

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Fakultät Life Science

Analyse des Nährstoffbedarfs weiblicher Athletinnen im leistungsorientierten Ausdauersport

Bachelorarbeit

Im Studiengang Ökotrophologie

vorgelegt von

Vanessa Kopf

Erstgutachterin: Prof. Anja Carlsohn (HAW Hamburg)

Zweitgutachterin: Prof. Dr. Nina Riedel (HAW Hamburg)

Inhalt

Zusammenfassung/Abstract.....	4
1 Einführung.....	5
1.1 Problemstellung und Relevanz.....	5
1.2 Ziel der Arbeit.....	6
2 Theoretischer Hintergrund	8
2.1 Grundlagen der Sporternährung – Nährstoffzufuhr	8
2.1.1 Kohlenhydrate.....	8
2.1.2 Proteine	11
2.1.3 Fette.....	14
2.1.4 Vitamine	15
2.1.5 Mineralstoffe.....	17
2.1.6 Hydratation.....	19
2.2 Die weibliche Athletin - geschlechterspezifische Aspekte	20
2.2.1 Zyklusphasen und hormonelle Marker	20
2.2.2 Female Athlete Triad & RED-S	22
3 Methode.....	27
4 Ergebnisse	29
4.1 Kohlenhydrat-Interventionen.....	29
4.2 Protein-Interventionen	34
4.3 Fett-Interventionen.....	38
4.4 Mikronährstoffe	40
5 Diskussion	43
5.1 Kohlenhydrat-Interventionen.....	43
5.2 Protein-Interventionen	44
5.3 Fett-Interventionen.....	45
5.4 Mikronährstoffe	46
6 Schluss	48
7 Literatur.....	51

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abb. 1 <i>Der weibliche Menstruationszyklus</i>	20
Abb. 2 <i>Flussdiagramm zur Veranschaulichung der Suche und Auswahl veröffentlichter Artikel unter Anwendung der Ein- und Ausschlusskriterien.</i>	28
Tabelle 1 <i>Studien, die die Auswirkungen von kohlenhydratbasierten Interventionen auf die sportliche Leistung bei menstruierenden Frauen untersuchen.</i>	31
Tabelle 2 <i>Studien, die die Auswirkungen von proteinbasierten Interventionen auf die sportliche Leistung bei menstruierenden Frauen untersuchen.</i>	36
Tabelle 3 <i>Studien, die die Auswirkungen von fettbasierten Interventionen auf die sportliche Leistung bei menstruierenden Frauen untersuchen.</i>	39

Zusammenfassung/Abstract

Hintergrund: Der Menstruationszyklus (MZ) führt zu hormonellen Schwankungen, die nicht nur das Wohlbefinden, sondern auch die Ernährungsbedürfnisse und die sportliche Leistungsfähigkeit von Frauen beeinflussen können. Bisherige Studien zu Ernährungsinterventionen in Bezug auf den MZ sind begrenzt und zeigen uneinheitliche Ergebnisse. **Ziel:** Diese Literaturübersicht zielt darauf ab, die Effekte von Ernährungsinterventionen auf die sportliche Leistungsfähigkeit von Frauen während verschiedener Phasen des Menstruationszyklus zu analysieren und evidenzbasierte Empfehlungen zu geben. **Methoden:** Eine systematische Literaturrecherche wurde durchgeführt, um Studien zu identifizieren, die Ernährungsinterventionen in verschiedenen Phasen des Menstruationszyklus untersuchten. Berücksichtigt wurden Studien, die spezifische Makro- und Mikronährstoffinterventionen durchführten. Die Daten wurden in Bezug auf Kohlenhydrat-, Protein- und Fettinterventionen sowie auf Mikronährstoffzufuhr analysiert. Die Qualität der Studien wurde anhand etablierter Kriterien bewertet. **Ergebnisse:** Von 57 relevanten Publikationen erfüllten 13 Studien die Einschlusskriterien. Die Ergebnisse zeigten, dass kohlenhydratreiche Diäten in der späten Follikelphase die Glykogenresynthese signifikant verbesserten, während proteinreiche Diäten während der Lutealphase positive Effekte auf die Regeneration hatten. Fettbasierte Interventionen hatten hingegen nur geringe Auswirkungen auf die sportliche Leistungsfähigkeit. Die Zufuhr von Mikronährstoffen wie Eisen und Vitamin D zeigte eine Verbesserung der Ausdauer und der Muskelkraft, insbesondere bei Athletinnen mit Mangelsymptomen. **Schlussfolgerung:** Ernährungsinterventionen können die sportliche Leistung in verschiedenen Phasen des Menstruationszyklus positiv beeinflussen, insbesondere durch eine angepasste Kohlenhydrat- und Proteinzufuhr. Es wird empfohlen, individuelle Ernährungsstrategien zu entwickeln, die die zyklusbedingten Schwankungen berücksichtigen, um die sportliche Leistung und die Regeneration zu optimieren.

Background: The menstrual cycle (MC) leads to hormonal fluctuations that can affect not only well-being but also nutritional needs and athletic performance in women. Previous studies on nutritional interventions related to the MC are limited and show inconsistent results. **Objective:** This literature review aims to analyze the effects of nutritional interventions on athletic performance in women during different phases of the menstrual cycle and provide evidence-based recommendations. **Methods:** A systematic literature search was conducted to identify studies that examined nutritional interventions in various phases of the menstrual cycle. Studies involving specific macronutrient and micronutrient interventions were included. Data were analyzed in terms of carbohydrate, protein, and fat interventions, as well as micronutrient intake. The quality of the studies was assessed based on established criteria. **Results:** Of 57 relevant publications, 13 studies met the inclusion criteria. The results showed that carbohydrate-rich diets in the late follicular phase significantly improved

glycogen resynthesis, while protein-rich diets during the luteal phase had positive effects on recovery. Fat-based interventions had minimal effects on athletic performance. The intake of micronutrients, such as iron and vitamin D, showed improvements in endurance and muscle strength, particularly in athletes with deficiency symptoms. **Conclusion:** Nutritional interventions can positively influence athletic performance during various phases of the menstrual cycle, particularly through adjusted carbohydrate and protein intake. It is recommended to develop individualized nutritional strategies that take cycle-related fluctuations into account to optimize performance and recovery.

1 Einführung

1.1 Problemstellung und Relevanz

In der sportwissenschaftlichen Forschung werden der Menstruationszyklus und seine Auswirkungen auf das Wohlbefinden, die Ernährung und die sportliche Leistung von Frauen größtenteils vernachlässigt. Wissenschaftlichen Studien basieren überwiegend auf Daten von Männern, was zur Folge hat, dass die spezifischen Bedürfnisse und Herausforderungen von Frauen, insbesondere im leistungsorientierten Sport, unterrepräsentiert bleiben. Dies führt dazu, dass viele Athletinnen ihre individuelle Leistungsfähigkeit sowie die zyklusbedingten körperlichen Veränderungen nur unzureichend verstehen oder berücksichtigen, obwohl diese Aspekte entscheidend für den langfristigen Erfolg im Sport sind.

Der weibliche Zyklus bringt hormonelle Schwankungen mit sich, die nicht nur das physische Wohlbefinden beeinflussen, sondern auch erhebliche Auswirkungen auf die sportliche Leistungsfähigkeit, die Regenerationsfähigkeit und die Ernährungsbedürfnisse haben können. In Hochleistungssportarten, in denen marginale Unterschiede den Unterschied zwischen Sieg und Niederlage ausmachen, kann ein fehlendes Verständnis dieser zyklusbedingten Schwankungen die Performance einer Athletin negativ beeinflussen. Trotz dieser offensichtlichen Unterschiede gibt es noch immer viele Unklarheiten darüber, wie genau der Zyklus die sportliche Leistung und die Ernährung beeinflusst und welche Anpassungen vorgenommen werden sollten, um die Athletin optimal zu unterstützen. Im leistungsorientierten Sport, in dem eine präzise Planung und periodisierte Trainingsgestaltung essenziell sind, wird häufig ein „One-Size-Fits-All“-Ansatz verfolgt, der zyklusbedingte Schwankungen bei Frauen ignoriert. Dies führt dazu, dass viele Athletinnen während bestimmter Zyklusphasen mit Leistungseinbußen, erhöhtem Verletzungsrisiko und Regenerationsproblemen kämpfen, die durch individuelle Anpassungen möglicherweise vermeidbar wären. Ein tieferes Verständnis der zyklischen Veränderungen könnte es Athletinnen und TrainerInnen ermöglichen, Trainingspläne zu entwickeln, die auf den spezifischen Bedürfnissen des weiblichen Körpers basieren. Beispielsweise könnte in der Follikelphase, in der höhere Östrogenspiegel zu besseren Anpassungen an das Training führen, eine stärkere Betonung auf

leistungsorientierte Trainingseinheiten gelegt werden. In der Lutealphase hingegen, in der das Verletzungsrisiko durch veränderte hormonelle Bedingungen erhöht sein kann, könnten Regenerations- und Technikphasen stärker betont werden. Zusätzlich ist die Rolle der Ernährung im leistungsorientierten Sport entscheidend, da der weibliche Zyklus Einfluss auf den Stoffwechsel und den Energiebedarf hat. Studien zeigen, dass zyklusbedingte Schwankungen in den Hormonen Östrogen und Progesteron den Energieverbrauch, die Fettspeicherung und den Kohlenhydratstoffwechsel beeinflussen können. Dennoch fehlen in der Sporternährung häufig Empfehlungen, die auf diese speziellen Anforderungen eingehen. Athletinnen, die ihre Ernährung nicht an diese Veränderungen anpassen, könnten durch suboptimale Energiezufuhr oder unausgewogene Nährstoffzufuhr Leistungseinbußen erleiden oder gesundheitliche Probleme riskieren, wie zum Beispiel Symptome des „Female Athlete Triad“. Eine zyklusspezifische Anpassung der Ernährung könnte Athletinnen helfen, nicht nur ihre sportliche Leistungsfähigkeit zu steigern, sondern auch langfristige gesundheitliche Probleme zu vermeiden. Ein zyklusorientiertes Training und eine angepasste Ernährungsstrategie könnten somit die sportliche Performance von Frauen erheblich verbessern, ihre Regenerationsfähigkeit steigern und gleichzeitig das Risiko von Verletzungen und Übertraining reduzieren. Im Kontext des Hochleistungssports, in dem Athletinnen oft an die Grenzen ihrer körperlichen Fähigkeiten gehen, ist eine solche individuelle Herangehensweise entscheidend, um das volle Potenzial auszuschöpfen.

Es lässt sich folglich feststellen, dass es in der sportwissenschaftlichen Forschung nach wie vor eine Lücke hinsichtlich der spezifischen Anforderungen von Frauen im leistungsorientierten Sport gibt. Die Unklarheiten über die Auswirkungen des Menstruationszyklus auf Leistung, Ernährung und Regeneration zeigen, dass weitere Untersuchungen und eine stärkere Berücksichtigung dieser Faktoren in der Trainingspraxis notwendig sind. Eine individualisierte, zyklusorientierte Herangehensweise an Training und Ernährung stellt einen vielversprechenden Ansatz dar, um die sportliche Leistungsfähigkeit von Frauen zu maximieren und gleichzeitig ihre langfristige körperliche und mentale Gesundheit zu fördern.

1.2 Ziel der Arbeit

Das übergeordnete Ziel dieser Arbeit besteht darin, einen umfassenden Überblick über den aktuellen Stand der wissenschaftlichen Forschung zur Auswirkung des Menstruationszyklus auf die sportliche Leistungsfähigkeit und die Ernährungsbedürfnisse von Frauen im leistungsorientierten Ausdauersport zu bieten. Da Frauen in der Sportwissenschaft oft unterrepräsentiert sind und der Großteil der Studien zu Trainings- und Ernährungsstrategien an männlichen Athleten durchgeführt wurde, gibt es erhebliche Wissenslücken in Bezug auf die spezifischen Bedürfnisse von Frauen. Insbesondere der Einfluss hormoneller Schwankungen im Verlauf des Menstruationszyklus auf Leistung und Ernährung ist bisher nur unzureichend erforscht.

In dieser Literaturübersicht wird daher systematisch analysiert, welche Erkenntnisse bereits in der wissenschaftlichen Literatur vorhanden sind, um ein umfassendes Bild der aktuellen Forschungslage zu zeichnen. Der Fokus liegt dabei auf Studien, die den Zusammenhang zwischen dem Menstruationszyklus, Ernährung und sportlicher Leistung untersuchen. Ein weiteres Anliegen dieser Arbeit ist es, aufzuzeigen, inwiefern der Menstruationszyklus in bestehenden Trainings- und Ernährungsansätzen berücksichtigt wird oder ob dies vernachlässigt wird. Dabei wird untersucht, welche Aspekte der Leistungsfähigkeit – sei es Kraft, Ausdauer oder Regenerationsfähigkeit – durch die hormonellen Schwankungen beeinflusst werden und ob daraus allgemeine Trends oder Muster abgeleitet werden können. Die Arbeit hat jedoch nicht das Ziel, konkrete Empfehlungen für individuelle Ernährungs- oder Trainingspläne zu formulieren. Stattdessen geht es darum, aufzuzeigen, welche wissenschaftlichen Erkenntnisse bereits vorliegen und welche Unklarheiten oder offenen Fragen es in Bezug auf die spezifischen Bedürfnisse von Athletinnen gibt. Ein zentraler Punkt der Arbeit ist es, die bisherige Forschung kritisch zu hinterfragen, insbesondere hinsichtlich der Repräsentation von Frauen in sportwissenschaftlichen Studien. Dabei soll untersucht werden, inwieweit die Erkenntnisse aus der Forschung an männlichen Athleten auf weibliche Athletinnen übertragbar sind oder ob eigene Ansätze für Frauen entwickelt werden müssen. Zusätzlich wird betrachtet, welche Rolle Ernährungsstrategien spielen und ob sie an den hormonellen Zyklus der Frau angepasst werden sollten. Es wird diskutiert, ob es Hinweise darauf gibt, dass Frauen in bestimmten Phasen des Menstruationszyklus besondere Bedürfnisse haben, die berücksichtigt werden sollten, um ihre sportliche Leistungsfähigkeit zu optimieren. Das Review wird somit auch analysieren, inwiefern wissenschaftliche Evidenz existiert, die auf eine zyklusbasierte Anpassung der Ernährung oder des Trainings hindeutet, und ob weitere Forschung in diesem Bereich notwendig ist. Letztlich soll diese Arbeit dazu beitragen, ein besseres Verständnis für die Herausforderungen und Anforderungen von Athletinnen im leistungsorientierten Sport zu schaffen und die Basis für zukünftige Forschung zu legen. Dabei werden die bestehenden Lücken in der Forschung aufgezeigt und mögliche Implikationen für die wissenschaftliche und praktische Weiterentwicklung in diesem Bereich diskutiert. Diese Arbeit richtet sich an WissenschaftlerInnen, TrainerInnen, ErnährungsberaterInnen und alle, die im Bereich des leistungsorientierten Sports tätig sind, und möchte zu einem besseren Bewusstsein für die geschlechtsspezifischen Unterschiede und Bedürfnisse von Athletinnen beitragen.

2 Theoretischer Hintergrund

2.1 Grundlagen der Sporternährung – Nährstoffzufuhr

2.1.1 Kohlenhydrate

Bedeutung im Ausdauersport

Neben einer optimalen Energiezufuhr ist die ausreichende Aufnahme von Kohlenhydraten, Proteinen und Fetten entscheidend, um das Training und die Leistung von AthletInnen zu optimieren. Besonders im Hinblick auf die sportliche Leistung ist die Notwendigkeit einer adäquaten Kohlenhydratzufuhr vor, während und nach intensiven und umfangreichen Trainingseinheiten und Wettkämpfen unumstritten. Zahlreiche Studien und Übersichtsarbeiten heben die bekannte Abhängigkeit von Kohlenhydraten hervor, die für AthletInnen, die in verschiedenen Ausdauer- und Mannschaftssportarten im leistungsorientierten Sport aktiv sind, besteht (Kerksick, et al., 2018; Amawi, et al., 2024; American College of Sport Nutrition, International Olympic Committee, & International Society for Sports Nutrition, 2013).

Eine kohlenhydratreiche Ernährung kann die Leistungsfähigkeit bei Ausdauer- und intensiven Trainingseinheiten deutlich steigern, da sie die Verfügbarkeit von externen Kohlenhydraten erhöht und die Glykogenspeicher in Muskeln und Leber auffüllt (Henselmans et al., 2022). Während des Trainings werden die körpereigenen Kohlenhydratspeicher nach und nach aufgebraucht, abhängig von der Dauer und Intensität der Belastung. Eine rasche Kohlenhydratzufuhr nach dem Training hilft, die Glykogenspeicher effizient wiederherzustellen und unterstützt die trainingsbedingten Anpassungen des Körpers. Kohlenhydrate sind von den Makronährstoffen besonders wichtig, da sie sowohl aerob als auch anaerob genutzt werden können (Podlogar & Wallis, 2022; König et al., 2020). Muskelglykogen und Blutzucker stellen dabei wesentliche Energiequellen für die Muskulatur dar. Eine angemessene Kohlenhydratzufuhr unterstützt die Regeneration und füllt die Glykogenspeicher für zukünftige Trainingseinheiten optimal auf. Der empfohlene Kohlenhydratbedarf hängt von der Intensität und dem Umfang des Trainings ab. Dabei ist es sinnvoll, komplexe Kohlenhydrate mit niedrigem bis moderatem glykämischen Index in die Ernährung zu integrieren. Bei hohem Trainingsvolumen, wo der Bedarf an Kohlenhydraten durch Nahrungsmittel schwer zu decken ist, können ergänzende, konzentrierte Kohlenhydratquellen wie Gels, Riegel oder ähnliche Supplemente hilfreich sein (Kreider et al., 2020). Der glykämische Index wird verwendet, um kohlenhydrathaltige Nahrungsmittel nach ihrer Wirkung auf den Blutzuckerspiegel im Vergleich zu Glukose oder Weißbrot zu klassifizieren (Burke et al., 2011). Seine Rolle in der Sporternährung ist jedoch umstritten, da es keine eindeutigen Empfehlungen für AthletInnen gibt. Einige Studien deuten darauf hin, dass die Aufnahme von Lebensmitteln mit niedrigem glykämischen Index vor dem Training den Stoffwechsel und die Nutzung von Substraten während der Belastung positiv beeinflussen kann

(Burke et al., 2011). Diese Effekte führen jedoch nicht immer zu einer verbesserten sportlichen Leistung. Der Einfluss des glykämischen Index auf die Vorbelastungsmahlzeit nimmt ab, wenn während des Trainings Kohlenhydrate zugeführt werden (Burke et al., 2011). Daher kann es vorteilhaft sein, vor dem Training auf Lebensmittel mit niedrigem glykämischen Index zurückzugreifen, wenn die Kohlenhydratzufuhr während der Aktivität begrenzt ist (Amawi et al., 2024).

Zufuhrempfehlungen

Die International Society of Sports Nutrition (ISSN) empfiehlt Personen, die ein allgemeines Fitnessprogramm verfolgen und keine spezifischen Leistungsziele haben, eine Makronährstoffverteilung im Rahmen einer normalen Ernährung, um den täglichen Bedarf zu decken. Diese Ernährung sollte aus 45-55 % Kohlenhydraten (3-5 g/kg KG/Tag), 15-20 % Proteinen (0,8-1,2 g/kg KG/Tag) und 25-35 % Fett (0,5-1,5 g/kg KG/Tag) bestehen. AthletInnen, die moderate bis intensive Trainingsprogramme absolvieren, benötigen jedoch größere Mengen an Kohlenhydraten und Proteinen, um ihren Makronährstoffbedarf zu decken (Kerksick, et al., 2018). Aktuelle Untersuchungen und Studien beschreiben einschlägig ein Abhängigkeitsverhältnis des Kohlenhydratbedarfs zu Trainingsumfang und -intensität und Körpergewicht. Spezifische Differenzierungen variieren je nach Literatur und sind abhängig in der darin erfolgten Einordnung in die verschiedenen Trainingsdauer- und -intensitätsbereiche. Auch das Positionspapier zum Thema "Kohlenhydrate in der Sporternährung" der Arbeitsgruppe Sporternährung der Deutschen Gesellschaft für Ernährung (DGE) weist darauf hin, dass die Entleerung der Kohlenhydratspeicher in Abhängigkeit zu Dauer und Intensität der Belastung steht und sich folglich die genaue Zufuhrmenge nach dem Körpergewicht und dem Umfang der körperlichen Aktivität richtet (König, et al., 2020).

Zusammenfassend kann eine Differenzierung der Trainingsintensität sowie der Kohlenhydratzufuhr in moderat, hoch und sehr hoch erfolgen. Eine moderate Zufuhr von 5-7 g/kg KG/Tag wird bei täglichem Training mittlerer Intensität von bis zu einer Stunde empfohlen. Wird bis zu drei Stunden täglich mit zeitweise hochintensiven Abschnitten trainiert, sollte die Kohlenhydratzufuhr auf 7-10 g/kg KG/Tag erhöht werden. Eine sehr hohe Kohlenhydratzufuhr von 10-12 g/kg KG/Tag wird bei extremen Ausdauereinheiten empfohlen, die AthletInnen anhaltende Leistung von über 3 Stunden abverlangen. Folglich kann die Kohlenhydratzufuhr bei einem*r AthletIn mit einem Körpergewicht von 70 kg täglich in Abhängigkeit von Umfang und Intensität des Trainings zwischen 350 g und 840 g variieren.

Kohlenhydratzufuhr während des Trainings

Während einer Trainingseinheit sollten mehrere Schlüsselfaktoren berücksichtigt werden. Forschungsergebnisse zeigen, dass AthletInnen bei langen Trainingseinheiten (2-3 Stunden) Kohlenhydrate mit einer Rate von 1-1,1 g pro Minute oder etwa 60 g pro Stunde oxidieren können (Cermak & van Loon, 2013). Diverse Übersichtsarbeiten empfehlen daher die Aufnahme von 0,7 g Kohlenhydraten/kg/Stunde während des Trainings in einer 6-8 %-igen Lösung (d.h. 6-8 g pro 100 ml Flüssigkeit) (Cermak & van Loon, 2013; Williams & Rollo, 2015; Burke, Wong, Hawley, & Jeukendrup, 2011; Rodriguez, et al., 2009). Es ist außerdem bekannt, dass verschiedene Arten von Kohlenhydraten in unterschiedlichen Raten in die Skelettmuskulatur aufgenommen werden, was auf die Funktion verschiedener Transportproteine zurückzuführen ist (Currell & Jeukendrup, 2008; Jeukendrup J. E., 2008; Earnest, et al., 2004; Venables, Brouns, & Jeukendrup, 2008; Jentjens & Jeukendrup, 2003). Kombinationen von Glukose und Fruktose oder Maltodextrin und Fruktose fördern höhere exogene Oxidationsraten als die Aufnahme einzelner Kohlenhydratquellen. Studien zeigen, dass ein Verhältnis von 1-1,2 Maltodextrin zu 0,8-1,0 Fruktose die höchsten Raten der Kohlenhydratoxidation während des Trainings unterstützt (Currell & Jeukendrup, 2008; Jentjens & Jeukendrup, 2003; Jeukendrup J. E., 2008; Earnest, et al., 2004; Venables, Brouns, & Jeukendrup, 2008; Achten, Jentjens, Brouns, & Jeukendrup, 2007; Jentjens, Achten, & Jeukendrup, 2004; Jeukendrup & Jentjens, 2000; Rowlands, Wallis, Shaw, Jentjens, & Jeukendrup, 2005). Zusätzlich zu den Oxidationsraten und Kohlenhydrattypen sind auch der Nüchternzustand und die Dauer der Trainingseinheit wichtige Variablen. Studien dokumentieren, dass moderate bis intensive Trainingseinheiten mindestens 90 Minuten dauern müssen, um konsistent einen ergogenen Effekt durch die Kohlenhydrataufnahme zu erzielen (Cermak & van Loon, 2013; Pöschmüller, Schwingshackl, Colombani, & Hoffmann, 2016; Colombani, Mannhart, & Mettler, 2013). Auch kürzere, intensive Trainingseinheiten von 60 bis 75 Minuten können von einer Kohlenhydratzufuhr profitieren, wobei die Wirkung wahrscheinlich auf zentrale Mechanismen zurückzuführen ist. Zudem wurde der Einfluss des nüchternen Zustands auf die leistungssteigernden Effekte untersucht, wobei fastende AthletInnen konsistentere Ergebnisse zeigten. Allerdings wird die Anwendbarkeit dieses Ansatzes für WettkampfsportlerInnen kritisch hinterfragt (Cermak & van Loon, 2013; Pöschmüller et al., 2016; Colombani et al., 2013).

