieren. Antioxidantien wiederum, sind in der Lage diesen instabilen Molekülen ein Elektron zu spenden, wodurch das freie Radikale stabilisiert wird und potentiell schädliche Auswirkungen abgemildert werden können. Antioxidantien sind daher für den Schutz der Zellen vor oxidativem Stress entscheidend. Zu den wichtigsten Antioxidantien zählen hierbei Vitamin E, Vitamin C und Carotinoide. Vor allem Vitamin E, welches eines der, in der Natur, am meisten verbreiteten Antioxidantien ist und sich vorwiegend in der Zellmembran befindet, kommt ein besonderer Stellenwert zu. Des Weiteren weist Vitamin E die Fähigkeit auf, die Genexpression diverser Proteine zu regulieren (Powers, 2008).

All diese wichtigen pflanzlichen Verbindungen sind vor allem in Lebensmittelgruppen wie Obst, Gemüse, Nüssen, Vollkornprodukten und Samen zu finden.

Synergieeffekte

Zwischen den diversen Inhaltsstoffen von pflanzlichen Lebensmitteln scheint es zudem auch einige Synergie-Effekte zu geben. Diese synergetische Wirkung zwischen den pflanzlichen Antioxidantien verstärkt deren Wirkung scheinbar in großem Ausmaß. Insbesondere Polyphenole scheinen ein wichtiges Verbindungsmolekül zwischen den unterschiedlichen antioxidativen Stoffen zu sein. Bei Polyphenolen handelt es sich um sekundäre Pflanzenstoffe, die im Rahmen des sekundären Stoffwechsels von Pflanzen gebildet werden und insbesondere in Obst, Gemüse und Nüssen vorkommen. Neben ihrer antioxidativen Eigenschaften wirken sie auch entzündungshemmend, antikarzinogen und kardioprotektiv. Polyphenole scheinen insbesondere mit Vitaminen ihre synergetische Wirkung zu entfalten. Diese Synergieeffekte unterschiedlicher pflanzlicher Lebensmittel könnten erklären, warum der Verzehr verschiedener Lebensmittel vorteilhafter für die Gesundheit ist, als die Einnahme einzelner hochdosierter pflanzlicher Nahrungsergänzungsmittel. (Liu, 2003)

Einige pflanzliche Lebensmittel weisen, zusätzlich zu ihrer antioxidativen Wirkungsweise, auch noch zahlreiche weitere vorteilhafte Effekte auf - wie beispielsweise entzündungshemmende Eigenschaften.

Omega-3-Fettsäuren

Omega-3-Fettsäuren, welche zum Beispiel in Leinöl oder Gewürzen wie Kurkuma vorhanden sind, weisen besonders entzündungshemmende Eigenschaften auf.

Bei Omega-3-Fettsäuren handelt es sich um mehrfach ungesättigte Fettsäuren, welche für den menschlichen Körper lebensnotwendig sind. Da es sich um eine essenzielle Fettsäure handelt, kann sie vom Körper nicht selbstständig produziert werden, sondern muss ihm über die Nahrung zugeführt werden. Die wichtigsten drei Omega-3 Fettsäuren sind die Alpha-Linolensäure (ALA), Eicosapentaensäure (EPA) und Docosahexaensäure (DHA)

Omega-3-Fettsäuren beeinflussen Schlüsselmechanismen im menschlichen Körper auf zellulärer und molekularer Ebene und fungieren daher als wichtige Entzündungshemmer. So konkurrieren sie beispielsweise mit Omega-6-Fettsäuren um die gleichen Enzyme. Diese Enzyme synthetisieren, je nachdem ob sie mit Omega-6 (entzündungsfördernd) oder mit Omega-3 (entzündungshemmend) verbunden sind, entzündungsfördernde oder entzündungshemmende Eicosanoide.

Zusätzlich verringern Omega-3-Fettsäuren die Produktion proinflammatorischer Zytokine, während sie die Entstehung entzündungshemmender Zytokine fördern.

An dieser Stelle ist wichtig zu betonen, dass die Effektivität der Omega-3-Fettsäuren stark von der Menge der vorhandenen Omega-6-Fettsäuren abhängig ist. Ein Übermaß an Omega-6-Fettsäuren kann die entzündungshemmende Wirkung der Omega-3-Fettsäuren dämpfen oder gar annullieren. Geht man davon aus, dass in den frühen Phasen der menschlichen Evolution, das Verhältnis zwischen Omega 3 und Omega 6 bei 1:1 lag, so liegt das aktuelle Verhältnis in den wohlhabenden Industriestaaten mittlerweile bei ca. 15:1, wodurch das Risiko für Erkrankungen wie Krebs oder auch kardiovaskuläre Erkrankungen erhöht wird. Das richtige Verhältnis zwischen Omega-3 und Omega-6 ist hierbei also von entscheidender Bedeutung. (Simopoulos A. P., 2002)

Leinöl, welches wie bereits erwähnt, reich an Omega-3-Fettsäuren ist, weist neben den bereits bekannten entzündungshemmenden Eigenschaften, laut einer Studie von Calder (2013) auch antiarrhythmische und immunomodulatorische Wirkungen auf. Kurkuma wiederum beeinflusst auf molekularer Ebene verschiedene Signalwege und greift so in die Entstehung von Entzündungsprozessen ein.

Energiestoffwechsel

Der Energiestoffwechsel und im Besonderen die Regulation des Blutzuckerspiegels, ist besonders im Sport von Bedeutung. Ein zu hoher Blutzuckerspiegel kann beispielsweise zu einem extremen Durstgefühl, was besonders bei Ausdauersportarten oder Sportarten mit hoher kognitiver Anforderung von Nachteil ist, oder Müdigkeit und Bauchschmerzen, bis hin zu Verwirrtheit und Atembeschwerden führen. Ein akut zu niedriger Blutzuckerspiegel wiederum kann ein Gefühl der Schwäche, Zittern, Herzrasen bis hin zum Kreislaufkollaps auslösen, was im Sport unbedingt vermieden werden sollte. Die richtige Dosierung ist also von großer Bedeutung. Der Blutzuckerspiegel wird im Wesentlichen über Kohlenhydrate gesteuert. Pflanzliche Quellen für komplexe Kohlenhydrate, wie etwa Vollkornprodukte, stellen somit eine wesentliche Energiequelle für den Organismus dar. Bei Vollkornprodukten handelt es sich um Komplexe aus Stärke, Ballaststoffen und anderen Nährstoffen. Ihre Zusammensetzung ist also wesentlich vielseitiger als dies bei einfachen Kohlenhydraten der Fall ist, wodurch sie langsamer abgebaut werden und somit den Blutzuckerspiegel länger konstant halten können. Besonders eine, auf pflanzlichen Lebensmitteln basierende, ballaststoffreiche Ernährung zeigt positive Auswirkungen (Reynolds et al., 2019). Hintergrund hierfür dürfte vor allem darauf zurückzuführen sein, dass

Ballaststoffe zu einer verzögerten Glukosefreisetzung und damit zu einem geringeren Anstieg des Blutzuckerspiegels führen.

Pflanzliches Lebensmittel Heidelbeere

Die Heidelbeere, lat. *Vaccinium myrtillus* genannt, gehört zu der Familie der Heidekrautgewächse und zeichnet sich durch ihre rundliche blaue Form und Farbe aus.

Die Heidelbeere gedeiht am besten in gemäßigten Klimazonen mit einem sauren Boden, wie etwa in den nordöstlichen und nordwestlichen Regionen der USA sowie in Teilen Kanadas. In der Regel werden sie in speziellen Heidelbeerplantagen gezüchtet. Für optimales Wachstum benötigen die Pflanzen ausreichend Sonnenlicht, einen durchlässigen Boden, um Stauwasser zu vermeiden, sowie einen sauren Boden und einen gewissen Grad an Luftfeuchtigkeit (40-60%), um optimal wachsen zu können. In einigen Regionen werden auch Hochstammvarianten, so etwa in Teilen Europas, Neuseelands und Australiens, für den Anbau verwendet, um die Ernte zu erleichtern. In Europa gestaltet sich die Anpflanzung mitunter recht schwierig, da die Pflanzen, wie bereits erwähnt, einen sauren Boden und gemäßigtes Klima, in Optimalfall auf kalkarmen Böden, bevorzugen.

Die Erntezeit erfolgt normalerweise über die Sommermonate Juni bis August, wobei das genaue Datum je nach geographischer Lage variieren kann. Die Ernte erfolgt üblicherweise per Hand oder mit speziellen Erntemaschinen. Heidelbeeren gelten als reif, wenn sie eine tiefblaue Farbe annehmen und bereits unter leichtem Druck nachzugeben beginnen. Aufgrund ihrer Beliebtheit und gesundheitlichen Vorteile, werden Heidelbeeren weltweit angeboten und vermarktet. Der Vertrieb erfolgt über lokale Märkte, Supermärkte oder dem Online-Handel. In Mitteleuropa wird hierbei zudem noch zusätzlich vermehrt auf nachhaltige Anbaupraktiken geachtet. Unter anderem zählen hierzu Qualitätsmerkmale wie der Einsatz von natürlichen Düngemitteln, die Reduzierung von Pestiziden und der Schutz der Biodiversität auf den Plantagen.

Das charakteristische Blau erhält die Heidelbeere aufgrund des Wirkstoffes Anthocyan. Anthocyane, welche zur Gruppe der Flavonoide gehören, besitzen antioxidative Eigenschaften und erzeugen, aufgrund der antioxidativen Pigmentierung die bekannte bläuliche Farbe der Beere. Durch diese antioxidative Pigmentierung besitzt die Heidelbeere die Fähigkeit ROS zu neutralisieren. In der Heidelbeere befinden sich, neben den Anthocyanen, auch noch andere Flavonoide, wie Flavonole und Flavanole. Hierbei handelt es sich um andere bioaktive Verbindungen, welche, in einem synergetischen Zusammenspiel, zahlreiche gesundheitsfördernde Effekte positiv beeinflussen können.

Aufgrund ihres reichen Anthocyan Gehaltes steht die Heidelbeere im Verdacht, auch positive Auswirkungen auf die kognitiven Funktionen, besonders im Bereich des episodischen Gedächtnisses, zu haben. Zahlreiche Studien, welche sich mit den neurokognitiven Vorteilen der Heidelbeere beschäftigen, konnten einen verbesserten Schutz vor dem altersbedingten kognitiven Abbau, durch die Einnahme der Heidelbeere, nachweisen. Denn Anthocyane, welche die Wirkung der ROS dämpfen, scheinen nicht nur körperliche Entzündungsreaktionen zu minimieren, sondern insbesondere auch die Gehirnzellen vor oxidativem Stress zu schützen. Die Heidelbeere ist zudem noch reich an Nährstoffen wie Vitamin C, Vitamin K, Mangan und Ballaststoffen, was sie zu einer der wertvollsten Früchte macht. (Priti Krishna, 2023)

Aufgrund ihrer antioxidativen Eigenschaften ist die Heidelbeere, besonders im Sport, aus den in den vorherigen Kapiteln bereits benannten Gründen, von großem Interesse. Es existieren bereits einige Studien, die sich mit der antioxidativen Wirkung von Heidelbeeren in Kombination mit einem intensiven Krafttraining und der damit verbundenen oxidativen Stressreaktionen beschäftigen. Besonders die Studien von Prior et al. (2008) und Erlund et al. (2008) haben gezeigt, dass die antioxidative Kapazität im menschlichen Körper, durch die Einnahme von Heidelbeeren, vor einer körperlichen Belastung wie intensivem Krafttraining erhöht werden kann. Dieses Erkenntnis könnte unter anderem dazu beitragen, den durch Sport induzierten oxidativen Stress- und damit einhergehende Entzündungsreaktionen zu verringern und Zellen vor Schädigungen und Überbelastung besser zu schützen.

