



MASTERARBEIT | MASTER'S THESIS

Titel | Title

"Einfluss einer Ernährungsintervention mit unterschiedlichen Kohlenhydratanteilen und glykämischen Indices auf die Ballaststoffaufnahme bei Ausdauersportlern"

verfasst von | submitted by

Melanie Gleichweit BSc

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

Master of Science (MSc)

Wien | Vienna, 2025

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

UA 066 838

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

Masterstudium
Ernährungswissenschaften

Betreut von | Supervisor:

Univ.-Prof. Dr. Daniel König

Abstract

Introduction: In order to achieve optimal training, regeneration and performance as a runner, adequate nutrition is essential. Fiber plays an important role in this. Numerous studies look at the intake of CHO, proteins and fats in recreational and competitive athletes. Very few focus on DF, IFD and SDF recording in their studies.

Methods: The data from the nutritional protocols were used for the empirical part of the thesis. In total, the fiber intake of 68 male subjects (LOW-GI n=23, HIGH-GI n=25, LCHF n=20) was statistically evaluated and examined for significant differences.

Results and conclusion: A recommended dietary fiber intake of ≥ 25 g per day was shown to be generally achieved with a LOW-GI, HIGH-GI and LCHF diet during a 10-week nutrition and training intervention. A LOW-GI diet emerged as the best diet, as all 23 subjects achieved the recommendation (≥ 25 g DF/d). A significant difference in DF-, SDF- and IDF-intake was observed during the nutritional intervention with variable carbohydrate content and glycaemic indices. Due to the limited number of studies, a comparison of DF-, SDF- and IDF-intake was only possible to a limited extent. In order to make better comparisons between studies more studies are needed that address this topic. Furthermore, it is advisable to carry out further studies with different subject and age groups.

Keywords: endurance training, nutrition intervention, dietary fiber, glycaemic index

Zusammenfassung

Einleitung: Um ein optimales Training, Regeneration und Performance als Läufer zu erreichen ist eine adäquate Ernährung unumgänglich. Dabei spielen Ballaststoffe eine wichtige Rolle. Zahlreiche Studien befassen sich mit Aufnahme von CHO, Proteinen und Fetten bei Breitensportlern und Leistungssportlern. Sehr wenige legen in ihren Studien den Fokus auf die DF-, IFD- und SDF-Aufnahme.

Methode: Für den empirischen Teil der Arbeit wurden die Daten von den Ernährungsprotokollen aus der Studie herangezogen. Insgesamt wurde die Ballaststoffaufnahme von 68 männlichen Probanden (LOW-GI n=23, HIGH-GI n=25, LCHF n=20) statistisch ausgewertet und auf signifikante Unterschiede untersucht.

Resultate und Conclusio: Zusammenfassend konnte gezeigt werden, dass eine Ballaststoffaufnahme von ≥ 25 g pro Tag (DF-Empfehlung), während einer 10-wöchigen Ernährungs- und Trainingsintervention, grundsätzlich mit einer LOW-GI, HIGH-GI und LCHF Ernährung erreicht werden kann. Eine LOW-GI Ernährung (n=23; 100% erreicht) kristallisierte sich als die beste Ernährungsform heraus, da alle 23 Probanden die Empfehlung (≥ 25 g DF/d) erreichten. Ebenso konnte ein Unterschied bei der DF-, SDF- und IDF-Aufnahme während einer Ernährungsintervention mit variablen Kohlenhydratanteilen und glykämischen Indices festgestellt werden. Aufgrund der limitierten Studienlage ist ein Vergleich der Ballaststoff-, SDF- und IDF-Aufnahme nur bedingt möglich, weshalb weitere Studien zu diesem Thema benötigt werden. Es ist empfehlenswert weitere Studien mit unterschiedlichen Studienkollektiven und Altersgruppen durchzuführen.

Keywords: Ausdauertraining, Ernährungsintervention, Ballaststoffe, glykämischer Index

Inhaltsverzeichnis

Theoretischer Teil	8
1. Ballaststoffe	8
1.1 Definition und Einteilung	8
1.2 Empfehlungen und Richtwerte	10
1.3 Physiologische Eigenschaften und präventives Potenzial von DF	11
1.3.1 Dyslipoproteinämie und DF	13
1.3.2 Adipositas und DF	13
1.3.3 CVD und DF	14
1.3.4 Diabetes mellitus Typ 2 und DF	15
1.3.5 Krebs und Ballaststoffe	15
1.3.6 Darmflora und DF	16
1.3.7 Potenzielle negative Effekte von DF auf den menschlichen Organismus	16
1.4 Ballaststoffe und Ausdauertraining	17
2 Low Carb High Fat Diet (LCHF)	21
2.1 LCHF Ernährung im Ausdauersport	22
3 Glykämischer Index	24
3.1 Glykämischer Index und ballaststoffreiche Lebensmittel	26
3.2 Positive Effekte einer Low-GI Ernährung	27
3.3 GI und Ausdauersport	27
Empirischer Teil	30
4 Einleitung	30
5 Fragestellung	31
6 Ziel der Arbeit	31
7 Methodik	32
7.1 Stichprobe	32
7.2 Ernährungsintervention	33
7.3 Trainingsintervention	34
7.4 Ärztliche Untersuchungen und Tests	35

7.5	Ernährungsprotokoll - 24 h Recall	37
7.5.1	24 h Recall	37
7.5.2	Nutritional Software (nut.s)	38
7.6	Statistische Analyse	40
8	Ergebnisse.....	41
8.1	Deskriptive Statistik	41
8.1.1	Probanden	41
8.1.2	Ernährungsintervention	42
8.1.3	Trainingsintervention	46
8.1.4	Ballaststoffaufnahme der einzelnen Ernährungsinterventionsgruppen	47
9	Diskussion.....	52
9.1	Limitierungen und Stärken	58
10	Beantwortung der Forschungsfragen	60
11	Schlussfolgerung	61
	Abbildungsverzeichnis	62
	Tabellenverzeichnis	63
	Abkürzungsverzeichnis	64
	Literaturverzeichnis	65
	Anhang.....	75

Theoretischer Teil

1. Ballaststoffe

Ballaststoffe (DF) sind ein wichtiger Teil in der Ernährung des Menschen und weisen zahlreiche protektive Effekte auf. Zu den DF gehören unverdauliche Kohlenhydrate (z.B. Zellulose, Pektin), Lignin (= Kondensationsprodukt von Phenolcarbonsäuren), unverdauliche Oligosaccharide (z.B. Oligofruktose, Inulin), Oligosaccharide der Raffinosefamilie (z.B. Raffinose) und resistente Stärke (Schulze-Lohmann, 2012).

1.1 Definition und Einteilung

Der Begriff „Ballaststoffe“ wurde das erste Mal im Jahr 1953 von Hipsley, für die Bezeichnung von Zellulosen, Hemizellulosen und Lignin, geprägt (Hipsley, 1953). Trowell definierte 1972 Ballaststoffe als „Teil der Nahrung, der aus Zellwänden von Pflanzen stammt und vom Menschen nur sehr schlecht verdaut wird“. Anfang der 2010er Jahre veröffentlichten die WHO und der Codex Alimentarius eine überholte Klassifikation. Demnach zählen alle Kohlenhydrate, die weder vom Dünndarm verdaut noch resorbiert werden und einen Polymerisationsgrad von zehn oder mehr Monomereinheiten aufweisen zu den Ballaststoffen (FAO/WHO, 2010).

Die DGE definiert Ballaststoffe als „Bestandteile pflanzlicher Nahrung, die von den körpereigenen Enzymen des menschlichen Magen-Darm-Traktes nicht abgebaut werden“ (DGE, 2021). Da Ballaststoffe, mit Ausnahme von Lignin (Polymer aus Phenylpropaneinheiten), chemisch gesehen zu den Kohlenhydraten zählen, werden diese auch als Nicht-Stärke-Polysaccharide (NSP) bezeichnet.

Die Klassifikation von DF basiert auf deren Wasserlöslichkeit. Sie können aufgrund dessen in wasserlösliche Ballaststoffe (SDF) und wasserunlösliche Ballaststoffe (IDF) eingeteilt werden (Ibrahim, Menkovska, 2022). Die Löslichkeit von DF hängt sowohl von ihrem Aufbau als auch vom pH-Wert der Umgebung und der Lebensmittelmatrix ab (DGE, 2021).

SDF sind Nahrungsfasern, die reich an Arabinoxylanen oder Uronsäuren sind und werden annähernd zur Gänze von anaeroben Darmmikrobiota abgebaut (Elmadfa, Leitzmann, 2023). Vertreter von SDF sind Pektine, beta-Glucane, Schleimstoffe, Pflanzengummi (Carrageen, Guar), Inulin, Oligosaccharide, Polydextrose und Methylzellulose. Hauptquellen von SDF sind Gemüse (z.B. Zwiebeln, Leguminosen) und Obst (z.B. Apfel, Birnen, Quitte) (ÖGE, 2017).

IDF bestehen überwiegend aus Zellulose und Hemizellulose, enthalten einen relativ hohen Ligninanteil und können kaum bakteriell abgebaut werden (Elmadfa, Leitzmann, 2023). Vertreter sind Zellulose, Hemizellulose (teilweise löslich und fermentierbar), Lignine und Chitin. IDF findet man vor allem in Vollkorngetreide und Leguminosen (ÖGE, 2017), wobei Chitin vor allem in Zellwänden von Pilzen und dem Exoskelett von Gliederfüßern vorkommt (Stehle, Ellinger, 2024).