Kohlenhydratquellen

Die Mehrheit der Kohlenhydrate in der Ernährung sollte aus Vollkornprodukten, Gemüse und Obst stammen. Schnell verdauliche Zucker und Stärken sowie speziell entwickelte Sporternährungsprodukte sollten für Situationen reserviert werden, in denen eine beschleunigte Glykogenresynthese erforderlich ist (Jentjens & Jeukendrup, 2003). In solchen Fällen hat die absolute Zufuhr von Kohlenhydraten (>8 g/kg/Tag oder mindestens 1,2 g/kg/Stunde in den ersten

vier Stunden nach dem Training) Vorrang vor anderen Strategien wie dem Timing oder der gleichzeitigen Aufnahme anderer Makronährstoffe (z.B. Proteine) oder Nicht-Nährstoffe (z.B. Koffein) oder der Art der Kohlenhydrate (z.B. glykämischer Index) (Kerksick, et al., 2018).

Zusammengefasst ist die Bedeutung von Kohlenhydraten in der Ernährung von AthletInnen, die eine optimale physische Leistungsfähigkeit erlangen wollen, unbestritten. Die tägliche Aufnahme ausreichender Kohlenhydratmengen ist ein grundlegender und wesentlicher Schritt für jede*n WettkampfsportlerIn. Mit zunehmender Trainingsdauer und -intensität steigt auch der Kohlenhydratbedarf, insbesondere wenn das Training auf nüchternen Magen oder bei unvollständiger Erholung begonnen wird. Nach dem Training sollten verschiedene Ernährungsstrategien angewendet werden, um die Verluste an Muskel- und Leberglykogen bestmöglich wieder aufzufüllen, besonders wenn nur eine kurze Erholungsphase zur Verfügung steht.

2.1.2 Proteine

Bedeutung im Ausdauersport

Über die Proteinzufuhr bei SportlerInnen gibt es nach wie vor unterschiedliche wissenschaftliche Standpunkte. Lange wurde davon ausgegangen, dass der Proteinbedarf von SportlerInnen deckungsgleich mit den Zufuhrempfehlungen für die Allgemeinbevölkerung sei. Diese beträgt 0,8 g/kg KG/Tag für gesunde Erwachsene im Alter von 19 bis unter 65 Jahren (König, et al., 2020). Allerdings hat die Forschung in den letzten 30 Jahren gezeigt, dass AthletInnen unter bestimmten Bedingungen von einer erhöhten Proteinzufuhr, die sich im Rahmen von bis zu 2 g/kg/Tag bewegt, profitieren können (Jäger, et al., 2017; Lemon, Tarnopolsky, MacDougall, & Atkinson, 1992; Tarnopolsky, MacDougall, & Atkinson, 1988; Tarnopolsky, 1999). Dies lässt sich insbesondere auf einen erhöhten Proteinbedarf in Phasen des Kraft- und Muskelaufbaus sowie in Fettreduktionsphasen zurückführen. Auch bei AusdauerathletInnen im Leistungssport konnte ein erhöhter Bedarf festgestellt werden, da insbesondere nach Entleerung der Kohlenhydratspeicher Aminosäuren als Energieträger zur Energiebereitstellung herangezogen werden (König, et al., 2020). Wird unter diesen Umständen über einen längeren Zeitraum nicht genügend Protein konsumiert, kann ein negativer Stickstoffhaushalt entstehen. Langfristig kann dies zu Muskelabbau, Verletzungen, Krankheiten und verminderter Leistungsfähigkeit führen (Phillips, Chevalier, & Leidy, 2016; Phillips & Van Loon, 2011; Tipton, 2015).

Zufuhrempfehlungen

Es wird empfohlen, dass AthletInnen, die moderates bis intensives Training bei einem Trainingsumfang von über 5 Stunden pro Woche liegen, 1,2–2,0 g/kg KG/Tag Protein zu sich nehmen, während bei intensivem Training 1,7–2,2 g/kg KG/Tag sinnvoll sein können (Kerksick, et

al., 2018; König, et al., 2020). Eine Metaanalyse von Morton et al. ergab, dass eine tägliche Proteinzufuhr von 1,62 g/kg KG/Tag ein idealer Ausgangspunkt sein könnte, wobei höhere Mengen keine zusätzlichen Vorteile für die Zunahme der fettfreien Masse böten (Morton, et al., 2019). Zusätzliche Orientierungswerte für die tägliche Zufuhr an isolierten verzweigt-kettigen Aminosäuren wurde durch das Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) abgeleitet, um vor potenziell gesundheitsschädlichen Auswirkungen einer sehr hohen Proteinzufuhr von ≥ 2 g/kg KG/Tag zu schützen. Diese entsprechen für Erwachsene 4,0 g Leucin/Tag, 2,2 g Isoleucin/Tag und 2,0 g Valin/Tag bzw. 8,2 g/Tag zusätzliche Gesamtmenge an isolierten verzweigt-kettigen Aminosäuren (Bundesinstitut für Risikobewertung, 2019). Ein erhöhtes Risiko für nachteilige Effekte einer hohen Proteinbelastung besteht insbesondere für Menschen mit einer vorgeschädigten Niere (Bankir, Roussel, & Bouby, 2015; Wołyniec, Kasprowicz, Rita-Tkachenko, Renke, & Ratkowski, 2019). Die Datenlage für AthletInnen mit entsprechenden Vorbelastungen ist jedoch bislang nicht ausreichend, um sichere Aussagen zu Höchstmengenempfehlungen abzugeben (König, et al., 2020).

Proteinquellen

Proteine unterscheiden sich je nach Quelle, Aminosäureprofil und Verarbeitungsmethode, was die Verfügbarkeit von Aminosäuren und Peptiden beeinflusst. Verschiedene Proteintypen wie Casein, Molke, Ei, Erbsen und Soja werden unterschiedlich schnell verdaut, was sich auf den Katabolismus und Anabolismus des Körpers und die akute Stimulation der Muskelproteinsynthese auswirken kann (Boirie, et al., 1997; Dangin, et al., 2001; Boirie, et al., 1996; Tang, Moore, Kujbida, Tarnopolsky, & Phillips, 2009; Burd, et al., 2012). Studienergebnisse zeigen, dass die Kombination von Training und Proteinzufuhr zu der Zunahme von fettfreier Masse beitragen kann (Morton, et al., 2019; Cermak, Res, de Groot, Saris, & van Loon, 2012), was darauf schließen lässt, dass nicht nur auf eine ausreichende Proteinzufuhr, sondern auch auf die Qualität des Proteins geachtet werden sollte. Jedoch konnte auch hier bisher nicht abschließend geklärt werden, welche Proteinquellen in Kombination den signifikantesten Effekt bezüglich einer Steigerung der Proteinbiosynthese erzielen (Kamei, Hatazawa, Uchitomi, Yoshimura, & Miura, 2020; Paul, 2009). Es wird empfohlen, Proteine zu konsumieren, die alle essenziellen Aminosäuren enthalten, oder Lebensmittel so zu kombinieren, dass zusammen eine vollständige Palette an Aminosäuren zur Verfügung gestellt wird. Die besten diätetischen Quellen für fettarmes, hochwertiges Protein sind helles, hautloses Huhn, Fisch, Eiweiß, sehr magere Rindfleischstücke und Magermilch, während Proteinzusätze häufig Molke, Casein, Milch und Eiprotein enthalten (Kerksick, et al., 2018). Pflanzliche Proteinquellen wurden ebenfalls hinsichtlich ihrer Fähigkeit untersucht, die Muskelproteinsynthese zu stimulieren und Anpassungen an das Training zu fördern. Vorläufige Ergebnisse deuten darauf hin, dass Reis- und Erbsenprotein ähnliche Effekte wie Molkenprotein haben könnten, obwohl weitere Forschung notwendig ist. Während Gründe dafürsprechen können, dass AthletInnen ihre Ernährung mit Proteinpulvern

ergänzen, ist dies nicht unbedingt erforderlich für eine Leistungssteigerung. Es ist vorzuziehen, dass der Großteil des täglichen Proteins aus normalen Lebensmitteln stammt (König, et al., 2020).

Timing

Der Zeitpunkt der Proteinzufuhr spielt eine wichtige Rolle für positive Trainingseffekte (Kerksick, et al., 2017; Jäger, et al., 2017; American Dietetic Association, et al., 2009). Aktuelle Empfehlungen betonen die Bedeutung des sogenannten Timings der Proteinzufuhr im Sport. Optimalerweise sollte die Proteinzufuhr innerhalb eines Zeitfensters von bis zu 2 Stunden nach der Belastung erfolgen, um die muskuläre Proteinbiosynthese zu maximieren (Manninen, 2006). Allerdings sind die Forschungsergebnisse hierzu teilweise widersprüchlich, und die Existenz eines kurzen anabolen Fensters von etwa 120 Minuten nach der Belastung wird nicht von allen WissenschaftlerInnen unterstützt. Es ist noch unklar, ob die Proteinzufuhr in den ersten 2 Stunden nach der Belastung oder erst 3 bis 4 Stunden später effektiver ist. Ebenso ist nicht ausreichend untersucht, ob Protein vor oder nach der Belastung eingenommen werden sollte (Aragon, et al., 2017; Schoenfeld & Aragon, 2018). Einige Studien bevorzugen die Proteinzufuhr nach der Belastung, während andere Studien bessere Effekte bei der Einnahme vor oder während der Belastung feststellen. Eine aktuelle Übersicht kommt zu dem Schluss, dass das Timing der Proteinzufuhr nicht zu dogmatisch betrachtet werden sollte. Entscheidend ist, dass eine Proteinzufuhr in zeitlichem Zusammenhang zur Belastung erfolgt, um die muskuläre Proteinbiosynthese zu steigern. Ob dies vor oder nach der Belastung, 1-2 Stunden danach oder später geschieht, scheint für die trainingsinduzierten Leistungsverbesserungen nicht von wesentlicher Bedeutung zu sein. Diese Sichtweise muss jedoch noch durch weitere Studien bestätigt werden (Aragon, et al., 2017). Unbestritten ist, dass mehrmals täglich (3–4 Mal) aufgrund des länger geöffneten metabolischen Fensters der Proteinbiosynthese zugeführt werden sollten sowie hauptsächlich leicht verdauliche Proteine in der Nachbelastungsphase, während langsam verdauliche Proteine wie Casein besser in der späteren Phase geeignet sind, beispielsweise vor dem Schlafengehen. So sollen auch noch Stunden nach der Belastung Aminosäuren für die muskuläre Proteinbiosynthese bereitgestellt werden. Nicht alle Studien bestätigen jedoch den physiologischen Nutzen eines sogenannten Overnight-Proteins.

Zusammenfassend bestehen nach wie vor Diskussionen über spezifische Empfehlung zu Zufuhrmengen- und Kombinationsempfehlungen von Proteinen im Sport. Potenziell förderliche Leistungseffekte können durch eine Zufuhr von 1,2-2,0 g/kg KG/Tag in Abhängigkeit von Trainingsziel, -umfang, -intensität erreicht werden. Insbesondere bei Energierestriktionen zur Erfüllung von Gewichts- oder ästhetischen Anforderungen ist es wichtig, auf eine ausreichende Proteinzufuhr sowie die Qualität und das Timing der Proteineinnahme in Kombination mit Kohlenhydraten zu achten, um die Muskelmasse, Trainingseffekte und Leistung aufrechtzuerhalten. Dabei sollte jedoch die Nierenfunktion überprüft und auf eine ausreichende Flüssigkeitszufuhr

geachtet werden. Außerdem sollten die Zusammensetzung der Proteine, die Proteinquellen, die zusätzlich zugeführten Nährstoffe und die Verdaulichkeit berücksichtigt werden.

2.1.3 Fette

Bedeutung im Ausdauersport

Die Ernährungsempfehlungen für die Fettaufnahme bei AthletInnen sind ähnlich zu denen für die Allgemeinbevölkerung, um die Gesundheit zu fördern. Je nach Trainingsstatus oder Ziel kann die empfohlene tägliche Fettmenge variieren. Wichtige Gründe für eine adäquate Fettaufnahme bei SportlerInnen sind die Aufrechterhaltung des Energiegleichgewichts, die Wiederauffüllung der intramuskulären Triglycerid-Speicher und der ausreichende Konsum essenzieller Fettsäuren. Höhere Fettanteile können helfen, den Testosteronspiegel aufrechtzuerhalten und bei Übertraining den Testosteronabfall zu mindern (Venkatraman, Teddy, & Pendergast, 2000).

Zufuhrempfehlungen

Allgemein wird empfohlen, dass AthletInnen etwa 30 % ihrer täglichen Kalorien aus Fett beziehen, wobei bei intensivem Training bis zu 50 % möglich sind. Internationale Empfehlungen haben Empfehlungen in g pro kg Körpergewicht abgeleitet.

Bei einer Fettzufuhr von bis zu 30 Energieprozent (En%) sollte die Verteilung der Fettsäuren wie folgt aussehen:

- 7-10 En% gesättigte Fettsäuren (maximal ein Drittel der Gesamtenergiezufuhr aus Fett).
- 7 En% mehrfach ungesättigte Fettsäuren (Summe aus n-3- und n-6-Fettsäuren) oder bis zu 10 En%, wenn die gesättigten Fettsäuren mehr als 10% der Gesamtenergie ausmachen.
- Einfach ungesättigte Fettsäuren sollten den Rest des Fettanteils abdecken.
- Trans-Fettsäuren sollten weniger als 1 En% ausmachen.

Die empfohlene Zufuhr für essenzielle Fettsäuren, die der Körper nicht selbst herstellen kann, beträgt für Jugendliche und Erwachsene 2,5 En% für Linolsäure (n-6) und 0,5 En% für α -Linolensäure (n-3), wobei α -Linolensäure nur in begrenztem Umfang in die langkettigen n-3-Fettsäuren Eicosapentaensäure (EPA) und Docosahexaensäure (DHA) umgewandelt werden kann (Schek, et al., 2019).

Es gibt wenig Belege für Strategien zur Körperfettreduktion und Leistungssteigerungen durch fettreiche Diäten. Ketogene Diäten, die 70-80 % der Kalorien aus Fett beziehen, haben gemischte Ergebnisse bei der Leistungssteigerung und dem Fettabbau gezeigt (Burke L. M., 2015). Auch der

Einsatz von Nahrungsergänzungsmitteln, die die Verfügbarkeit oder Oxidation von Fettsäuren erhöhen sollen, zeigt keine leistungsfördernden Effekte und wird daher nicht empfohlen (Schenk, et al., 2019). Aus diesen Gründen werden in der vorliegenden Arbeit diesbezügliche Strategien nicht näher beleuchtet.

2.1.4 Vitamine

Aufgrund des erhöhten Energieumsatzes kann angenommen werden, dass der Bedarf an bestimmten Vitaminen im Einklang mit dem steigenden Energiebedarf durch sportliche Aktivitäten im Vergleich zur mäßig körperlich aktiven Allgemeinbevölkerung steigt. Zu diesen Vitaminen gehören Thiamin (Vitamin B1), Riboflavin (Vitamin B2) und Niacin. Bei einer Ernährung, die den Energiebedarf deckt, werden diese erhöhten Vitaminbedarfe jedoch in der Regel durch die erhöhte Nahrungsaufnahme abgedeckt. Die D-A-CH-Referenzwerte für diese Vitamine basieren auf den Richtwerten für die Energiezufuhr, was bedeutet, dass der relevante Referenzwert für die Vitaminszufuhr auch bei erhöhtem Energieumsatz aufgrund sportlicher Aktivität auf diesen Werten berechnet werden kann. Daher sollten für SportlerInnen die Referenzwerte berücksichtigt werden, die auf dem Energieumsatz basieren und nicht die alters- und geschlechtsspezifischen Referenzwerte (Carlsohn, et al., 2020). Nur wenige Studien haben einen ergogenen Wert von Vitaminen für SportlerInnen gefunden (Weight, Myburgh, & Noakes, 1988; Gomes, Allgrove, Florida-James, & Stone, 2011; Fry, et al., 2006; Copley & Marrin, 2012; van der Beek, 1991). Bei einem vorliegenden Vitaminmangel kann eine Supplementierung oder Ernährungsanpassung die Gesundheit und Leistung jedoch verbessern (Williams M. H., 1989).

Antioxidantien

Körperliche Aktivität führt durch verschiedene Mechanismen zu einer erhöhten Produktion reaktiver Sauerstoff- und Stickstoffspezies (RONS), auch bekannt als freie Radikale (Powers, Nelson & Larson-Meyer, 2011). Dies bedeutet, dass SportlerInnen eine ausreichende Versorgung mit Nährstoffen mit antioxidativen Wirkungen (z. B. Vitamin C, Vitamin E, Beta-Carotin) benötigen. Aufgrund der körpereigenen antioxidativen Mechanismen ist jedoch unklar, ob die allgemeinen Ernährungsempfehlungen den Bedarf an antioxidativen Nährstoffen für SportlerInnen decken, da verschiedene Studien eine erhöhte endogene antioxidative Kapazität und eine gesteigerte Aktivität antioxidativer Enzyme (z. B. Glutathionperoxidase, Superoxiddismutase, Katalase) nachweisen konnten (Criswell et al., 1993; Powers, Nelson, & Hudson, 2011).

Untersuchungen zu Vitamin E und sportlicher Leistung zeigen, dass Vitamin E zwar kurzfristig oxidativen Stress reduzieren kann, der durch intensive körperliche Aktivität verursacht wird, jedoch die langfristigen Anpassungen des Körpers an Training negativ beeinflussen könnte. Diese Anpassungen, wie der Aufbau von Muskelmasse und die mitochondriale Biogenese, sind

entscheidend für eine nachhaltige Leistungssteigerung. Vitamin E scheint durch die Unterdrückung von RONS jene Signalwege zu blockieren, die an den positiven Anpassungsprozessen beteiligt sind. RONS werden nicht nur als schädlich angesehen, sondern spielen auch eine wichtige Rolle bei der Stimulierung von molekularen Signalwegen, die zu einer besseren Ausdauer und Muskelregeneration führen. Insbesondere im Bereich der sportlichen Leistungsfähigkeit und des Muskelwachstums gibt es daher Bedenken hinsichtlich der langfristigen Verwendung von Vitamin-E-Supplementen. Diese widersprüchlichen Ergebnisse werfen Fragen darüber auf, unter welchen Bedingungen und in welchen Dosierungen Vitamin E tatsächlich von Nutzen ist und wann es potenziell nachteilig wirken könnte (Powers, Nelson, & Hudson, 2011).

Auch Vitamin C wird in einer Reihe verschiedener Stoffwechselprozesse im Körper verwendet. Es ist an der Synthese von Epinephrin beteiligt, fördert die Eisenaufnahme und wirkt als Antioxidans (Kerksick, et al., 2018). Bei ausreichender Deckung des allgemeinen Energie- und Nährstoffbedarfs scheint die Einnahme von Vitamin C die körperliche Leistungsfähigkeit nicht zu verbessern. Es gibt jedoch Hinweise darauf, dass die Supplementierung von Vitamin C (z. B. 500 mg/Tag) nach besonders intensiver körperlicher Anstrengung die Häufigkeit von Infektionen der oberen Atemwege verringern kann (Vogt, et al., 2003). Weiterhin zeigten Paschalis und Kollegen, dass Personen mit niedrigem Vitamin C-Spiegel nach 30-tägiger Supplementierung eine signifikante Verbesserung der VO_{2max} -Werte und eine Verringerung des oxidativen Stresses aufwiesen (Paschalis, et al., 2016).

Forschungsergebnisse zeigen, dass die Supplementierung von Beta-Carotinen, ob mit oder ohne andere Antioxidantien, die durch Bewegung verursachte Lipidperoxidation und Muskelschäden minimieren kann. Langfristig kann dies SportlerInnen helfen, das Training besser zu tolerieren. Es ist jedoch weiterhin unklar, ob die Einnahme von Antioxidantien die sportliche Leistung positiv beeinflusst (Goldfarb, 1999).

Zusammenfassend kann in Betracht gezogen werden, dass einige Vitamine SportlerInnen helfen können, das Training besser zu tolerieren, indem sie oxidativen Schaden reduzieren (Vitamin E, C) oder das Immunsystem während intensiven Trainings unterstützen (Vitamin C). Allerdings gibt es widersprüchliche Beweise dafür, dass hohe Dosen von Vitamin C und E die zellulären Anpassungen an das Training negativ beeinflussen können, was die Leistung von SportlerInnen beeinträchtigen könnte (Paulsen, et al., 2014; Nikolaidis, Kerksick, Lamprecht, & McAnulty, 2012; Morrison, et al., 2015; Peternelj & Coombes, 2011). Nach aktuellem wissenschaftlichen Kenntnisstand ist daher eine ausgewogene Auswahl an antioxidantienreichen Lebensmitteln ratsam, um die D-A-CH-Referenzwerte für Vitamin C, Vitamin E und Beta-Carotin zuverlässig zu erreichen. SportlerInnen, die sich aus persönlichen Gründen für eine Supplementierung mit Antioxidantien entscheiden, sollten die maximalen Tagesdosen für Nahrungsergänzungsmittel nicht überschreiten (30 mg für Vitamin E und 250 mg für Vitamin C).

Vitamin D

Sowohl die allgemeine Bevölkerung (Deutsche Gesellschaft für Ernährung (DGE), 2017) als auch SportlerInnen (Heseker, Stahl, & Strohm, 2012; Larson-Meyer & Willis, 2010; Wolman, et al., 2013) haben häufig eine saisonabhängig unzureichende Vitamin-D-Versorgung. Vitamin D ist für den Knochenstoffwechsel und andere wichtige Funktionen, wie die Unterstützung der Skelettmuskulatur, essenziell, daher ist eine optimale Versorgung besonders für SportlerInnen wichtig. Obwohl unklar ist, ob die Einnahme von Vitamin D die sportliche Leistung direkt beeinflusst (Williams M. H., 1989), profitieren zumindest SportlerInnen mit einem Vitamin-D-Mangel von einer Supplementierung, um, insbesondere bei einer Einnahme in der Kombination mit Calcium, bei erhöhtem Risiko für Osteoporose vor einem Verlust von Knochendichte (Reid, 1996). Die Vitamin-D-Zufuhr aus der Nahrung deckt lediglich etwa 10 % des Bedarfs. SportlerInnen können dennoch ausreichend versorgt sein, wenn sie genügend UV-Strahlung abbekommen, beispielsweise durch Training im Freien (Carlsohn, Scharhag-Rosenberger, Heydenreich, & Mayer, 2017). SportlerInnen, die hauptsächlich Indoor-Sportarten betreiben, Personen mit dunkler Hautfarbe, hohem Körperfettanteil oder solche, die sich intensiv vor UV-Strahlung schützen, haben ein höheres Risiko für eine unzureichende Vitamin-D-Versorgung oder einen Mangel (Thomas, Erdman, & Burke, 2016). Während in der allgemeinen Bevölkerung ein Serumspiegel von ≥ 50 nmol/l als optimal angesehen wird, halten einige ExpertInnen für SportlerInnen Werte zwischen 80 und 125 nmol/l für besser. Ein wissenschaftlicher Konsens hierzu existiert jedoch bislang nicht (Thomas, Erdman, & Burke, 2016). Während optimale Vitamin-D-Spiegel mit einer verbesserten Muskelfunktion und -stärke in der allgemeinen Bevölkerung verbunden sind, haben Studien bei SportlerInnen oft keine ergogenen Effekte gezeigt (Close, et al., 2013; Dubnov-Raz, Livne, Raz, Cohen, & Constantini, 2015). Dennoch deutet eine Studie von Wyon et al. darauf hin, dass Vitamin-D-Supplementierung bei Elite-Balletttänzern die Stärke verbesserte und das Verletzungsrisiko verringerte (Wyon, Koutedakis, Wolman, Nevill, & Allen, 2014).