Physiologische Unterschiede von Männern und Frauen im Sport

Die körperliche Leistungsfähigkeit von Männern und Frauen wird durch unterschiedliche biologische Faktoren beeinflusst. Besonders die Geschlechtshormone Testosteron und Östrogen scheinen hierbei eine zentrale Rolle zu spielen. Frauen weisen üblicherweise höhere Östrogenkonzentrationen und Männer höhere Androgen Konzentrationen, insbesondere Testosteron, auf. Diese Hormone beeinflussen sowohl den Körperbau als auch die Muskelmasse, Ausdauer und die generelle körperliche Leistungsfähigkeit (Harper et al., 2021). Mehrere Studien zeigen, dass Männer im Durchschnitt größere und stärkere Muskeln haben als Frauen, was wiederum zu einer höheren Maximalkraft und einer höheren Fähigkeit zur Kraftentwicklung führt. Männer besitzen, im Vergleich zu Frauen, außerdem eine um durchschnittlich 40% höhere Maximalkraft in den Beinen. Dies wirkt sich, im sportlichen Kontext, wiederum auf die Lauf- und Sprungleistung aus.

Des Weiteren ist der prozentuelle Körperfettgehalt von Frauen wesentlich höher als jener der Männer. Dies bedingt, bei gleichem Gewicht, eine geringere Muskelmasse, was wiederum eine geringere Maximalkraft und Kraftentwicklung zur Folge haben kann.

Allerdings gibt es auch individuelle Unterschiede innerhalb der Geschlechter, die bei der Beurteilung der Leistungsfähigkeit von Athleten berücksichtigt werden müssen. Einige Frauen können beispielsweise, aufgrund ihrer körperlichen Merkmale und ihres Trainings, einen höheren Muskelanteil und eine höhere Ausdauerleistungsfähigkeit aufweisen als manche Männer.

Man könnte also sagen, dass die ablaufenden physiologischen Prozesse, beispielsweise während eines intensiven Krafttrainings, bei Männern und Frauen dieselben sind, die Auswirkungen dieser Reizsetzung aber mitunter stark voneinander abweichen können (Lemmer et al., 2001). Da es Unterschiede im Lungenvolumen und der für die Bewältigung der sportlichen Belastung benötigten prozentuellen Muskelanteile gibt, ist auch der Sauerstoffverbrauch, der für die erfolgreiche Absolvierung einer Aufgabe benötigt wird, unterschiedlich. Damit einhergehend unterscheidet sich auch die Produktion der ROS je nach Belastung und muss bei der Spezifizierung des Trainings mitberücksichtigt werden.

Zusätzlich muss neben den bereits genannten Faktoren auch der Menstruationszyklus bei Frauen miteinbezogen werden. Aufgrund des Menstruationszyklus kommt es zu Abweichungen im Hormonhaushalt, was wiederum die Aktivierung diverserer Energiespeicher, die Dauer der Muskelreparatur, die Leistungsfähigkeit, sowie den für körperliche Aufgaben benötigten Sauerstoffbedarf beeinflussen kann, sofern sich die Belastungen an der MLSS (maximum Laktat-Steady State) oder darüber hinaus bewegen (De Jonge, 2003). Frauen zeigen zudem, nach intensiven Belastungen, schnellere Regenerationszeiten als Männer. Dies könnte unter anderem auf die unterschiedlichen hormonellen Profile und unterschiedlichen Muskelfaserzusammensetzungen zurückzuführen sein. Frauen besitzen im Schnitt weniger schnell zuckende Muskelfasern als Männer.

Einfluss des Trainingszeitpunktes auf physiologische Reaktionen

Der zirkadiane Rhythmus sowie der individuelle Chronotyp können erhebliche Auswirkungen auf die Leistungsbereitschaft, während des Trainings und den damit verbundenen physiologischen Reaktionen, haben. Daher ist die Auswahl des Trainingszeitpunktes während des Tages von entscheidender Bedeutung und sollte im Optimalfall immer individuell abgestimmt werden.

Durch den Zirkadianen Rhythmus, gemeinhin auch als „innere Uhr“ bekannt, werden viele physiologischen Prozesse im Körper, wie Hormonspiegel, Stoffwechsel oder Körpertemperatur,

beeinflusst. Auch die ROS-Produktion sowie deren Regulation sind maßgeblich von diesem Rhythmus beeinflusst. (Dallmann et al., 2012)

Cortisol beispielsweise, dessen Spiegel normalerweise in den frühen Morgenstunden ansteigt und im Laufe des Tages abnimmt, kann die ROS-Produktion signifikant beeinflussen. Cortisol, welches die Blutzuckerkonzentration, sowie die Aufmerksamkeit steigert, erhöht die Energiebereitschaft und mobilisiert Energiereserven. In Zusammenhang mit Krafttraining kann es den Abbau von Proteinen und deren Umwandlung in Glukose fördern, was wiederum einen leistungssteigernden Effekt zur Folge hat. Es kann in moderaten Mengen somit eine anabole Wirkung aufweisen. Gleichzeitig kann Cortisol jedoch auch zu einem Anstieg des oxidativen Stresslevels führen. Es besteht zudem ein komplexer Zusammenhang zwischen Cortisolspiegel und dem individuellen Chronotypus, wodurch der optimale Trainingszeitpunkt, bezogen auf den Cortisolspiegel, stark interindividuell variieren kann. (Dallmann et al., 2012)

Die Körpertemperatur wiederum ist bei den meisten Menschen am Abend höher als am Morgen, was beispielsweise für eine bessere Durchblutung in der Muskulatur sorgt. Gleichzeitig ist allerdings auch die Schmerzschwelle niedriger, wodurch das subjektive Belastungsempfinden, während eines Trainings, erhöht wird, was wiederum mit einer niedrigeren Leistungsbereitschaft einhergehen könnte. Zusätzlich spielen auch individuelle, gefühlte, Präferenzen des Trainingszeitpunktes, sowie feste Gewohnheiten und Bewegungsabläufe eine wesentliche Rolle. Wiederholte gleichartige Bewegungen, die am Beginn einer Trainingseinheit, zum Beispiel während des Aufwärmens, gemacht werden, werden im Körper als „automatisierte“ Programme gespeichert, welche wiederum physiologische Reaktionen im Körper hervorrufen. So kann ein eingespeichertes motorisches Programm zur Durchblutungssteigerung und Vorbereitung der Muskulatur auf einen Trainingsreiz, unabhängig von Trainingszeitpunkt, dienen. Dieser Prozess ist einer operanten Konditionierung nicht unähnlich.

Forschungsmethodik

Die vorliegende Masterarbeit wurde im Rahmen einer bereits laufenden Studie des Instituts für Ernährungswissenschaften der Universität Wien konzipiert und durchgeführt. Im Zuge dieser Masterarbeit soll untersucht werden, inwieweit sich die Einnahme von Heidelbeeren auf die Leistungsfähigkeit, während eines intensiven Krafttrainingszirkels, sowie auf die oxidativen Stressreaktionen, bei jungen, inaktiven Frauen auswirkt. Begleitend zum Krafttraining werden Herzfrequenz mittels Pulsuhr und das subjektive Belastungsempfinden, mittels BORG-Skala, gemessen. Vor und nach dem Training wurden hierfür Blutabnahmen durchgeführt, um daraus im Anschluss die oxidative Stressreaktion, welche durch das Training ausgelöst wurde, zu messen.

Die übergeordnete Studie der Universität Wien beschäftigt sich neben der Einnahme von Heidelbeeren, auch noch mit den Auswirkungen von Bitterschokolade, Leinöl, Brokkoli, Vollkornbrot und Weißbrot, auf die unmittelbare Regeneration nach einem 30-minütigen Kraftzirkeltraining. Auf die Auswirkungen der anderen Lebensmittel kann jedoch in dieser Masterarbeit nicht näher eingegangen werden, da eine genaue Beschreibung den Rahmen dieser Arbeit sprengen würde.

Die Teilnehmerinnen der Studie absolvieren ein ca. 30-minütiges intensives Krafttraining, welches aus fünf Übungen besteht. Am Beginn eines jeden Studientages erhalten die Probandinnen eines der sieben unterschiedlichen Lebensmittel, gefolgt von einer zweistündigen Ruhepause, ehe sie den Krafttrainingszirkel absolvieren. Die Termine für die Studientage werden individuell mit den Probandinnen vereinbart, wobei alle sieben Studientage in einem Zeitrahmen von 3-4 Monaten absolviert werden sollen. Die Daten, welche für die Endauswertung benötigt werden, werden aus standardisierten Fragebögen, Messungen der körperlichen Beanspruchung, Puls mittels Pulsuhr und Belastungsempfinden mittels BORG-Skala, sowie einer Laboranalyse durch Blutabnahme zur Ermittlung der Entzündungsmarker und Sauerstoffradikalbildung, erhoben.

Studienbeschreibung

Die, im Zuge dieser Masterarbeit durchgeführte Studie, hat als Zielgruppe Frauen in einer Altersspanne von 18-40 Jahren, welche einen BMI im Normalbereich, $18,5\text{-}25\text{kg/m}^2$ aufweisen. Gleichzeitig sollten die Probandinnen keinem regelmäßigen Krafttraining (max. 1h/Woche) und oder keiner anderweitig gerichteten körperlichen Aktivität (max. 2h/Woche) nachgehen. Bei den Teilnehmerinnen handelt es sich um Nichtraucherinnen oder ehemalige Raucherinnen, welche jedoch seit mindestens 6 Monaten nicht mehr geraucht haben. Darüber hinaus sollten keine Unverträglichkeiten gegenüber den, in dieser Studie verwendeten, Lebensmitteln vorliegen. Die

Teilnehmerinnen sollten intensive Kraftbelastungen auf nüchternen Magen gut tolerieren können und keine akuten oder chronischen Erkrankungen wie Hämoglobin- oder Eisenmangel aufweisen. Auf regelmäßige Medikamenteneinnahme sollte im Zeitraum der Studie verzichtet werden. Als Ausnahme gelten hierbei hormonelle Verhütungsmethoden.

Um die Probandinnen für ihren Zeitaufwand zu entschädigen, wird ihnen im Zuge der Studie ein kostenloser medizinischer Gesundheitscheck inklusive Labortest, sowie eine kostenlose Analyse ihrer Körperkomposition mittels BIA-Analyse gewährt. Zusätzlich erhalten die Probandinnen 175 Euro Aufwandsentschädigung und werden während des gesamten Zeitraumes der Studie von Sport- und Ernährungswissenschaftlern beraten und betreut. Am letzten Studientag haben die Probandinnen des Weiteren die Möglichkeit, einen eigens auf sie abgestimmten Ernährungsplan sowie einen Trainingsplan zu bekommen. Beim Trainingsplan wird hierbei auf die jeweiligen zeitlichen und räumlichen Gegebenheiten, die der jeweiligen Probandin zur Verfügung stehen (Zeitaufwand; Fitnessstudio vs. Heimtraining, Sportgeräte, etc.), Rücksicht genommen.