Eine weitere Möglichkeit zur Einteilung von DF ist deren Fermentierbarkeit im Colon. Demnach werden sie in fermentierbare Ballaststoffe (FDF) und nicht-fermentierbare Ballaststoffe (NFDF) gegliedert. FDF sind auch unter dem Namen Präbiotika bekannt. Sie sind selektiv fermentierbar und induzieren spezifische Veränderungen in der Zusammensetzung und Aktivität des Darmmikrobioms (Gibson et al, 1995). Bei der Fermentierung von FDF entstehen hauptsächlich kurzkettige Fettsäuren (SCFA) wie Acetat, Propionat und n-Butyrat. Begleitprodukte dieser Fermentation sind CO₂, Methan und Wasserstoff (Stehle, Ellinger, 2024). Diese SCFAs dienen dem Körper als Energiequelle und liefern Schätzungsweise 8,4 kJ (2,0 kcal) pro g Ballaststoff (DGE, 2021).

Die resistente Stärke wird von der DGE als auch vielen nationalen und internationalen Organisationen zu den löslichen Ballaststoffen zugeordnet. Sie entsteht während der Hitzebehandlung durch teilweise chemische Umstrukturierung und ist ein durch Alpha-Amylaseaktivität nicht hydrolysierbares Stärkemolekül (Stehle, Ellinger, 2024). Eingeteilt wird die resistente Stärke in folgende vier Subtypen:

- Typ 1: nicht zugängliche Stärke in intakten Zellen
- Typ 2: native, unerhitzte Stärke
- Typ 3: retrograde nach dem Erhitzen abgekühlte Stärke
- Typ 4: synthetisch modifizierte Stärke

(ÖGE, 2017).

1.2 Empfehlungen und Richtwerte

Die Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) empfiehlt eine Zufuhr von 25 g Ballaststoffe pro Tag für Erwachsene als adäquat (EFSA, 2010).

Die D-A-CH Gesellschaft spricht für die Ballaststoffzufuhr keine Empfehlung, sondern einen Richtwert von 30 g pro Tag für Erwachsene aus (D-A-CH, 2015). Dieser Referenzwert wird laut österreichischen Ernährungsbericht nur von 14% der Studienteilnehmer erreicht. Im Durchschnitt liegt die Zufuhr von Ballaststoffen bei Frauen bei 20,1 g pro Tag und bei Männern bei 21,7 g pro Tag (Rust et al, 2017).

Ein Upper Level (UL) für Ballaststoffe wurde weder von der EFSA noch von der FDA festgelegt. Da sowohl bei zu hoher Zufuhr ($> 30\text{g/d}$), als auch bei der Aufnahme einer größeren Menge in kurzer Zeit vorübergehend gastrointestinale Beschwerden (z.B. Flatulenzen, Schmerzempfindungen, Konsistenzveränderung der Faeces) auftreten können (Stehle, Ellinger, 2024).

1.3 Physiologische Eigenschaften und präventives Potenzial von DF

Ballaststoffe weisen eine Reihe von vielfältigen und zum Teil lang bekannte Wirkungen im menschlichen Organismus auf.

Wie in Abbildung 1 und 2 zu sehen ist, haben DF vor allem auf die Verdauung einen positiven Einfluss. Bereits im Magen sorgen die DF für eine verzögerte Magenentleerung durch die Erhöhung der Viskosität des Speisebreis, was auf ihr Quell- bzw. Wasserbindungsvermögen zurückzuführen ist (Schneemann, 1986). Die verzögerte Transitzeit wiederum führt zu einer Erhöhung des Sättigungsgefühls. Ein weiterer Effekt einer ballaststoffreichen Ernährung ist der langsamere Anstieg des Blutglukosespiegels (Lairon 1996) mit geringeren Maximalwerten als bei einer DF-armen Ernährung (Estwood, 1992). IDF haben ein hohes Wasserbindungsvermögen und sorgen damit für eine Erhöhung des Stuhlvolumens. Dieses führt wiederum zu einer verstärkten Peristaltik und somit zu einer verkürzten Transitzeit im Dickdarm (Schutze-Lohmann, 2012).

Bei der Fermentation von IDF kommt es, wie im oberen Abschnitt bereits erwähnt, zur Bildung von SCAFs (Acetat, Propionat und Butyrat), wodurch eine pH-Wert Veränderung (pH-Wert zwischen 5,5 und 6,5) im Colon stattfindet. Acetat und Propionat werden nach der Resorption über das Pfortaderblut abtransportiert. Hingegen dient Butyrat der Colonschleimhaut als Energielieferant (Kasper, 2009).

Bei einer fleisch- und eiweißreichen Ernährung kommt es zu einer vermehrten Bildung von Ammoniak. DF binden diesen, was zu einer erhöhten fäkalen Stickstoffausscheidung und Entlastung von Leber und Nieren führt (ÖGE, 2017).

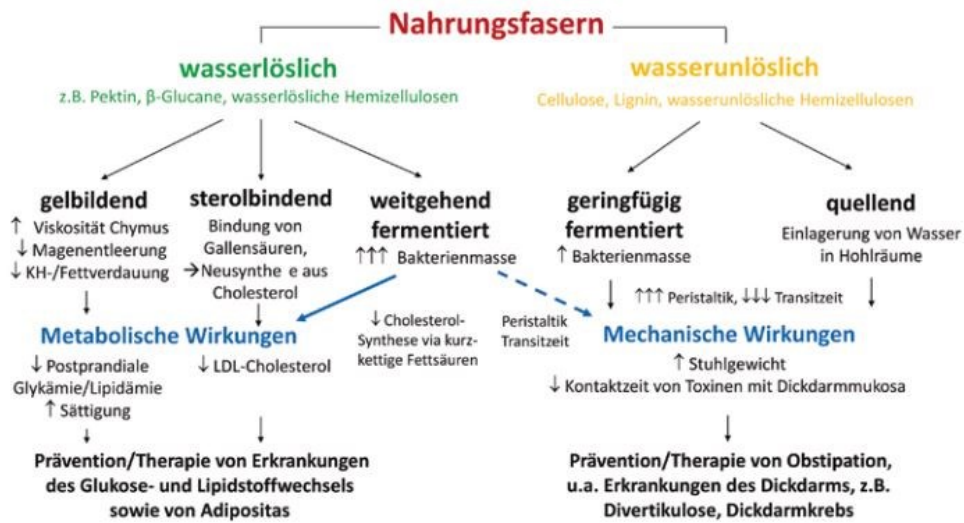


Abbildung 1 Wirkungen löslicher und unlöslicher Ballaststoffe im menschlichen Körper (Stehle, Ellinger, 2024)

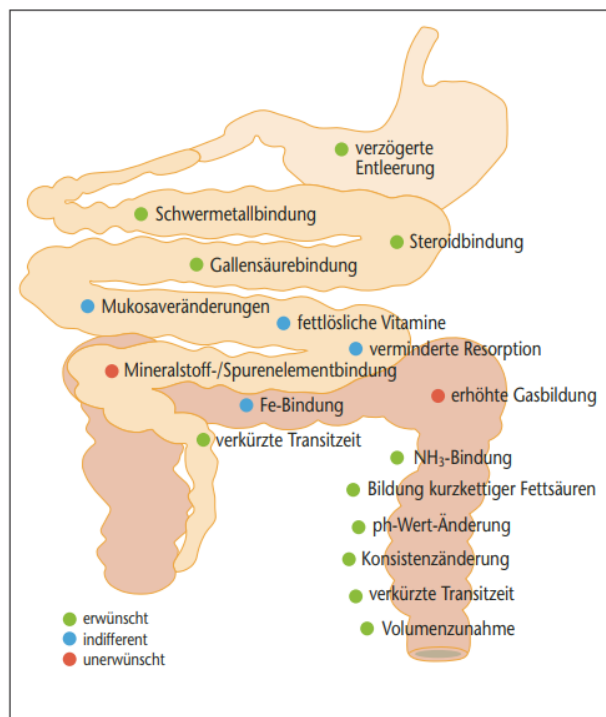


Abbildung 2 Wirkungen von DF im Gastrointestinaltrakt (Schulze-Lohmann, 2012)

Das präventive Potenzial von Ballaststoffen auf ernährungsbedingte Erkrankungen wurde in den vergangenen Jahrzehnten durch verschiedene Studien untersucht und diskutiert. Eine erhöhte Zufuhr von Ballaststoffen wird

mit einer Vielzahl von präventiven Effekten in Verbindung gebracht, wie z.B. protektive Effekte auf kardiovaskuläre Erkrankungen (CVDs), Diabetes mellitus Typ 2, Adipositas, Gesamt- und LDL-Cholesterinkonzentration, Hypertonie, Colonkrebs und Brustkrebs (DGE, 2021). Zu einem signifikanten Zusammenhang zwischen einem reduzierten Risiko für Gesamtmortalität, Tod durch CVDs, Krebs, Diabetes mellitus und Infektionen und der hohen Zufuhr von Vollkorngetreide oder Getreidefasern kamen Huang et al. (2015) in ihrer Meta-Analyse. Der protektive Effekt von Vollkorngetreide ist zum Großteil auf deren Getreidefaserkomponenten zurückzuführen.