2.1.5 Mineralstoffe

Mineralstoffe spielen eine entscheidende Rolle bei verschiedenen physiologischen Prozessen, die für SportlerInnen wichtig sind, einschließlich Muskelkontraktion, Sauerstofftransport und Knochengesundheit (Williams M. H., 2005). Obwohl einige AthletInnen möglicherweise eine suboptimale Mineralienzufuhr haben, insbesondere diejenigen, die kalorienreduzierte Diäten einhalten, nehmen die meisten durch ihre normale Ernährung ausreichende Mengen auf (Lukaski, 1995). Während die Mineralienergänzung für die allgemeine Gesundheit wichtig sein kann, gibt es begrenzte Hinweise auf deren direkten Einfluss auf die sportliche Leistung (Clarkson, 1991). AthletInnen wird geraten, nährstoffreiche Lebensmittel zu konsumieren, anstatt sich auf Ergänzungsmittel zu verlassen, um ihren Mineralienbedarf zu decken (Lukaski, 1995; Clarkson &

Haymes, 1995). Mikronährstoffe können durch Schwitzen, Urin und Fäkalien verloren gehen. Die Menge der verlorenen Mineralien beim Schwitzen variiert je nach Dauer und Intensität der körperlichen Aktivität sowie individuellen und Umweltfaktoren. Besonders bedeutend sind die Verluste von Natrium, Kupfer und Zink. Eisenverluste durch Schwitzen können erheblich zur Entstehung eines Eisenmangels beitragen. Ob körperliche Betätigung auch die Mineralstoffverluste im Urin und in den Fäkalien erhöht, ist umstritten und hängt möglicherweise von der Trainingsintensität ab. Neuere Studien konnten frühere Befunde, die erhöhte Mineralstoffverluste fanden, nicht bestätigen (Carlsohn, et al., 2020).

Natrium

Hohe Natriumverluste können, insbesondere bei langen sportlichen Aktivitäten (> 4h) und bei Menschen, die sichtbar viel Salz schwitzen, zu Hyponatriämie führen. Dieses Risiko besteht vor allem bei unerfahrenen SportlerInnen, Frauen und Personen mit niedrigem BMI, die natriumarme Getränke konsumieren. Um Hyponatriämie zu vermeiden, sollten AusdauersportlerInnen moderate Mengen natriumreicher Getränke zu sich nehmen. Eine übermäßige Flüssigkeitsaufnahme ohne ausreichendes Natrium kann das Risiko für Hyponatriämie erhöhen (Carlsohn, et al., 2020). Die Ursache der belastungsbedingten Hyponatriämie (neben individuellen prädisponierenden Faktoren) ist die Kombination aus erhöhtem Natriumverlust durch Schwitzen und erhöhter Aufnahme von natriumarmen Getränken. Laut aktuellen Empfehlungen sollte zur Prävention der belastungsbedingten Hyponatriämie während Ausdauerbelastungen moderate Mengen an Flüssigkeit mit einer Natriumkonzentration von 400-1.100 mg/l konsumiert werden (siehe auch die Stellungnahme der Arbeitsgruppe Sporternährung der Deutschen Gesellschaft für Ernährung (DGE): Flüssigkeitsmanagement im Sport (Mosler, et al., 2019). Bei ausreichender Flüssigkeitsaufnahme ist die Verwendung von natriumreichen Getränken oder Snacks nicht notwendig, da eine normale Ernährung normalerweise genügend Natrium liefert (Johner, Thamm, Schmitz, & Remer, 2015) und eine übermäßige Flüssigkeitsaufnahme als Schlüsselfaktor für Hyponatriämie gilt (Hew-Butler, Loi, Pani, & Rosner, 2017).

Eisen

Körperliches Training erhöht den Eisenbedarf, da es die Bildung neuer Blutgefäße und die Konzentration roter Blutkörperchen und Hämoglobin im Blut steigert. Hochintensives Training und die regelmäßige Einnahme von NSAIDs können zu Eisenverlust durch Blutungen führen. SportlerInnen haben einen geschätzten 70% höheren Eisenbedarf als Nicht-Sportler. Eisenmangel ist bei SportlerInnen ebenso verbreitet wie in der allgemeinen Bevölkerung, jedoch gibt es besondere Risikogruppen wie AusdauersportlerInnen, Vegetarier und SportlerInnen mit restriktiver Diät. Eisenmangelanämie reduziert die Leistungsfähigkeit. Auch Eisenmangel ohne Anämie kann die sportliche Leistung beeinträchtigen. In solchen Fällen sollte eine eisenreiche Ernährung angestrebt

werden. Eisenmangel sollte von einem Arzt behandelt werden, und eigenständige Eisen-Supplementierung ohne ärztliche Aufsicht wird aufgrund möglicher Gesundheitsrisiken nicht empfohlen.

2.1.6 Hydratation

Hydratation spielt eine entscheidende Rolle bei der Optimierung der sportlichen Leistung und der Sicherheit von AthletInnen (Belval, et al., 2019). Dehydration kann sowohl die körperliche als auch die mentale Leistungsfähigkeit beeinträchtigen, insbesondere in heißen Umgebungen und bei länger andauernder körperlicher Aktivität. SportlerInnen wird empfohlen, gut hydriert mit dem Training zu beginnen und während der Aktivität Flüssigkeit zu sich zu nehmen, um Wasser- und Salzdefizite zu begrenzen (Maughan & Shirreffs, 2010). Personalisierte Hydratationsstrategien sollten individuelle Bedürfnisse, die Art der körperlichen Betätigung und die Umweltbedingungen berücksichtigen (Belval, et al., 2019). Die Bewertung des Hydratationsstatus kann durch Urinmarker, Körpermassenveränderungen und Schweißanalyse erfolgen. Während die meisten SportlerInnen nicht genug trinken, um den Schweißverlust auszugleichen, trinken einige möglicherweise übermäßig viel und riskieren Hyponatriämie (Maughan & Shirreffs, 2010).

Kohlenhydrat-Elektrolyt-Lösungen haben verschiedene Effekte für aktive Personen, insbesondere für diejenigen, die Ausdauertraining betreiben. Eine Ursache-Wirkungs-Beziehung zwischen dem Konsum von Kohlenhydrat-Elektrolyt-Lösungen und der Reduzierung der wahrgenommenen Anstrengung während des Trainings, der Verbesserung der Wasseraufnahme und der Aufrechterhaltung der Ausdauerleistung bestätigt die EFSA in ihrer Wissenschaftlichen Stellungnahme zur Untermauerung von gesundheitsbezogenen Angaben in Bezug auf die genannten Effekte. Obwohl die Reduzierung der wahrgenommenen Anstrengung nicht eindeutig nachgewiesen wurde, gibt es starke Belege dafür, dass diese Lösungen die Wasseraufnahme während des Trainings verbessern und die Ausdauerleistung aufrechterhalten können. Um diese Vorteile zu erzielen, sollten die Getränke spezifische Mengen an Kalorien, Kohlenhydraten und Natrium enthalten (European Food Safety Authority (EFSA), 2011).

Nachdem im theoretischen Teil dieser Arbeit die grundlegenden Prinzipien der Sporternährung erläutert wurden, insbesondere die Bedeutung von Kohlenhydraten, Proteinen, Fetten sowie Mikronährstoffen und Hydratation für AusdauersportlerInnen, richtet sich der weitere Verlauf nun auf die spezifischen Bedürfnisse weiblicher Athletinnen. Der Menstruationszyklus und die damit einhergehenden hormonellen Schwankungen stellen dabei einen wesentlichen Einflussfaktor auf die Leistungsfähigkeit und den Nährstoffbedarf dar. In den folgenden Abschnitten wird untersucht, wie sich diese zyklischen Veränderungen auf den Stoffwechsel, die Trainingsanpassung und die Regeneration auswirken und welche Anpassungen in der Ernährungs- und Trainingsstrategie

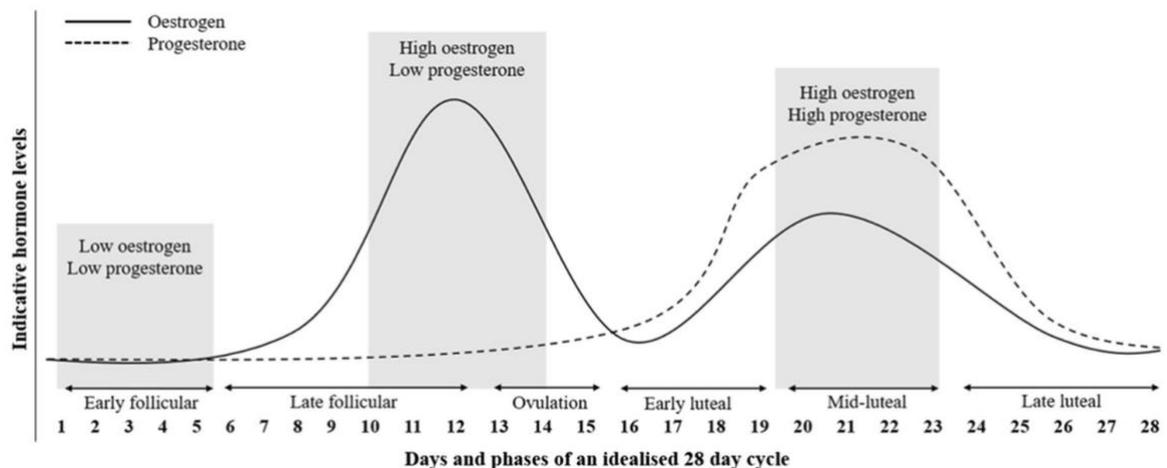
erforderlich sind, um optimale sportliche Leistungen zu ermöglichen. Zudem werden aktuelle wissenschaftliche Erkenntnisse hinsichtlich der spezifischen Herausforderungen und Strategien für Frauen im Sport diskutiert, um individuelle Ansätze zu entwickeln, die sowohl die körperliche Gesundheit als auch die sportliche Performance langfristig fördern.

2.2 Die weibliche Athletin - geschlechterspezifische Aspekte

2.2.1 Zyklusphasen und hormonelle Marker

Der Menstruationszyklus ist ein komplexer Prozess, der durch Hormonschwankungen, hauptsächlich Östrogen und Progesteron, reguliert wird (siehe Abb. 1). Diese hormonellen Veränderungen beeinflussen verschiedene physiologische und psychologische Reaktionen (Sakaki & Mather, 2017). Der Zyklus dauert typischerweise 28 Tage und lässt sich in vier Hauptphasen unterteilen: der Menstruationsphase, der Follikelphase, der Ovulationsphase und der Lutealphase. Jede Phase ist durch spezifische hormonelle Veränderungen und physiologische Prozesse gekennzeichnet. Die genaue Identifizierung der Zyklusphasen für die Forschung entscheidend ist. Methoden zur Bestimmung der Phasen umfassen die selbstberichtete Angabe des Menstruationsbeginns, Urin-Luteinisierungshormon-Tests und Blut-Hormon-Messungen. Eine Standardisierung dieser Methoden würde die Genauigkeit verbessern und den Vergleich zwischen Studien erleichtern (Allen et al., 2016).

Abb. 1 Der weibliche Menstruationszyklus



Anmerkung: Schematische Darstellung der Hormonveränderungen im Verlauf eines idealisierten 28-tägigen Menstruationszyklus mit Eisprung am Tag 14. Übernommen von *The Effects of Oral Contraceptives on Exercise Performance in Women: A Systematic Review and Meta-analysis*, von McNulty, et al., 2020, S.1815. Copyright 2020 durch Sports Medicine.

Die Menstruationsphase dauert typischerweise 3-7 Tage. Während dieser Zeit sind die Spiegel von Östrogen und Progesteron niedrig, da das unbefruchtete Ei und die Gebärmutter Schleimhaut abgestoßen werden. Dies führt zum Abbau der Gebärmutter Schleimhaut, die als Menstruationsblut

ausgeschieden wird. Die Follikelphase beginnt am ersten Tag der Menstruation und dauert bis zum Eisprung. Diese Phase ist durch einen allmählichen Anstieg der Östrogenspiegel gekennzeichnet, der das Wachstum und die Reifung der Follikel in den Eierstöcken stimuliert. Parallel dazu steigt auch der Spiegel des follikelstimulierenden Hormons (FSH), welches das Wachstum der Follikel unterstützt. Die Ovulationsphase tritt etwa in der Mitte des Zyklus auf und ist durch einen plötzlichen Anstieg des luteinisierenden Hormons (LH) gekennzeichnet, der den Eisprung auslöst – die Freisetzung einer reifen Eizelle aus dem Eierstock. Während dieser kurzen Phase sind die Östrogenspiegel auf ihrem Höhepunkt, während die Progesteronspiegel noch niedrig sind. Die Lutealphase folgt auf die Ovulation und dauert bis zum Beginn der nächsten Menstruation. Diese Phase ist durch hohe Spiegel von Progesteron und moderat erhöhte Östrogenspiegel gekennzeichnet. Das Corpus luteum, das aus dem geplatzten Follikel im Eierstock entsteht, produziert Progesteron, das die Gebärmutter Schleimhaut auf eine mögliche Implantation einer befruchteten Eizelle vorbereitet (Pierson & Pagidas, 2018). Diese hormonellen Veränderungen während des Menstruationszyklus haben bedeutende Auswirkungen auf verschiedene physiologische und psychologische Prozesse (Sakaki & Mather, 2017).

Auswirkungen auf die Leistungsfähigkeit

Die hormonellen Schwankungen während des Menstruationszyklus beeinflussen eine Vielzahl von physiologischen und psychologischen Reaktionen. Östrogen ist dafür bekannt, die Reaktionen auf Belohnungen zu verstärken, was möglicherweise durch seine Wirkung auf dopaminerge Systeme im Gehirn erklärt werden kann (Sakaki & Mather, 2017). Dies könnte Auswirkungen auf das Verhalten und die Entscheidungsfindung haben, da erhöhte Belohnungssensibilität die Motivation und das Engagement in bestimmten Aktivitäten steigern kann. Auf der anderen Seite kann Progesteron die Reaktionen auf emotionale Reize, insbesondere negative, verstärken. Dies könnte durch seine beruhigenden und angstlösenden Eigenschaften erklärt werden, die durch die Modulation von GABA-Rezeptoren im Gehirn vermittelt werden (Sakaki & Mather, 2017). Diese gegensätzlichen Wirkungen von Östrogen und Progesteron betonen die Komplexität der hormonellen Regulation während des Menstruationszyklus.

Die Forschung zu den Auswirkungen des Menstruationszyklus auf die Leistung von Sportlerinnen liefert gemischte Ergebnisse. Während einige Studien nahelegen, dass die Muskelkontraktionsmerkmale und die VO_{2max} nicht signifikant von den Menstruationsphasen beeinflusst werden, gibt es ebenso Hinweise auf mögliche Auswirkungen auf die Ausdauerleistung, insbesondere bei heißen Bedingungen (Janse de Jonge, 2003). Darüber hinaus gibt es Hinweise auf ein erhöhtes Risiko für Verletzungen des vorderen Kreuzbandes während der präovulatorischen Phase (Hewett, Zazulak, & Myer, 2007). Menstruationsstörungen, einschließlich Amenorrhoe und Oligomenorrhoe, sind bei Sportlerinnen häufiger und können langfristig zu Problemen mit der

Knochengesundheit führen (Dusek, Pećina, Loncar-Dusek, & Bojanic, 2004). Eine systematische Überprüfung bei Spitzensportlerinnen ergab jedoch keine eindeutigen Beweise für die Auswirkungen der Menstruationsphasen auf verschiedene Leistungsparameter wie Ausdauer, Kraftwiderstand und Entscheidungsfähigkeiten (Meignié, et al., 2021). Die inkonsistenten Ergebnisse verdeutlichen die Notwendigkeit umfassenderer, langfristiger Studien, um Strategien zur Trainingsindividualisierung für Sportlerinnen zu entwickeln.

Eine aktuelle Studie von Elliott-Sale et al. untersuchte den Einfluss der verschiedenen Phasen des Menstruationszyklus auf die Leistung und stellte fest, dass es erhebliche individuelle Unterschiede gibt. Einige Sportlerinnen zeigten in der späten Follikelphase verbesserte Leistungswerte, während andere in der Lutealphase bessere Ergebnisse erzielten (Elliott-Sale, et al., 2020). Darüber hinaus wird vermutet, dass die Hormonschwankungen während des Zyklus das Verletzungsrisiko beeinflussen können. Besonders in der ovulatorischen Phase, in der Östrogenspiegel am höchsten sind, wurde ein erhöhtes Risiko für muskuläre und ligamentäre Verletzungen beobachtet (Legerlotz & Nobis, 2022). Ein weiterer Aspekt, der berücksichtigt werden muss, ist der Einfluss des Menstruationszyklus auf die psychische Verfassung von Athletinnen. Brown et al. fanden heraus, dass Stimmungsschwankungen und prämenstruelle Symptome die Motivation und das Wohlbefinden beeinflussen können, was sich indirekt auf die sportliche Leistung auswirken kann (Brown, Knight, & Forrest Née Whyte, 2021).

Es wird deutlich, dass die Forschung zu den Auswirkungen des Menstruationszyklus auf die sportliche Leistung von Frauen weiterhin uneinheitlich ist und viele offene Fragen bleiben. Zukünftige Studien sollten sich auf die individuellen Unterschiede und die langfristigen Auswirkungen konzentrieren, um besser fundierte Empfehlungen für TrainerInnen und Athletinnen zu ermöglichen (Carmichael, Thomson, Moran, & Wycherley, 2021). Diese Erkenntnisse unterstreichen die Notwendigkeit einer individualisierten Herangehensweise im Training von Sportlerinnen, die sowohl physiologische als auch psychologische Faktoren berücksichtigt, um optimale Leistungsergebnisse zu erzielen und das Verletzungsrisiko zu minimieren.

2.2.2 Female Athlete Triad & RED-S

Dieser Abschnitt befasst sich mit zwei miteinander verbundenen Konzepten, die für das Verständnis der Ernährungs Herausforderungen von weiblichen Athletinnen von zentraler Bedeutung sind: Female Athlete Triad und Relative Energy Deficiency in Sport (RED-S). Beide Zustände betonen die Bedeutung einer ausreichenden Energieverfügbarkeit, um nicht nur die Menstruationsgesundheit, sondern auch die allgemeine physiologische Funktion zu unterstützen.

Female Athlete Triad

Das Female Athlete Triad ist ein Syndrom, das durch die Wechselbeziehung zwischen drei Komponenten gekennzeichnet ist: Energieverfügbarkeit, Menstruationsfunktion und Knochengesundheit. Ursprünglich in den frühen 1990er Jahren definiert, wurde es eingeführt, um spezifische Gesundheitsprobleme zu adressieren, die häufig bei weiblichen Athletinnen beobachtet werden (De Souza, et al., 2014; Pitchers & Elliott-Sale, 2019).

1. **Energieverfügbarkeit:** Energieverfügbarkeit wird als die Menge an Nahrung definiert, die nach dem Training für grundlegende physiologische Funktionen verbleibt. Wenn die Energieverfügbarkeit unzureichend ist, oft aufgrund von Essstörungen oder unzureichender Kalorienzufuhr, geht der Körper in einen Zustand der Energieeinsparung über. Dieser Einsparungsprozess stört die endokrinen Funktionen, insbesondere die Fortpflanzungshormone wie Östrogen, die für die Aufrechterhaltung der Knochengesundheit unerlässlich sind (Nattiv, et al., 2007).
2. **Menstruationsstörungen:** Menstruationsstörungen, die von Lutealphasendefekten bis hin zu vollständiger Amenorrhoe reichen, sind häufig bei Athletinnen, die eine niedrige Energieverfügbarkeit erfahren. Der Körper priorisiert unter Bedingungen des Energiemangels die Energieverteilung auf kritische physiologische Prozesse, was zur Unterdrückung der Fortpflanzungsfunktionen führt (Loucks, 2004). Langanhaltende Menstruationsstörungen wirken sich nicht nur auf die Fruchtbarkeit aus, sondern tragen auch erheblich zur Verringerung der Knochendichte bei, was das Risiko von Stressfrakturen und Osteoporose im Laufe der Zeit erhöht (Gibbs, Williams, & De Souza, 2013).
3. **Knochengesundheit:** Die Knochengesundheit, wird von der Energieverfügbarkeit und der Menstruationsfunktion beeinflusst. Östrogen, ein Hormon, das erheblich von einer ausreichenden Energieverfügbarkeit abhängt, spielt eine Schlüsselrolle im Knochenstoffwechsel (De Souza, et al., 2014). Wenn die Menstruationsfunktion aufgrund niedriger Energieverfügbarkeit beeinträchtigt wird, führt der daraus resultierende Rückgang der Östrogenspiegel zu einer verringerten Knochenmineraldichte, was die Anfälligkeit für Frakturen erhöht (Nattiv, et al., 2007).

Relative Energy Deficiency in Sport (RED-S)

Relative Energy Deficiency in Sport (RED-S) erweitert das Konzept des Female Athlete Triad, indem es sowohl männliche als auch weibliche AthletInnen einschließt und eine breitere Palette von physiologischen Funktionen umfasst, die von einer niedrigen Energieverfügbarkeit betroffen sind. Das Konzept von RED-S wurde vom Internationalen Olympischen Komitee (IOC) eingeführt, um die umfassenderen Auswirkungen eines Energiemangels auf mehrere Körpersysteme widerzuspiegeln, die über die Fortpflanzungs- und Knochengesundheit hinausgehen, die im Fokus

des Female Athlete Triad stehen (Mountjoy, et al., 2014). RED-S hat zahlreiche physiologische Auswirkungen auf den Körper, einschließlich des Stoffwechsels, der Menstruationsfunktion, der Knochengesundheit, des Immunsystems, der Proteinsynthese und der kardiovaskulären Gesundheit (Mountjoy, et al., 2014). Der Umfang der Risiken zeigt, dass eine niedrige Energieverfügbarkeit weitreichende Folgen haben kann, die die allgemeine Gesundheit und Leistung einer*s AthletIn beeinträchtigen. Neben den gesundheitlichen Auswirkungen kann RED-S die sportliche Leistung erheblich beeinflussen. AthletInnen mit RED-S können eine verringerte Ausdauer, eine verminderte Muskelkraft und ein erhöhtes Verletzungsrisiko aufgrund geschwächter Knochen und einer beeinträchtigten Heilungsfähigkeit erfahren (Mountjoy, et al., 2014). Diese Leistungsdefizite unterstreichen die Bedeutung der Aufrechterhaltung einer ausreichenden Energieverfügbarkeit, um optimale sportliche Leistung zu erbringen.