Einschlusskriterien

Einschlusskriterien für Teilnahme an der Studie:

- ✓ Weiblich, 18 – 40 Jahre, BMI zwischen 18,5 – 25 kg/m² (Normalgewicht)
- ✓ Bisher kein regelmäßiges Krafttraining (höchstens 1x / Woche) und keine regelmäßige körperliche Aktivität (höchstens 2 Stunden / Woche)
- ✓ Nicht-Raucherin seit mindestens 6 Monaten
- ✓ Keine Unverträglichkeiten gegen oben genannte Lebensmittel
- ✓ Körperliche Belastungsfähigkeit auf nüchternen Magen (30min Krafttraining)
- ✓ Keine akuten/chronischen Erkrankungen
- ✓ Gute Verträglichkeit von Blutabnahmen
- ✓ Kein bekannter Eisen- oder Hämoglobinmangel
- ✓ Keine regelmäßige Medikamenteneinnahme (abgesehen von hormoneller Verhütung)

Aufwandsentschädigung:

- ✓ Kostenloser medizinischer Gesundheitscheck (inklusive Labortests)
- ✓ Kostenlose Analyse Ihrer Körperzusammensetzung (BIA-Analyse)
- ✓ Nach erfolgreichem Beenden der Studie: 175 € Aufwandsentschädigung
- ✓ Persönliche und individuelle Betreuung durch Sport- und Ernährungswissenschaftlern
- ✓ individuell abgestimmte Trainings- und Ernährungspläne

Ablauf des Krafttrainingszirkels

Der Krafttrainingszirkel, welchen die Probandinnen an den sieben Studientagen durchführen müssen, beinhaltet fünf verschiedene Übungen, welche hintereinander in drei Sätzen zu jeweils 40 Sekunden Belastungszeit ausgeübt werden. Zwischen den einzelnen Übungen haben die Probandinnen eine Pausenzeit von 10 Sekunden, welche ausreichend lang ist, um von einer Übung in die nächste zu wechseln. Zwischen den einzelnen Sätzen haben die Probandinnen eine Pausenzeit von einer Minute, in welcher sie sich erholen können. Sämtliche Übungen werden maschinell mit Hilfe von Krafttrainingsgeräten ausgeführt. Ziel der Übungen ist es, dass die Probandinnen bei jeder der Übungen und in jedem Satz so viele Wiederholungen wie möglich ausführen. Dabei wird das Gewicht im laufenden Trainingsprozess, sowohl in der Trainingseinheit als auch zwischen den Trainingseinheiten, adaptiert, sodass sich die Anzahl der Wiederholungen pro Übung und Satz in einem Bereich von ca. 20 Wiederholungen bewegt. Wird diese Zahl deutlich überschritten, wird das Trainingsgewicht der Maschine erhöht. Werden deutlich weniger als 20 Wiederholungen erreicht, wird das Gewicht reduziert. Bevor der Krafttrainingszirkel startet, führen die Probandinnen gemeinsam mit dem betreuenden Sportwissenschaftler, in diesem Fall dem Autor dieser Masterarbeit, ein gemeinsames standardisiertes Mobilisationsprogramm durch. Es wird eine „Aufwärmrunde“ an den Geräten absolviert, in welchem die Probandinnen, die im Krafttraining stattfindenden Übungen, in der gleichen Reihenfolge und Zeit, aber mit nur 50% des Gewichtes trainieren, welches dann im Anschluss in den drei vollen Trainingsrunden des Krafttrainingszirkels benutzt wird. Nach der Aufwärmrunde haben die Probandinnen eine Minute Zeit, um sich zu erholen, ehe der Krafttrainingszirkel beginnt. Vor dem Beginn der Mobilisation erhalten die Probandinnen eine Pulsuhr, mit welcher der Ruhewert des Pulses vor dem Training gemessen und aufgezeichnet wird. Zusätzlich wird sich nach dem subjektiven

Belastungsempfinden der Probandinnen mittels BORG-Skala (Skala von 6-20) erkundigt. Diese Werte (Puls und Borg-Skala) werden dann auch unmittelbar nach jedem Satz, nach Beendigung der 5. Übung, der Beinpresse, abgefragt, um den Ermüdungsfortschritt protokollieren zu können.

Übungen:

- **Ruderzugmaschine**

Ausgangsposition ist eine aufrechte Sitzposition; der Oberkörper wird dabei leicht zurückgelehnt und es wird eine „stolze“ Brustposition (durchdrücken der BWS nach vorne; Schultern nach hinten-unten ziehend) eingenommen. Die Hände umgreifen den Griff der Maschine und halten ihn etwas unter Schulterhöhe. Während der Bewegungsausführung werden die Arme gegen den Gewichtswiderstand gebeugt, dabei werden die Arme und Ellbogen nach hinten gezogen, wobei eine Ein- und Vorwärtsrotation (=Pronation) der Schultern vermieden werden sollte. Nach der endgradigen Zugphase (Griff wird bis zum Solarplexus gezogen), werden die Arme langsam wieder gestreckt, wobei darauf geachtet wird, dass die Bewegung und die Geschwindigkeit von der Muskulatur und nicht von dem Zug des Gewichtes der Maschine reguliert wird.

- **Brustpressmaschine**

Ausgangsposition ist eine aufrechte Sitzposition wobei der Oberkörper, speziell im Bereich der Brustwirbelsäule (BWS) an der Rückenlehne angelehnt wird. Das Gesäß befinde sich während der gesamten Übung in ständigem Kontakt mit dem Sitz und darf nicht abheben. Die Schultern drücken nach unten, wobei sie gleichzeitig etwas nach hinten gezogen werden, um das Schultergelenk, während der Übungsausführung zu fixieren und zu stabilisieren. Die Hände umgreifen die Griffe, wobei hierfür die Schräggriffe und nicht die horizontalen Griffe benutzt werden sollen. In der Ausgangsposition sollten sich die Hände etwas unterhalb der Schulterhöhe befinden. Der Sitz ist dementsprechend zu adjustieren. In der Durchführung der Übung werden die Arme entgegen dem Widerstand gestreckt und im Anschluss wieder gebeugt, wobei darauf zu achten ist, dass die Beugebewegung weiterhin muskulär und nicht durch ein Gelenk kompensiert wird. Die Schultern verbleiben während der gesamten Bewegungsausführung in der neutralen, leicht nach hinten-unten gezogenen Position, wodurch die Brustmuskulatur das Groß des Arbeitsaufwandes erbringen muss.

- **Beinbeugemaschine**

Ausgangsposition ist eine aufrechte Sitzposition, wobei darauf zu achten ist, dass das Gesäß und der Lendenwirbelsäulenbereich (LWS) sich in Kontakt mit der Rückenlehne befinden. Das Knie sollte sich, in der Ausgangsposition, auf Höhe der Drehachse der Maschine befinden. Die Distanz der Rückenlehne ist dementsprechend zu adjustieren. Die Beine sollten in der Ausgangsposition auf der Auflage mit der oberen Hälfte der Ferse, bzw. dem Ansatz der Achillessehne auf der Schaumrolle aufliegen und im Kniegelenk fast endgradig gestreckt sein. Die Probandinnen sollen sich seitlich bei der Maschine an den dafür vorgesehenen Griffen anhalten, um ein Abheben des Oberkörpers und des Gesäßes während der Übungsausführung zu verhindern. In der Durchführung der Übungen werden die Beine entgegen dem Widerstand der Beinbeugemaschine maximal gebeugt, wobei mindestens ein 90° Winkel erreicht werden sollte. Wird dieser nicht erreicht gilt die Übungsbelastung als zu schwer und die Übung technisch nicht sauber genug. Im Anschluss werden die Beine wieder gestreckt. Wobei das Gewicht jedoch nicht mehr ganz abgelegt wird.

- **Lastzugmaschine**

Die Ausgangsposition ist eine aufrechte Sitzposition, wobei sich das Gesäß in ständigem Kontakt mit dem Sitz und die Wirbelsäule sich in einer neutralen Position befindet. Die Schultern sind während der Bewegungsausführung konstant leicht nach hinten und unten gezogen, um das Schultergelenk zu stabilisieren und zu fixieren, sowie um zu verhindern, dass die Zugbewegung aus der Nackenmuskulatur heraus erfolgt. Die Arme umgreifen den über dem Kopf der Probandinnen hängenden Langgriff in einer breiten Position (=Beginn der Beugung des Langgriffes). Während der Übungsausführung erhalten die Probandinnen zusätzlich die Anweisung, die Arme so entspannt wie nur möglich zu lassen, um die Übung über die große Rückenmuskulatur (M. lat. Dorsi) ausführen zu können. In der Ausgangsposition befinden sich die Arme in einem vollständig gestreckten Zustand. Während der Bewegungsausführung werden die Arme nun entgegen dem Widerstand nach unten gezogen, wobei der Langgriff vor dem Gesicht der Probandin unter Kinnhöhe heruntergezogen wird. Anschließend werden die Arme wieder in die Ausgangsposition gestreckt, wobei die Schultern die ganze Zeit nach hinten-unten gezogen werden.

- **Beinpresse**

Die Ausgangsposition ist eine leicht schräg nach hinten gelehnte Sitzposition, wobei sich

das Gesäß in ständigem Kontakt mit dem Sitz und der Rücken in Kontakt mit der Rückenlehne befindet. Die Füße werden in horizontaler Höhe, zwischen den auf der Beinpresse markierten Punkten 8 und 9, positioniert. Die Entfernung des Sitzes wird so adjustiert, sodass der Kniewinkel der Probandin mindestens 90° beträgt. Die Fußspitzen zeigen in der Ausgangsposition leicht nach außen. Während der gesamten Übungsausführung sollen die Knie leicht nach außen gedrückt werden, wobei gleichzeitig die Fersen nicht von der Kontaktfläche vor dem Sitz abheben dürfen. In der Durchführung der Bewegung werden die Beine entgegen dem Gewichtswiderstand der Maschine gestreckt, wobei die Knie jedoch nicht in eine endgradige Streckung gehen, sondern leicht gebeugt verbleiben. Im Anschluss werden die Beine wieder gebeugt, wobei das Gewicht jedoch nicht mehr ganz abgelegt wird, sondern eine Vorspannung vor der nächsten konzentrischen Bewegungsphase bleibt.

Aufwärmprogramm

Das Mobilisationsprogramm, welches an jedem Studientag zu Beginn des Trainings vor dem Aufwärmzirkel ausgeführt wird, beinhaltet generealisierte, motorisch einfache Übungen, um die Gelenke zu mobilisieren, Synovia Produktion zu erhöhen und den Körper auf die anstehenden Belastungen vorzubereiten. Begonnen wird mit Kreisbewegungen der Gelenke, wobei nach dem Prinzip von kleinen zu großen Bewegungen vorgegangen wird. Zunächst erfolgt die Mobilisation der Handgelenke sowie der Ellbogengelenke, ehe große Kreisbewegungen über die Schultergelenke ausgeführt werden. Nach den Gelenken des Schultergürtels werden Hüfte und Kniegelenk mittels Kreisbewegungen mobilisiert. Am Ende erfolgt dann die Mobilisation der Knöchel. Nachdem die Gelenke mobilisiert wurden und die Synovia Produktion angeregt wurde, erfolgen noch zwei kardiovaskuläre Übungen, um auch das Herz-Kreislaufsystem vor der Trainingseinheit geringfügig zu belasten. Insgesamt werden von jeder Mobilisationsübung und in jede Bewegungsrichtung ca. 10 Wiederholungen ausgeführt. Geringfügige Abweichungen der Wiederholungsanzahl im Rahmen des Aufwärmprogrammes sind hierbei jedoch möglich und können auch, je nach Bedarf, geringfügig abgeändert werden.