1.3.1 Dyslipoproteinämie und DF

Mit möglicher Evidenz kann die Konzentration von Gesamt- und LDL-Cholesterin im Plasma durch einen erhöhten Konsum von Ballaststoffen gesenkt werden. Speziell SDF wirken durch ihre sterolbindende Eigenschaft an primäre Gallensäuren cholesterinsenkend. Dadurch entziehen sie sich der intertestinalen Reabsorption und dem enterohepatischen Kreislauf (Elmadfa, Leitzmann, 2023; DGE, 2011). Neue Gallensäure wird über eine vermehrte Aufnahme von LDL-Cholesterin aus dem Blut synthetisiert. Des Weiteren hemmen die bei der Fermentation gebildeten SCFAs die Cholesterinsynthese in der Leber, wodurch ebenfalls die LDL-Cholesterinkonzentration im Blutplasma gesenkt wird (Chen et al., 1984; Kasper 1988).

1.3.2 Adipositas und DF

Es fand sich ein signifikanter inverser Zusammenhang im Rahmen des DIOGenes Project zwischen der Ballaststoffzufuhr und der Veränderung des Körpergewichts bzw. des Taillenumfangs bei den 89 432 Teilnehmern der EPIC-Studie. Es konnte gezeigt werden, dass eine um 10g höhere Ballaststoffzufuhr mit einer im Mittel -39g/Jahr (95 % CI -71; -7) bzw. des Taillenumfangs um -0,08

cm/Jahr (95 % CI -11; -0,05) einherging (Du et al, 2010). Zahlreiche andere Kohortenstudien weisen ebenfalls darauf hin, dass ein vermindertes Adipositasrisiko mit einer erhöhten Ballaststoffzufuhr einhergeht. Dadurch wird die Evidenz als wahrscheinlich bewertet (DGE, 2011).

1.3.3 CVD und DF

Um CVDs vorzubeugen spielt die Erhöhung der DF eine wichtige Rolle. Sie führen nicht nur zur Verringerung von erhöhten Blutdruckwerten und Gesamt- und LDL-Cholesterolkonzentration, sondern auch zu einer Verbesserung der Insulinsensitivität und der Glukosetoleranz, als auch zu einer Verringerung des Körpergewichts bei adipösen Personen (Anderson et al., 2009).

Threapleton et al (2013) berichten in ihrem systematischen Review von prospektiven Kohortenstudien, die das Risiko für CVDs im Zusammenhang mit dem Ballaststoffverzehr untersuchten, von einer Verringerung des CVD-Risikos von 9% bei einer Erhöhung der Gesamtballaststoffaufnahme von 7 g.

Verschiedene Arten von DF haben womöglich einen Effekt auf den Blutdruck von gesunden Individuen, die nicht hypertensiv sind (Khan et al, 2018).

Die DGE-Leitlinien sprechen sich, nach der Bewertung von mehreren Meta-Analysen von Beobachtungsstudien, für eine wahrscheinliche Evidenz für eine primäre Prävention von CVD durch eine vermehrte Ballaststoffzufuhr aus (DGE, 2011).

Pereira et al (2004) haben in ihrer Analyse von zehn Kohortenstudien einen signifikant inversen Zusammenhang zwischen der Zufuhr von SDF und IDF mit dem CVD-Risiko assoziiert. Die vermehrte Zufuhr von SDF hat einen stärkeren risikosenkenden Effekt für CVD als IDF (Pereira et al, 2004).

1.3.4 Diabetes mellitus Typ 2 und DF

Zahlreiche prospektive Kohortenstudien haben die Beziehung zwischen der Gesamtballaststoffzufuhr und dem Auftreten eines Diabetes mellitus Typ 2 untersucht.

Laut DGE-Leitlinien ist die Evidenz für ein vermindertes Diabetesrisiko durch eine höhere Zufuhr von IDF unzureichend. Mit möglicher Evidenz gibt es keinen Zusammenhang zwischen dem Diabetesrisiko und dem Verzehr von SDF (DGE, 2011).

Ein geringeres Diabetesrisiko (wahrscheinliche Evidenz) konnte nach Auswertung von verschiedenen Kohortenstudien bei einer hohen Zufuhr von Getreideballaststoffen sowie von Vollkornprodukten gefunden werden (Schulze et al. 2007; Hopping et al., 2010). Im Gegensatz dazu konnte für DF aus Obst und Gemüse keine positive Assoziation festgestellt werden (Weickert et al., 2006).

1.3.5 Krebs und Ballaststoffe

Die bei der mikrobiellen Fermentation produzierten SCFAs verringern möglicherweise die Schädigung des Erbguts, die Aktivität von Entgiftungsenzymen wird gesteigert und das Wachstum von Darmtumorzellen kann dadurch womöglich gehemmt bzw. gestoppt werden (DGE, 2011).

Mit wahrscheinlicher Evidenz besteht ein risikosenkender Zusammenhang zwischen der Ballaststoffzufuhr aus Getreideprodukten und malignen Tumoren im Colorektum, eine mögliche Evidenz besteht für die Gesamtballaststoffaufnahme. Laut DGE-Leitlinie besteht eine mögliche Evidenz für die Senkung des Risikos für maligne Tumore im Magen und einer hohen Ballaststoffzufuhr aus Getreideprodukten (DGE, 2011). Welche Rolle Ballaststoffe bei der Senkung von anderen Krebserkrankungen spielen gehört

noch weiter untersucht (ÖGE,2017). Für maligne Tumoren in Speiseröhre, Gebärmutter Schleimhaut, Magen und Pankreas ist die Evidenz zwischen der Ballaststoffzufuhr und deren Entstehung unzureichend (DGE, 2011).

1.3.6 Darmflora und DF

DF interagieren und beeinflussen das Darmmikrobiom direkt. Dadurch kann es zu einer Steigerung der Produktion von mikrobieller Metabolite, wie zum Beispiel von SCFAs, kommen (Makki et al, 2018). Barber et al (2020) fanden in ihrer Studie „The Health Benefits of Dietary Fiber“, dass DF positive Effekte auf die Darmmikroflora hat. So beeinflussen sie sowohl die Lebensfähigkeit als auch die Diversität der Darmmikroben und haben einen positiven Einfluss auf die entstehenden Metabolite der Darmflora.

1.3.7 Potenzielle negative Effekte von DF auf den menschlichen Organismus

Eine unphysiologisch hohe Zufuhr an DF kann die Absorption von mehrwertigen Kationen (z.B. Kalzium, Magnesium, Eisen oder Zink) negativ beeinflussen. Bei einer sehr hohen Ballaststoffaufnahme ist auf die Flüssigkeitszufuhr zu achten, damit es zu keiner negativen Flüssigkeitsbilanz kommt. Bei einer Aufnahme von mehr als 50 g/Tag an DF kann es durch die erhöhte Gasbildung kurzfristig zu gastrointestinalen Beschwerden kommen (ÖGE, 2017). Gonlachavit et al. 2004 und Zhang et al. 2020) kamen in ihren Studien ebenfalls zu dem Ergebnis, dass eine erhöhte Zufuhr zu Flatulenzen, Gasproduktion, Übelkeit, Konsistenzveränderung der Faeces und Gewichtsschwankungen führen kann.

Eine verminderte Zufuhr von DF kann zu Obstipation, Beeinträchtigung der Darmbarriere und weniger günstigen Darmmikrobiota führen (McKeonw et al, 2022).

1.4 Ballaststoffe und Ausdauertraining

DF haben vor allem in der Aufrechterhaltung der Mikrobiomdiversität und der gastrointestinalen Funktion eine wichtige Rolle. Des Weiteren besteht die Wahrscheinlichkeit, dass gewisse DF die aerobe Ausdauer verbessern können.

Eine β - Glucan Supplementierung von 2g/Tag über einen Zeitraum von vier Wochen kann die Muskelkraft von Athleten verbessern. Ebenso könnte die Supplementierung die aerobe Ausdauer steigern und die Immunantwort verbessern (Wang et al, 2022).

Mancin et al (2024) kamen in ihrer Studie zu dem Ergebnis, dass eine adäquate tägliche Zufuhr von Ballaststoffen womöglich bei der Aufrechterhaltung der GIT-Gesundheit von Athleten helfen kann und dabei zusätzlich die Aufnahme der empfohlenen Nährstoffzufuhr fürs Training und der Trainingsleistung unterstützt. Eine verringerte Zufuhr von DF kann sich möglicherweise negativ auf das Darmmikrobiom auswirken und zu einer möglichen Erhöhung von Entzündungen führen, was wiederum die sportliche Leistung vermindern kann (Clark, Mach, 2016).

Ein weiterer nicht zu unterschätzender Punkt ist die Zufuhr der DF bzw. ob der Richtwert überhaupt erreicht wird.

Moss et al (2023) führten eine Studie zum Thema „*Nutrient Adequacy in Endurance Athletes*“ durch. Bei der Studie nahmen 95 Ausdauersportler (48 Männer, 47 Frauen) teil. Dabei wurde ein 24 h Recall für die Ernährungserhebung durchgeführt, mittels Food Processor Diet Analysis Software ausgewertet und mit den Referenzwerten verglichen. Die Probanden nahmen im Durchschnitt 27,5 g (19,5-36,9) DF zu sich. Die empfohlene DF-Menge wurde von insgesamt 49,5 % der Athleten nicht erreicht, wovon deutlich mehr männliche Teilnehmer (70,8%) als weibliche (27,7%) diese nicht erreichten.