Die psychische Gesundheit ist ein weiterer kritischer Aspekt von RED-S. Energiemangel kann zu Stimmungsschwankungen, erhöhter Reizbarkeit und einem höheren Risiko für Essstörungen führen (Melin, et al., 2015). Diese psychologischen Faktoren können die physischen Folgen von RED-S weiter verschärfen und einen Teufelskreis schaffen, der schwer zu durchbrechen ist.

Das Verständnis des weiblichen Sportler-Triad und von RED-S ist entscheidend für die Prävention und das Management dieser Zustände bei AthletInnen. Präventionsstrategien sollten sich darauf konzentrieren, eine ausreichende Energiezufuhr im Verhältnis zum Energieverbrauch zu fördern, AthletInnen und TrainerInnen über die Risiken eines Energiemangels aufzuklären und AthletInnen regelmäßig auf Anzeichen dieser Syndrome zu überwachen (Mountjoy, et al., 2014). Gesundheitsfachkräfte spielen eine entscheidende Rolle bei der Identifizierung von AthletInnen mit Risiko und der Bereitstellung geeigneter Interventionen. Multidisziplinäre Ansätze, die ErnährungsberaterInnen, PsychologInnen und SportmedizinerInnen einbeziehen, sind oft erforderlich, um die komplexen Wechselwirkungen von physischen und psychologischen Faktoren zu adressieren, die bei RED-S und dem Female Athlete Triad eine Rolle spielen (De Souza, et al., 2014). Durch die Erweiterung des Verständnisses der Problematik des Female Athlete Triad hin zu den umfassenderen Auswirkungen von RED-S können AthletInnen besser vor den negativen Folgen eines Energiemangels geschützt werden. Laufende Forschung und Bildung sind unerlässlich, um Präventions- und Behandlungsstrategien weiter zu verfeinern und sicherzustellen, dass SportlerInnen ihr Bestes geben können, während ihre langfristige Gesundheit geschützt wird.

Das Verständnis der komplexen hormonellen Schwankungen während des Menstruationszyklus und deren Auswirkungen auf verschiedene physiologische und psychologische Prozesse ist entscheidend für die Optimierung medizinischer Therapien und die Bewertung ihrer Auswirkungen auf prämenopausale Frauen. Weitere Forschung und eine verbesserte Methodik werden dazu beitragen, die Lücken im aktuellen Wissen zu schließen und evidenzbasierte Leitlinien zu entwickeln, die

Frauen in verschiedenen Lebensphasen unterstützen können. Die genaue Identifizierung der Menstruationsphasen ist für die Forschung entscheidend, da unterschiedliche Phasen unterschiedliche Auswirkungen auf die untersuchten Variablen haben können. Die Methoden zur Bestimmung der Zyklusphasen variieren jedoch stark. Häufige Methoden umfassen die selbstberichtete Angabe des Menstruationsbeginns, Urin-Luteinisierungshormon-Tests und Blut-Hormon-Messungen (Allen, 2016). Jede dieser Methoden hat ihre Vor- und Nachteile. Selbstberichte sind einfach und kostengünstig, können jedoch ungenau sein. Urintests sind spezifischer, können aber durch individuelle Variationen und äußere Faktoren beeinflusst werden. Bluttests sind sehr genau, aber auch invasiver und teurer. Um die Genauigkeit zu verbessern und den Vergleich zwischen Studien zu erleichtern, ist die Standardisierung der Methoden zur Bestimmung der Menstruationsphasen unerlässlich. Ein einheitlicher Ansatz würde nicht nur die Vergleichbarkeit der Studienergebnisse erhöhen, sondern auch die Qualität und Zuverlässigkeit der Forschung verbessern. Dies ist besonders wichtig in Bereichen wie Sportwissenschaft, Medizin und Psychologie, wo die Auswirkungen der Menstruationszyklen auf die Leistung, die Gesundheit und das Verhalten von Frauen untersucht werden.

Zusammenfassung und Ausblick

Nach der Darstellung der theoretischen Grundlagen der Sporternährung, insbesondere der Bedeutung von Makro- und Mikronährstoffen für die sportliche Leistungsfähigkeit und Regeneration, sowie der zyklusspezifischen Herausforderungen, denen weibliche Athletinnen ausgesetzt sind, richtet sich der Fokus des weiteren Verlaufs dieser Arbeit auf die empirische Untersuchung dieser Thematik. Ziel ist es, die Auswirkungen des Menstruationszyklus auf die sportliche Leistungsfähigkeit und den Ernährungsbedarf weiblicher Athletinnen systematisch zu erfassen. In den nächsten Kapiteln wird die Methodik der vorliegenden Untersuchung vorgestellt. Dabei wird erläutert, wie die Studien ausgewählt wurden, welche Kriterien zur Einschluss- und Ausschlussbestimmung herangezogen wurden und welche Daten analysiert wurden, um den Zusammenhang zwischen Menstruationsphasen, Energieverfügbarkeit und Leistungsfähigkeit zu untersuchen. Die Untersuchung basiert auf der Analyse mehrerer wissenschaftlicher Studien, die in einer systematischen Literaturrecherche identifiziert wurden. Besonderer Wert wurde dabei auf Originalarbeiten gelegt, die sich mit weiblichen Athletinnen und den spezifischen Herausforderungen des Menstruationszyklus im Ausdauersport beschäftigen. Darauf aufbauend werden die Ergebnisse der Analyse dargelegt, die sowohl die zyklusabhängigen Schwankungen im Nährstoffbedarf als auch deren Auswirkungen auf die Leistungsfähigkeit der Athletinnen beleuchten. Die Ergebnisse werden in Relation zu bestehenden Theorien wie der "Female Athlete Triad" und "RED-S" diskutiert, um den wissenschaftlichen Diskurs zu erweitern und neue Erkenntnisse zu liefern. Zudem wird erörtert, wie spezifische Ernährungsstrategien die negativen Auswirkungen einer unzureichenden Energieverfügbarkeit mindern können.

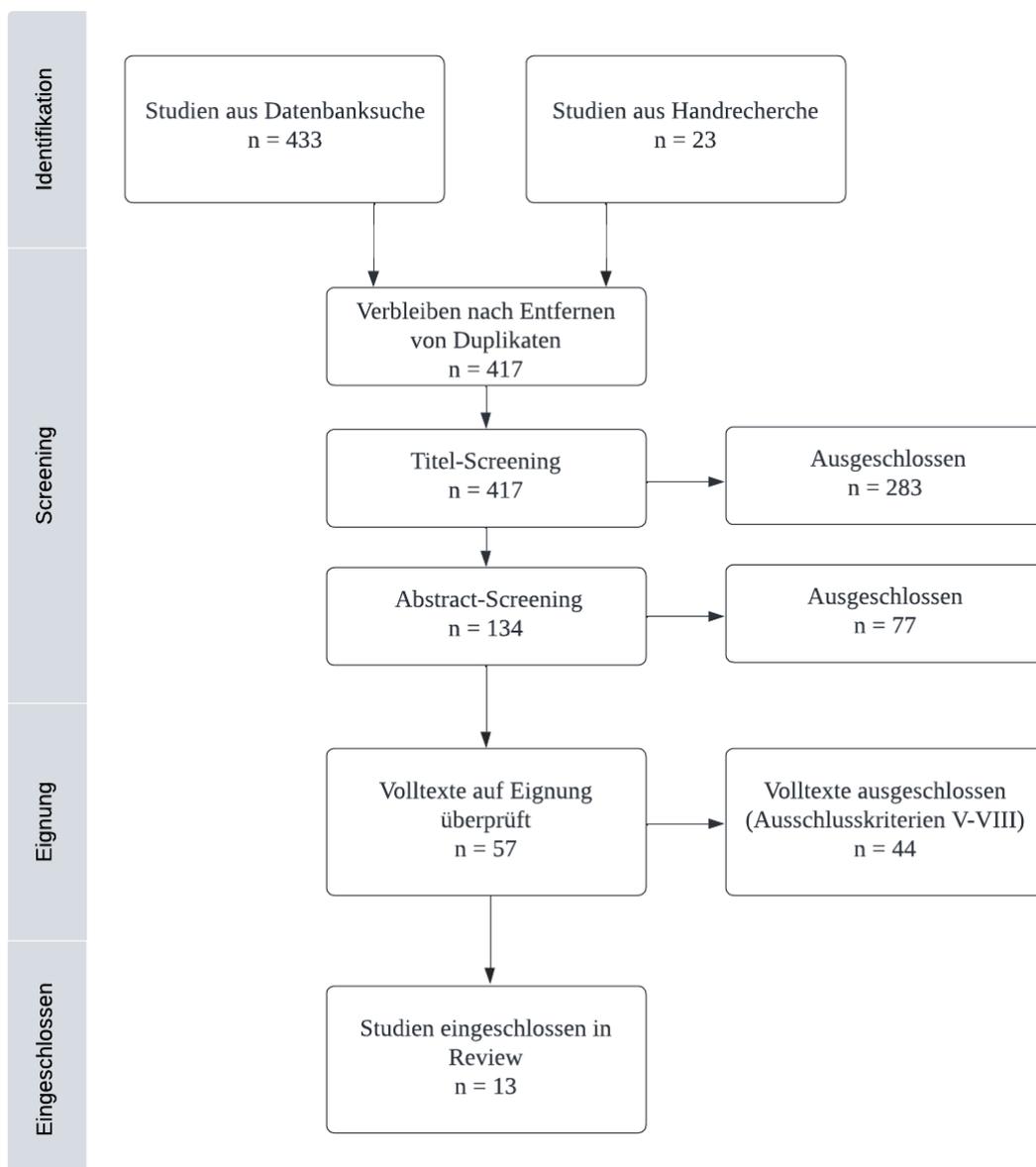
Die Arbeit schließt mit einer ausführlichen Diskussion der Befunde, in der sowohl die Übereinstimmungen als auch die Diskrepanzen im Vergleich zu bisherigen Forschungsergebnissen herausgestellt werden. Darüber hinaus wird ein Ausblick auf zukünftige Forschung gegeben, wobei die Notwendigkeit für groß angelegte, randomisierte Studien betont wird, die die Wechselwirkungen zwischen Menstruationszyklus, Ernährung und sportlicher Leistung weiter erforschen. Eine verbesserte Methodik zur Identifizierung der Menstruationsphasen und ein tieferes Verständnis der zyklusabhängigen Nährstoffbedürfnisse könnten langfristig dazu beitragen, die Gesundheit und Leistungsfähigkeit von weiblichen Athletinnen zu optimieren.

3 Methode

Die Suche nach Publikationen wurde über PubMed und den HAW-Katalog durchgeführt. Die primären Schlüsselwörter umfassten: „nutrition“, „female athletes“, „menstrual cycle“, „hormons“, „endurance athletes“, „diet“, „macronutrients“ und „micronutrients“. Anfangs wurden ca. 450 Datensätze identifiziert, von denen 57 Publikationen überprüft, vorausgewählt und abgerufen wurden, und letztendlich wurden 13 Studien in die Überprüfung aufgenommen. Der Fokus lag auf Originalarbeiten, hauptsächlich über Frauen, die verschiedene ausdauerbetonte Sportarten ausüben. Duplikate und Übersichtsarbeiten wurden entfernt, ebenso wie Studien, die die Ausschlusskriterien erfüllten: (i) Vorliegen von Zyklusstörungen (ii) Kinder (Altersgrenzen abhängig von den einzelnen Sportarten) oder TeilnehmerInnen über 45 Jahre, (iii) Vorliegen von Zivilisationskrankheiten (z. B. Bluthochdruck) oder Rauchen, (iv) keine Identifikation der Phase des Menstruationszyklus, (v) keine Untersuchung oder Protokollierung der Ernährung, (vi) Ergebnisse, die nicht relevant für Leistung, Gesundheit oder indirekte Zusammenhänge mit Leistung/Gesundheit waren, (vii) fehlende Angabe des Geschlechts oder des Verhältnisses von männlichen zu weiblichen TeilnehmerInnen, und (viii) keine Durchführung oder Protokollierung eines Trainingsprotokolls. Aufgrund der geringen Verfügbarkeit von Studien zu Fettinterventionen im Kontext von weiblichen Ausdauerathletinnen war es notwendig, in diesem Bereich auf Literatur zurückzugreifen, die nicht alle ursprünglich festgelegten Einschlusskriterien erfüllt. Da die Datenlage insbesondere zu den Auswirkungen von Fett auf die sportliche Leistung und den Nährstoffbedarf von Frauen während verschiedener Phasen des Menstruationszyklus sehr dünn war, wurde entschieden, relevante Studien zu inkludieren, auch wenn sie nicht alle strengen Kriterien, wie die Identifikation der Zyklusphase oder die exakte Protokollierung der Ernährung, erfüllten. Dieses Vorgehen war notwendig, um dennoch Einblicke in die Rolle von Fett in der Ernährung weiblicher Athletinnen zu gewinnen und diese in den Review aufzunehmen. Dabei wurde besonders darauf geachtet, dass die eingeschlossenen Studien zumindest in Teilen eine Relevanz für das Thema aufwiesen und zur Diskussion der Fragestellung beitragen konnten. In der Diskussion der Ergebnisse wird jedoch transparent dargelegt, dass diese methodische Anpassung notwendig war und welche Auswirkungen dies auf die Generalisierbarkeit der Schlussfolgerungen haben könnte. Somit wird sichergestellt, dass die Limitationen des aktuellen Forschungsstands deutlich gemacht und in die Interpretation der Ergebnisse einbezogen werden. Die Hauptziele der narrativen Überprüfung waren die Diskussion über geschlechterspezifische Empfehlungen von Makro- und Mikronährstoffaufnahme, die Präsentation der Ergebnisse verschiedener Interventionen zur Minderung von potentiell nachteiligen Effekten des Menstruationszyklus auf die Leistungsfähigkeit, der gesundheitlichen Auswirkungen im Zusammenhang mit RED-S und die Vorschläge von Ernährungsstrategien. Zu diesem Zweck wurden Daten wie die Sportdisziplin, die Identifikation der Phase des Menstruationszyklus und die Aufnahme von Makro- und Mikronährstoffen aus relevanten Studien extrahiert. Interventionen

wurden unter Berücksichtigung der Sportart, spezifischer Probleme im Zusammenhang ernährungs- und leistungsbezogener Ursachen, Details der Nährstoffinterventionen in Bezug auf Menge und Zusammensetzung sowie der Ergebnisse der Experimente bewertet. Zusätzlich wurden Hintergrundinformationen für die Überprüfung, wie die Rollen von Nährstoffen, diätetische Quellen, Definitionen und allgemeine Empfehlungen, ebenfalls aus anderen Quellen gewonnen, einschließlich der Referenzierung von Websites relevanter Organisationen oder Zitaten aus verwandten Publikationen. Der detaillierte Auswahlprozess ist in Abbildung 2 dargestellt.

Abb. 2 Flussdiagramm zur Veranschaulichung der Suche und Auswahl veröffentlichter Artikel unter Anwendung der Ein- und Ausschlusskriterien.



4 Ergebnisse

4.1 Kohlenhydrat-Interventionen

Wie in Tabelle 1 zusammengefasst, stammen sechs Studien zur Bewertung sportlicher Ergebnisse im Zusammenhang mit Kohlenhydratinterventionen aus Neuseeland, Polen, Australien und den Vereinigten Staaten. Alle Studien wurden mit gesunden, euhmenoristischen Frauen an mindestens zwei verschiedenen Zeitpunkten im Menstruationszyklus durchgeführt. Alle Studien schlossen aerob konditionierte Teilnehmerinnen ein. Eine Studie, die auch Männer miteinschloss (James, et al., 2001), untersuchte, ob es geschlechterspezifische Unterschiede im Aufbau von supranormalen Muskelglykogenspeicher bei vergleichbarer KH-Aufnahme im Verhältnis zur Körpermasse gibt, wenn die ProbandInnen einem KH-Ladeprotokoll unterzogen werden. Ausdauertrainierte weibliche und männliche ProbandInnen nahmen 12 g KH pro kg fettfreier Körpermasse pro Tag zu sich. Eine 3-tägige Diät führte zu einem vergleichbaren Anstieg der Muskelglykogenspiegel bei den weiblichen Teilnehmerinnen sowohl in der MFP als auch der MLP ihres Menstruationszyklus wie bei den männlichen Teilnehmern. Weiterführend wurde festgestellt, dass die Phase des Menstruationszyklus keinen Einfluss auf die Substratnutzung bei langandauernder Ausdaueraktivität hat (McLay, Thomson, Williams, & Rehrer, 2007; Nicklas, Hackney, & Sharp, 1989). Bei Untersuchungen zu den Auswirkungen der Menstruationszyklusphasen auf die Leistungsfähigkeit und den Muskelglykogengehalt bei langandauernder körperlicher Betätigung bis zur Erschöpfung führte eine Studie (McLay, Thomson, Williams, & Rehrer, 2007) ein Intervallprotokoll auf dem Fahrrad durch, bei dem die Intensität zwischen 45 % und 75 % VO_{2max} über 75 Minuten variierte, gefolgt von einem 16-km-Zeitfahren in der mittleren Follikelphase (MFP) und der mittleren Lutealphase (MLP) des Menstruationszyklus nach 3-tägigem Kohlenhydratladen bei euhmenoristischen Athletinnen und einer 3-tägigen isoenergetischen normalen Ernährung. Die Zeitfahrleistung wurde weder durch die Ernährung noch durch die Menstruationszyklusphase beeinflusst. Jedoch gibt es auch Ergebnisse (Nicklas, Hackney, & Sharp, 1989), die bei vergleichbarem Trainingsprotokoll eine starke Tendenz ($P < 0,07$) dahingehend zeigen, dass die Dauer bis zur Erschöpfung, während der MLP ($139,2 \pm 14,9$ Minuten) länger ist als in der MFP ($126 \pm 17,5$ Minuten) und die Glykogenwiederauffüllung nach einer Trainingseinheit zur Leerung der Glykogenspeicher in der MLP größer ist als in der MFP (Nicklas, Hackney, & Sharp, 1989). Um die Auswirkungen der Menstruationszyklusphasen und der Kohlenhydrataufnahme auf die Glukosekinetik und die Trainingsleistung während des Trainings zu untersuchen, ließ eine Studie (Campbell, Angus, & Febbraio, 2001) Frauen 2 Stunden lang mit 70 % ihrer maximalen Sauerstoffaufnahme Radfahren und führten anschließend ein Zeitfahren mit 4 kJ/kg Körpergewicht durch, während 400 ml eines Getränks zu Beginn der Übung und weitere 230 ml alle 15 Minuten während der 2-stündigen konstanten Trainingsperiode verabreicht wurden. Ein Kontrolltest und ein Glukoseaufnahme-Test wurden sowohl während der Follikel- als auch der

Lutealphase des Menstruationszyklus durchgeführt. Die Glukoseaufnahmeraten und -abbauwerte waren während der zweiten Stunde der Übung in der Follikelphase mit Kontrolltest höher ($P < 0,05$) als in der Lutealphase mit Kontrolltest. Der prozentuale Anteil der Kohlenhydrate am Gesamtenergieverbrauch war in der Follikelphase mit Kontrolltest größer als in der Lutealphase mit Kontrolltest, und die Probandinnen schnitten in der Follikelphase mit Kontrolltest besser ab (13 %, $P < 0,05$). Die Leistung verbesserte sich mit der Einnahme von Glukose während des Trainings um 19 % in der MFP und um 26 % in der MLP im Vergleich zur Kontrollgruppe. Dem gegenüber stehen Forschungsergebnisse (Bailey, Zacher, & Mittelman, 2000), in denen kein feststellbarer Unterschiede zwischen den Menstruationszyklusphasen durch eine KH-Supplementierung verzeichnet werden konnte. Jedoch stieg in dieser Studie bei Verabreichung einer 6 %-igen KH-Lösung alle 30 Minuten während der Trainingseinheit die Zeit bis zur Erschöpfung während der Kohlenhydratsupplementierung im Vergleich zu den Placebo-Werten um $14,4 \pm 8,5$ % in der MFP und $11,4 \pm 7,1$ % in der MLP. Darüber hinaus scheint die Kohlenhydratzufuhr ebenfalls eine Rolle im Zusammenhang mit dem Abwehrsystem bei weiblichen Sportlerinnen zu spielen. Kłapcinska, et al. untersuchten die Auswirkungen einer kohlenhydratarmen Diät in der MFP und MLP auf das enzymatische und nicht-enzymatische antioxidative Abwehrsystem. Hier wurden Teilnehmerinnen unter vier verschiedenen Phasen-Diät-Bedingungen des Menstruationszyklus getestet, d.h. jeweils zweimal entweder während der MFP oder der MLP, wobei sie entweder nach drei Tagen mit einer normalen Mischkost oder nach drei Tagen mit einer isoenergetischen KH-A Diät bis zur Erschöpfung trainierten. Die drei Tage der KH-A Diät, die durch eine glykogenabbauende Übung vorausgegangen waren, führten zu einer Stimulation des antioxidativen Abwehrsystems im Blut sowohl in Ruhe als auch während der Fahrradergometrie. Eine Abhängigkeit zur Zyklusphase konnte hier jedoch nicht gezeigt werden (Kłapcinska, et al., 2002).

Tabelle 1 Studien, die die Auswirkungen von kohlenhydratbasierten Interventionen auf die sportliche Leistung bei menstruierenden Frauen untersuchen.