Aufbau Mobilisation

Mobilisationsteil: jeweils 10x

- 10x Handgelenke kreisen
- 10x Unterarme kreisen (Ausgangsposition = Arme seitlich komplett ausgestreckt) nach innen

- 10x Unterarme kreisen nach außen
- 10x Schulterkreisen kleine Kreise vorwärts – 10x Schulterkreisen kleine Kreise rückwärts
- 10x Schulterkreisen große Kreise vorwärts – 10x Schulterkreisen große Kreise rückwärts
- 10x Hüftkreisen einbeinig nach außen links – 10x Hüftkreisen einbeinig nach innen links
- 10x Hüftkreisen einbeinig nach außen rechts – 10x Hüftkreisen einbeinig nach außen rechts
- 10x Kniekreisen einbeinig links – 10x Kniekreisen einbeinig links (Gegenrichtung)
- 10x Kniekreisen einbeinig rechts – 10x Kniekreisen einbeinig rechts (Gegenrichtung)
- 10x Linkes Fußgelenk kreisen (stehend) – 10x Linkes Fußgelenk kreisen (stehend)

Gegenrichtung

- 10x Rechtes Fußgelenk kreisen (stehend) – 10x Rechtes Fußgelenk kreisen Gegenrichtung
- 10x Beckenkreisen nach links (beidbeiniger Stand) – 10x Beckenkreisen nach rechts

(beidbeiniger Stand)

- 20x Jumping- Jacks
- 20x High- Knees

Ablauf Studientag 1:

Am ersten Studientag erfolgt die Feststellung der Tauglichkeit, um an der Studie teilnehmen zu können. Nach der Vorstellung der Studie seitens der Studienleitung und der Erklärung des allgemeinen Prozederes an den jeweiligen Studientagen, erfolgt die Beantwortung eines Fragebogens. Hierbei werden diverse Kriterien abgefragt, die zum Ausschluss aus der Studie führen können (siehe Einschlusskriterien). Wird der Fragebogen zufriedenstellend beantwortet, erfolgt der zweite Schritt. Es erfolgt eine Untersuchung mittels Elektrokardiogramm (EKG), um eventuelle Herzfehler auszuschließen, die in Kombination mit der sportlichen Tätigkeit gesundheitsgefährdend sein könnten. Im Anschluss an das EKG erfolgt die Messung der Körperkomposition mittels BIA (bioelektrischer Impedanzanalyse). Hierbei wird Strom durch den Körper geleitet. Mittels des Zellwiderstandes, der je nach Zelltypus und Qualität der Zellmembran verschieden ist, können dadurch Rückschlüsse auf die Körperzusammensetzung (Prozentueller Anteil Fettgewebe, Muskelmasse, Organmasse, etc.) gewonnen werden. Im Anschluss werden der potenziellen Probandin die 5 Übungen, die während der Studie in einem Zirkel absolviert werden, näher erklärt. Dabei wird der Schwerpunkt vor allem auf das Erlernen der richtigen Technik gelegt. Zunächst werden der Probandin alle fünf Geräte vorgestellt und es werden für jedes Gerät die optimalen Körperpositionen gesucht. Im Anschluss erfolgt dann ein Zirkel mit allen fünf Übungen zur Probe. Die Belastungszeit sowie die Erholungszeit entsprechen dabei den

Zeiträumen, wie sie auch während der Studie stattfinden werden (40 Sekunden Belastung, 10 Sekunden Pause).

Im Anschluss an das Einführungstraining wird mit der potenziellen Probandin noch ein zweiter Termin für den 2. Studientag vereinbart.

Ablauf Studientag 2:

Da die Probandin am zweiten Studientag nüchtern zur Untersuchung erscheinen sollte, darf die letzte Mahlzeit maximal 12 Stunden vor Beginn des Studientages eingenommen werden. In der Früh des Studientages sollen maximal 0,5l Leitungswasser getrunken werden. Ebenso dürfen am Vortag kein Alkohol, Nahrungsergänzungsmittel oder Medikamente konsumiert werden. Auch soll, nach Möglichkeit, am Vortag keine sportliche Aktivität stattgefunden haben, da diese die Blutwerte verfälschen könnte. Die Gesamtdauer des Studientages beträgt ca. 60 Minuten.

Zu Beginn des zweiten Studientages erfolgt eine Blutabnahme (20ml). Das Blut wird labortechnisch untersucht, um allfällige Mängel oder Problematiken auszuschließen. Nach der Blutabnahme erfolgt die Testung der Maximalkraft der Probandin an den, am ersten Studientag, vorgestellten Trainingsgeräten. Die Maximalkraft wird mittels 5RM-Test ermittelt. Es wird also versucht, ein Trainingsgewicht zu finden, welches die Probandin noch technisch sauber 5x bewegen kann. Die Testung der Maximalkraft an den Trainingsgeräten findet, wie folgt, statt:

Zunächst nimmt die Probandin die, am ersten Studientag erklärte, korrekte Sitzposition ein. Anschließend führt die Probandin 10 Wiederholungen mit dem Gewicht des ersten Studientages aus, um die Bewegung wieder zu verinnerlichen. Danach erfolgt die erste Testung der Maximalkraft. Es wird ein Gewicht gesucht, von dem angenommen wird, dass die Probandinnen es fünf Mal, technisch korrekt, bewegen kann. Wurden die Wiederholungen zufriedenstellend ausgeführt, erfolgt eine einminütige Pause, in welcher sich die Probandin von der zuvor erfolgten Belastung erholen kann. Während der Pause, wird das zu bewegendes Gewicht, um ca. 1-3 Stufen (je nach Fitnesszustand) erhöht. Nach der Pause, versucht die Probandin erneut das, nun schwerere Gewicht, zu bewegen. Ist dies wieder möglich, beginnt der Zyklus von vorne. Ist die Bewegung nicht mehr technisch korrekt möglich, so ist das zuletzt bewältigte, technisch korrekte Gewicht das 5RM, also das fünf Wiederholungsmaximalgewicht. Wird zu Beginn der Testung ein zu hohes Gewicht gewählt, sodass die Probandin bereits an der Ausführung im ersten Durchgang scheitert, erfolgt ebenso eine einminütige Pause, bevor das Gewicht um eine Stufe reduziert wird, und der Zyklus beginnt von vorne. Im Optimalfall sollten hierbei 2-5 Testungsrunden benötigt werden, um das optimale 5RM zu finden.

Im Unterschied zu den restlichen Studientagen erfolgt das Training hierbei in einem Stationenbetrieb und nicht in einem Zirkel. Erst nach dem Finden des Maximalgewichts wird zur nächsten Station weitergegangen. Das Training ist beendet, sobald alle Maximalkraftwerte in den fünf Übungen ermittelt wurden.

Auf Basis der Maximalkraftwerte wird im Anschluss das Trainingsgewicht der Probandinnen während des ersten offiziellen Studientages ermittelt. Im Anschluss wird von dem potenziellen 1RM 50% des Gewichtes reduziert, um auf das Trainingsgewicht, welches die Probandinnen in den folgenden Testtagen benutzen werden, zu kommen.

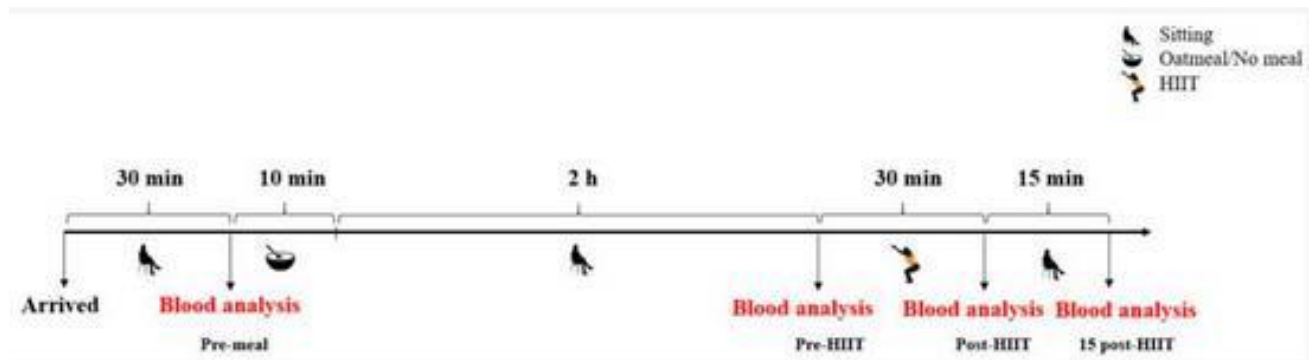
Ablauf Interventionsstudientag 1-7

Sobald die Probandinnen in die Studie eingeschlossen sind, bzw. als gesundheitlich geeignet eingestuft wurden, wird der erste offizielle Studientag vereinbart. Ebenso soll ab nun der Menstruationszyklus der Probandin mitdokumentiert werden. Die Probandinnen können sich ihre Termine immer jeweils von Montag bis Freitag um 7:00, 8:00, 9:00 Uhr, je nach Verfügbarkeit, frei wählen. Die Gesamtdauer des Studientages beträgt ca. 3 ½ Stunden. Während der laufenden Studie sollen die Probandinnen ihre täglichen Ess- und Bewegungsgewohnheiten beibehalten, um die Studie nicht zu verfälschen und möglichst wirklichkeitsnah zu sein. Zugleich soll der zeitliche Abstand zwischen den Studientagen bei ca. einer Woche liegen, um ausreichend Regeneration zwischen den einzelnen Studientagen zu gewährleisten.

Zur Vorbereitung auf den Studientag sollen die Probandinnen bereits am Tag davor auf Sport oder Alkohol, sowie auf die Einnahme von Medikamenten (Ausnahme: hormonelle Verhütungsmittel) verzichten. Am Morgen des jeweiligen Studientages ist es den Probandinnen ausschließlich erlaubt 0,5L Wasser zu trinken. Die Probandinnen werden dazu angehalten in das Forschungslabor ausschließlich mit dem Auto, zu Fuß oder dem öffentlichen Nahverkehr zu kommen, um körperliche Belastungen, wie sie etwa durch das Radfahren entstehen, zu vermeiden.

Nach der Ankunft im Labor startet die Probandin den Forschungstag mit einer 30-minütigen Ruhephase, welche sie liegend verbringen soll. Anschließend erfolgt die erste Blutabnahme, ehe sie, das zuvor randomisiert festgelegte Lebensmittel Heidelbeere oder Wasser um Essen bzw. Trinken bekommt. Nach dem Verzehr des Lebensmittels steht der Probandin eine weitere Erholung/Pausenzeit von zwei Stunden zu, in welcher sie sich in Ruhe (also ohne größere körperliche Belastung) selbstständig beschäftigen kann. Das Labor darf hierzu jedoch nicht verlassen werden. Nach der zweistündigen Ruhephase erfolgt eine zweite Blutabnahme. Im

Anschluss daran erfolgt das Krafttraining (siehe Aufbau Krafttrainingszirkel). Gleich im Anschluss erfolgt eine weitere Blutabnahme. Nach der dritten Blutabnahme hat die Probandin eine weitere 15-minütige Ruhephase, ehe eine vierte und letzte Blutabnahme erfolgt. Nach Beendigung dieser letzten Abnahme ist der Studientag für die Probandin beendet.