In der Studie von Bronkowska et al (2018) wurden 105 weibliche und 87 männliche Marathonläufer im Alter von 19-73 Jahren zu der Häufigkeit der Aufnahme von ausgewählten Ballaststoffquellen (Vollkorngetreide, Obst, Gemüse, Kartoffeln und Leguminosen) mittels Block-Fragebogen befragt. 44 % der Probanden hatten eine adäquate DF-Zufuhr. Hingegen hatten 50 % eine unzureichende DF-Zufuhr. Eine ballaststoffarme Ernährung wiesen 6 % der Probanden auf. Ebenso kam die Arbeitsgruppe von Bronkowska zu dem Schluss, dass Marathonläufer vor einem Marathon eine statistisch signifikante geringere DF-Aufnahme haben als nach dem Marathon.

Baranauskas et al (2015) untersuchten die Ernährungsgewohnheiten von 146 High-Performance Ausdauersportlern aus Litauen (männlich und weiblich), die für Olympischen Disziplinen, wie Rudern, Radfahren, Schwimmen, Skifahren, Biathlon und Langstreckenlauf, von 2009-2012 trainierten. Die Ernährungsgewohnheiten wurden mit Hilfe eines 24h Recalls erhoben. Die DF-Aufnahme bei den Ruderern (n=24) lag bei 37,1 g ($\pm$ 14,0), bei den Radfahrern (n= 40) bei 32,1 g ($\pm$ 16,5), bei den Schwimmern (n= 43) bei 32,7 g ($\pm$ 16,6), bei den Skifahrern (n= 14) bei 32,6 g ($\pm$ 11,5), bei den Biathleten (n= 20) bei 31,7 g ($\pm$ 13,7) und bei den Langstreckenläufern (n=5) bei 29,7 g ($\pm$ 10,2). In der Altersgruppe 14-18 Jahren nahmen 32,4 % (n=34) weniger als die empfohlene DF-Zufuhr zu sich, in der Altersgruppe 19-31 Jahren waren es 36,6 % (n= 15). Insgesamt nahmen in der Alterskategorie 14-18 Jahre 67,6 % (n=71) die empfohlene DF-Menge zu sich und bei den 19-31-Jährigen 63,4 % (n= 26). Vergleicht man die männlichen und weiblichen Teilnehmer erreichten 23,1 % (n= 25) der Männer und 63,2% (n= 24) der Frauen die DF-Empfehlung nicht und 76,9 % (n=83) der Männer und 36,8 % (n= 14) der Frauen erreichten sie. Zusammengefasst kam man zu dem Ergebnis, dass 33,6 % der Probanden die DF-Empfehlung nicht erreicht haben.

Die Arbeitsgruppe von Nebel et al (2019) beschäftigte sich mit der Charakterisierung, den Ernährungsgewohnheiten und der Nahrungszufuhr von 81 gesunden Hobbyläufern im Alter zwischen 18 und 35 Jahren. Dabei wurde die Nahrungsaufnahme von 27 Omnivoren (f= 16, m=11), 25 Lacto-Ovo vegetarischen (f= 15, m=10) und 27 veganen (f=17, m=10) Hobbyläufern (2-5 Trainingseinheiten pro Woche) mittels 3-tages Ernährungsprotokollen untersucht. Die DF-Aufnahme lag in der Gruppe der OMN bei 27,0 g (22,8, 31,1), bei der Gruppe der LOV bei 33,4 g (28,6, 38,2) und bei der VEG Gruppe bei 51,7 g (44,1,59,4). Bis auf die OMN-Gruppe erreichten alle die Empfehlung der DF-Zufuhr von ≥ 30 g. Die höchste DF-Aufnahme lag in der veganen Ernährungsgruppe.

In der Studie von Roca et al (2020) wurden die Effekte der Makronährstoff- und Mineralstoffaufnahme auf die Zeit während dem Rennen und der kardiovaskulären Gesundheit von 37 männlichen nicht-Elite Marathonläufern im Alter von 18 bis 50 Jahren untersucht. Diese wurden nach ihren Rennzeiten in eine schnelle (fast runner) und eine langsame (slow runner) Gruppe eingeteilt. Die Nährstoffaufnahme wurde mittels eines 3-tages Ernährungsfragebogens durchgeführt. Bei der Auswertung von der Ballaststoffaufnahme wurde eine durchschnittliche Aufnahme von 25,17 g (12,46-50,95) pro Tag festgestellt. Die Ballaststoffaufnahme der fast runner war signifikant höher als die der slow runner (fast runner= 31,39 g; slow runner= 21,35 g).

In der Arbeit von Kümmerle (2017) wurde der Einfluss der Aufnahme von löslichen Ballaststoffen mit der Knochenmineraldichte in Beziehung gestellt. Dabei wurde die DF- und SDF-Aufnahme von insgesamt 95 Probanden, davon 47 Männer und 48 Frauen, mittels FFQ untersucht. Als Referenzwert wurden 14 g Ballaststoffe pro 1.000 Kilokalorien sowohl für Männer als auch Frauen verwendet. Die durchschnittliche SDF-Aufnahme lag bei den 95 Probanden bei 6,73 g, davon haben Männer im Mittel 6,91 g und Frauen 6,58 SDF aufgenommen. Die DF-Aufnahme lag

im Mittel bei den 95 Probanden bei 25,41 g. Aufgeteilt auf Männer und Frauen lag die SDF-Aufnahme bei den Männern im Mittel bei 28,98 g (n= 47) und 23,24 g bei den Frauen (n= 48). Bei der Auswertung der DF- und SDF- Daten kam man zu folgendem Ergebnis: 21 der 95 Probanden (22%) erreichten die adäquate Ballaststoffmenge.

2 Low Carb High Fat Diet (LCHF)

LCHF steht für die Abkürzung „Low Carb(ohydrate) High Fat“. Eine LCHF Ernährung (bzw. ketogene Ernährung) besteht gewöhnlich aus ≤ 20 Energieprozent CHO, > 50 Energieprozent aus Fetten und einer variablen Menge an Proteinen (Hession et al., 2009; Hu et al., 2012; Zajac et al., 2014). Burke (2015) beschreibt die LCHF-Diät bzw. die nicht ketonische LCHF Ernährungsform als eine Reduktion der Kohlenhydratzufuhr auf $< 25\%$ und eine Erhöhung der Fettzufuhr von $> 60\%$ vom täglichen Gesamtkalorienbedarf. Eine LCHF-Ernährung führt zu einer Ketose, da die Leber hohe Konzentrationen von nichtveresterten Fettsäuren in Ketonkörper oxidiert. Dadurch resultiert eine Ketonkörperkonzentration von ungefähr 7-8 mM und ein pH-Wert im Blut von 7,4 (Paoli et al, 2015). Neben dem Gehirn können auch Muskeln und andere Organe im menschlichen Körper Ketonkörper als Energiequelle nutzen. Oxalacetat ist bei der Metabolisierung von Fetten als Energiequelle der limitierende Faktor. Damit der Citratzyklus ohne Probleme von statten gehen, wird Oxalacetat durch Desaminierung von glucogenen Aminosäuren (z.B. Aspartat, Asparagin) bereitgestellt. Damit bei einer LCHF-Ernährung die Muskelmasse erhalten bleibt, die Gluconeogenese und Fettoxidation ohne Probleme ablaufen kann, muss auf eine tägliche Aufnahme zwischen 1,3-2,5 g/kg Körpergewicht Proteine geachtet werden (Paoli et al, 2012; Phinney, 2004).

Zahlreiche Meta-Analysen und systematische Reviews zeigen, dass eine Langzeit LCHF-Ernährung das Risiko für Adipositas, kardiovaskuläre Erkrankungen und Diabetes reduzieren kann (Bueno et al., 2013; Frape et al., 1997; Hession et al., 2009; Hu et al., 2012; Sharman et al., 2004; Volek et al., 2004).

Die Arbeitsgruppe von Tay et al (2015) führten eine randomisierte Studie mit 115 übergewichtigen Erwachsenen mit T2DM durch. Die Probanden ernährten

sich ein Jahr lang nach einer LCHF- oder LFHC-Diät. Das Ergebnis war eine erhebliche Reduzierung des Gewichts, des HbA_{1c}-Wertes¹ und der Nüchtern glukosekonzentration in beiden Gruppen. Die LCHF-Gruppe hat im Vergleich jedoch eine beachtlichere Verbesserung der Blutzuckerstabilität und eine überlegenere Reduzierung von Diabetesmedikamenten aufgewiesen. Des Weiteren wies die LCHF-Gruppe eine höhere HDL Cholesterin-Konzentration und eine höhere Reduzierung von TG-Konzentration, ohne Veränderung von Gesamt- oder LDL-Cholesterin Konzentration, auf.

2.1 LCHF Ernährung im Ausdauersport

Einen Überblick über potenzielle Mechanismen zur Verbesserung der Ausdauer nach einer Langzeitadaption einer LCHF-Ernährung wird von Chan et al (2017) beschrieben. Demnach kann eine LCHF-Ernährung womöglich die Fettoxidationsrate erhöhen und zu einer Reduzierung der CHO-Oxidierung führen. Des Weiteren kann es zu einer gleichbleibenden Glukoseverwertung, als auch zu einer verminderten Plasmaglukoseverwertung und zu einer gleichbleibenden Glykogen-Resyntheserate kommen. Diese Mechanismen sollen dadurch die Ultra-Ausdauerleistung und die wiederholende high-intensity Leistung erhöhen.