Autoren, Jahr (Land)	Studiendesign	Teilnehmer:innen	Beobachtete Zyklusphase	Trainingsprotokoll	Nährstoffbaiserte Intervention und Dauer	Ergebnis
McLay et al., 2007 (Neu Seeland)	Kontrolliert, randomisiert, Cross-over	Frauen (n = 9) Alter 25.1 ± 7.3 Keine Einnahme oraler Kontrazeptiva	MF: Tag 10 ± 2 ML: Tag 25 ± 4	Intervallprotokoll Fahrradergometer bei Intensitäten zwischen 45 % und 75 % VO _{2max} über 75 min, gefolgt von 16-km-Zeitfahren je 1 x pro Zyklusphase	3 Tage Diätprotokoll: KH-L 8.4 ± 0.9 g KH/kg KG/t Kontrollgruppe: NORM 5.2 ± 0.9 g KH/kg KG/t	↓Ruhe-Glykogen in MF kompensiert durch KH-L ØZeitfahrleistung durch Zyklusphase oder Diätintervention ØSubstratnutzung
Kłapcinska et al., 2002 (Polen)	Kontrolliert, randomisiert	Frauen (n = 7) Alter 21 ± 1.1 Keine Einnahme oraler Kontrazeptiva	MF: Tag 7 ± 1 ML: Tag 23 ± 1	Leerung der KH-S 3 Tage vor Testung: 1.2 h Laufband (20 min bei 6 km/h, dann 8 km/h) Testung: VO _{2max} -Test Fahrradergometer: 3-minütige Stufen, beginnend mit Leistung von 30 W, schrittweise Erhöhung um jeweils 30 W bis zur Erschöpfung je 2 x pro Zyklusphase	3 Tage Diätprotokoll: KH-A 5 En% KH, 52 En% F, 43 En% P der GEZ Kontrollgruppe: NORM 59 En% KH, 27 En% F, 14 En% P der GEZ	↑Stimulation des antioxidativen Abwehrsystems im Blut in Ruhe und im Trainingsprotokoll ↑α-Tocopherol, Eisen, Selen ↑Katalase-Aktivität ↓Vitamin C ↓Kreatinkinase-Aktivität bei einer CH-A Diät ↑Glutathionreduktase in Muskel-Faser-Proben (neg. Korrelation zw. GR und den Konzentrationen von E2 und Progesteron) ↑Muskelglykogenkonzentration unabhängig von Geschlecht oder Phase des MZ ØZyklusphase auf antioxidatives Abwehrsystem

Autoren, Jahr (Land)	Studiendesign	Teilnehmer:innen	Beobachtete Zyklusphase	Trainingsprotokoll	Nährstoffbaiserte Intervention und Dauer	Ergebnis
James et al., 2001 (Australien)	k. A.	Frauen (n = 6) Alter 19.8 ± 0.8 Einnahme oraler Kontrazeptiva Männer (n = 6) Alter 20.6 ± 2.6	MF: Tag 8 ± 1 ML: Tag 21 ± 1	Leerung der KH-S 1 Tag vor KH-L: Frauen 92 min bei 61 % VO_{2max} Männer 98 min bei 64 % VO_{2max} je 1 x, Frauen je entweder 7-9 Tage vor oder nach Eintritt der Periode	3 Tage Diätprotokoll: KH-L: 12 g KH/kg KG/d für alle ProbandInnen	↑Muskelglykogenkonzentration unabhängig von Geschlecht oder Phase des MZ
Campbell et al., 2001 (Australien)	Kontrolliert, randomisiert, doppelblind	Frauen (n = 8) Alter 24 ± 2 Keine Einnahme oraler Kontrazeptiva	MF: Tag 8 ± 1 ML: Tag 21 ± 1	2 h Fahrradergometer bei 70 % VO_{2max} ; anschließend Zeitfahren über 4 kJ/kg KG so schnell wie möglich (basierend auf dem beim ersten Test aufgezeichneten Gewicht) je 1 x pro Zyklusphase	400 ml eines Getränks zu Beginn der Übung und weitere 230 ml alle 15 Minuten während der 2-stündigen konstanten Trainingsperiode mit einer 6 %-igen Glukoselösung Kontrollgruppe: Wasser mit künstlichem Süßungsmittel (Aspartam)	↑Glukoseaufnahme- und -abbauraten während der 2. Stunde der Übung in MF im Vergleich zu MF ↑Prozentualer Anteil der Kohlenhydrate am Gesamtenergieverbrauch in MF im Vergleich zu ML ↑Leistungsverbesserung um 13 % in MF ↑Leistungsverbesserung (19 % und 26 % in MF und ML mit Glukoseaufnahme im Vergleich zu MF und ML ohne Glukoseaufnahme)

Autoren, Jahr (Land)	Studiendesign	Teilnehmer:innen	Beobachtete Zyklusphase	Trainingsprotokoll	Nährstoffbaiserte Intervention und Dauer	Ergebnis
Bailey et al., 2000 (USA)	Kontrolliert, doppel-blind	Frauen (n = 9) Alter 27 ± 6.8 Keine Einnahme oraler Kontrazeptiva	F: Tag 1 - 8 L: Tag 19 - 24	Fahrradergometer bei 70 % VO _{2max} bis zur Erschöpfung je 2 x pro Zyklusphase	Mahlzeit 3 h vor Testung: 840 kcal (67 % KH, 11 % P, 22 % F) Nach 30 min während Trainingsprotokoll und alle weiteren 30 min: 5 ml/kg einer 6 %-igen KH-Lösung: 0.6 g KH/kg KG/h Kontrollgruppe: Placebogetränk ohne nahrhafte Bestandteile	↓Abfall von Blutzuckerspiegel und Insulin ↓Anstieg von freien Fettsäuren im Plasma ↓Anstieg von Tryptophan, Epinephrin, Cortisol ↓Plasmakonzentrationen von Tyrosin, Valin, Leucin, Isoleucin, Phenylalanin im Vergleich zu Placebo ↓Plasmakonzentrationen von Alanin, Glutamin, Prolin, Isoleucin in L im Vergleich zu F ØZyklusphase auf Auswirkungen der KH-Supplementierung auf Leistung und Plasmaspiegel verwandter Substrate
Nicklas et al., 1989 (USA)	k. A.	Frauen (n = 6) Alter 26.3 ± 2.4 Keine Einnahme oraler Kontrazeptiva	MF: Tag 7 + 1 ML: Tag 21 + 1	Leerung der KH-S 4 Tage vor Testung: 90 min Fahrradergometer bei 60 % VO _{2max} gefolgt von 4 x 1-minütigen Sprints bei 100 % VO _{2max} Testung: 70 % VO _{2max} bis zur Erschöpfung je 1 x pro Zyklusphase	3 Tage Diätprotokoll: En% KH der GEZ MF 56.2 ± 3.2 ML 56.2 ± 2.4	↑Muskelglykogenwiederauffüllung in ML ↑Dauer bis zur Erschöpfung bei körperlicher Betätigung in ML ØGlykogenutzung zwischen den Zyklusphasen

Durchgestrichener Kreis (Ø) zeigt keine Wirkung an. Pfeil nach oben (↑) zeigt eine Zunahme an und Pfeil nach unten (↓) zeigt eine Abnahme an. MZ = Menstruationszyklus; (M)F: (Mitt-)Follikelphase; (M)L : (Mitt-)Lutealphase; min = Minute; h = Stunde; t = Tag; W = Watt; kJ = Kilojoule; VO_{2max} = maximale Sauerstoffaufnahme; g = Gramm; kg = Kilogramm; KG = Körpergewicht; En% = Energieprozent; GEZ = Gesamtenergiezufuhr; KH = Kohlenhydrate; P = Proteine; F = Fette; KH-A = kohlenhydratarm; KH-L = Kohlenhydratladen; KH-S = Kohlenhydratespeicher; NORM = normale Mischkost.

4.2 Protein-Interventionen

Wie in Tabelle 2 zusammengefasst, stammen fünf Studien deren Ergebnisse im Zusammenhang mit Proteintinterventionen bewertet wurden aus Neuseeland, Kanada und den USA. Alle Studien wurden mit gesunden, eumenoristischen Frauen an mindestens einem Zeitpunkt im Menstruationszyklus durchgeführt.

Die Zufuhr von Makronährstoffen nach dem Training ist entscheidend, um den Energiehaushalt zu stabilisieren, die Erholung zu optimieren und die Ausdauerleistung zu verbessern. Diesen Einfluss auf den Energiehaushalt und den Proteinstoffwechsel stellten Roy et al. in Phasen des erhöhten Trainingsumfangs fest (Roy, Luttmer, Bosman, & Tarnopolsky, 2002). Die Zufuhr von Kohlenhydraten und Proteinen nach dem Ausdauertraining half den Teilnehmerinnen, ihr Körpergewicht zu halten. Im Gegensatz dazu zeigten die Teilnehmerinnen der Kontrollgruppe, die ein Placebo erhielten, einen signifikanten Gewichtsverlust. Die Teilnehmerinnen, die nach dem Training Makronährstoffe konsumierten, zeigten eine positive Stickstoffbilanz, was auf eine bessere Proteinsynthese und Erholung hinweist. Dies deutet darauf hin, dass die Zufuhr von Makronährstoffen nach dem Training den Proteinstoffwechsel unterstützt. Die Zeit bis zur Erschöpfung während eines Folgetests war bei den Teilnehmerinnen, die nach dem Training Nährstoffe zu sich nahmen, länger, was auf eine verbesserte Regeneration und eine gesteigerte Ausdauerleistung hindeutet. Es wurde eine höhere Fettoxidation während des Trainings bei denjenigen beobachtet, die Makronährstoffe zu sich nahmen, im Vergleich zur Kontrollgruppe (Roy, Luttmer, Bosman, & Tarnopolsky, 2002). Im Ausdauersport hat die Proteinzufuhr oft weniger Beachtung erhalten als die Zufuhr von Kohlenhydraten. Dabei ist es für alle SportlerInnen – ob im Ausdauer- oder Kraftbereich – entscheidend, ausreichend Protein zu konsumieren und auf das richtige Timing zu achten. Ein älterer Ansatz, der auf der Stickstoffbilanz beruht, war ursprünglich darauf ausgelegt, Nährstoffmängel zu verhindern, aber nicht, um die sportliche Leistung zu verbessern (Vitale & Getzin, 2019). Die Studienlage kommt hier zu gemischten Ergebnissen. In Untersuchungen der Stickstoffbilanz, die ausschließlich in der MFP des Menstruationszyklus erfolgten, wurde gezeigt, dass bei einem Proteinverzehr von 0,8 g/kg KG/t das Training zu einem signifikanten ($P < 0,01$) Anstieg der Leucinoxidation bei beiden Gruppen führte. Auch der Leucinfluss nahm während des Trainings in beiden Gruppen signifikant zu. Basierend auf der Oxidation von infundiertem Leucin oxidierten Männer während der Trainingseinheit mehr Leucin als Frauen, aber bei Frauen war der Anstieg der Oxidation vom Ruhezustand zum Training größer als bei den Männern. Während derselben Trainingsphase stammte ein größerer Anteil der Energie bei den weiblichen Athletinnen aus Fett im Vergleich zu den männlichen Athleten (Phillips, Atkinson, Tarnopolsky, & MacDougall, 1993). Der geschätzte durchschnittliche Proteinbedarf für eine ausgeglichene Stickstoffbilanz betrug in diesen Studien zwischen 1,28 g/kg KG/Tag (Rowlands

& Wadsworth, 2011) und 1,63 g/kg KG/Tag (Houltham & Rowlands, 2014). Eine Studie (Kriengsinyos, Wykes, Goonewardene, Ball, & Pencharz, 2004) die den Einfluss der Menstruationszyklus auf den Lysinbedarf bei sowohl in der Follikel- als auch in der Lutealphase ebenfalls mittels Indikator-Aminosäure-Oxidation untersuchte, zeigte bei allen Lysinaufnahmestufen niedrigere Plasmaamino­säuren in der Lutealphase und erhöhte Phenylalanin-Oxidation im Vergleich zur Follikelphase. Der Lysinbedarf gesunder Frauen in der Lutealphase war 2,7 g/kg KG/Tag höher als der von Frauen in der Follikelphase. Ebenfalls war die Phenylalanin-Oxidation in MLP erhöht (Kriengsinyos, Wykes, Goonewardene, Ball, & Pencharz, 2004). Um festzustellen, ob es einen signifikanten Unterschied zwischen proteinreichen und proteinarmen Erholungsdiäten auf die nachfolgende Leistung gibt, unterzogen Rowlands et al. gut trainierte Radfahrerinnen 3 hochintensiven Fahrten und stellte keinen Einfluss der Proteindosis auf die durchschnittliche Leistung während der Wiederholungssprints an Tag 2 fest; zudem waren Ermüdungseffekte (Neigung) unklar. Das Empfinden von Beinermüdung und -schmerzen war in der proteinreichen Bedingung im Vergleich zur Kontrolle erhöht, und die Beinkraft war reduziert. In der proteinreichen Bedingung waren die Plasmaglukosekonzentrationen während der Erholung und die Plasmalaktatkonzentrationen während der Sprints niedriger. Die Auswirkungen auf die zirkulierende Kreatinkinase-Aktivität waren unbedeutend. Jedoch wurde auch hier eine positive Netto-Stickstoffbilanz während des Experiments in der proteinreichen Bedingung (1,4 g), aber eine negative in der Kontrollbedingung festgestellt (Rowlands & Wadsworth, 2011).

Tabelle 2 Studien, die die Auswirkungen von proteinbasierten Interventionen auf die sportliche Leistung bei menstruierenden Frauen untersuchen.

Autoren, Jahr (Land)	Studiendesign	Teilnehmer:innen	Beobachtete Zyklusphase	Trainingsprotokoll	Nährstoffbaiserte Intervention und Dauer	Ergebnisse
Houltham & Rowlands, 2014 (Neu Seeland)	Kontrolliert, Cross-over	Frauen (n = 10) Alter 30 ± 4.3 k. A. zur Einname von Kontrazeptiva	MF: Tag 4 - 11	3 Tage in Folge 90 min Intervalle auf dem Fahrradergometer bei 50-70 % VO _{2max}	Tägliche Energiezufuhr 2.7 g/kg KG/t (inkl. durchschn. 0.75 g/kg KG Molkeneinweiß nach Training) (32 En% P, 45 En% KH, 23 En% F der GEZ) Kontrollgruppe: tägliche Proteinzufuhr 1.4 g/kg KG/t (16 En% P, 54 En% KH, 30 En% F der GEZ)	Negative Stickstoffbilanz bei NORM 1.4 g/kg KG/t Positive Stickstoffbilanz bei P-R 2.7 g/kg KG/t 1.63 g/kg KG/t geschätzter durchschnittlicher Proteinbedarf
Rowlands & Wadsworth, 2011 (Neu Seeland)	Kontrolliert, randomisiert, doppel-blind, Cross-over	Frauen (n = 12) Alter 30 ± 7 6 davon Einname oraler Kontrazeptiva	MF: Tag 5 ± 2	3 hochintensive Fahrten, bestehend aus 2,5 h Intervallen an Tag 1, gefolgt von Wiederholungssprint- Leistungstests an Tagen 2 und 4, unterbrochen von einem Ruhetag	Während 4-stündiger Erholung an Tagen 1 und 2 P-R (1.4 KH, 0.7 P, 0.26 F g/kg KG) oder ISOK (2.1 KH, 0.1 P, 0.26 F g/kg KG) Kontrollgruppe: ISOE KH-R	ØLeistung durch Proteinmenge in der Ernährung
Kriengsinyos et al., 2004 (Kanada)	Randomisiert	Frauen (n = 5) Alter 33.6 ± 5.9 Keine Einnahme oralen Kontrazeptiva	MF: Tag 5 ± 2 ML: Tag 4 - 7 vor Einsatz der Monatsblutung	k. A.	Je 2-tägiges Diätprotokoll 7 abgestufter Lysin- Aufnahmemengen (10, 25, 30, 35, 40, 45, 60 mg/kg/t) sowohl in MF als auch in ML; verabreicht zusammen mit KH, P, und homogenisierter Milch i. F. v. 3 Mahlzeiten über Tag verteilt (37 En% F, 53 En% KH, 10 En% P der GEZ)	↑Phenylalanin-Oxidation in ML ↑Lysinbedarf in ML

Autoren, Jahr (Land)	Studiendesign	Teilnehmer:innen	Beobachtete Zyklusphase	Trainingsprotokoll	Nährstoffbaisierte Intervention und Dauer	Ergebnis
Roy et al., 2002 (Kanada)	Kontrolliert, doppel-blind, Cross-over	Frauen (n = 10) Alter 21 ± 0.2 6 davon Einnahme oraler Kontrazeptiva	MF: Tag 4 - 11	60 min Radfahren bei 65 % VO _{2max} an Tagen 1, 3, 4 und 90 min an Tag 6, Radfahren bis zur Erschöpfung bei 75 % VO _{2max} an Tag 7	Je 7-tägiges Diätprotokoll Gemischtes Supplement nach dem Training 0,24 g/kg Molkenprotein (23% P, 66% KH, 12% F); nicht-kalorisches Placebo 10 h vor dem Training (16 En% P, 58 En% KH, 26 En% F der GEZ); Kontrollgruppe: Gemischtes Supplement mit 0,24 g/kg Molkenprotein 10 h vor dem Training (23 En% P, 66 En% KH, 12 En% F der GEZ), nicht-kalorisches Placebo nach dem Training (tägliche Energie: 16 % P, 58 % KH, 26% F der GEZ)	ØStickstoffbilanz (Tendenz zu einer verbesserten Bilanz an den Tagen 6 und 7 nach dem Training) ↓Gewichtsverlust nach dem Training im Vergleich zu vor dem Training
Phillips et al., 1993 (USA)	Kontrolliert, Einzel-intervention	Frauen (n = 26) Alter 23 ± 4.9 Keine Einnahme oraler Kontrazeptiva Männer (n = 19) Alter 23.3 ± 3.9	MF: Tag 8 ± 1	90 min Laufen bei 65 % VO _{2max}	10-tätiges Diätprotokoll Proteinzufuhr 0.8 g/kg KG/t Energiezusammensetzung Frühstück 4 % P, 82 % KH, 14 % F	↑Leucinoxidation in beiden Gruppen ↑Leucinfluss in beiden Gruppen Negative Stickstoffbalance bei Proteinzufuhr von 0.8 g/kg KG/t

Durchgestrichener Kreis (Ø) zeigt keine Wirkung an. Pfeil nach oben (↑) zeigt eine Zunahme an und Pfeil nach unten (↓) zeigt eine Abnahme an. MZ = Menstruationszyklus; (M)F: (Mitt-)Follikelphase; (M)L : (Mitt-)Lutealphase; min = Minute; h = Stunde; t = Tag; VO_{2max} = maximale Sauerstoffaufnahme; g = Gramm; kg = Kilogramm; KG = Körpergewicht; En% = Energieprozent; GEZ = Gesamtenergiezufuhr; KH = Kohlenhydrate; P = Proteine; F = Fette; KH-R = kohlenhydratreich; P-R = proteinreich; ISOK = isokalorisch; ISOE = isoenergetisch.

4.3 Fett-Interventionen

In der aktuellen wissenschaftlichen Literatur gibt es nur begrenzte Forschungsergebnisse, die sich spezifisch mit der Fettaufnahme bei weiblichen Ausdauersportlerinnen befassen. Während zahlreiche Studien die Bedeutung von Makronährstoffen wie Kohlenhydraten und Proteinen für die sportliche Leistung und Regeneration untersucht haben, bleibt der Einfluss der Fettaufnahme auf die Gesundheit und das Verletzungsrisiko von Ausdauersportlerinnen weitgehend unerforscht. Insbesondere gibt es nur wenige Untersuchungen, die sich mit der Beziehung zwischen Fettaufnahme, Energieverfügbarkeit und der Prävention von Überlastungsverletzungen bei weiblichen Athletinnen auseinandersetzen. Diese Lücke in der wissenschaftlichen Literatur unterstreicht den Bedarf an weiteren Studien, um die spezifischen Ernährungsbedürfnisse und die optimalen Ernährungsstrategien für weibliche Ausdauersportlerinnen besser zu verstehen.

Gerlach et al. stellten die Hypothese auf, dass Läuferinnen, die Überlastungsverletzungen erleiden, eine geringere Energieaufnahme, eine geringere Energieverfügbarkeit und eine geringere Fettaufnahme haben im Vergleich zu nicht verletzten Läuferinnen (Gerlach, Burton, Dorn, Leddy, & Horvath, 2008). In diesem Kontext wurde die Beziehung zwischen Energieaufnahme, Energieverfügbarkeit, Fettaufnahme und Verletzungen der unteren Extremitäten bei erwachsenen Läuferinnen untersucht. Zur Durchführung der Studie wurden 86 weibliche Probandinnen, die mindestens 20 Meilen pro Woche liefen, gebeten, einen Fragebogen zur Nahrungsfrequenz auszufüllen und über das Auftreten von Verletzungen im nächsten Jahr zu berichten. Die Ergebnisse zeigten, dass verletzte Läuferinnen signifikant geringere Aufnahmen von Gesamtfett (63 ± 20 vs. 80 ± 50 g/Tag) sowie einen geringeren Prozentanteil der Kalorien aus Fett (27 ± 5 % vs. 30 ± 8 %) im Vergleich zu nicht verletzten Läuferinnen hatten. Eine logistische Regressionsanalyse ergab, dass die Fettaufnahme der beste Ernährungsprädiktor war, der 64 % der zukünftigen Verletzungen korrekt vorhersagte. Eine geringere Energieaufnahme und eine geringere Energieverfügbarkeit standen in dieser Studie in einem nicht signifikanten Zusammenhang mit Überlastungsverletzungen. Obwohl keine Studie identifiziert werden konnte, die mit Ausdauerathletinnen durchgeführt wurde, gibt es dennoch relevante Ergebnisse, die den Einfluss von Fischölsupplementierung auf trainingsbedingte Muskelschäden durch exzentrische Kniestreckbelastung und die Rolle von Östrogenspiegeln im weiblichen Menstruationszyklus untersucht (McKinley-Barnard, Andre, Gann, Hwang, & Willoughby, 2018). Diese Faktoren könnten auch für Ausdauerathletinnen von Bedeutung sein, da sie regelmäßig intensiven körperlichen Belastungen ausgesetzt sind, die zu ähnlichen Muskelbelastungen führen können. In der Studie wurde die Wirksamkeit von Fischölsupplementierung bei Frauen während verschiedener Phasen des Menstruationszyklus untersucht. Es wurden 22 körperlich aktive Frauen zufällig in zwei Gruppen eingeteilt: Eine Gruppe nahm Fischöl, die andere ein Placebo. Die Teilnehmerinnen absolvierten zwei exzentrische

Trainingsbelastungen der Kniestrecker, einmal in der mittleren Follikel- und einmal in der mittleren Lutealphase des Menstruationszyklus. Die Ergebnisse zeigten, dass der Muskelkater nach dem Training in beiden Phasen signifikant stärker war als vor dem Training. Zudem waren die Konzentrationen bestimmter Entzündungsmarker in der Follikelphase höher als in der Lutealphase. Es wurden jedoch keine Unterschiede in der Muskelkraft oder anderen untersuchten Parametern zwischen den Phasen festgestellt (McKinley-Barnard, Andre, Gann, Hwang, & Willoughby, 2018).

Tabelle 3 Studien, die die Auswirkungen von fettbasierten Interventionen auf die sportliche Leistung bei menstruierenden Frauen untersuchen.

Autoren, Jahr (Land)	Studien-design	Teilnehmer-Innen	Beobachtete Zyklusphase	Trainingsprotokoll	Nährstoffbaiserte Intervention und Dauer	Ergebnis
McKinley-Barnard et al., 2018 (USA)	Kontrolliert, randomisiert, doppelblind	Frauen (n = 22) Alter 20.9 ± 1.4 Keine Einnahme oraler Kontrazeptiva	MF & ML Tage 1 - 21	Exzentrische Kniestreckerbelastung	21 t tägl. Supplementierung 6 g Fischöl Placebogruppe: 6 g Distelöl	ØMuskelkraft, Myoglobin, NF-Kb p50 oder NF-Kb p65 ↑Konzentrationen von SOD und TNF-α in MF
Gerlach et al., 2008 (USA)	Multi-faktorielle Analyse	Frauen (n = 86) Alter 37 ± 9.2	k.A.	Wochen-km im Durchschnitt = 30	Diätprotokoll und Verletzungsreport	Øzwischen verletzten und nicht verletzten Läuferinnen hinsichtl. GEZ oder des prozentualen Anteils von KH und P in der Ernährung, sowie in Aufnahme von BS, Mg, Ca, Fe, Zi, Cu, Vit. B6, B12, C, D ↓F-, Vit. A und K -aufnahme, Prozentsatz der GEZ aus F in verletzten ggü. nicht verletzten Läuferinnen

Durchgestrichener Kreis (Ø) zeigt keine Wirkung an. Pfeil nach oben (↑) zeigt eine Zunahme an und Pfeil nach unten (↓) zeigt eine Abnahme an. (M)F: (Mitt-)Follikelphase; (M)L : (Mitt-)Lutealphase; t = Tag; g = Gramm; KH = Kohlenhydrate; P = Proteine; F = Fette; BS = Ballaststoffe; Vit. = Vitamin; Mg = Magnesium; Ca = Calcium; Fe = Eisen; Zi = Zink; Cu = Kupfer; NF-κB = Nuklearfaktor kappa B; SOD = Superoxiddismutase; TNF = Tumornekrosefaktor.