Am siebten und letzten Studientag erhält jede Probandin die Möglichkeit, einen, auf sie und ihre Bedürfnisse, abgestimmten Sport- und Ernährungsplan zu bekommen. Entscheidet sich die Probandin dafür, dies in Anspruch zu nehmen, erfolgen das Ernährungsgespräch, sowie die Erarbeitung des Trainingsplans zu Beginn der zweistündigen Erholungszeit der Probandin nach der Einnahme des pflanzlichen Nahrungsmittels und der zweiten Blutabnahme. Bei der Erstellung des Trainingsplanes, den die Probandin nach Abschluss der Studie selbstständig weiterführen kann, wird insbesondere darauf geachtet, beim Erproben der Übungstechniken keine zu großen Belastungsreize zu setzen, um die Blutwerte am letzten Studientag durch diese Vorbelastung nicht zu verfälschen.

Ergebnisse

Im folgenden Abschnitt dieser Masterarbeit werden die Ergebnisse der vorliegenden Studie geschildert. Beginnend mit einer statistischen Darstellung des Belastungsempfindens während der körperlichen Beanspruchung mittels Herzfrequenz und BORG-Skala (englisch „Heart rate & BORG Scale“). Hierdurch soll ein besseres Verständnis für das subjektive Belastungsgefühl und die Belastungsvariablen, denen die Probandinnen in der Studie ausgesetzt waren, ermöglicht werden. Im Anschluss erfolgt eine Auflistung des in dem HIIT-Training durchgeführten Gesamtgewichtes, sowie der detaillierteren Aufteilung in Ober- und Unterkörper. Ebenso wird das in der Studie untersuchte pflanzliche Nahrungsmittel Heidelbeere mit dem Kontrollpräparat Wasser verglichen, um einen etwaigen Unterschied in der Performance der darauffolgenden Trainingseinheit aufzuzeigen.

Im Anschluss wird die ROS- Konzentration im Vollblut näher beleuchtet. Hierzu werden in anschließenden Tabellen sowohl die ROS-Werte vor als auch nach der Belastung dargestellt und ebenfalls wieder mit dem Kontrollpräparat Wasser verglichen. Zur besseren Verdeutlichung der Messergebnisse, werden sowohl absolute Veränderungen der ROS- Werte vor und nach der Belastung als auch deren relative Veränderung näher betrachtet.

Durch die strukturierte Darstellung und detaillierte Analyse der Daten in den folgenden Abschnitten wird ein umfassendes Bild des komplexen Verhältnisses zwischen der Zufuhr spezifischer Nahrungsmittel (Heidelbeere), trainingsinduzierter Belastung und der darauffolgenden oxidativen Stressreaktionen gezeichnet.

Heart Rate & Borg Scale

Die vorliegende Analyse untersucht die Auswirkungen der Einnahme von Heidelbeeren und zugesetztem Wasser auf die Herzfrequenz (HF) und die wahrgenommene Anstrengung gemäß der BORG-Skala bei denselben Probandinnen an unterschiedlichen Tagen. Die Herzfrequenz wurde vor (HF_preHIIT) und nach (HF_postHIIT) dem High-Intensity Interval Training (HIIT) gemessen. Ebenso wurde die wahrgenommene Anstrengung vor (BORG_preHIIT) und nach (BORG_postHIIT) dem HIIT mitdokumentiert.

Die 22 Probandinnen, die an der Studie teilnahmen, zeigten nach der Einnahme von Heidelbeeren eine durchschnittliche Herzfrequenz vor dem HIIT von 83,06 Schlägen pro Minute (bpm) mit einer Standardabweichung von 12,01 bpm. Nach dem HIIT stieg die durchschnittliche Herzfrequenz auf 154,68 bpm, mit einer Standardabweichung von 16,46 bpm. Die wahrgenommene Anstrengung

vor dem HIIT lag im Durchschnitt bei 6,05 auf der BORG-Skala, mit einer Standardabweichung von 0,21. Nach dem HIIT erhöhte sich die wahrgenommene Anstrengung auf 17,07, mit einer Standardabweichung von 1,43.

An einem anderen Studientag erhielten dieselben Probandinnen vor dem HIIT-Training Wasser. Unter dieser Testbedingung betrug die durchschnittliche Herzfrequenz vor dem HIIT 83,78 bpm, mit einer Standardabweichung von 12,41 bpm. Nach dem HIIT stieg die durchschnittliche Herzfrequenz auf 153,95 bpm, mit einer Standardabweichung von 17,35 bpm. Die wahrgenommene Anstrengung vor dem HIIT lag auch hier bei 6,05 auf der BORG-Skala, mit einer Standardabweichung von 0,21. Nach dem HIIT erhöhte sich die wahrgenommene Anstrengung auf 16,77, mit einer Standardabweichung von 1,52.

Insgesamt betrachtet, also kombiniert für beide Interventionstage, lag die durchschnittliche Herzfrequenz vor dem HIIT-Training (HF_preHIIT) bei 83,42 Schlägen pro Minute mit einer Standardabweichung von 12,07. Nach dem HIIT-Training (HF_postHIIT) betrug die durchschnittliche Herzfrequenz 154,32 Schläge pro Minute, mit einer Standardabweichung von 16,71. Die BORG-Skala zeigte vor dem Training (BORG_preHIIT) einen Mittelwert von 6,05 mit einer Standardabweichung von 0,21 und nach dem Training (BORG_postHIIT) einen Wert von 16,92 mit einer Standardabweichung von 1,47.

Wie in der Tabelle abzulesen, konnte festgestellt werden, dass sowohl die Herzfrequenz als auch das subjektive Anstrengungsempfinden nach dem HIIT-Training signifikant höher waren. Der Unterschied der Werte zwischen den beiden Interventionstagen, „Heidelbeeren“ und „Wasser“ war dabei jedoch nicht signifikant.

Tabelle 1: Herzfrequenz und BORG-Skala

Intervention		HF_preHIIT	HF_postHIIT	BORG_preHIIT	BORG_postHIIT
Heidelbeeren	N	22	22	22	22
	Mittelwert	83,06	154,68	6,05	17,07
	Std.- Abweichung	12,01	16,46	0,21	1,43
Wasser	N	22	22	22	22
	Mittelwert	83,78	153,95	6,05	16,77
	Std.- Abweichung	12,41	17,35	0,21	1,52
Insgesamt	N	44	44	44	44
	Mittelwert	83,42	154,32	6,05	16,92

Std.- Abweichung	12,07	16,71	0,21	1,47
---------------------	-------	-------	------	------

Einfluss der Intervention auf die HIIT-Leistung (kg)

Im folgenden Abschnitt wird die unterschiedliche Leistung der Probandinnen, gemessen am umgesetzten Gewicht in kg sowohl im Oberkörper, Unterkörper, als auch im Gesamtgewicht näher beleuchtet. Hierdurch soll festgestellt werden, ob es aufgrund der vorherigen Einnahme von Wasser oder Heidelbeeren zu unterschiedlichen Ergebnissen in der Kraftleistung kam.

Die vorliegende Tabelle vergleicht die Auswirkungen der Einnahme von Heidelbeeren und Wasser auf die Leistungsfähigkeit im High-Intensity Intervall Training (HIIT) bei denselben Probandinnen an den unterschiedlichen Studientagen. Die Leistungsfähigkeit wird in bewegten Kilogramm (kg) für den Oberkörper, den Unterkörper und die Gesamtleistung pro Tag gemessen. Die Tabelle enthält die Mittelwerte und Standardabweichungen für die jeweiligen Interventionstage sowie die kombinierten Ergebnisse.

Für den Studientag „Heidelbeere“, betrug die durchschnittliche Leistung des Oberkörpers 2744,27 kg mit einer Standardabweichung von 544,90 kg. Die durchschnittliche Leistung des Unterkörpers lag bei 8879,85 kg mit einer Standardabweichung von 1624,10 kg. Die gesamte tägliche Leistung betrug im Durchschnitt 11624,13 kg mit einer Standardabweichung von 2036,09 kg.

Für den Studientag „Wasser“, betrug die durchschnittliche Oberkörperleistung 2740,39 kg mit einer Standardabweichung von 524,82 kg. Die durchschnittliche Unterkörperleistung lag bei 9374,39 kg mit einer Standardabweichung von 1969,92 kg. Die gesamte tägliche Leistung betrug im Durchschnitt 12114,77 kg an bewegter Last, mit einer Standardabweichung von 2286,15 kg.

Die kombinierten Ergebnisse beider Interventionen zeigen, dass die durchschnittliche Oberkörperleistung 2742,33 kg betrug, mit einer Standardabweichung von 528,70 kg. Die durchschnittliche Unterkörperleistung lag bei 9127,12 kg mit einer Standardabweichung von 1801,64 kg. Die gesamte tägliche Leistung betrug im Durchschnitt 11869,45 kg mit einer Standardabweichung von 2153,76 kg.

Beim Vergleich der beiden Interventionen wird deutlich, dass die Einnahme von Wasser zu einer geringfügig höheren Gesamtleistung im Vergleich zu Heidelbeeren führte. Die durchschnittliche Leistung des Unterkörpers nach dem Konsum von Wasser betrug 9374,39 kg, was höher ist als die 8879,85 kg nach dem Konsum von Heidelbeeren. Ebenso war die gesamte tägliche Leistung nach der Wasseraufnahme mit 12114,77 kg höher als die 11624,13 kg nach der Einnahme von

Heidelbeeren. Die Oberkörperleistung war in beiden Gruppen nahezu identisch, mit einem minimalen Unterschied von etwa 3,88 kg zugunsten der Heidelbeeren.

Tabelle 2: Einfluss der Intervention auf die HIIT-Leistung (kg)

Intervention		Oberkörperleistung (kg)	Unterkörperleistung (kg)	Gesamtleistung (kg)
Heidelbeeren	N	22	22	22
	Mittelwert	2744,27	8879,85	11624,13
	Std.- Abweichung	544,90	1624,10	2036,09
Wasser	N	22	22	22
	Mittelwert	2740,39	9374,39	12114,77
	Std.- Abweichung	524,82	1969,92	2286,15
Insgesamt	N	44	44	44
	Mittelwert	2742,33	9127,12	11869,45
	Std.- Abweichung	528,70	1801,64	2153,76

Die drei nachfolgenden Tabellen präsentieren die Parameterschätzungen für die Oberkörperleistung, Unterkörperleistung und die Gesamtleistung in Kilogramm. Die Regressionskoeffizienten, die Signifikanzwerte und die 95% Konfidenzintervalle werden für jede Variable angegeben. Der konstante Term repräsentiert die Basisleistung, während die Interventionen „Heidelbeeren“ und „Wasser“ deren Einfluss auf die Leistung messen.

Der Einfluss der Intervention „Heidelbeeren“ auf die Oberkörperleistung ist minimal mit einem Regressionskoeffizienten von 3,89 kg und nicht signifikant ($p = 0,98$), wie das breite Konfidenzintervall von -321,62 kg bis 329,39 kg zeigt. Die Intervention „Wasser“ wird als Referenzkategorie auf null gesetzt.