In der Studie von Volek et al (2016) zeigte eine Langzeitadaption einer LCHF-Ernährung eine erhöhte Fettoxidationsrate ebenso wie eine verminderte CHO-Oxidationsrate und Glykogenolyse. So konnten Ausdauersportler, die eine LCHF-Ernährung für 9-36 Monate durchführten, eine maximale

¹ dieser gibt in Prozent an, wie viel Blutzucker sich in den letzten vier bis sechs Wochen an die roten Blutkörperchen gebunden habt. (Gesundheit.gv.at, 2025)

Fettoxidationsrate von durchschnittlich 9,5 g/min bei ca. 70 % VO₂max erreichen (Volek et al, 2016).

In der Studie von Burke (2016) kam man zu dem Ergebnis, dass es eine robuste Evidenz gibt zwischen einer Anpassung an eine ketogenen LCHF-Diät und der erheblichen zellulären Veränderung - Erhöhung der Mobilisation, Aufnahme, Transport und Oxidation von Fetten- während des Trainings bei Spitzensportlern, die vor allem die Fettoxidation trainieren, gibt.

Cao et al (2021) fanden in ihrer Meta-Analyse zu den Effekten einer ketogenen-LCHF-Diät auf die aerobe Kapazität und der Trainingsleistung bei Ausdauersportlern keinen signifikanten Effekt auf die Parameter VO₂max, Zeit bis zur Erschöpfung, HRmax (max. Herzfrequenz) oder RPE bei einer k-LCHF-Diät. Jedoch wurde ein signifikanter Gesamteffekt bei der Reaktion der Substratoxidation auf die respiratorische Austauschrate beobachtet.

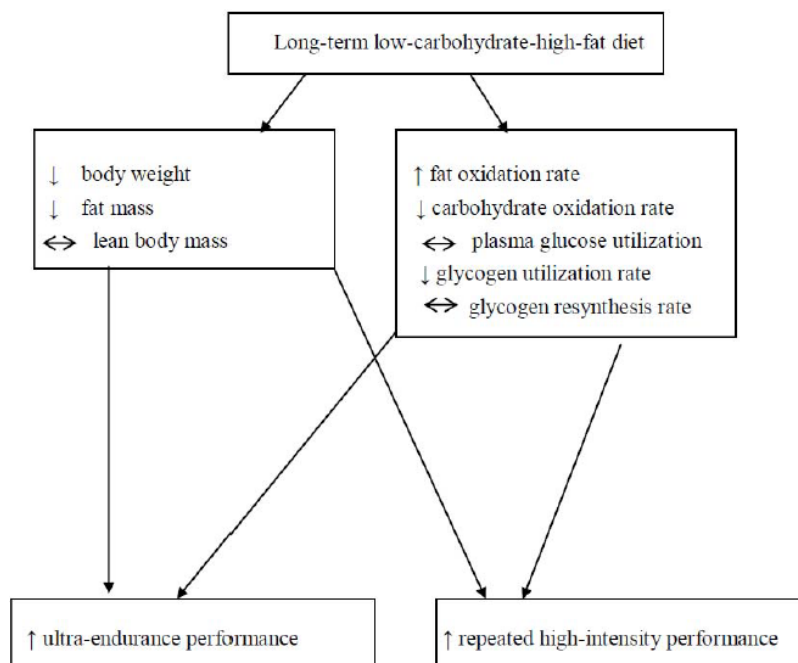


Abbildung 3 Potenzielle Mechanismen einer LCHF-Ernährung nach einer Langzeitadaptation (Chang et al, 2017)

3 Glykämischer Index

Der glykämische Index beschreibt die Eigenschaft von kohlenhydrathaltigen Lebensmitteln auf den Blutzucker (Jenkins et al, 1981). Es wird dabei die Blutglukosewirksamkeit nach der Zufuhr von 50 g verwertbaren Kohlenhydraten im Vergleich mit 50 g Glukose oder Weißbrot gemessen. Der GI eines Lebensmittels wird, in Prozent bezogen, auf die Fläche unter der Blutglukosekurve (area under the curve) angegeben (Strohm, 2013).

Im Vergleich führen pro Gramm Kohlenhydrate Lebensmittel mit einem hohen GI zu einem raschen Anstieg der Blutglukosekonzentration und einem höheren Maximalwert des Blutglukoseanstiegs (Foster-Powell 2002). Demnach kann der GI als ein Maß für die ernährungsphysiologische Qualität von verzehrten Kohlenhydraten verwendet werden (Strohm, 2013). Da die glykämische Antwort auch von der zugeführten Menge an CHO beeinflusst wird, wurde der GI um die glykämische Last erweitert. Diese ist das Produkt aus dem GI und der verzehrten verwertbaren CHO (g) dividiert durch 100. Somit ist die GL ein Indikator der glykämischen Antwort auf eine Lebensmittelportion (Bao et al, 2011).

Als höchster GI-Wert gilt der von Glucose (100). Dementsprechend werden alle anderen Lebensmittel im Zuge ihre Blutglukosewirkung in Verhältnis gesetzt. Somit lässt sich der GI in niedrig (<55), mittel (56-69) und hoch (70-100) einteilen (DGE, 2018; Elmadfa, Leitzmann 2023).

Tabelle 1 Beispiele von Lebensmitteln und deren GI (Atkinson et al, 2021)

Lebensmittel	Hoher GI ≥ 70
Reis (geschält, gekocht)	89
Reiswaffeln (natur)	81
Ananas	82
Weißbrot (sortenabhängig)	73
Kartoffeln (gekocht)	73
	Mittlerer GI 56-69
Pitabrot (Weißbrot)	68
Reis (Vollkorn, gekocht)	65
Vollkorn-Dinkelbrot	63
Kürbis (gekocht, Butternuss, Muskat)	59
	Niedriger GI ≤ 55
Roggenvollkornbrot (grobkörnig mit Sonnenblumenkernen)	55
Karotten (gekocht)	32
Nüsse (gemischt)	24

Auf den GI haben zahlreiche Faktoren einen Einfluss. So wirkt sich die Zusammensetzung der Stärke im Lebensmittel auf ihn aus (z.B. Gehalt von Amylose und Amylopektin). Da Amylose wegen seiner linearen Molekülstruktur für Verdauungsenzyme schlechter angreifbar ist als das verzweigt-kettige Amylopektin, bewirken Lebensmittel mit einem hohen Gehalt einen geringeren Blutglukoseanstieg als Lebensmittel mit einem hohen Amylopektingehalt. Durch Enzyminhibitoren (z.B. α -Amylase-Hemmer, Lektine, Phytate, Tannine, Saponine) kommt es zu einer Verlangsamung der Stärkeverdauung und dadurch zur Senkung der glykämischen Antwort. Ebenso wirken sich der Grad der Verarbeitung und die technologische Bearbeitung auf den GI aus (Strohm, 2013). Vollkornbrote aus fein gemahlenem Getreide weisen einen höheren GI

auf als Brot mit ganzen Getreidekörnern (Atkinson et al, 2008). Das Einwirken von Hitze (Erhitzen auf über 100°C) und Feuchtigkeit führen zu einem Anstieg des GI (Strohm, 2013). Der Gehalt an weiteren energieliefernden Nährstoffen hat ebenfalls einen Einfluss auf die glykämische Antwort. Zu einer reduzierten glykämischen Antwort kommt es durch die Verzögerung der Magenentleerung durch Fette (McIntosh et al; 2003). Werden CHO und Proteine zusammen aufgenommen kommt es zu einer niedrigeren glykämischen Antwort, als bei getrennter CHO- oder Proteingabe (Wolever, Bolognesi, 1996). Die Art des Zuckers spielt ebenfalls eine Rolle bei der GI Antwort. Saccharose und Fruktose zum Beispiel gehen mit einem niedrigen GI des Lebensmittels einher. Im Gegensatz dazu haben Lebensmittel mit einem hohen Glukoseanteil (z.B. getrocknete Feigen) einen höheren GI (Louie et al, 2008).

3.1 Glykämischer Index und ballaststoffreiche Lebensmittel

Einen niedrigen GI haben vor allem Vollkornprodukte mit einem hohen Anteil an ganzen Körnern. Im Vergleich sind Vollkornprodukte aus Hafer oder Gerste besser als vergleichbare Weizenprodukte (DGE, 2021).

Ob und in welchem Maß der GI vom Ballaststoffgehalt eines Lebensmittels beeinflusst wird ist umstritten. Sowohl Jenkins et al (1981) als auch Boa et al (2011) fanden keinen Zusammenhang zwischen dem GI von ballaststoffhaltigen Lebensmitteln und der postprandialen Blutglukoseantwort. Die Auswertung der EPIC-Studie zeigte eine schwache Korrelation zwischen der GI der Ernährung und der Ballaststoffmenge (van Bakel et al, 2009).

Sowohl Publikationen zur Nurses' Health Study als auch zur ARIC-Study (Atherosclerosis Risk in Communities Study) zeigten, dass eine hohe Zufuhr von Ballaststoffen aus Getreide mit einem höheren GI der Ernährung einhergehen kann (Salmeron et al, 1997; Stevens et al, 2002).