4.4 Mikronährstoffe

Vitamin D

Vitamin D ist ein fettlösliches Vitamin, das eine wesentliche Rolle im Calcium- und Phosphatstoffwechsel spielt, was entscheidend für die Gesundheit des Skelettsystems ist. Bei weiblichen Ausdauerathletinnen ist Vitamin D besonders wichtig, da es die Aufnahme von Calcium im Darm fördert und die Mineralisierung der Knochen unterstützt, was für die Erhaltung der Knochendichte und die Prävention von Stressfrakturen unerlässlich ist (Moreira & Bilezikian, 2017). Studien zeigen, dass ein Mangel an Vitamin D bei Athletinnen das Risiko für verminderte Knochendichte und erhöhte Verletzungsgefahr erhöhen kann. Dies liegt daran, dass Vitamin D, indem es die Calciumhomöostase reguliert, eine kritische Rolle in der Knochengesundheit spielt und eine unzureichende Zufuhr zu einer erhöhten Knochenresorption und einem damit verbundenen Verlust an Knochenmasse führen kann (Heikura, et al., 2018). Darüber hinaus haben Forschungsergebnisse darauf hingewiesen, dass Vitamin D auch extraskelletale Vorteile bietet, darunter die Unterstützung der Muskelgesundheit und die Verbesserung der Muskelfunktion, was für die sportliche Leistung und die Verletzungsprävention von Vorteil ist (McKay, Sim, & Peeling, 2023). In Anbetracht der Tatsache, dass Athletinnen, insbesondere solche mit eingeschränkter Sonnenexposition oder einer Ernährung, die wenig Vitamin D enthält, einem erhöhten Risiko für Vitamin-D-Mangel ausgesetzt sind, wird eine tägliche Zufuhr von 1.000 bis 2.000 IE empfohlen. Diese Mengen sollen sicherstellen, dass die Knochengesundheit optimal unterstützt wird und das Risiko von Verletzungen minimiert wird (Mountjoy, et al., 2014; McKay, Sim, & Peeling, 2023).

Calcium

Calcium ist ein essenzieller Mineralstoff, der eine zentrale Rolle bei der Erhaltung der Knochengesundheit und der Unterstützung von Muskelkontraktionen spielt. Für weibliche Ausdauerathletinnen ist eine ausreichende Calciumzufuhr entscheidend, da die mechanische Belastung der Knochen durch intensives Training die Knochendichte beeinflusst und das Risiko für Stressfrakturen und Osteoporose erhöht (Mountjoy, et al., 2014). Das Internationale Olympische Komitee (IOC) und andere Sportorganisationen empfehlen eine tägliche Calciumzufuhr von 1.000 bis 1.500 mg für weibliche Athletinnen, um die metabolischen Anforderungen zu erfüllen, die durch intensives Training entstehen, und um die Knochengesundheit zu unterstützen (Mountjoy, et al., 2014). Diese Menge sollte idealerweise über den Tag verteilt in Dosen von weniger als 500 mg aufgenommen werden, um die Calciumabsorption zu maximieren und die Bildung von Nierensteinen zu vermeiden (McKay, Sim, & Peeling, 2023). Insbesondere Athletinnen, die an niedrigem Körperfettanteil oder eingeschränkter Energieverfügbarkeit leiden, wie dies häufig bei

Ausdauersportlerinnen der Fall ist, müssen darauf achten, genügend Calcium zu sich zu nehmen, um eine optimale Knochendichte zu erhalten (Heikura, et al., 2018).

Eisen

Eisen ist ein essenzielles Spurenelement, das eine Schlüsselrolle im Sauerstofftransport durch Hämoglobin im Blut sowie in der Energieproduktion innerhalb der Muskelzellen spielt. Aufgrund von menstruationsbedingten Blutverlusten und der erhöhten Nachfrage durch intensive körperliche Aktivität sind weibliche Athletinnen besonders anfällig für Eisenmangel und Eisenmangelanämie (Sim, et al., 2019). Ein ausreichender Eisenstatus ist für die Aufrechterhaltung der sportlichen Leistungsfähigkeit von entscheidender Bedeutung, da ein Mangel die Sauerstofftransportkapazität des Blutes vermindern und zu erhöhter Ermüdung sowie einer reduzierten aeroben Kapazität führen kann (Heikura, et al., 2018). Trotz des umfangreichen Wissens über die Bedeutung von Eisen für Athletinnen, insbesondere im Hinblick auf die erhöhte Nachfrage durch menstruationsbedingte Verluste und intensive körperliche Aktivität, gibt es bisher nur wenige Studien, die die Eisenaufnahme und den Eisenbedarf spezifisch in den verschiedenen Phasen des Menstruationszyklus untersuchen. Es ist bekannt, dass hormonelle Schwankungen während des Zyklus, wie Veränderungen der Östrogen- und Progesteronspiegel, den Eisenstoffwechsel beeinflussen können. Zum Beispiel wurde festgestellt, dass Östrogen die Eisenabsorption in bestimmten Phasen des Zyklus erhöht, während die Eisenverluste durch die Menstruation in anderen Phasen signifikant ansteigen können (Angeli, et al., 2016). Trotz dieser Erkenntnisse fehlen systematische Untersuchungen, die die genauen Eisenbedürfnisse und die optimale Eisenaufnahme in den verschiedenen Phasen des Menstruationszyklus bei weiblichen Athletinnen klären. Diese Forschungslücke deutet auf die Notwendigkeit weiterer Studien hin, um Ernährungsstrategien zu entwickeln, die den spezifischen Eisenbedarf von Sportlerinnen unter Berücksichtigung ihres Menstruationszyklus optimieren (Sim, et al., 2019). Zur Prävention von Eisenmangel wird empfohlen, dass weibliche Athletinnen eine tägliche Eisenzufuhr von etwa 18 mg sicherstellen, um den erhöhten Bedarf durch Menstruation und sportliche Belastung zu decken (McKay, Sim, & Peeling, 2023). In Fällen bekannter Eisenmangelzustände oder bei Athletinnen mit hoher Trainingsbelastung kann eine noch höhere Zufuhr erforderlich sein. Es wird auch empfohlen, den Eisenstatus regelmäßig zu überwachen und, falls nötig, eine gezielte Eisensupplementierung durchzuführen, insbesondere während der menstrualen Phasen, um die Wiederherstellung der Eisenspeicher zu unterstützen und eine Eisenmangelanämie zu vermeiden (McKay, Sim, & Peeling, 2023).

Vitamin K

Vitamin K ist ein essenzieller Mikronährstoff, der eine zentrale Rolle in der Regulation der Blutgerinnung und der Knochengesundheit spielt. Für weibliche Ausdauerathletinnen ist eine ausreichende Vitamin-K-Zufuhr besonders wichtig, da sie durch die intensive körperliche Belastung ein erhöhtes Risiko für Knochenschäden und Frakturen haben können. Vitamin K unterstützt die Synthese von Osteocalcin, einem Protein, das für die Bindung von Calcium an die Knochenmatrix unerlässlich ist, wodurch die Knochendichte erhöht und das Risiko von Frakturen verringert werden kann (McKay, Sim, & Peeling, 2023; Mountjoy, et al., 2014). Aktuelle Forschungsergebnisse deuten darauf hin, dass weibliche Athletinnen, insbesondere solche mit niedriger Energieverfügbarkeit oder hormonellen Ungleichgewichten wie Amenorrhoe, ein höheres Risiko für Vitamin-K-Mangel aufweisen könnten, was zu einer reduzierten Knochendichte und einem erhöhten Osteoporose-Risiko führen kann (Heikura, et al., 2018). Das IOC empfiehlt daher eine tägliche Zufuhr von etwa 90 µg Vitamin K, um die Knochengesundheit zu fördern und die Wahrscheinlichkeit von Knochenschäden zu minimieren (Mountjoy, et al., 2014). Angesichts der erhöhten metabolischen Anforderungen und der potenziellen Risiken durch intensive sportliche Betätigung sollten weibliche Ausdauerathletinnen sicherstellen, dass sie ausreichende Mengen an Vitamin K über ihre Ernährung oder durch Supplementierung aufnehmen.

5 Diskussion

5.1 Kohlenhydrat-Interventionen

Die Ergebnisse der untersuchten Studien zu Kohlenhydratinterventionen in Abhängigkeit von den Phasen des Menstruationszyklus bei weiblichen Ausdauerathletinnen zeigen eine heterogene Datenlage. Insgesamt weisen die Studien darauf hin, dass die Phase des Menstruationszyklus nur einen begrenzten Einfluss auf die Substratnutzung und die Leistungsfähigkeit während der Ausdaueraktivität hat. Zum Beispiel zeigte die Arbeit von McLay et al., dass weder die Kohlenhydrataufnahme noch die Phase des Menstruationszyklus signifikante Unterschiede in der Zeitfahrleistung und Substratnutzung bei trainierten Frauen verursachten (McLay, Thomson, Williams, & Rehrer, 2007). In der Praxis könnte dies bedeuten, dass für viele Athletinnen eine kohlenhydratreiche Diät unabhängig von der Zyklusphase vorteilhaft ist, um eine optimale Leistung zu gewährleisten. Im Gegensatz dazu wiesen Nicklas et al. auf eine Tendenz hin, dass die Erschöpfungsdauer, während der mittleren Lutealphase, länger ist als in der mittleren Follikelphase, was auf eine erhöhte Glykogenwiederauffüllung in der Lutealphase hindeutet (Nicklas, Hackney, & Sharp, 1989). Dieses Ergebnis deutet darauf hin, dass eine Ernährungsanpassung auf die spezifischen zyklischen Bedürfnisse potenziell Leistungssteigerungen bringen könnte, indem die Glykogenspeicher in bestimmten Phasen effizienter wieder aufgefüllt werden. Diese widersprüchlichen Ergebnisse könnten auf verschiedene Faktoren zurückzuführen sein, wie Unterschiede in den Studienprotokollen, der körperlichen Verfassung der Teilnehmerinnen oder der genauen Definition und Kontrolle der Zyklusphasen. Die Ergebnisse von Campbell et al. zeigen beispielsweise, dass die Glukoseaufnahme und -verwertung während der zweiten Trainingsstunde in der Follikelphase höher waren als in der Lutealphase, was auf hormonelle Unterschiede und deren Einfluss auf den Glukosemetabolismus hinweist (Campbell, Angus, & Febbraio, 2001). Diese Ergebnisse legen nahe, dass die Kohlenhydratzufuhr, insbesondere während der Follikelphase, optimiert werden könnte, um die Glukoseverwertung zu maximieren. Diese Studie unterstreicht außerdem die Bedeutung der präzisen Erfassung und Kontrolle der Zyklusphasen und deren potenziellen Einfluss auf den Stoffwechsel und die Leistungsfähigkeit. Darüber hinaus legen die Studien nahe, dass eine erhöhte Kohlenhydratzufuhr während der verschiedenen Zyklusphasen unterschiedliche Effekte haben kann, insbesondere im Hinblick auf die sportliche Leistung und das antioxidative Abwehrsystem. Kłapcinska et al. zeigten, dass eine kohlenhydratarme Diät die antioxidative Kapazität unabhängig von der Zyklusphase stimulieren kann (Kłapcinska, et al., 2002). Dies deutet darauf hin, dass Ernährungsstrategien, die sich an den Zyklusphasen orientieren, möglicherweise nicht nur die Leistung optimieren, sondern auch zur Gesundheit und Regeneration der Athletinnen beitragen könnten.

Abschließend lässt sich schlussfolgern, dass eine personalisierte Kohlenhydratstrategie, die sowohl die Zyklusphase als auch die individuelle Reaktion auf Kohlenhydrate berücksichtigt, eine potenziell wertvolle Ergänzung in der Leistungsoptimierung weiblicher Athletinnen sein könnte. Die vorhandene Forschung unterstützt die Hypothese, dass eine höhere Kohlenhydrataufnahme in bestimmten Zyklusphasen nicht nur die sportliche Leistung steigern, sondern auch die Regeneration verbessern könnte. Weitere Studien sind jedoch notwendig, um detaillierte Empfehlungen zu entwickeln und die Mechanismen hinter diesen Beobachtungen vollständig zu verstehen. Insgesamt deuten diese Befunde darauf hin, dass mehr Forschung erforderlich ist, um die spezifischen Auswirkungen von Kohlenhydratinterventionen in verschiedenen Menstruationszyklusphasen besser zu verstehen. Es ist wichtig, zukünftige Studien mit größeren Stichproben und kontrollierten Bedingungen durchzuführen, um genauere Empfehlungen für die Ernährungsstrategien von weiblichen Ausdauerathletinnen zu entwickeln. Solche Untersuchungen könnten dazu beitragen, personalisierte Ernährungspläne zu erstellen, die nicht nur die sportliche Leistung verbessern, sondern auch das allgemeine Wohlbefinden und die Gesundheit der Athletinnen fördern.

5.2 Protein-Interventionen

Die Ergebnisse der Kohlenhydratinterventionsstudien legen nahe, dass die Phase des Menstruationszyklus nur begrenzten Einfluss auf die Substratnutzung und die Leistungsfähigkeit während der Ausdaueraktivität hat, wobei dennoch einige Unterschiede in der Glukoseaufnahme und der Leistung zwischen den Zyklusphasen beobachtet wurden. Diese Erkenntnisse unterstreichen die Komplexität der Ernährungseffekte bei weiblichen Athletinnen und die Notwendigkeit, die spezifischen Bedürfnisse in Bezug auf die Makronährstoffaufnahme weiter zu erforschen. In ähnlicher Weise bleibt auch die Rolle der Proteinzufuhr in Abhängigkeit von den Zyklusphasen unklar, wobei die aktuelle Literatur widersprüchliche Ergebnisse hinsichtlich der optimalen Proteinmengen und deren Auswirkungen auf die Leistungsfähigkeit und Regeneration zeigt. Die Analyse der Studien zu Proteininterventionen bei weiblichen Ausdauerathletinnen zeigt, dass der Zusammenhang zwischen Proteinzufuhr, Menstruationszyklus und sportlicher Leistung komplex ist und bisher uneinheitliche Ergebnisse vorliegen. Die meisten Studien untersuchten die Auswirkungen von Protein auf den Stickstoffhaushalt und die Regeneration nach intensivem Training, aber es gab keine einheitliche Methode zur Bestimmung des optimalen Proteinbedarfs in den verschiedenen Zyklusphasen. In mehreren Studien wurde die Stickstoffbilanz als Maß für den Proteinbedarf herangezogen, wobei festgestellt wurde, dass der Proteinbedarf variieren kann, je nach Phase des Menstruationszyklus und der Trainingsbelastung. Beispielsweise zeigte die Studie von Phillips et al., dass die Stickstoffbilanz bei einem Proteinverzehr von 0,8 g/kg Körpergewicht während des Trainings unzureichend war, was darauf hinweist, dass die empfohlene Proteinzufuhr möglicherweise nicht ausreicht, um den Bedarf von weiblichen Athletinnen zu decken, insbesondere

in der mittleren Follikelphase (Phillips et al., 1993). Andere Studien wie die von Rowlands et al. und Houltham et al. fokussierten sich auf die Auswirkungen unterschiedlicher Proteinzuführen nach dem Training auf die sportliche Leistung und die Regeneration. Rowlands et al. fanden heraus, dass eine höhere Proteinzufuhr nach dem Training zu einer positiven Stickstoffbilanz führen kann, jedoch keine signifikanten Auswirkungen auf die Leistung bei wiederholten Sprints hatte (Rowlands et al., 2011). Dies deutet darauf hin, dass die Menge und das Timing der Proteinzufuhr möglicherweise eine Rolle bei der Regeneration spielen, aber nicht unbedingt die sportliche Leistung unmittelbar beeinflussen. Besonders hervorzuheben ist die Arbeit von Kriengsinyos et al., die zeigte, dass der Lysinbedarf während der Lutealphase höher ist als in der Follikelphase, was auf hormonelle Veränderungen und deren Einfluss auf den Aminosäuremetabolismus hinweisen könnte (Kriengsinyos et al., 2004). Diese Studie unterstreicht die Notwendigkeit, den Proteinbedarf unter Berücksichtigung der Menstruationszyklusphase zu untersuchen, um eine optimale Ernährung für weibliche Athletinnen sicherzustellen.

Insgesamt verdeutlichen die bisherigen Forschungsergebnisse, dass die Rolle der Proteinzufuhr bei weiblichen Ausdauerathletinnen noch nicht vollständig verstanden ist und dass mehr Forschung erforderlich ist, um die spezifischen Ernährungsbedürfnisse in verschiedenen Zyklusphasen zu klären. Künftige Studien sollten größere Stichproben umfassen und unterschiedliche Methoden zur Messung des Proteinbedarfs anwenden, um eine fundierte Grundlage für Ernährungsempfehlungen zu schaffen, die die zyklusbedingten Schwankungen und den individuellen Bedarf der Athletinnen berücksichtigen. Dies könnte nicht nur zur Verbesserung der sportlichen Leistung beitragen, sondern auch zur Förderung der Gesundheit und des Wohlbefindens von Sportlerinnen im Hochleistungsbereich.

5.3 Fett-Interventionen

Aufgrund der begrenzten Datenlage zur Fettaufnahme bei weiblichen Ausdauerathletinnen war es erforderlich, in dieser Untersuchung auch Studien zu berücksichtigen, die nicht alle strengen Einschlusskriterien vollständig erfüllten. Insbesondere in Bezug auf die spezifischen Auswirkungen der Fettaufnahme auf die sportliche Leistung und Gesundheit in den verschiedenen Phasen des Menstruationszyklus fehlen groß angelegte, randomisierte Studien. Um dennoch relevante Erkenntnisse zu gewinnen und in die Diskussion einfließen lassen zu können, wurde auf verfügbare Literatur zurückgegriffen, die teilweise methodische Einschränkungen aufweist. Dies ermöglicht zwar einen ersten Einblick in die Rolle von Fett in der Ernährung weiblicher Athletinnen, zeigt jedoch auch die Notwendigkeit weiterer, methodisch hochwertiger Studien auf, um fundierte und spezifische Empfehlungen ableiten zu können. Die derzeitige Forschung zur Fettaufnahme bei weiblichen Ausdauerathletinnen zeigt, dass dieser Bereich noch wenig erforscht ist, insbesondere in Bezug auf die spezifischen Auswirkungen der Fettaufnahme auf die Gesundheit und das

Verletzungsrisiko in Abhängigkeit von den verschiedenen Phasen des Menstruationszyklus. Während Studien wie die von Gerlach et al. (2008) darauf hinweisen, dass eine geringere Fettaufnahme mit einem erhöhten Risiko für Überlastungsverletzungen bei Läuferinnen verbunden ist, fehlt es an detaillierten Untersuchungen, die die Mechanismen hinter diesem Zusammenhang klären könnten. Die Studie von Gerlach et al. fand heraus, dass verletzte Läuferinnen eine signifikant niedrigere Fettaufnahme hatten als nicht verletzte, und dass die Fettaufnahme als der beste Prädiktor für zukünftige Verletzungen identifiziert wurde, was darauf hinweist, dass Fett möglicherweise eine wichtige Rolle in der Prävention von Verletzungen spielt. Darüber hinaus wurde in der Studie von McKinley-Barnard et al. (2016) untersucht, ob die Fischölsupplementierung während unterschiedlicher Menstruationszyklusphasen die muskelschädigenden Auswirkungen von exzentrischem Training bei Frauen beeinflusst. Die Ergebnisse dieser Studie zeigten, dass die Einnahme von Fischöl keine signifikanten Unterschiede in der Muskelkraft oder anderen Leistungsparametern verursachte, aber die Entzündungsmarker wie Superoxiddismutase und Tumornekrosefaktor Alpha (TNF- α) in der mittleren Follikelphase erhöht waren. Diese Ergebnisse könnten darauf hinweisen, dass die Fettzusammensetzung der Ernährung, insbesondere die Art der aufgenommenen Fette, Einfluss auf entzündliche Reaktionen und möglicherweise auch auf die Regeneration und Verletzungsanfälligkeit haben könnte.

Trotz dieser Hinweise bleibt die Rolle von Fett in der Ernährung weiblicher Ausdauerathletinnen weitgehend unklar, insbesondere in Bezug auf die unterschiedlichen Anforderungen und Auswirkungen während der verschiedenen Phasen des Menstruationszyklus. Es ist offensichtlich, dass weitere Forschung notwendig ist, um besser zu verstehen, wie Fettaufnahme und Fettzusammensetzung die Leistungsfähigkeit, Regeneration und Verletzungsanfälligkeit von Athletinnen beeinflussen können. Zukünftige Studien sollten sich darauf konzentrieren, die spezifischen Bedürfnisse an Fett in den verschiedenen Zyklusphasen zu ermitteln und zu klären, ob und wie eine gezielte Fettzufuhr dazu beitragen kann, die Gesundheit und Leistungsfähigkeit von Ausdauerathletinnen zu optimieren. Diese Erkenntnisse könnten dann verwendet werden, um gezielte Ernährungsempfehlungen zu entwickeln, die den besonderen physiologischen Anforderungen von Frauen im Leistungssport gerecht werden.

5.4 Mikronährstoffe

Die Ergebnisse der Makronährstoffstudien zeigen, dass sowohl Kohlenhydrate als auch Proteine eine wichtige Rolle für die Leistungsfähigkeit und Regeneration spielen. Jedoch bleibt die spezifische Rolle der Mikronährstoffe in diesem Kontext, insbesondere in Bezug auf die unterschiedlichen Phasen des Menstruationszyklus, noch weitgehend unerforscht, und es gibt insgesamt weniger Studien zu Mikronährstoffinterventionen. Vitamin D ist ein wesentlicher Mikronährstoff, der eine entscheidende Rolle im Calcium- und Phosphatstoffwechsel spielt und für die Erhaltung der

Knochengesundheit wichtig ist. Bei weiblichen Ausdauerathletinnen kann ein Mangel an Vitamin D zu einer verminderten Knochendichte und einem erhöhten Risiko für Stressfrakturen führen, was insbesondere bei geringer Sonnenexposition oder unzureichender Ernährung problematisch sein kann (Smith, et al., 2022; Heikura, et al., 2018). Calcium, ein weiterer wichtiger Nährstoff, unterstützt die Knochendichte und Muskelkontraktionen. Eine ausreichende Calciumzufuhr ist besonders wichtig, um das Risiko von Stressfrakturen und Osteoporose zu reduzieren, was für Athletinnen, die intensives Training absolvieren, von großer Bedeutung ist (Mountjoy et al., 2014).

Eisen ist im Vergleich zu anderen Mikronährstoffen am besten erforscht und spielt eine zentrale Rolle im Sauerstofftransport und in der Energieproduktion. Aufgrund von menstruationsbedingten Verlusten und der erhöhten Nachfrage durch sportliche Aktivitäten sind weibliche Ausdauerathletinnen besonders anfällig für Eisenmangel und Eisenmangelanämie, was ihre Leistungsfähigkeit erheblich beeinträchtigen kann (Sim et al., 2019; Heikura et al., 2018). Dennoch gibt es wenige spezifische Untersuchungen zur Eisenaufnahme in verschiedenen Phasen des Menstruationszyklus. Vitamin K ist ebenfalls entscheidend für die Gesundheit von Athletinnen, da es an der Blutgerinnung und Knochengesundheit beteiligt ist. Forschungsergebnisse deuten darauf hin, dass ein Vitamin-K-Mangel, besonders bei Athletinnen mit niedriger Energieverfügbarkeit oder hormonellen Ungleichgewichten, zu einer reduzierten Knochendichte und einem erhöhten Osteoporose-Risiko führen kann (Heikura et al., 2018).