Die Intervention „Heidelbeeren“ zeigt bei der Unterkörperleistung einen negativen Regressionskoeffizienten von -494,53 kg, was jedoch nicht signifikant ist ($p = 0,37$). Das Konfidenzintervall reicht von -1593,02 kg bis 603,95 kg, was auf eine große Unsicherheit bei der Schätzung des Effekts hinweist. Auch hier wird die Intervention „Wasser“ auf null gesetzt.

Der Regressionskoeffizient für „Heidelbeeren“ beträgt für die gesamte Tagesleistung -490,65 kg und ist nicht signifikant ($p = 0,46$). Das Konfidenzintervall von -1807,83 kg bis 826,54 kg zeigt

erneut eine hohe Unsicherheit bei der Schätzung des Effekts. Die Intervention „Wasser“ dient auch hier als Referenz und wird auf null gesetzt.

Tabelle 3: Parameterschätzung Oberkörperleistung

Parameter	Regressions koeffizientB	Sig.	95% Konfidenzintervall	
			Untergrenze	Obergrenze
Konstanter Term	2740,39	<,001	2510,22	2970,55
[Intervention= Heidelbeeren]	3,89	0,98	-321,62	329,39
[Intervention= Wasser]	0 ^a	.	.	.

a. Dieser Parameter wird auf null gesetzt, da er redundant ist.

Tabelle 4: Parameterschätzung Unterkörperleistung

Parameter	Regressions koeffizientB	Sig.	95% Konfidenzintervall	
			Untergrenze	Obergrenze
Konstanter Term	9374,39	<,001	8597,64	10151,13
[Intervention= Heidelbeeren]	-494,53	0,37	-1593,02	603,95
[Intervention= Wasser]	0 ^a	.	.	.

a. Dieser Parameter wird auf null gesetzt, da er redundant ist.

Tabelle 5: Parameterschätzung Gesamtleistung

Parameter	Regressions koeffizientB	Sig.	95% Konfidenzintervall	
			Untergrenze	Obergrenze
Konstanter Term	12114,77	<,001	11183,38	13046,16
[Intervention= Heidelbeeren]	-490,65	0,46	-1807,83	826,54
[Intervention= Wasser]	0 ^a	.	.	.

a. Dieser Parameter wird auf null gesetzt, da er redundant ist.

ROS

Im nachfolgenden Abschnitt wird die Veränderung der ROS Produktion näher beleuchtet. Zunächst erfolgt die Darstellung der absoluten Werte in $\mu\text{mol} / \text{min}$ sowohl vor als auch nach der Belastung mittels Blutabnahme anhand der im Methodenteil beschriebenen Zeitintervalle. Im Anschluss daran werden noch die relativen Veränderungen in der ROS-Konzentration unmittelbar vor und nach dem Training sowie im Vergleich zu 15 Minuten nach dem Training beschrieben.

Die Tabelle stellt Statistiken für verschiedene Messungen von reaktiven Sauerstoffspezies (ROS) dar, die in dieser Studie erfasst wurden, um die Auswirkungen der Einnahme von Heidelbeeren und Wasser auf oxidative Stressmarker zu untersuchen. Diese Messungen wurden zu verschiedenen Zeitpunkten durchgeführt: vor dem High-Intensity Interval Training (HIIT) (Ausgangswert_ROS), unmittelbar vor dem HIIT (PreHIIT_ROS), direkt nach dem HIIT (PostHIIT_ROS) und 15 Minuten nach dem HIIT (15PostHIIT_ROS). Für jede Messung wurde der Mittelwert, die Standardabweichung und die Anzahl der Teilnehmer (N) angegeben.

Zum Ausgangswert, also unmittelbar vor dem Konsum der Heidelbeeren und 2h vor dem HIIT, lag der ROS-Wert am Heidelbeeren-Interventionstag bei durchschnittlich 2,39 mit einer Standardabweichung von 0,84, während am Wasser-Interventionstag ein Mittelwert von 2,22 und eine Standardabweichung von 0,70 notiert werden konnten. Der kombinierte Mittelwert für beide Gruppen betrug 2,30 mit einer Standardabweichung von 0,77.

Vor dem HIIT zeigten beide Gruppen ähnliche ROS-Werte: Am Heidelbeeren-Interventionstag wurde ein Mittelwert von 1,79 mit einer Standardabweichung von 0,52 festgestellt, während am Wasser-Interventionstag ein Mittelwert von 1,78 und eine Standardabweichung von 0,50 erreicht werden konnten. Der Gesamtmittelwert lag hier bei 1,79 mit einer Standardabweichung von 0,50.

Direkt nach dem HIIT erhöhten sich die ROS-Werte an beiden Interventionstagen: Am Heidelbeeren-Interventionstag konnte ein Mittelwert von 2,47 mit einer Standardabweichung von 0,81 erreicht werden, während am Wasser-Interventionstag ein Mittelwert von 2,37 mit einer Standardabweichung von 0,72 erreicht werden konnte. Der kombinierte Mittelwert für beide Tage lag bei 2,42, die Standardabweichung bei 0,76.

15 Minuten nach dem HIIT zeigten die ROS-Werte einen leichten Rückgang: Der Mittelwert für den Heidelbeeren-Interventionstag betrug 2,11 mit einer Standardabweichung von 0,61, und für den Wasser-Interventionstag 2,03 mit einer Standardabweichung von 0,55. Der Gesamtmittelwert für beide Tage lag bei 2,07 mit einer Standardabweichung von 0,58.

Tabelle 6: Deskriptive Statistik ROS

	Interventio n	Mittelwert	Standardabweichung	N
Ausgangswert_ROS	Heidelbeeren	2,39	0,84	22
	Wasser	2,22	0,70	22
	Gesamt	2,30	0,77	44
PreHIIT_ROS	Heidelbeeren	1,79	0,52	22
	Wasser	1,78	0,50	22
	Gesamt	1,79	0,50	44
PostHIIT_ROS	Heidelbeeren	2,47	0,81	22
	Wasser	2,37	0,72	22
	Gesamt	2,42	0,76	44
15PostHIIT_ROS	Heidelbeeren	2,11	0,61	22
	Wasser	2,03	0,55	22
	Gesamt	2,07	0,58	44

Die nachfolgende Grafik illustriert den akuten Einfluss von Heidelbeeren auf die durch HIIT (High-Intensity Interval Training) induzierte Bildung von reaktiven Sauerstoffspezies (ROS). Die ROS-Werte, gemessen in Mikromol pro Minute ($\mu\text{mol/min}$), sind für vier verschiedene Zeitpunkte (Baseline, Pre-HIIT, Post-HIIT, 15-Post-HIIT) und zwei Interventionen (Heidelbeeren und Wasser) dargestellt. Die Fehlerbalken repräsentieren dabei das 95% Konfidenzintervall, was die Streuung der Messwerte verdeutlicht.

Zu Beginn der Studientage (Ausgangswert) liegen die ROS-Werte bei der Intervention mit Heidelbeeren bei etwa 2,39 $\mu\text{mol/min}$, während sie bei der Wasser-Intervention bei etwa 2,22 $\mu\text{mol/min}$ liegen. Die relativ großen Fehlerbalken deuten auf eine hohe Variabilität der ROS-Werte in beiden Gruppen hin.

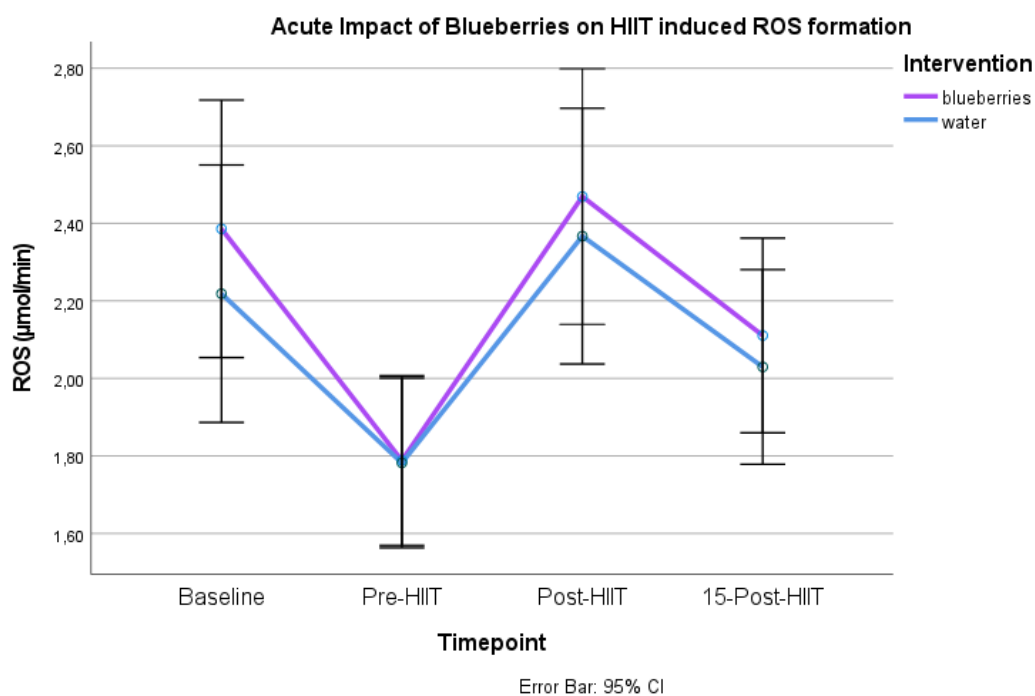
Vor dem HIIT (Pre-HIIT) sinken die ROS-Werte an beiden Interventionstagen deutlich auf ungefähr 1,79 $\mu\text{mol/min}$ für Heidelbeeren und 1,78 $\mu\text{mol/min}$ für Wasser. Die kleineren Fehlerbalken zeigen, dass die Werte in diesem Zustand weniger variabel sind, was auf eine stabilere ROS-Konzentration hinweist.

Nach dem HIIT (Post-HIIT) steigt der ROS-Wert an beiden Tagen wieder an, was den durch das intensive Training verursachten oxidativen Stress widerspiegelt. Am Heidelbeeren-

Interventionstag wird ein Wert von etwa 2,47 $\mu\text{mol}/\text{min}$ erreicht, während am Wasser-Interventionstag ein Wert von etwa 2,37 $\mu\text{mol}/\text{min}$ festgestellt wurde. Die größeren Fehlerbalken nach dem Training deuten auf eine erhöhte Variabilität der ROS-Werte hin.

15 Minuten nach dem HIIT (15-Post-HIIT) sinken die ROS-Werte erneut, wobei am Tag der Heidelbeeren Intervention bei etwa 2,11 $\mu\text{mol}/\text{min}$ und am Wasser-Interventionstag bei etwa 2,03 $\mu\text{mol}/\text{min}$ liegen. Die Fehlerbalken sind hier wieder etwas größer als bei Pre-HIIT, aber kleiner als bei Post-HIIT, was auf eine moderate Variabilität hinweist

Abbildung 1: Liniendiagramm ROS zu unterschiedlichen Zeitpunkten



Relative ROS Änderung

Die nachfolgende Tabelle zeigt die Ergebnisse einer univariaten ANOVA (Analysis of Variance) zur Untersuchung der Veränderung der reaktiven Sauerstoffspezies (ROS) zwischen den Zeitpunkten Pre-HIIT und Post-HIIT, getrennt nach den Interventionen „Heidelbeeren“ und „Wasser“. Die analysierten Parameter umfassen den konstanten Term sowie die beiden Interventionen.