Des Weiteren wird vermutet, dass nicht der absolute Gehalt an Ballaststoffen, sondern deren Anordnung im Lebensmittel Einfluss auf die Blutglukoseantwort hat. Dies liegt daran, dass Ballaststoffe in ihrem natürlichen botanischen Verband die Stärkekörnchen einschließen und so eine physikalische Barriere gegen Verdauungsenzyme bilden. Es kommt zu einer verzögerten Freisetzung der CHO und zu einer verringerten glykämischen Antwort. Bei einem hohen Ballaststoffgehalt eines Lebensmittels kann somit nicht automatisch auf einen niedrigen GI geschlossen werden (Juntunen et al, 2002).

3.2 Positive Effekte einer Low-GI Ernährung

Die Arbeitsgruppe von Evans et al (2017) fand in ihrer Studie, dass Lebensmittel mit einem niedrigen GI (z.B. Fruktose) einen niedrigeren Spitzenwert bei der postprandialen Blutglukoseantwort haben, was wiederum zu einem positiven Effekt auf die Glukosekontrolle führt (Evans et al, 2017). Zu einem ähnlichen Ergebnis kamen auch Quarta et al (2023) in ihrem Review über „Diet and Glycemic Index in Children with Typ 1 Diabets“. Deren Studie ergab, dass Low-GI Lebensmittel eine bessere glykämische Stabilität garantiert und mit einer Reduzierung der postprandialen hyperglykämischen Spitzen einhergeht. Eine der größten Einschränkungen der Studie ist die schlechte Einhaltung der gesunden Ernährung der Kinder.

3.3 GI und Ausdauersport

Ob und in welchem Ausmaß der GI im Ausdauersport eine Rolle spielt wurde zwar bereits in den letzten Jahrzehnten untersucht, jedoch fehlen noch weitere wissenschaftliche Studien dazu.

Die Datenlage zur Auswirkungen einer langfristigen kohlenhydratreichen und LOW-GI Ernährung auf den Substratstoffwechsel und die Leistung ist bis dato

noch limitiert. In der Vergangenheit wurde bereits gezeigt, dass der Verzehr einer LOW-GI Ernährung zu einer erhöhten Muskelfettverwertung führt, wodurch intramuskuläres Glykogen erhalten bleibt. Dies ist mit einer verbesserten Flexibilität der CHO- oder Fettmetabolisierung während eines Ausdauertrainings assoziiert (Zdzieblik et al, 2022). Aufgrund dessen kann davon ausgegangen werden, dass eine gesteigerte Leistung (v.a. durch bessere Fettoxidation und Erhaltung der Glykogenspeicher im Muskel) mit einer kohlenhydratreichen und LOW-GI Ernährung einhergeht (Moitzi, König, 2023).

In der Studie von Zdzieblik et al (2022) wurde der Effekt einer High Fat Diet vs. High Carbohydrate Diets mit verschiedenen glykämischen Indices auf den Stoffwechsel und die Fettverbrennung von männlichen Ausdauersportlern untersucht. 28 männliche Probanden, im Alter von 18 bis 50 Jahren, wurden für vier Wochen in drei Ernährungsgruppen eingeteilt. Eine Gruppe ernährte sich HFLC-G ($\geq 65\%$ fat, ≤ 50 g CHO pro Tag; n=9), die zweite Gruppe ernährte sich high CHO LOW-GI (≥ 65 LOW-GI CHO pro Tag; n= 10) und die dritte Gruppe ernährte sich HIGH-GI ($\geq 65\%$ HIGH-GI CHO pro Tag, n= 9). Die metabolischen Parameter wurden sowohl im Ruhezustand als auch während eines Fahrradergometertests (submaximal und mit inkrementeller Belastung) durch Lactatdiagnostik und Messungen des respiratorischen Austauschverhältnisses (RER) gemessen. Ebenso wurde die Körperzusammensetzung als auch die Wahrnehmungsreaktionen auf die Ernährung (mittels VAS) gemessen. Das Ergebnis der Studie war eine Verringerung der Lactatkonzentration während vor und submaximaler Belastung in der LGI-Gruppe. Die HFLC-Ernährung führte zusätzlich zu einer Verringerung der RER-Werte und zu einer Verringerung der Fettmasse. Die Lactatkonzentration in der LGI-Gruppe verringerte sich im inkrementellen Zyklustest. Ebenso verringerten sich die Fettmasse und die VAS-Werte. Erhöhte RER-Werte und Lactatkonzentrationen waren Hauptergebnis der HGI-Gruppe. Zusammenfassend zeigt die Studie eine verbesserte Körperzusammensetzung (Verringerung der Fettmasse) und signifikante Verringerung der RER-Werte bei der HFLC-Diät und eine signifikante

Verringerung der Nüchternglukosekonzentration und verbesserte VAS-Werte für Aktivität und Gastrointestinalkomfort bei einer LOW-GI Diät.

Empirischer Teil

4 Einleitung

Die Ernährung spielt eine wesentliche Rolle für die Performance von Ausdauersportlern. Nur durch eine adäquate Nährstoffzufuhr kann ein optimales Training, Performance, Regeneration, Prävention von Verletzungen und eine gute Allgemeingesundheit des Sportlers sichergestellt werden (Moss et al., 2023). Des Weiteren weist eine ausreichende Aufnahme von Ballaststoffen zahlreiche positive Eigenschaften auf den Gastrointestinaltrakt des Menschen auf, als auch protektive Effekte bei verschiedenen Krebserkrankungen (ÖGE, 2017; DGE, 2011).

Ballaststoffe werden als Bestandteile von pflanzlicher Nahrung, die von den körpereigenen Enzymen des menschlichen Magen-Darm-Traktes nicht abgebaut werden können, definiert (DGE, 2021). Zu den DF gehören unverdauliche Kohlenhydrate (z.B. Zellulose, Pektin), Lignin, unverdauliche Oligosaccharide, Oligosaccharide der Raffinosefamilie und resistente Stärke (Schulze-Lohmann, 2012). Die Einteilung erfolgt entweder nach der Wasserlöslichkeit in SDF und IDF oder nach der Fermentierbarkeit in FDF und NDF (Ibrahim, Menkovska, 2022; Gibson et al, 1995).

Das Hauptaugenmerk dieser Arbeit liegt bei der Ballaststoffaufnahme während einer Trainings- und Ernährungsintervention mit verschiedenen Kohlenhydratanteilen und verschiedenen glykämischen Indices. Viele Studien, die während der Literaturrecherche gefunden wurden, beschäftigen sich vor allem mit der Aufnahme von CHO, Protein, Fette und Mineralstoffe. Es gibt wenige Studien, die den Fokus auf die DF-, SDF- und IDF-Aufnahme legen. Diese Arbeit soll weitere Daten zu diesem Thema liefern und für künftige Studien verwendet werden können.

5 Fragestellung

Der Fokus dieser Masterarbeit liegt auf der Ballaststoffzufuhr bei einer mehrwöchigen Ernährungsintervention und einer gezielten Trainingsintervention. In der Arbeit wird die Ballaststoffaufnahme vor und während der Ernährungsinterventionen mit ketogener Diät (LCHF), variablem Kohlenhydratgehalt mit hohen (HIGH-GI) und niedrigen glykämischen Index (LOW-GI) verglichen und gegenübergestellt. Dabei sollen folgende Forschungsfragen untersucht werden:

- I. Unterscheidet sich die Ballaststoff-, SDF-, und IDF-Aufnahme bei einer Ernährungsintervention mit variabler Kohlenhydratzufuhr und unterschiedlichen glykämischen Indices zwischen den Interventionsgruppen?
- II. Unterscheidet sich die Ballaststoff-, SDF-, und IDF-Aufnahme vor und während der Ernährungsintervention innerhalb der einzelnen Gruppen?
- III. Wird die Ballaststoffempfehlung/ der Ballaststoffrichtwert während einer Ernährungsintervention erreicht?

6 Ziel der Arbeit

Ziel der Arbeit ist es anhand der Ernährungsprotokolle die Ballaststoff-, SDF- und IDF-Aufnahme der Ernährungsinterventionsgruppen zu analysieren, zu vergleichen und auf die Unterschiede einzugehen.

Die Daten für diese Arbeit wurden durch die Studie: *„Einfluss einer Ernährung mit variablem Kohlenhydratgehalt und glykämischen Index auf die Substratverwendung und leistungsbezogene Parameter“* der Universität Wien erhoben. Diese werden im Zuge dieser Arbeit ausgewertet, bewertet und kritisch dargestellt.

7 Methodik

In diesem Abschnitt der Arbeit werden die Stichprobe, die Ernährungsintervention, das Ernährungsprotokoll, die ärztlichen Untersuchungen und durchgeführten Tests sowie die statistische Auswertung näher ausgeführt.

7.1 Stichprobe

Für die kontrollierte, offene, randomisierte, nicht-verblindete Studie konnten insgesamt 87 männliche Teilnehmer im Alter zwischen 18 und 40 Jahren rekrutiert werden. Von den 87 Probanden konnten 68 für diese Arbeit eingeschlossen werden. Elf Teilnehmer haben die Studie frühzeitig beendet und bei 8 Probanden fehlten die PRE-Protokolle. Die Studienteilnehmer wurden durch das Zufallsprinzip in drei Gruppen eingeteilt. 23 Probanden wurden der LOW-GI Gruppe, 25 Probanden der HIGH-GI Gruppe und 20 Probanden wurden der LCHF Gruppe zugeordnet. Diese Gruppen unterschieden sich durch die Ernährungsintervention (siehe Kapitel 7.2 *Ernährungsintervention*), jedoch nicht in der Trainingsintervention. Die nachfolgende Tabelle 2 gibt einen Überblick über die Ein- und Ausschlusskriterien der Studienteilnehmer.