Insgesamt verdeutlichen die bisherigen Studien zu Mikronährstoffen, dass diese Nährstoffe eine wesentliche Rolle in der Gesundheit und Leistungsfähigkeit weiblicher Athletinnen spielen. Dennoch ist die Forschung zu den spezifischen Bedürfnissen dieser Nährstoffe in den verschiedenen Phasen des Menstruationszyklus begrenzt. Um fundierte Ernährungsempfehlungen entwickeln zu können, die auf die physiologischen Anforderungen und Herausforderungen von Sportlerinnen im Hochleistungsbereich abgestimmt sind, ist mehr Forschung notwendig. Diese sollte sich insbesondere auf die zyklusabhängigen Schwankungen des Bedarfs und die Auswirkungen verschiedener Mikronährstoffinterventionen konzentrieren, um die Gesundheit, Leistungsfähigkeit und Regeneration von weiblichen Athletinnen zu optimieren.

6 Schluss

Die vorliegende Arbeit bietet einen umfassenden Überblick über die aktuelle wissenschaftliche Literatur zur Wirkung des Menstruationszyklus auf die sportliche Leistungsfähigkeit und den Ernährungsbedarf weiblicher Athletinnen im leistungsorientierten Sport. Im Fokus stand die Frage, inwiefern hormonelle Schwankungen im weiblichen Zyklus – insbesondere in der Follikel- und Lutealphase – einen Einfluss auf die Leistungsparameter, die Trainingsanpassungen und die Ernährungsstrategien haben. Die Ergebnisse der untersuchten Studien zeigen, dass trotz zunehmendem Interesse an diesem Forschungsbereich nach wie vor erhebliche Wissenslücken bestehen, und die Erkenntnisse uneinheitlich sind. Ein zentraler Befund der Arbeit ist, dass insbesondere in der Lutealphase, bedingt durch den erhöhten Progesteronspiegel, der Energiebedarf von Ausdauerathletinnen steigt. Gleichzeitig können Schwankungen im Kohlenhydrat- und Fettstoffwechsel dazu führen, dass in verschiedenen Phasen des Zyklus unterschiedliche Ernährungsstrategien sinnvoll sind. Beispielsweise könnte eine kohlenhydratreiche Ernährung in der späten Follikelphase die Leistung steigern, während in der Lutealphase eine höhere Fettzufuhr vorteilhaft sein könnte, um den gestiegenen Energiebedarf zu decken. Darüber hinaus hat sich gezeigt, dass auch die Proteinaufnahme in Verbindung mit der Zyklusphase betrachtet werden sollte. Studien legen nahe, dass eine gesteigerte Proteinzufuhr in bestimmten Phasen des Zyklus, insbesondere in der Lutealphase, die muskuläre Regeneration und den Muskelaufbau fördern kann. Dies ist von besonderer Bedeutung für weibliche Athletinnen, die sich in intensiven Trainingsphasen oder in der Wettkampfvorbereitung befinden. Diese Erkenntnisse sind jedoch noch nicht ausreichend durch groß angelegte, randomisierte Studien untermauert. Zudem könnten Mikronährstoffe, insbesondere Eisen und Kalzium, eine entscheidende Rolle für die Leistung und Gesundheit von Athletinnen spielen. Insbesondere während der Menstruation kann es durch den Blutverlust zu einem erhöhten Eisenbedarf kommen, der bei unzureichender Zufuhr langfristig zu Leistungseinbußen führen kann. Doch auch hier fehlen systematische Studien, die eine gezielte Mikronährstoffversorgung im Verlauf des Zyklus untersuchen. Diese Forschungslücke verhindert es derzeit, konkrete und umfassende Empfehlungen zur optimalen Versorgung mit Mikronährstoffen bei weiblichen Ausdauerathletinnen zu formulieren.

Trotz dieser vielversprechenden Ansätze bleibt die aktuelle Forschungslage in vielen Bereichen unzureichend. Die Studienergebnisse sind oft uneinheitlich, was unter anderem auf methodische Schwächen, kleine Stichproben und eine mangelnde Standardisierung der Erfassung von Zyklusphasen zurückzuführen ist. Dies erschwert es, allgemeingültige Empfehlungen zu formulieren. Eine wesentliche Herausforderung für die Sportwissenschaft besteht daher in der Entwicklung präziserer Methoden zur Zykluserfassung und der Individualisierung von Ernährungsplänen, die den physiologischen Bedürfnissen jeder einzelnen Athletin gerecht werden.

In Zukunft wäre es von besonderem Interesse, groß angelegte, randomisierte Studien durchzuführen, die die verschiedenen Zyklusphasen systematisch untersuchen und Ernährungsinterventionen darauf abstimmen. Solche Studien könnten nicht nur das Verständnis der Ernährungsbedürfnisse von Athletinnen verbessern, sondern auch zur Entwicklung personalisierter Ernährungsstrategien beitragen. Dies könnte langfristig zu einer Leistungssteigerung und einer Verbesserung des Wohlbefindens von weiblichen Ausdauerathletinnen führen.

Ein weiterer zentraler Aspekt, der in der Diskussion um die sportliche Leistungsfähigkeit und den Ernährungsbedarf von Athletinnen nicht vernachlässigt werden darf, betrifft die Energieverfügbarkeit und die damit verbundenen Risiken des Female Athlete Triad sowie des Relative Energy Deficiency in Sport. Das Female Athlete Triad, bestehend aus Menstruationsstörungen, niedriger Knochendichte und unzureichender Energiezufuhr, sowie das umfassendere Konzept von RED-S, das verschiedene physiologische Systeme betrifft, verdeutlichen die schwerwiegenden Auswirkungen, die eine unzureichende Energiezufuhr auf weibliche Athletinnen haben kann. In diesem Zusammenhang ist es von entscheidender Bedeutung, dass Athletinnen primär sicherstellen, dass ihr Gesamtenergiebedarf gedeckt wird, bevor spezifische Ernährungsstrategien für Makro- und Mikronährstoffe in den Fokus rücken. Die ausreichende Energiezufuhr bildet die Grundlage für die Aufrechterhaltung der Gesundheit und die Vermeidung von negativen Auswirkungen wie Hormonstörungen, Verlust der Knochendichte und einer geschwächten Immunfunktion. Die Forschung zeigt klar, dass eine unzureichende Energiezufuhr nicht nur die Leistungsfähigkeit unmittelbar beeinträchtigt, sondern auch langfristig gesundheitliche Folgen haben kann. Besonders in der Lutealphase, in der der Energiebedarf aufgrund der hormonellen Veränderungen steigt, ist es für weibliche Athletinnen essenziell, ihre Energieaufnahme entsprechend zu erhöhen. Ein Mangel an Energie kann in dieser Phase zu Erschöpfung, einer verminderten Fähigkeit zur Regeneration und erhöhtem Verletzungsrisiko führen. Während die Notwendigkeit einer ausreichenden Gesamtenergiezufuhr gut dokumentiert ist, bleibt die optimale Verteilung der Makronährstoffe wie Proteine, Fette und Kohlenhydrate im Kontext des Menstruationszyklus weiterhin unzureichend erforscht. Die aktuelle Forschungslage erlaubt es nicht, evidenzbasierte Empfehlungen hinsichtlich der optimalen Verteilung von Makronährstoffen und Mikronährstoffen in Abhängigkeit von den Zyklusphasen zu geben. Es besteht somit ein dringender Bedarf an weiteren Forschungsarbeiten, die nicht nur die Energieverfügbarkeit und die damit verbundenen Risiken wie RED-S untersuchen, sondern auch die Verteilung von Makro- und Mikronährstoffen in den verschiedenen Phasen des Menstruationszyklus beleuchten. Ziel sollte es sein, personalisierte Ernährungsstrategien zu entwickeln, die sowohl die sportliche Leistung als auch die langfristige Gesundheit von Athletinnen fördern. Nur durch eine umfassende Berücksichtigung der zyklusabhängigen Schwankungen in den Nährstoffanforderungen kann eine nachhaltige

Optimierung der sportlichen Leistungsfähigkeit und des allgemeinen Wohlbefindens erreicht werden.

Ein weiteres wichtiges Forschungsfeld behandelt die Frage, wie der Menstruationszyklus in Verbindung mit anderen Faktoren, wie zum Beispiel dem Alter, dem Trainingszustand und genetischen Prädispositionen, die Nährstoffbedürfnisse beeinflusst. Es wäre von großem Vorteil, wenn zukünftige Studien diese Aspekte integrieren und damit zu einem umfassenderen Verständnis der Ernährungsanforderungen von weiblichen Sportlerinnen beitragen könnten. Dies gilt insbesondere für Athletinnen, die sich in Phasen hormoneller Umstellungen befinden, wie der Schwangerschaft oder der Menopause. Darüber hinaus wäre es sinnvoll, den Einfluss hormoneller Verhütungsmethoden auf den Nährstoffbedarf und die sportliche Leistung weiter zu untersuchen. Viele Sportlerinnen nutzen hormonelle Verhütungsmittel, deren Auswirkungen auf den Stoffwechsel und die Nährstoffaufnahme jedoch bislang nicht ausreichend erforscht sind. Ein tieferes Verständnis dieser Zusammenhänge könnte dazu beitragen, gezielte Ernährungsstrategien für Frauen zu entwickeln, die hormonelle Verhütungsmittel verwenden.

Schließlich sollte auch die praktische Umsetzung der Forschungsergebnisse im sportlichen Alltag stärker berücksichtigt werden. Es stellt sich die Frage, wie ErnährungsberaterInnen, TrainerInnen und Athletinnen die theoretischen Erkenntnisse in konkrete Ernährungspläne und Trainingsstrategien integrieren können. Hierbei sind nicht nur wissenschaftliche, sondern auch soziale und kulturelle Faktoren zu berücksichtigen. Eine intensive Aufklärung und Sensibilisierung von Athletinnen und deren Betreuerenteams über die Bedeutung einer zyklusspezifischen Ernährung könnte helfen, die sportliche Leistung zu maximieren und gleichzeitig das Verletzungsrisiko zu minimieren.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Berücksichtigung geschlechterspezifischer Unterschiede in der Sporternährung, insbesondere in Bezug auf den Menstruationszyklus, ein noch weitgehend unerforschtes, aber vielversprechendes Feld darstellt. Die Ergebnisse dieser Arbeit unterstreichen die Notwendigkeit, das Thema sowohl in der Forschung als auch in der Praxis weiter zu vertiefen, um eine umfassende und nachhaltige Optimierung der sportlichen Leistungsfähigkeit von weiblichen Ausdauerathletinnen zu erreichen. Durch eine verbesserte Individualisierung der Ernährung könnten nicht nur kurzfristige Leistungssteigerungen erzielt, sondern auch langfristige gesundheitliche Vorteile gesichert werden.

7 Literatur

- Achten, J., Jentjens, R. L., Brouns, F., & Jeukendrup, A. E. (2007). Exogenous oxidation of isomaltulose is lower than that of sucrose during exercise in men. *The Journal of Nutrition*, *137*(5), 1143–1148. <https://doi.org/10.1093/jn/137.5.1143>.
- Allen, A. M. (2016). Methods of menstrual cycle phase identification: Advantages and disadvantages. *American Journal of Obstetrics and Gynecology*, *215*(6), 698-704.
- Amawi, A., AlKasasbeh, W., Jaradat, M., Almasri, A., Alobaidi, S., Hammad, A. A., . . . Ghazzawi, H. (2024). Athletes' nutritional demands: a narrative review of nutritional requirements. *Frontiers in Nutrition*, *10*, 1-17. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1331854>.
- American College of Sports Nutrition, International Olympic Committee, & International Society for Sports Nutrition. (2013). Sport nutrition: A review of the latest guidelines for exercise and sport nutrition. *South African Journal of Clinical Nutrition*, *26*(1), 6-16. <https://doi.org/10.1080/16070658.2013.11734434>.
- American Dietetic Association, Dietitians of Canada, American College of Sports Medicine, Rodriguez, N. R., Di Marco, N. M., & Langley, S. (2009). American College of Sports Medicine position stand. Nutrition and athletic performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *41*(3), 709-731. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31890eb86>.
- Angeli, A., Lainé, F., Lavenu, A., Ropert, M., Lacut, K., Gissot, V., . . . Comets, E. (2016). Joint Model of Iron and Hepcidin During the Menstrual Cycle in Healthy Women. *Journal of the American Association of Pharmaceutical Scientists*, *18*(2), 490-504. <https://doi.org/10.1208/s12248-016-9875-4>.
- Aragon, A. A., Schoenfeld, B. J., Wildman, R., Kleiner, S., VanDusseldorp, T., Taylor, L., . . . Antonio, J. (2017). International society of sports nutrition position stand: diets and body composition. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, *14*(16). <https://doi.org/10.1186/s12970-017-0174-y>.
- Bailey, S. P., Zacher, C. M., & Mittleman, K. D. (2000). Effect of menstrual cycle phase on carbohydrate supplementation during prolonged exercise to fatigue. *Journal of Applied Physiology*, *88*(2), 690–697. <https://doi.org/10.1152/jappl.2000.88.2.690>.
- Bankir, L., Roussel, R., & Bouby, N. (2015). Protein- and diabetes-induced glomerular hyperfiltration: role of glucagon, vasopressin, and urea. *American Journal of Physiology*, *309*(1), 2-23. <https://doi.org/10.1152/ajprenal.00614.2014>.

- Belval, L. N., Hosokawa, Y., Casa, D. J., Adams, W. M., Armstrong, L. E., Baker, L. B., . . . Stearn. (2019). Practical Hydration Solutions for Sports. *Nutrients*, *11*(17), Article 1550. <https://doi.org/10.3390/nu11071550>.
- Blumberg, J. B., Cena, H., Barr, S. I., Biesalski, H. K., Dagach, R. U., Delaney, B., . . . Li, D. (2018). The Use of Multivitamin/Multimineral Supplements: A Modified Delphi Consensus Panel Report. *Clinical Therapeutics*, *40*(4), 640–657. <https://doi.org/10.1016/j.clinthera.2018.02.014>.
- Boirie, Y., Dangin, M., Gachon, P., Vasson, M. P., Maubois, J. L., & Beaufrère, B. (1997). Slow and fast dietary proteins differently modulate postprandial protein accretion. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *94*(26), 14930–14935. <https://doi.org/10.1073/pnas.94.26.14930>.
- Boirie, Y., Gachon, P., Corny, S., Fauquant, J., Maubois, J. L., & Beaufrère, B. (1996). Acute postprandial changes in leucine metabolism as assessed with an intrinsically labeled milk protein. *The American Journal of Physiology*, *271*(6 Pt 1), 1083-1091. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.1996.271.6.E1083>.
- Brown, N., Knight, C. J., & Forrest Née Whyte, L. J. (2021). Elite female athletes' experiences and perceptions of the menstrual cycle on training and sport performance. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, *31*(1), 52–69. <https://doi.org/10.1111/sms.13818>.
- Bundesinstitut für Risikobewertung. (2019). *Nahrungsergänzungsmittel - Isolierte verzweigtkettige Aminosäuren können bei hoher Aufnahme die Gesundheit beeinträchtigen*. Abgerufen von Bundesinstitut für Risikobewertung: www.bfr.bund.de
- Burd, N. A., Yang, Y., Moore, D. R., Tang, J. E., Tarnopolsky, M. A., & Phillips, S. M. (2012). Greater stimulation of myofibrillar protein synthesis with ingestion of whey protein isolate v. micellar casein at rest and after resistance exercise in elderly men. *The British Journal of Nutrition*, *108*(6), 958-962. <https://doi.org/10.1017/S0007114511006271>.
- Burke, L. M. (2015). Re-Examining High-Fat Diets for Sports Performance: Did We Call the 'Nail in the Coffin' Too Soon? *Sports Medicine*, *45*(Suppl 1), 33-49. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0393-9>.
- Burke, L. M., Wong, S. H., Hawley, J. A., & Jeukendrup, A. (2011). Carbohydrates for training and competition. *Journal of Sports Sciences*, *29*(Suppl 1), 17-27. <https://doi.org/10.1080/02640414.2011.585473>.

- Campbell, S. E., Angus, D. J., & Febbraio, M. A. (2001). Glucose kinetics and exercise performance during phases of the menstrual cycle: effect of glucose ingestion. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, 281(4), 817-825. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.2001.281.4.E817>.
- Carlsohn, A., Braun, H., Großhauser, M., König, D., Lampen, A., Mosler, S., . . . Hesecker, H. (2020). Position of the Working Group Sports Nutrition of the German Nutrition Society (DGE): Minerals and Vitamins in Sports Nutrition. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 71, 208-215. doi:10.5960/dzsm.2020.454.
- Carlsohn, A., Scharhag-Rosenberger, F., Heydenreich, J., & Mayer, F. (2017). Vitamin D status of athletes with high UV-exposure during exercise training. *Ernaehrungs Umschau international*, 60(10), 174-176. doi:10.4455/eu.2013.033.
- Carmichael, M., Thomson, R. L., Moran, L. J., & Wycherley, T. P. (2021). The Impact of Menstrual Cycle Phase on Athletes' Performance: A Narrative Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(4), Article 1667. <https://doi.org/10.3390/ijerph18041667>. <https://doi.org/10.3390/ijerph18041667>.
- Cermak, N. M., & van Loon, L. J. (2013). The Use of Carbohydrates During Exercise as an Ergogenic Aid. *Sports Medicine*, 43(11), 1139–1155. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0079-0>.
- Cermak, N. M., Res, P. T., de Groot, L. C., Saris, W. H., & van Loon, J. L. (2012). Protein supplementation augments the adaptive response of skeletal muscle to resistance-type exercise training: a meta-analysis. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 96(6), 1454-1464. <https://doi.org/10.3945/ajcn.112.037556>.
- Clarkson, P. M. (1991). Minerals: exercise performance and supplementation in athletes. *Journal of Sports Sciences*, 9(Spec), 91-116. <https://doi.org/10.1080/02640419108729869>.
- Clarkson, P. M., & Haymes, E. M. (1995). Exercise and mineral status of athletes: calcium, magnesium, phosphorus, and iron. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 27(6), 831–843.
- Close, G. L., Leckey, J., Patterson, M., Bradley, W., Owens, D. J., Fraser, W. D., & Morton, J. P. (2013). The effects of vitamin D(3) supplementation on serum total 25[OH]D concentration and physical performance: a randomised dose-response study. *British Journal of Sports Medicine*, 47(11), 692–696. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2012-091735>.

- Cobley, J. N., & Marrin, K. (2012). Vitamin E supplementation does not alter physiological performance at fixed blood lactate concentrations in trained runners. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 52(1), 63-70.
- Colombani, P. C., Mannhart, C., & Mettler, S. (2013). Carbohydrates and exercise performance in non-fasted athletes: a systematic review of studies mimicking real-life. *Nutrition Journal*, 12(16). <https://doi.org/10.1186/1475-2891-12-16>.
- Criswell, D., Powers, S., Dodd, S., Lawler, J., Edwards, W., Renshler, K., & Grinton, S. (1993). High intensity training-induced changes in skeletal muscle antioxidant enzyme activity. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 25(10), 1135–1140.
- Currell, K., & Jeukendrup, A. E. (2008). Superior Endurance Performance with Ingestion of Multiple Transportable Carbohydrates. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 40(2), 275-281. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e31815adf19>.
- Dangin, M., Boirie, Y., Garcia-Rodenas, C., Gachon, P., Fauquant, J., Callier, P., . . . Beaufrère, B. (2001). The digestion rate of protein is an independent regulating factor of postprandial protein retention. *American Journal of Physiology. Endocrinology and Metabolism*, 280(2), 340-348. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.2001.280.2.E340>.
- De Souza, M. J., Nattiv, A., Joy, E., Misra, M., Williams, N. I., Mallinson, R. J., . . . Matheson, G. (2014). 2014 Female Athlete Triad Coalition consensus statement on treatment and return to play of the female athlete triad. *Clinical Journal of Sport Medicine: Official Journal of the Canadian Academy of Sport Medicine*, 24(2), 96–119. <https://doi.org/10.1097/JSM.000000000000085>.
- Deutsche Gesellschaft für Ernährung (DGE). (2017). D-A-CH – Referenzwerte der Nährstoffzufuhr. *Neuer Umschau Verlag, 2. Auflage*(3. aktualisierte Ausgabe).
- Dubnov-Raz, G., Livne, N., Raz, R., Cohen, A. H., & Constantini, N. W. (2015). Vitamin D Supplementation and Physical Performance in Adolescent Swimmers. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 25(4), 317–325. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.2014-0180>.
- Dusek, T., Pečina, M., Loncar-Dusek, M., & Bojanic, I. (2004). Multiple stress fractures in a young female runner. *Acta chirurgiae orthopaedicae et traumatologiae Cechoslovaca*, 71(5), 308-310.
- Earnest, C. P., Lancaster, S. L., Rasmussen, C. J., Kerkick, C. M., Lucia, A., Greenwood, M. C., . . . Kreider, R. B. (2004). Low vs. high glycemic index carbohydrate gel ingestion during

- simulated 64-km cycling time trial performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 18(3), 466-472. <https://doi.org/10.1519/R-xxxxx.1>.
- Elliott-Sale, K. J., McNulty, K. L., Ansdell, P., Goodall, S., Hicks, K. M., Thomas, K., . . . Dolan, E. (2020). The Effects of Oral Contraceptives on Exercise Performance in Women: A Systematic Review and Meta-analysis. *Sports Medicine*, 50(10), 1785–1812. <https://doi.org/10.1007/s40279-020-01317-5>.
- European Food Safety Authority (EFSA). (2011). Scientific Opinion on the substantiation of health claims related to carbohydrate-electrolyte solutions and reduction in rated perceived exertion/effort during exercise, enhancement of water absorption during exercise and maintenance of endurance perform. *EFSA Journal*, 9(6), Article 2211. <https://doi:10.2903/j.efsa.2011.2211>.
- Fry, A. C., Bloomer, R. J., Falvo, M. J., Moore, C. A., Schilling, B. K., & Weiss, L. W. (2006). Effect of a liquid multivitamin/mineral supplement on anaerobic exercise performance. *Research in Sports Medicine (Print)*, 14(1), 53–64. <https://doi.org/10.1080/15438620500528323>.
- Gerlach, K. E., Burton, H. W., Dorn, J. M., Leddy, J. J., & Horvath, P. J. (2008). Fat intake and injury in female runners. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 5(1). <https://doi.org/10.1186/1550-2783-5-1>.
- Gibbs, J. C., Williams, N. I., & De Souza, M. J. (2013). Prevalence of individual and combined components of the female athlete triad. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 45(5), 985–996. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31827e1bdc>.
- Goldfarb, A. H. (1999). Nutritional antioxidants as therapeutic and preventive modalities in exercise-induced muscle damage. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 24(3), 249–266. <https://doi.org/10.1139/h99-021>.
- Gomes, E. C., Allgrove, J. E., Florida-James, G., & Stone, V. (2011). Effect of vitamin supplementation on lung injury and running performance in a hot, humid, and ozone-polluted environment. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 21(6), 452-460. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2011.01366.x>.
- Heikura, I. A., Uusitalo, A., Stellingwerff, T., Bergland, T., Mero, A. A., & Burke, L. M. (2018). Low Energy Availability Is Difficult to Assess but Outcomes Have Large Impact on Bone Injury Rates in Elite Distance Athletes. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 28(4), 403–411. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.2017-0313>.