Für die Intervention „Heidelbeeren“ beträgt der Regressionskoeffizient 0,10, was darauf hinweist, dass die durchschnittliche Veränderung der ROS-Werte bei Einnahme von Heidelbeeren um 0,10 höher ist als bei der Referenzgruppe (Wasser). Der p-Wert von 0,38 zeigt jedoch, dass dieser

Unterschied statistisch nicht signifikant ist. Das 95% Konfidenzintervall reicht von -0,12 bis 0,32, was bedeutet, dass der wahre Effekt der Heidelbeeren auf die Veränderung der ROS-Werte auch negativ sein könnte (d.h., eine Reduktion der ROS-Werte).

Die Intervention „Wasser“ dient als Referenzkategorie und wird daher auf null gesetzt. Das bedeutet, dass alle Veränderungen der ROS-Werte in Bezug auf diese Referenz interpretiert werden. Da sie redundant ist, wird kein zusätzlicher Koeffizient oder Signifikanzwert angegeben.

Tabelle 7: ANOVA univariat – ROS-Änderung PreHIIT vs PostHIIT

Parameter	RegressionskoeffizientB	Sig.	95% Konfidenzintervall	
			Untergrenze	Obergrenze
Konstanter Term	0,59	<,001	0,43	0,74
[Intervention= Heidelbeeren]	0,10	0,38	-0,12	0,32
[Intervention= Wasser]	0 ^a	.	.	.

a. Dieser Parameter wird auf null gesetzt, da er redundant ist.

Die Tabelle zeigt die Ergebnisse einer univariaten ANOVA zur Untersuchung der Veränderung der reaktiven Sauerstoffspezies (ROS) zwischen den Zeitpunkten Pre-HIIT und 15 Minuten nach HIIT (15-Post-HIIT). Dabei werden die beiden Interventionen „Heidelbeeren“ und „Wasser“ verglichen. Die analysierten Parameter umfassen den konstanten Term sowie die beiden Interventionen.

Für die Intervention „Heidelbeeren“ beträgt der Regressionskoeffizient 0,08, was darauf hinweist, dass die durchschnittliche Veränderung der ROS-Werte bei Einnahme von Heidelbeeren um 0,08 höher ist als bei der Referenzgruppe (Wasser). Der p-Wert von 0,32 zeigt jedoch, dass dieser Unterschied statistisch nicht signifikant ist. Das 95% Konfidenzintervall reicht von -0,08 bis 0,23, was bedeutet, dass der Effekt der Heidelbeeren auf die Veränderung der ROS-Werte auch negativ sein könnte (d.h., eine Reduktion der ROS-Werte).

Die Intervention „Wasser“ dient als Referenzkategorie und wird daher auf null gesetzt. Das bedeutet, dass alle Veränderungen der ROS-Werte in Bezug auf diese Referenz interpretiert werden. Da sie redundant ist, wird kein zusätzlicher Koeffizient oder Signifikanzwert angegeben.

Die univariate ANOVA zeigt, dass es eine signifikante durchschnittliche Veränderung der ROS-Werte zwischen Pre-HIIT und 15 Minuten nach HIIT gibt, unabhängig von der Art der Intervention. Die spezifische Intervention „Heidelbeeren“ führt zu einer leichten Erhöhung der ROS-Werte im Vergleich zu „Wasser“, dieser Unterschied ist jedoch nicht signifikant. Das bedeutet, dass Heidelbeeren im Vergleich zu Wasser keinen statistisch bedeutsamen Einfluss auf die

Veränderung der ROS-Werte im Kontext dieser Studie haben. Die ROS-Werte steigen im Durchschnitt um 0,25 Einheiten an, was eine signifikante Veränderung darstellt.

Tabelle 8: ANOVA univariat – ROS-Änderung PreHIIT vs 15PostHIIT

Parameter	Regressions koeffizientB	Sig.	95% Konfidenzintervall	
			Untergrenze	Obergrenze
Konstanter Term	0,25	<,001	0,14	0,36
[Intervention= Heidelbeeren]	0,08	0,32	-0,08	0,23
[Intervention= Wasser]	0 ^a	.	.	.

a. Dieser Parameter wird auf null gesetzt, da er redundant ist.

Diskussion

Die Fragestellung dieser Masterarbeit lautet: „Welchen Einfluss hat der Konsum des pflanzlichen Lebensmittels Heidelbeere auf die oxidativen Stressreaktionen nach einem hochintensiven Intervalltraining bei gesunden, jungen Frauen?“. In der Untersuchung sollten, sofern vorhanden, Unterschiede in der Trainingsleistung sowie der ROS-Konzentration im Vollblut (erfasst mittels EPR) nach der Belastung analysiert werden. Da die Ernährung bei normalgesunden Frauen und in Kombination mit Sport noch ein relativ unerforschtes Gebiet in der Ernährungs- und Sportwissenschaft ist, stellt die Erforschung verschiedener Lebensmittel und deren Einfluss auf Leistungsfähigkeit und Entzündungsmarker eine hohe Relevanz dar.

Im Rahmen dieser Studie wurden verschiedene subjektive und objektive Messparameter herangezogen, um die Einflussfaktoren möglichst präzise erfassen zu können. Das subjektive Belastungsempfinden wurde unter Zuhilfenahme der BORG-Skala ermittelt. Parallel hierzu wurde mittels Pulsuhr als objektiver Parameter, die Herzfrequenz während der Belastung überwacht. Zusätzlich konnte mittels viermaliger Blutabnahme die Veränderung der Entzündungsparameter und ROS-Bildung sowohl vor als auch nach dem Konsum der Heidelbeeren sowie auch nach dem HIT-Training engmaschig überwacht werden.

In diesem Diskussionsteil werden nun die wesentlichen Befunde erläutert und im Kontext der bestehenden Literatur diskutiert. Zudem werden die Limitationen der Studie aufgezeigt und Vorschläge für zukünftige Forschungen gemacht.

Zusammenfassung der Ergebnisse

Es konnte festgestellt werden, dass sowohl die Herzfrequenz als auch das subjektive Belastungsgefühl über die BORG-Skala nach dem HIT-Training im Vergleich zu vor der Belastung signifikant erhöht waren. Diese Veränderungen waren aufgrund des Studiendesigns und der Charakteristika eines hochintensiven Trainings zu erwarten und deckten sich mit früheren Studien, welche sich insbesondere mit den physiologischen Auswirkungen eines HIT-Trainings beschäftigten (Buchheit und Laursen, 2013).

Ein signifikanter Unterschied zwischen den zwei Interventionstagen Wasser und Heidelbeeren konnte jedoch nicht festgestellt werden. Betrachtet man die „Performance“ gemessen in bewegten Kilogramm so fällt auf, dass die Standardabweichungen an dem Interventionstag „Wasser“ höher waren als am Interventionstag „Heidelbeere“. Dies könnte darauf hinweisen, dass die Probandinnen in einem unterschiedlich hohen Ausmaß auf die Wasserintervention reagiert,

während die Reaktionen auf Heidelbeeren interpersonell konsistenter waren. Dies könnte darauf zurückzuführen sein, dass Heidelbeeren durch ihre antioxidativen Eigenschaften möglicherweise eine stabilisierende Wirkung auf die individuelle Leistungsfähigkeit ausüben (McLeay et al., 2012). Betrachtet man die Gesamtleistung, so lässt sich sagen, dass nach dem Heidelbeerkonsum im Mittel +3,87kg mehr Last im Oberkörper bewegt werden konnten. Dieser Unterschied war statistisch allerdings nicht signifikant ($p > 0,05$). In vergleichbaren Studien, welche sich unter anderem mit der Einnahme von Sauerkirschsaft und schwarzen Johannisbeeren beschäftigten, konnten ähnliche Ergebnisse beobachtet werden. (Connolly et al., 2006)

In der ROS-Konzentration im Blut konnte erwartungsgemäß unmittelbar nach der Belastung (Post-HIIT), sowie nach der 15minütigen Ruhephase (15Post-HIIT) ein Anstieg im Vergleich zu vor der Belastung verzeichnet werden. Zu beachten gilt hierbei, dass die ROS-Konzentration nach der 15-minütigen Ruhephase zwar im Vergleich zu unmittelbar vor der Belastung erhöht, jedoch wieder bereits auf ähnlichem Niveau wie zu Beginn des Messtages war. Interessanterweise war die ROS-Konzentration am Interventionstag „Heidelbeere“ im Allgemeinen höher als am Interventionstag „Wasser“. Zu erwähnen sei hier allerdings, dass die ROS-Konzentration bereits zu Beginn des Studientages (also bereits vor dem Konsum der Heidelbeere, erhöht war. Unmittelbar vor der Belastung näherten die Werte sich einander wieder an. Nach dem Heidelbeerkonsum kam es zu einem leicht erhöhten Anstieg ($+0,096 \mu\text{mol/min}$) im Vergleich zu Wasser im Zeitraum unmittelbar vor dem Training (Pre-HIIT) bis unmittelbar nach dem Training (Post-HIIT) – diese Beobachtung war allerdings nicht signifikant ($0,384 > 0,05$). Der enge, nicht signifikante Rahmen, in dem sie die Ergebnisse bewegten, macht deutlich, dass weitere Untersuchungen in diesem Bereich erforderlich sind um zukünftige Ergebnisse und Schlussfolgerungen eindeutig treffen zu können.

Vergleich mit vorhandener Literatur

Die vorliegenden Ergebnisse zeigen, dass Heidelbeeren, ähnlich wie andere flavonoidreiche Lebensmittel den oxidativen Stress bei körperlicher Belastung reduzieren können. In der Studie von McAnulty et al. (2011) konnte beispielsweise die positive Wirkung von Quercetin, einem Flavonoid, nachgewiesen werden. Quercetin kommt ebenfalls in Heidelbeeren vor und reduziert Schäden, welche durch im Sport freigesetzte freie Radikale, verursacht werden.

Ähnliche Beobachtungen konnten auch in der weiter oben bereits erwähnten Studie von Connolly et al. (2006) gemacht werden, welche sich mit den Auswirkungen von Sauerkirschsaft auf die Symptome bei Muskelschäden nach einem intensiven Training beschäftigte. Dort konnte gezeigt

werden, dass flavonoidreiche Lebensmittel wie Kirschen trainingsinduzierten oxidativen Stress reduzieren können.

In einer Untersuchung von McLeay et al. (2012), konnte nachgewiesen werden, dass der Konsum von Heidelbeeren die Erholung von muskulären Schäden nach einem exzentrischen Krafttraining beschleunigen kann. In der hier durchgeführten Studie konnte eine leichte, jedoch nicht signifikante Leistungssteigerung um 3,87kg verzeichnet werden. Dies ist ein Aspekt der in zukünftigen Studien, welche sich mit dem Heidelbeerkonsum befassen, weiter erforscht werden sollte, um insbesondere auch die langfristige Einnahme von Heidelbeeren und deren Effekte auf die Erholungsfähigkeit näher zu erforschen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die vorliegende Arbeit, ähnliche wenn auch leicht abweichende Ergebnisse zu der bereits bestehenden Literatur zum Thema Wirkung antioxidativer Substanzen auf trainingsinduzierte Stressreaktionen aufzeigen konnte. In früheren Studien, welche sich mit flavonoidreichen Lebensmitteln beschäftigten, konnten positive Effekte auf die Reduktion von oxidativem Stress und eine Verbesserung der Erholungszeit nachgewiesen werden. In der hier durchgeführten Untersuchung konnten ebenfalls geringfügige, jedoch nicht signifikante Veränderungen festgestellt werden. Der geringfügige Unterschied zwischen den Interventionstagen in Bezug auf die ROS-Konzentration legt nahe, dass Heidelbeeren eine potenziell stabilisierende Wirkung auf die Leistungsfähigkeit haben könnten. Allerdings sind weitere Untersuchungen, welche beispielsweise mehr Studienteilnehmer oder die doppelte Menge an Heidelbeeren beinhalten, hierzu notwendig, um diese Aussage validieren zu können.