Einschlusskriterien	Ausschlusskriterien
Männliches Geschlecht	Kontraindikation gegen körperliche Belastung entsprechend der Richtlinien des ACSM
Alter zwischen 18 und 40 Jahren	Alter <18 bzw. >40 Jahre
Motivation für Leistungstest und strukturiertem Trainingsplan	Einnahme von Medikamenten, die die Messungen beeinflussen könnten oder laut WADA-Code im Training u/o Wettkampf verboten sind

Keine akuten oder chronischen Erkrankungen	Leistungssportler mit eigenem Trainingsplan
--	---

Tabelle 2 Ein- und Ausschlusskriterien für Studienteilnehmer

7.2 Ernährungsintervention

Bei der 10-wöchigen Ernährungsintervention wurden die Probanden zufällig einer der drei Ernährungsinterventionsgruppen zugeordnet - High GI (hoher glykämischer Index, high glycaemic index), Low-GI (niedriger glykämischer Index, low glycaemic index) und LCHF (niedriger Kohlenhydrat- hoher Fettanteil, low carbohydrate high fat). Die nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick über die allgemeinen Kriterien der einzelnen Ernährungsinterventionsgruppen. Weitere Informationen zu den Ernährungsrichtlinien der einzelnen Interventionsgruppen können dem Anhang (siehe Anhang 1) entnommen werden.

	High GI	Low GI	LCHF
Kohlenhydrate	55-60 % (65 % der CHO mit GI $\geq$ 70)	55-60 % (65 % der CHO mit GI $\leq$ 50)	< 50 g pro Tag
Fette (65 % pflanzenbasiert und nicht verarbeitete Fette)	25 %	25 %	$\geq$ 65 %
Proteine	15-20 %	15-20 %	15-20 %

Tabelle 3 Allgemeine Kriterien der Ernährungsinterventionsgruppen

Alle Studienteilnehmer wurden zu Beginn der Studie von Studenten*innen der Ernährungswissenschaften über die vorgegebene Ernährungsform im Detail unterrichtet (siehe Anhang 2).

7.3 Trainingsintervention

Die zehnwöchige Trainingsintervention bestand aus insgesamt fünf Trainingseinheiten pro Woche. Pro Woche sollte ein Long Run (langer Lauf, min. 60 Minuten) in der Grundlagenausdauer 1 und 1-2, zwei Dauerläufe, davon einer in der Grundlagenausdauer 1 und einen im Regenerationsbereich und zwei Intervalleinheiten in verschiedenen Bereichen der Grundlagenausdauer und wettkampfspezifischen Ausdauer absolviert werden. Die Probanden sollten die Trainingseinheiten so einteilen, dass Intervalle und lange Läufe nicht an aufeinanderfolgenden Tagen absolviert werden. Des Weiteren sollten die Probanden darauf achten, dass zwischen zwei Intervallläufen mindestens ein Tag liegt. Der Trainingsumfang lag während der zehnwöchigen Intervention bei 2 302 Minuten und entspricht 38 h und 22 Minuten. Mindestens 75 % der Trainingsminuten mussten von den Probanden absolviert werden um nicht aus der Studie ausgeschlossen zu werden. Den Trainingsumfang pro Woche, sowohl insgesamt als auch für die einzelnen Einheiten können aus Tabelle 4 entnommen werden.

Trainingsumfang				
	Dauerlauf (min)	Intervalle (min)	Long Run (min)	Dauer (min)
Woche 1	70	60	60	190
Woche 2	80	75	80	235
Woche 3	90	60	100	250
Woche 4	60	55	60	175
Woche 5	70	71	90	231
Woche 6	80	100	100	280
Woche 7	90	100	110	300
Woche 8	60	65	60	185

Woche 9	90	66	75	231
Woche 10	85	65	75	225
Gesamt				2307

Tabelle 4 Trainingsumfang während der Intervention

Die Einheiten wurden anhand einer Sportuhr, die die Probanden zu Beginn der Studie erhielten und nach deren Abschluss behalten durften, aufgezeichnet. Anhand eines Trainingstagebuchs hielten die Probanden täglich die absolvierten Einheiten, den Ruhepuls und ihren Gesundheitszustand fest. Dieses wurde wöchentlich von Studenten*innen der Sportwissenschaften kontrolliert.

7.4 Ärztliche Untersuchungen und Tests

Eingangsuntersuchungen zur Ermittlung der Leistungsfähigkeit und der bisherigen Ernährungsweise wurden zu Beginn der klinischen Studie an den Probanden durchgeführt. Diese umfassten eine venöse Blutabnahme aus der Armbeuge, einen stufenförmigen Belastungstest mit kapillarer Blutabnahme aus dem Ohrläppchen auf dem Laufband, Messung der Körperzusammensetzung mittels bioelektrischer Impedanzanalyse (BIA), Elektrokardiogramm (EKG) des Herzens und einem 5 km Lauf auf der Laufbahn.

Zur Bestimmung einiger Blutparameter wurden den Teilnehmern venöses Blut abgenommen.

Beim Belastungstest wurde die Geschwindigkeit auf dem Laufband langsam gesteigert und als eine vollständige Ausbelastung erreicht wurde beendet. Während des Stufentests wurden die Atemgase mittels Atemgasanalyse und die Herzfrequenz mit einem Brustgurt gemessen. Für die Messung der

Laktatkonzentration wurde dem Proband Blut aus dem Ohrläppchen entnommen.

Der 5 km Lauf fand vor, während und zum Ende der Studie statt. Dabei mussten die Probanden die Strecke so schnell wie möglich zurücklegen. Die Herzfrequenz wurde auch hier mittels Brustgurt gemessen. Es wurde ebenfalls vor und nach dem Lauf eine Blutprobe aus dem Ohrläppchen entnommen.

Der 5 km Lauf als auch die 24h Recall für die PRE Ernährungsprotokolle wurden im Zentrum für Sportwissenschaft und Universitätssport (Auf der Schmelz 5, 1150 Wien) durchgeführt bzw. erhoben. Sowohl der stufenförmige Belastungstest als auch die Blutabnahme, BIA und EKG fanden im NuTraLab (Zieglergasse 6, 1070 Wien) statt.

Zusätzlich wurden eine Magnetresonanztomographie bei einem Muskel am Oberschenkel am 7 Tesla MRT bei acht zufällig ausgewählten Probanden durchgeführt. Die Untersuchung fand sowohl zu Beginn als auch zum Ende der Studie im Hochfeld-MR-Zentrum am AKH Wien (Lazarettgasse 14, 1090 Wien) statt.

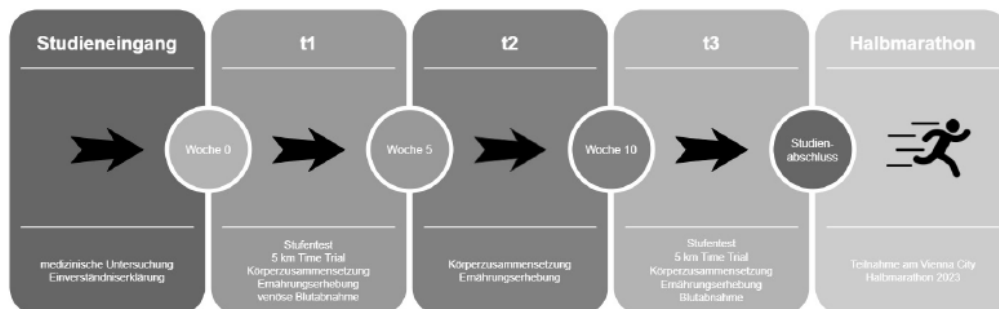


Abbildung 4 Überblick über die medizinischen Untersuchungen, Untersuchungszeitpunkten und Test bei der Trainingsintervention (Moitzi A, 2022)

7.5 Ernährungsprotokoll - 24 h Recall

Beim Ernährungsprotokoll handelte es sich um einen 24 h Recall, den die Probanden an zwei unterschiedlichen Tagen (Arbeitstag/Alltag und freier Tag/Wochenende) selbst protokolliert haben. Die Auswertung fand wöchentlich von den Studenten*innen der Ernährungswissenschaften statt. Dabei wurde auf die Einhaltung der Kriterien der jeweiligen Ernährungsinterventionsgruppe geachtet.

Vor Beginn der Studie wurde die bisherige Ernährungsweise der Probanden durch eine Befragung der Nahrungszufuhr der vergangenen Woche durchgeführt. Dabei wurde die Nahrungs- und Getränkeaufnahme eines Tages unter der Woche als auch am Wochenende mittels eines 24 h Recall abgefragt.

7.5.1 24 h Recall

Der 24 h Recall zählt zu den direkten Methoden der Ernährungserhebung. Sie liefern im Vergleich zu indirekten Methoden genauere Aussagen zum Lebensmittelverzehr, da dabei der Untersuchungsgegenstand auf dem direkten Verzehr einzelner Personen liegt. (Straßburg, 2010)

Vorteile dieser Methode sind unter anderem (MRI, 2025; Straßburg 2010):

- Es können zur Häufigkeit und Menge der verzehrten Lebensmittel präzisere Angaben gemacht werden.
- Nur das Kurzzeitgedächtnis wird gefordert.
- Detaillierte Angaben zu den verzehrten Lebensmitteln (z.B. Fettgehaltsstufe).
- Hoher Grad an Standardisierung wird erreicht.
- Große Stichproben können befragt werden.
- Zeitaufwand für die Befragung hält sich in Grenzen.