- Henselmans, M., Bjørnsen, T., Hedderman, R., & Tonstad Vårvik, F. (2022). The Effect of Carbohydrate Intake on Strength and Resistance Training Performance: A Systematic Review. *Nutrients*, *14*(4), Article 856. <https://doi.org/10.3390/nu14040856>.
- Heseker, H., Stahl, A., & Strohm, D. (2012). Vitamin D - Physiologie, Funktionen, Vorkommen, Referenzwerte und Versorgung in Deutschland. *Ernährungs Umschau*, *2012*, 232-239.
- Hew-Butler, T., Loi, V., Pani, A., & Rosner, M. H. (2017). Exercise-Associated Hyponatremia: 2017 Update. *Frontiers in Medicine*, *4*, Article 21. <https://doi.org/10.3389/fmed.2017.00021>.
- Hewett, T. E., Zazulak, B. T., & Myer, G. D. (2007). Effects of the menstrual cycle on anterior cruciate ligament injury risk: a systematic review. *The American Journal of Sports Medicine*, *35*(4), 659–668. <https://doi.org/10.1177/0363546506295699>.
- Houltham, S. D., & Rowlands, D. S. (2014). A snapshot of nitrogen balance in endurance-trained women. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, *39*, 219-225. <https://doi.org/10.1139/apnm-2013-0182>.
- Jäger, R., Kerksick, C. M., Campbell, B. I., Cribb, P. J., Wells, S. D., Skwiat, T. M., . . . Kalman. (2017). International Society of Sports Nutrition Position Stand: protein and exercise. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, *14*(20). <https://doi.org/10.1186/s12970-017-0177-8>.
- James, A. P., Lorraine, M., Cullen, D., Goodman, C., Dawson, B., Palmer, T. N., & Fournier, P. A. (2001). Muscle glycogen supercompensation: absence of a gender-related difference. *European Journal of Applied Physiology*, *85*, 533-538. <https://doi.org/10.1007/s004210100499>.
- Janse de Jonge, X. A. (2003). Effects of the menstrual cycle on exercise performance. *Sports Medicine*, *33*(11), 833–851. <https://doi.org/10.2165/00007256-200333110-00004>.
- Jentjens, R. L., & Jeukendrup, A. E. (2003). Effects of pre-exercise ingestion of trehalose, galactose and glucose on subsequent metabolism and cycling performance. *European Journal of Applied Physiology*, *88*(4-5), 459–465. <https://doi.org/10.1007/s00421-002-0729-7>.
- Jentjens, R. L., Achten, J., & Jeukendrup, A. E. (2004). High oxidation rates from combined carbohydrates ingested during exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *36*(9), 1551–1558. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000139796.07843.1d>.

- Jentjens, R., & Jeukendrup, A. E. (2003). Determinants of post-exercise glycogen synthesis during short-term recovery. *Sports Medicine*, 33(2), 117-144. <https://doi.org/10.2165/00007256-200333020-00004>.
- Jeukendrup, A. E., & Jentjens, R. (2000). Oxidation of carbohydrate feedings during prolonged exercise: current thoughts, guidelines and directions for future research. *Sports Medicine*, 29(6), 407–424. <https://doi.org/10.2165/00007256-200029060-00004>.
- Jeukendrup, J. E. (2008). Carbohydrate feeding during exercise. *European Journal of Sport Science*, 8(2), 77-86. <https://doi.org/10.1080/17461390801918971>.
- Johner, S. A., Thamm, M., Schmitz, R., & Remer, T. (2015). Current daily salt intake in Germany: biomarker-based analysis of the representative DEGS study. *European Journal of Nutrition*, 54(7), 1109–1115. <https://doi.org/10.1007/s00394-014-0787-8>.
- Kamei, Y., Hatazawa, Y., Uchitomi, R., Yoshimura, R., & Miura, S. (2020). Regulation of Skeletal Muscle Function by Amino Acids. *Nutrients*, 12(1), Article 261. <https://doi.org/10.3390/nu12010261>.
- Kerksick, C. M., Arent, S., Schoenfeld, B. J., Stout, J. R., Campbell, B., Wilborn, C. D., . . . Ziegenfuss, T. R. (2017). International society of sports nutrition position stand: nutrient timing. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 14(13). <https://doi.org/10.1186/1550-2783-5-17>.
- Kerksick, C. M., Willborn, C. D., Roberts, D. M., Smith-Ryan, A., Kleiner, S. M., Jäger, R., . . . Kreider, R. (2018). ISSN exercise & sports nutrition review update: research & recommendations. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 15(1), 38. <https://doi.org/10.1186/s12970-018-0242-y>.
- Kłapcinska, B., Sadowska-Krepa, E., Manowska, B., Pilis, W., Sobczak, A., & Danch, A. (2002). Effects of a low carbohydrate diet and graded exercise during the follicular and luteal phases on the blood antioxidant status in healthy women. *European Journal of Applied Physiology*, 87, 373–380. <https://doi.org/10.1007/s00421-002-0641-1>.
- König, D., Carlsohn, A., Braun, H., Großhauser, M., Lampen, A., Mosler, S., . . . Hesecker, H. (2020). Proteinzufuhr im Sport; Position der Arbeitsgruppe Sporternährung der Deutschen Gesellschaft für Ernährung e. V. (DGE). *Ernährungs Umschau international*, 67(7), 132-137. doi: 10.4455/eu.2020.039.
- König, D., Carlsohn, A., Großhauser, M., Lampen, A., Mosler, S., Nieß, A., . . . Hesecker, H. (2020). Position of the Working Group Sports Nutrition of the German Nutrition Society (DGE):

- Carbohydrates in Sports Nutrition. *German Journal of Sports Medicine*, 71, 185-191. doi:10.5960/dzsm.2020.456.
- Kratzenstein, S., Carlsohn, A., Heydenreich, J., & Mayer, F. (2016). Dietary Supplement Use in Young Elite Athletes and School Children Aged 11 to 13 Years: A Cross-Sectional Study Design. *Deutsche Zeitung für Sportmedizin*, 67, 13-17. doi:10.5960/dzsm.2015.203.
- Kreider, R. B., Wilborn, C. D., Taylor, L., Campbell, B., Almada, A. L., Collins, R., . . . Wild. (2020). ISSN exercise & sport nutrition review: research & recommendations. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 7(7). <https://doi.org/10.1186/1550-2783-7-7>.
- Kriengsinyos, W., Wykes, L. J., Goonewardene, L. A., Ball, R. O., & Pencharz, P. B. (2004). Phase of menstrual cycle affects lysine requirement in healthy women. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, 287(3), 489-496. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.00262.2003>.
- Larson-Meyer, D. E., & Willis, K. S. (2010). Vitamin D and athletes. *Current Sports Medicine Reports*, 9(4), 220–226. <https://doi.org/10.1249/JSR.0b013e3181e7dd45>.
- Legerlotz, K., & Nobis, T. (2022). Insights in the Effect of Fluctuating Female Hormones on Injury Risk—Challenge and Chance. *Frontiers in Physiology*, 13, Article 827726. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.827726>.
- Lemon, P. W., Tarnopolsky, M. A., MacDougall, J. D., & Atkinson, S. A. (1992). Protein requirements and muscle mass/strength changes during intensive training in novice bodybuilders. *Journal of Applied Physiology*, 73(2), 767–775. <https://doi.org/10.1152/jappl.1992.73.2.767>.
- Loucks, A. B. (2004). Energy balance and body composition in sports and exercise. *Journal of Sports Sciences*, 22(1), 1-14. <https://doi.org/10.1080/0264041031000140518>.
- Lukaski, H. C. (1995). Micronutrients (magnesium, zinc, and copper): are mineral supplements needed for athletes? *International Journal of Sport Nutrition*, 5(Suppl), 74-83.
- Manninen, A. H. (2006). Hyperinsulinaemia, hyperaminoacidaemia and post-exercise muscle anabolism: the search for the optimal recovery drink. *British Journal of Sports Medicine*, 40(11), 900-905. <https://doi.org/10.1136/bjism.2006.030031>.
- Maughan, R. J., & Shirreffs, S. M. (2010). Dehydration and rehydration in competitive sport. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 20 (Suppl 3), 40-47. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2010.01207.x>.

- McKay, A. K., Sim, M., & Peeling, P. (2023). Micronutrient considerations for the female athlete. *Sports Science Exchange*, *36*(238), 1-6.
- McKinley-Barnard, S. K., Andre, T. L., Gann, J. J., Hwang, P. S., & Willoughby, D. S. (2018). Effectiveness of fish oil supplementation in attenuating exercise-induced muscle damage in females during midfollicular and midluteal menstrual phases. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, *32*(6), 1601–1612. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002247>.
- McLay, R. T., Thomson, C. D., Williams, S. M., & Rehrer, N. J. (2007). Carbohydrate Loading and Female Endurance Athletes: Effect of Menstrual-Cycle Phase. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, *17*(2), 189-205. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.17.2.189>.
- McNulty, K. L., Elliott-Sale, K. J., Dolan, E., Swinton, P. A., Ansdell, A., Goodall, S., . . . Hicks, K. M. (2020). The Effects of Menstrual Cycle Phase on Exercise Performance in Eumenorrhic Women: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine*, *50*, 1813–1827. <https://doi.org/10.1007/s40279-020-01319-3>.
- Meignié, A., Duclos, M., Carling, C., Orhant, E., Provost, P., Toussaint, J. F., & Antero, J. (2021). The Effects of Menstrual Cycle Phase on Elite Athlete Performance: A Critical and Systematic Review. *Frontiers in Physiology*, *12*, Article 654585. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.654585>.
- Melin, A., Tornberg, Å. B., Skouby, S., Møller, S. S., Sundgot-Borgen, J., Faber, J., . . . Sjödín, A. (2015). Energy availability and the female athlete triad in elite endurance athletes. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, *25*(5), 610–622. <https://doi.org/10.1111/sms.12261>.
- Moreira, C. A., & Bilezikian, J. P. (2017). Stress Fractures: Concepts and Therapeutics. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, *102*(2), 525–534. <https://doi.org/10.1210/jc.2016-2720>.
- Morrison, D., Hughes, J., Della Gatta, P. A., Mason, S., Lamon, S., Russell, A. P., & Wadley, G. D. (2015). Vitamin C and E supplementation prevents some of the cellular adaptations to endurance-training in humans. *Free Radical Biology & Medicine*, *89*, 852-862. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2015.10.412>.
- Morton, R. W., Murphy, K. T., McKellar, S. R., Schoenfeld, B. J., Henselmans, M., Helms, E., . . . Phillips, S. M. (2019). Infographic. The effect of protein supplementation on resistance

- training-induced gains in muscle mass and strength. *British Journal of Sports Medicine*, 53(24), 1552. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2019-100990>.
- Mosler, S., Braun, H., Carlsohn, A., Großhauser, M., König, D., Lampen, A., . . . Hesecker, H. (2019). Fluid replacement in sports. Position of the working group sports nutrition of the German Nutrition Society (DGE). *Ernaehrungs Umschau international*, 66(3), 52-59. doi: 10.4455/eu.2019.011.
- Mountjoy, M., Sundgot-Borgen, J., Burke, L., Carter, S., Constantini, N., Lebrun, C., . . . Ljungqvist, A. (2014). The IOC consensus statement: beyond the Female Athlete Triad--Relative Energy Deficiency in Sport (RED-S). *British Journal of Sports Medicine*, 48(7), 491–497. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2014-093502>.
- Nattiv, A., Loucks, A. B., Manore, M. M., Sanborn, C. F., Sundgot-Borgen, J., Warren, M. P., & American College of Sports Medicine. (2007). American College of Sports Medicine position stand. The female athlete triad. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39(10), 1867–1882. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e318149f111>.
- Nicklas, B., Hackney, A. C., & Sharp, R. L. (1989). The Menstrual Cycle and Exercise: Performance, Muscle Glycogen, and Substrate Responses. *International Journal of Sports Medicine*, 10(4), 264—269. <https://doi.org/10.1055/s-2007-1024913>.
- Nikolaidis, M. G., Kerksick, C. M., Lamprecht, M., & McAnulty, S. R. (2012). Does vitamin C and E supplementation impair the favorable adaptations of regular exercise? *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2012, Article 707941. <https://doi.org/10.1155/2012/707941>.
- Paschalis, V., Theodorou, A. A., Kyparos, A., Dipla, K., Zafeiridis, A., Panayiotou, G., . . . Nikolaidis, M. G. (2016). Low vitamin C values are linked with decreased physical performance and increased oxidative stress: reversal by vitamin C supplementation. *European Journal of Nutrition*, 55(1), 45-53. <https://doi.org/10.1007/s00394-014-0821-x>.
- Paul, G. L. (2009). The rationale for consuming protein blends in sports nutrition. *Journal of the American College of Nutrition*, 28(Suppl 4), 464-472. <https://doi.org/10.1080/07315724.2009.10718113>.
- Paulsen, G., Cumming, K. T., Holden, G., Hallén, J., Rønnestad, B. R., Sveen, O., . . . Raastad, T. (2014). Vitamin C and E supplementation hampers cellular adaptation to endurance training in humans: a double-blind, randomised, controlled trial. *The Journal of Physiology*, 592(8), 1887–1901. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2013.267419>.

- Peternejl, T. T., & Coombes, J. S. (2011). Antioxidant supplementation during exercise training: beneficial or detrimental? *Sports Medicine*, *41*(12), 1043–1069. <https://doi.org/10.2165/11594400-000000000-00000>.
- Phillips, S. M., & Van Loon, L. J. (2011). Dietary protein for athletes: from requirements to optimum adaptation. *Journal of Sports Sciences*, *29*(Suppl 1), 29-38. <https://doi.org/10.1080/02640414.2011.619204>.
- Phillips, S. M., Atkinson, S. A., Tarnopolsky, M. A., & MacDougall, J. D. (1993). Gender differences in leucine kinetics and nitrogen balance in endurance athletes. *Journal of Applied Physiology*, *75*(5), 2134–2141. <https://doi.org/10.1152/jappl.1993.75.5.2134>.
- Phillips, S. M., Chevalier, S., & Leidy, H. J. (2016). Protein "requirements" beyond the RDA: implications for optimizing health. *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism*, *41*(5), 565–572. <https://doi.org/10.1139/apnm-2015-0550>.
- Pierson, R. A., & Pagidas, K. (2018). The Menstrual Cycle: Physiology and Anomalies. In D. K. Gardner, A. Weissman, C. M. Howles, & Z. Shoham, *Textbook of Assisted Reproductive Techniques* (pp. 63-82). Boca Raton: CRC Press.
- Pitchers, G., & Elliott-Sale, K. (2019). Considerations for coaches training female athletes. *Journal of the UK Strength and Conditioning Association*(55), 19-30.
- Pöschmüller, M., Schwingshackl, L., Colombani, P. C., & Hoffmann, G. (2016). A systematic review and meta-analysis of carbohydrate benefits associated with randomized controlled competition-based performance trials. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, *13*(27). <https://doi.org/10.1186/s12970-016-0139-6>.
- Podlogar, T., & Wallis, G. A. (2022). New Horizons in Carbohydrate Research and Application for Endurance Athletes. *Sports Medicine*, *52*(Suppl 1), 5-23. <https://doi.org/10.1007/s40279-022-01757-1>.
- Powers, S. K., Nelson, W. B., & Hudson, M. B. (2011). Exercise-induced oxidative stress in humans: cause and consequences. *Free Radical Biology & Medicine*, *51*(5), 942–950. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2010.12.009>.
- Powers, S., Nelson, W. B., & Larson-Meyer, E. (2011). Antioxidant and Vitamin D supplements for athletes: sense or nonsense?. *Journal of Sports Sciences*, *29*(Suppl 1), 47-55. <https://doi.org/10.1080/02640414.2011.602098>.

- Reid, I. R. (1996). Therapy of osteoporosis: calcium, vitamin D, and exercise. *The American Journal of the Medical Sciences*, 312(6), 278–286. <https://doi.org/10.1097/00000441-199612000-00006>.
- Rodriguez, N., DiMarco, N., Langley, S., American Dietetic Association, Dietitians of Canada, & American College of Sports Medicine. (2009). Position of the American Dietetic Association, Dietitians of Canada, and the American College of Sports Medicine: Nutrition and athletic performance. *Journal of the American Dietetic Association*, 109(3), 509–527. <https://doi.org/10.1016/j.jada.2009.01.005>.
- Rowlands, D. S., & Wadsworth, D. P. (2011). Effect of High-Protein Feeding on Performance and Nitrogen Balance in Female Cyclists. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 43(1), 44–53. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181e93316>.
- Rowlands, D. S., Wallis, G. A., Shaw, C., Jentjens, R., & Jeukendrup, A. E. (2005). Glucose polymer molecular weight does not affect exogenous carbohydrate oxidation. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37(9), 1510-1516. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000177586.68399.f5>.
- Roy, B. D., Luttmer, K., Bosman, M. J., & Tarnopolsky, M. A. (2002). The Influence of Post-exercise Macronutrient Intake on Energy Balance and Protein Metabolism in Active Females Participating in Endurance Training. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 12(2), 172–188. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.12.2.172>.
- Sakaki, M., & Mather, M. (2017). How reward and emotional stimuli induce different reactions across the menstrual cycle. *Social and Personality Psychology Compass*, 6(1), 1-17. <https://doi.org/10.1111/j.1751-9004.2011.00415.x>.
- Schek, A., Braun, H., Carlsohn, A., Großhauser, M., König, D., Lampen, A., . . . Hesecker, H. (2019). Fats in sports nutrition. Position of the working group sports nutrition of the German Nutrition Society (DGE). *Ernährungs Umschau*, 66(9), 181-188. doi: 10.4455/eu.2019.042.
- Schoenfeld, B. J., & Aragon, A. A. (2018). Is There a Postworkout Anabolic Window of Opportunity for Nutrient Consumption? Clearing up Controversies. *The Journal of orthopaedic and sports physical therapy*, 48(12), 911-914. <https://doi.org/10.2519/jospt.2018.0615>.
- Sim, M., Garvican-Lewis, L. A., Cox, G. R., Govus, A., McKay, A., Stellingwerff, T., & Peeling, P. (2019). Iron considerations for the athlete: a narrative review. *European Journal of Applied Physiology*, 119(7), 1463–1478. <https://doi.org/10.1007/s00421-019-04157-y>.

- Smith, E. S., McKay, A., Kuikman, M., Ackerman, K. E., Harris, R., Elliott-Sale, K., . . . Burke, L. M. (2022). Managing Female Athlete Health: Auditing the Representation of Female versus Male Participants among Research in Supplements to Manage Diagnosed Micronutrient Issues. *Nutrients*, *14*, Article 3372. <https://doi.org/10.3390/nu14163372>.
- Tang, J. E., Moore, D. R., Kujbida, G. W., Tarnopolsky, M. A., & Phillips, S. M. (2009). Ingestion of whey hydrolysate, casein, or soy protein isolate: effects on mixed muscle protein synthesis at rest and following resistance exercise in young men. *Journal of Applied Physiology*, *107*(3), 987-992. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00076.2009>.
- Tarnopolsky, M. A. (1999). Protein and physical performance. *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care*, *2*(6), 533–537. <https://doi.org/10.1097/00075197-199911000-00018>.
- Tarnopolsky, M. A., MacDougall, J. D., & Atkinson, S. D. (1988). Influence of protein intake and training status on nitrogen balance and lean body mass. *Journal of Applied Physiology*, *64*(1), 187-193. <https://doi.org/10.1152/jappl.1988.64.1.187>.
- Thomas, D. T., Erdman, K. A., & Burke, L. M. (2016). American College of Sports Medicine Joint Position Statement. Nutrition and Athletic Performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *48*(3), 543–568. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000852>.
- Tipton, K. D. (2015). Nutritional Support for Exercise-Induced Injuries. *Sports Medicine*, *45*(Suppl 1), 93-104. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0398-4>.
- van der Beek, E. J. (1991). Vitamin supplementation and physical exercise performance. *Journal of Sports Sciences*, *9*(Spec), 77-90. <https://doi.org/10.1080/02640419108729868>.
- Venables, M. C., Brouns, F., & Jeukendrup, A. E. (2008). Oxidation of maltose and trehalose during prolonged moderate-intensity exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *40*(9), 1653–1659. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318175716c>.
- Venkatraman, J. T., Teddy, J., & Pendergast, D. (2000). Dietary fats and immune status in athletes: clinical implications. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *32*(7 Suppl), 389-395. <https://doi.org/10.1097/00005768-200007001-00003>.
- Vitale, K., & Getzin, A. (2019). Nutrition and Supplement Update for the Endurance Athlete: Review and Recommendations. *Nutrients*, *11*(6), Article 1289. <https://doi.org/10.3390/nu11061289>.
- Vogt, M., Puntchart, A., Howald, H., Mueller, B., Mannhart, C., Gfeller-Tuescher, L., . . . Hoppeler, H. (2003). Effects of dietary fat on muscle substrates, metabolism, and performance in

- athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35(6), 952–960. <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000069336.30649.BD>.
- Weight, L. M., Myburgh, K. H., & Noakes, T. D. (1988). Vitamin and mineral supplementation: effect on the running performance of trained athletes. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 47(2), 192-195. <https://doi.org/10.1093/ajcn/47.2.192>.
- Williams, C. (1998). Dietary macro- and micronutrient requirements of endurance athletes. *Proceedings of the Nutrition Society* 57(1), 1-8. <https://doi.org/10.1079/pns19980003>.
- Williams, C., & Rollo, I. (2015). Carbohydrate Nutrition and Team Sport Performance. *Sports Medicine*, 45(Suppl 1), 13-22. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0399-3>.
- Williams, M. H. (1989). Vitamin supplementation and athletic performance. *International journal for vitamin and nutrition research.*, 30, 163-191.
- Williams, M. H. (2005). Dietary supplements and sports performance: minerals. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 2(1), 43-49. <https://doi.org/10.1186/1550-2783-2-1-43>.
- Wolman, R., Wyon, M. A., Koutedakis, Y., Nevill, A. M., Eastell, R., & Allen, N. (2013). Vitamin D status in professional ballet dancers: winter vs. summer. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 16(5), 388–391. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2012.12.010>.
- Wołyniec, W., Kasprowicz, K., Rita-Tkachenko, P., Renke, M., & Ratkowski, W. (2019). Biochemical Markers of Renal Hypoperfusion, Hemoconcentration, and Proteinuria after Extreme Physical Exercise. *Medicina*, 55(5), 154-165. <https://doi.org/10.3390/medicina55050154>.
- Wyon, M. A., Koutedakis, Y., Wolman, R., Nevill, A. M., & Allen, N. (2014). The influence of winter vitamin D supplementation on muscle function and injury occurrence in elite ballet dancers: a controlled study. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 17(1), 8-12. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2013.03.007>.

Eidesstattliche Erklärung und Veröffentlichungserklärung Student oder Studentin

Analyse des Nährstoffbedarfs weiblicher Athletinnen im leistungsorientierten Ausdauersport

Eidesstattliche Erklärung Student oder Studentin

verfasst von: Frau **Kopf** Vanessa

Ich versichere hiermit, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit mit dem o.a. formulierten Thema ohne fremde Hilfe selbständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe.
Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich gemacht.

Datum: 14.09.24

Unterschrift: _____

Vanessa Kopf

Erklärung zur Veröffentlichung des Studenten oder der Studentin

Ich bin mit der Online-Veröffentlichung der oben genannten Abschlussarbeit auf dem Dokumentenserver der HAW Hamburg **nicht einverstanden**.



Mit meiner Unterschrift bestätige ich obige Angaben und dass ich die Rechtliche Grundlagen zur Veröffentlichung von Abschlussarbeiten der HAW Hamburg zur Kenntnis genommen habe und akzeptiere. Zu finden im Downloadbereich Fakultätsservicebüro Life Sciences, dort unter den Downloads des jeweiligen Studiengangs.

Datum: 14.09.24

Unterschrift: _____

Vanessa Kopf