Limitationen

Besonders die sorgfältige Auswahl der Probandinnen im Anamneseverfahren, sowie die saubere Durchführung der Testungen und die strikte Einhaltung des Studienprotokolls sind an dieser Stelle hervorzuheben. Jedoch weist die durchgeführte Studie auch einige Limitationen auf, welche an dieser Stelle berücksichtigt werden müssen.

Um ein klares Ergebnis der Messdaten erhalten zu können und einen genauen und spezifischen Einblick in eine ganz bestimmte Bevölkerungsgruppe bekommen zu können, wurde die Gruppe der möglichen Probandinnen auf ein relativ kleines Kollektiv reduziert. Die Übertragbarkeit auf die generalisierte Bevölkerung ist daher fraglich, da viele Bevölkerungsgruppen wie ältere oder jüngere Personen, Männer, Menschen mit Beeinträchtigungen oder Vorerkrankungen nicht berücksichtigt werden konnten.

Die geringe Stichprobengröße von 22 Probandinnen schränkt ebenso die Aussagekraft der Studie maßgeblich ein. Um aussagekräftige und repräsentative Daten erhalten zu können, könnten im Kontext dieser ernährungswissenschaftlichen Thematik größere Stichproben erforderlich sein.

Auf die alltägliche Ernährung der Probandinnen konnte im Rahmen dieser Studie nur begrenzt eingegangen werden. Es wurde den Probandinnen aufgetragen im Zeitraum der Studie auf Medikamente, Alkohol, sowie andere sportliche Aktivität speziell 24h vor dem Studientag, zu verzichten. Da sich die alltäglichen Ernährungsgewohnheiten der Probandinnen voneinander unterscheiden können, könnten speziell durch die Aufnahme unterschiedlicher Mikronährstoffe die Ergebnisse beeinflusst worden sein. Für zukünftige Forschungen in diesem Bereich wäre unter anderem auch die Erhebung des ökonomischen Status von Relevanz, da wie bereits French et al. (2010) untersuchen konnten, Ernährung und Ernährungsverhalten stark mit der finanziellen Lage einer Person gekoppelt sind.

Literaturverzeichnis

Bedard, K. & Krause, K. (2007). The NOX Family of ROS-Generating NADPH Oxidases: Physiology and Pathophysiology. *Physiological Reviews*, 87(1), 245–313. <https://doi.org/10.1152/physrev.00044.2005>

Buchheit, M., & Laursen, P. B. (2013). High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle: Part I: cardiopulmonary emphasis. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 43(5), 313–338. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0029-x>

Connolly, D. A., McHugh, M. P., Padilla-Zakour, O. I., Carlson, L., & Sayers, S. P. (2006). Efficacy of a tart cherry juice blend in preventing the symptoms of muscle damage. *British journal of sports medicine*, 40(8), 679–683. <https://doi.org/10.1136/bjsm.2005.025429>

Dallmann, R., Viola, A., Tarokh, L., Cajochen, C. & Brown, S. A. (2012). The human circadian metabolome. *Proceedings Of The National Academy Of Sciences Of The United States Of America*, 109(7), 2625–2629. <https://doi.org/10.1073/pnas.1114410109>

De Jonge, X. J. (2003). Effects of the Menstrual Cycle on Exercise Performance. *Sports Medicine*, 33(11), 833–851. <https://doi.org/10.2165/00007256-200333110-00004>

Die maximale Herzfrequenz. (o. D.). <https://www.germanjournalsportsmedicine.com/archive/archive-2010/heft-12/die-maximale-herzfrequenz/>

Dröse, S. & Brandt, U. (2012). Molecular Mechanisms of Superoxide Production by the Mitochondrial Respiratory Chain. In *Advances in Experimental Medicine and Biology* (S. 145–169). https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3573-0_6

Duncombe, S. L., Barker, A. R., Price, L., Walker, J. L., Liu, Y., Paris, D., & Stylianou, M. (2023). Making a HIIT: co-design of high-intensity interval training workouts with students & teachers within the curriculum. *BMC public health*, 23(1), 1795. <https://doi.org/10.1186/s12889-023-16613-8>

French, S. A., Wall, M., & Mitchell, N. R. (2010). Household income differences in food sources and food items purchased. *The international journal of behavioral nutrition and physical activity*, 7, 77. <https://doi.org/10.1186/1479-5868-7-77>

Harper, J., O'Donnell, E., Khorashad, B. S., McDermott, H. & Witcomb, G. L. (2021). How does hormone transition in transgender women change body composition, muscle strength and haemoglobin? Systematic review with a focus on the implications for sport participation. *British Journal of Sports Medicine*, 55(15), 865–872. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2020-103106>

Harrison, R. (2004). Physiological Roles of Xanthine Oxidoreductase. *Drug Metabolism Reviews*, 36(2), 363–375. <https://doi.org/10.1081/dmr-120037569>

Hassan, H. M., & Fridovich, I. (1981). Chemistry and biochemistry of superoxide dismutases. *European journal of rheumatology and inflammation*, 4(2), 160–172.

Krishna, P., Pandey, G., Thomas, R., & Parks, S. (2023). Improving Blueberry Fruit Nutritional Quality through Physiological and Genetic Interventions: A Review of Current Research and Future Directions. *Antioxidants (Basel, Switzerland)*, 12(4), 810. <https://doi.org/10.3390/antiox12040810>

Lemmer, J. T., Ivey, F. M., Ryan, A. S., Martel, G. F., Hurlbut, D. E., Metter, J., Fozard, J. L., Fleg, J. L. & Hurley, B. F. (2001). Effect of strength training on resting metabolic rate and

physical activity: age and gender comparisons. *Medicine And Science in Sports And Exercise*, 532–541. <https://doi.org/10.1097/00005768-200104000-00005>

Liu R. H. (2003). Health benefits of fruit and vegetables are from additive and synergistic combinations of phytochemicals. *The American journal of clinical nutrition*, 78(3 Suppl), 517S–520S. <https://doi.org/10.1093/ajcn/78.3.517S>

Lushchak, V. I., & Storey, K. B. (2021). Oxidative stress concept updated: Definitions, classifications, and regulatory pathways implicated. *EXCLI journal*, 20, 956–967. <https://doi.org/10.17179/excli2021-3596>

McAnulty, L. S., Nieman, D. C., Dumke, C. L., Shooter, L. A., Henson, D. A., Utter, A. C., Milne, G., & McAnulty, S. R. (2011). Effect of blueberry ingestion on natural killer cell counts, oxidative stress, and inflammation prior to and after 2.5 h of running. *Applied physiology, nutrition, and metabolism = Physiologie appliquee, nutrition et metabolisme*, 36(6), 976–984. <https://doi.org/10.1139/h11-120>

McLeay, Y., Barnes, M. J., Mundel, T., Hurst, S. M., Hurst, R. D., & Stannard, S. R. (2012). Effect of New Zealand blueberry consumption on recovery from eccentric exercise-induced muscle damage. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 9(1), 19. <https://doi.org/10.1186/1550-2783-9-19>

Nguyen, G. T., Green, E. R. & Mecsas, J. (2017). Neutrophils to the ROScue: Mechanisms of NADPH Oxidase Activation and Bacterial Resistance. *Frontiers in Cellular And Infection Microbiology*, 7. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2017.00373>

Peake, J. M., Suzuki, K., Wilson, G., Hordern, M. D., Nosaka, K., Mackinnon, L. T. & Coombes, J. S. (2005). Exercise-Induced Muscle Damage, Plasma Cytokines, and Markers of Neutrophil Activation. *Medicine And Science in Sports And Exercise*, 37(5), 737–745. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000161804.05399.3b>

Powers, S. K. & Jackson, M. J. (2008). Exercise-Induced Oxidative stress: cellular mechanisms and impact on muscle force production. *Physiological Reviews*, 88(4), 1243–1276. <https://doi.org/10.1152/physrev.00031.2007>

Reczek, C. R. & Chandel, N. S. (2015). ROS-dependent signal transduction. *Current Opinion in Cell Biology*, 33, 8–13. <https://doi.org/10.1016/j.ceb.2014.09.010>

Reid, M. B., & Durham, W. J. (2002). Generation of reactive oxygen and nitrogen species in contracting skeletal muscle: potential impact on aging. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 959, 108–116. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2002.tb02087.x>

Reuter, S., Gupta, S. C., Chaturvedi, M. M. & Aggarwal, B. B. (2010). Oxidative stress, inflammation, and cancer: How are they linked? *Free Radical Biology And Medicine*, 49(11), 1603–1616. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2010.09.006>

Reynolds, A., Mann, J., Cummings, J. H., Winter, N., Mete, E. & Morenga, L. T. (2019). Carbohydrate quality and human health: a series of systematic reviews and meta-analyses. *Lancet*, 393(10170), 434–445. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(18\)31809-9](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(18)31809-9)

Simon, H., Haj-Yehia, A. & Levi-Schaffer, F. (2000). Role of reactive oxygen species (ROS) in apoptosis induction. *Apoptosis*, 5(5), 415–418. <https://doi.org/10.1023/a:1009616228304>

Simopoulos A. P. (2002). The importance of the ratio of omega-6/omega-3 essential fatty acids. *Biomedicine & pharmacotherapy = Biomedecine & pharmacotherapie*, 56(8), 365–379. [https://doi.org/10.1016/s0753-3322\(02\)00253-6](https://doi.org/10.1016/s0753-3322(02)00253-6)

Stadtman, E. R. & Berlett, B. S. (1998). Reactive Oxygen-Mediated Protein Oxidation in Aging and Disease. *Drug Metabolism Reviews*, 30(2), 225–243.
<https://doi.org/10.3109/03602539808996310>

Stoklasová A. (1989). Defence against the toxic action of oxygen. *Sbornik vedeckych prací Lekarske fakulty Karlovy university v Hradci Kralove*, 32(1), 157–168.

Valko, M., Leibfritz, D., Moncól, J., Cronin, M. T., Mazúr, M. & Telser, J. (2007). Free radicals and antioxidants in normal physiological functions and human disease. *The International Journal Of Biochemistry & Cell Biology*, 39(1), 44–84.
<https://doi.org/10.1016/j.biocel.2006.07.001>

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Herzfrequenz und BORG-Skala	27
Tabelle 2: Einfluss der Intervention auf die HIIT-Leistung (kg)	29
Tabelle 3: Parameterschätzung Oberkörperleistung	30
Tabelle 4: Parameterschätzung Unterkörperleistung	30
Tabelle 5: Parameterschätzung Gesamtleistung	30
Tabelle 6: Deskriptive Statistik ROS	32
Tabelle 7: ANOVA univariat – ROS-Änderung PreHIIT vs PostHIIT	34
Tabelle 8: ANOVA univariat – ROS-Änderung PreHIIT vs 15PostHIIT	35

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Liniendiagramm ROS zu unterschiedlichen Zeitpunkten	33
--	----