Nachteile des 24-h-Recalls sind z.B. mögliches Under- oder Overreporting, ein gutes Erinnerungsvermögen des Probanden ist notwendig, mögliche Probleme bei Portionsabschätzungen, Lebensmittel die selten verzehrt werden, werden womöglich nicht erfasst und das bei wenigen Befragungstagen nicht der übliche, sondern der aktuelle Verzehr des Teilnehmers ermittelt wird (MRI, 2025; Straßburg, 2010).

7.5.2 Nutritional Software (*nut.s*)

Die Auswertung der Ernährungsprotokolle erfolgte mit der Nutritional Software (*nut.s*). Die Software bezieht ihre Nährwertdaten von der österreichischen Nährwerttabelle (ÖNWT), welche eine vertikale (zusätzliche Lebensmittel und Produkte) und horizontale (zusätzliche Daten pro Lebensmittel) Ergänzung des deutschen Bundeslebensmittelschlüssels (BLS) darstellt. Der BLS beinhaltet hauptsächlich allgemeine, nicht identifizierte Basislebensmittel. Hingegen setzt sich die ÖNWT überwiegend aus Produkten des Handels, Markennamen und Firmenprodukten zusammen. Die ÖNWT wird in Zusammenarbeit mit dem Institut für Ernährungswissenschaften der Universität Wien herausgegeben. Die ÖNWT und BLS verfügen über 131 Nährwerte ohne fehlende Werte, alle 14 Allergene der Lebensmittelinformationsverordnung, Portions- und Packungsgrößen, Synonyme, Produkt- und Firmennamen und der Kategorisierung der Traditionellen Chinesischen Medizin (ÖNWT, 2025). Abbildung 5 zeigt eine Übersicht über die Daten, die in der ÖNWT beinhaltet sind.

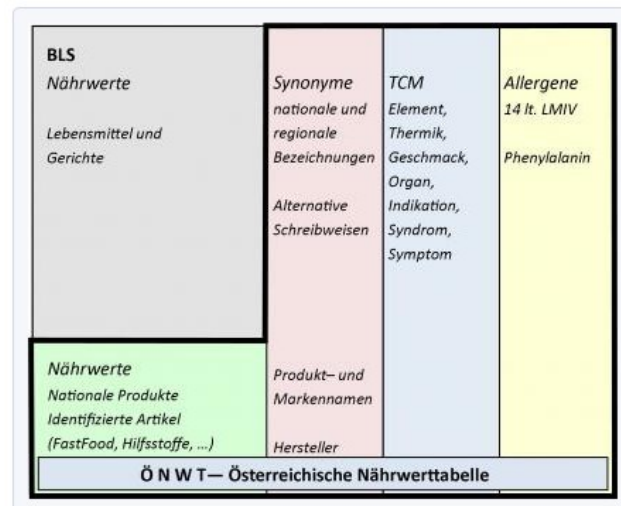


Abbildung 5 Übersicht über die beinhalteten Daten der österreichischen Nährwerttabelle (ÖNWT, 2025)

Jeder Proband wurde einzeln in nut.s angelegt. Die Ernährungsprotokolle wurden tagesweise eingegeben und ausgewertet. Enthielt die Datenbank ein Lebensmittel (z.B. Swing Kitchen Burger) nicht, wurde dieses hinzugefügt bzw. bei Speisen (z.B. Müsli, Nudeln etc.) wurden eigene Rezepte angelegt. Ein Beispiel für ein eingegebenes Ernährungsprotokoll in nut.s zeigt die Abbildung 6. Nach der Eingabe der Daten (pro Tag) fand die Auswertung in nut.s statt. Nach Abschluss der Studie und der Auswertung aller Protokolle wurden alle Daten pro Proband aus nut.s in Excel exportiert und für die weitere Auswertung aufgearbeitet.

Lebensmittel	Anzahl	Einheit	Gramm	Herkunft	Code
26.02.2022					
- Frühstück					
Trinkwasser	0,5	l	500,0	BLS3.02	N110000
porridge 4.2	1,0	Portion	479,0	EIGENE	C51DY00
- Vormittagsjause					
Trinkwasser	0,5	l	500,0	BLS3.02	N110000
- Mittagessen					
Trinkwasser	0,5	l	500,0	BLS3.02	N110000
Nudeln 4.2	1,0	Portion	375,7	EIGENE	X701G00
- Nachmittagsjause					
Trinkwasser	0,5	l	500,0	BLS3.02	N110000
- Abendessen					
Trinkwasser	0,5	l	500,0	BLS3.02	N110000
Quinoa Bowl	1,0	Portion	590,0	EIGENE	X50FF30
- Spätmahlzeit					
Kartoffelchips Meersalz	100,0	g	100,0	ÖNWT-SGB	K202410
Gin Tonic	5,0	Portion	1.000,0	BLS3.02	P9A4000
Weißwein-Schorle	2,0	Weinglas groß	500,0	BLS3.02	P285000
Wodka	3,0	Schnapsglas	60,0	BLS3.02	P712000

Abbildung 6 Ernährungsprotokoll in nut.s; eingegebenen Speisen und Getränke (eigene Eingabe, nut.s; 2022)

7.6 Statistische Analyse

Die statistische Analyse erfolgte mithilfe von IBM SPSS Statistics (SPSS for Windows, Version 28, SPSS Inc., Chicago, IL). Dabei wurde ein Signifikanzniveau von 5 % verwendet. Die aufgezeichneten Daten der Ernährungsprotokolle wurden aus nut.s (Nutritional Software, dato Denkwerkzeuge, Wien) in Excel exportiert und anschließend in SPSS importiert. Die Daten wurden auf Normalverteilung mittels Shapiro-Wilk Test geprüft. Waren die Daten nicht normalverteilt, wurde ein nicht parametrischer Alternativ-Test (Wilcoxon-Test) durchgeführt. Bei den normalverteilten Daten wurde eine mehrfaktorielle MANOVA durchgeführt. Die Parameter der Probanden, Ernährungsinterventionsgruppen als auch der Ballaststoffaufnahme wurden mittels Mittelwert und Standardabweichung dargestellt. Die grafische Darstellung der Balkendiagramme für die Ballaststoffauswertung erfolgte ebenfalls in SPSS. Für die grafische Darstellung der Kreisdiagramme wurde Excel verwendet.

8 Ergebnisse

Dieser Teil der Arbeit beschäftigt sich mit der statistischen als auch grafischen Darstellung der Ergebnisse aus der Studie. Die demographischen Daten, die Daten zur Trainingsintervention und zur Ernährung werden zu Beginn erläutert. Die Ergebnisse zur Ballaststoffaufnahme der Gruppen erfolgt anschließend.

8.1 Deskriptive Statistik

8.1.1 Probanden

Es konnten von den ursprünglich 87 Probanden 68 in diese Arbeit eingeschlossen werden. Das durchschnittliche Alter der Probanden lag bei 29 (± 4) Jahren. Im Schnitt waren die Probanden 181,7 ($\pm 6,6$) cm groß, hatten ein Gewicht von durchschnittlich 80,0 ($\pm 10,5$) kg und einen BMI von 24,23 ($\pm 3,01$) kg/m². Im Durchschnitt hatten die Probanden 3,3 ($\pm 1,0$) sportlich aktive Tage pro Woche und einen VO₂max von 55 ($\pm 7,5$) ml/min/kg. Tabelle 5 gibt einen Überblick über die allgemeinen Parameter der Ernährungsinterventionsgruppen.

Tabelle 5 Allgemeine Parameter der Ernährungsinterventionsgruppen

	LOW-GI (n=23)	HIGH-GI (n=25)	LCHF (n=20)	p-Wert
Alter [Jahre]	30 (± 4)	29 (± 4)	27 (± 4)	0,083
Größe [cm]	181,7 ($\pm 6,5$)	181,2 ($\pm 6,7$)	182,4 ($\pm 6,9$)	0,803
Gewicht [kg]	80,1 ($\pm 10,0$)	78,2 ($\pm 11,1$)	82,00 ($\pm 10,4$)	0,307
BMI [kg/m²]	24,24 ($\pm 2,86$)	23,84 ($\pm 2,9$)	24,73 ($\pm 3,39$)	0,529
Sportlich aktive Tage/Woche [Tage]	3,4 ($\pm 1,1$)	3,4 ($\pm 0,9$)	3,1 ($\pm 1,1$)	0,564

VO2peak [ml/min/kg]	54,2 (± 7,7)	55,7 (± 6,8)	54,7 (± 8,2)	0,793
--------------------------------	--------------	--------------	--------------	-------

Angaben der Daten Mittelwert (MW) und Standardabweichung (± SD)

8.1.2 Ernährungsintervention

Die Energie- und Makronährstoffaufnahme der einzelnen Gruppen vor und während der Intervention wird in Tabelle 6 gezeigt. Die einzelnen Gruppen werden in den Abschnitten 8.1.2.1. *LOW-GI Gruppe*, 8.1.2.2. *HIGH-GI-Gruppe* und 8.1.2.3. *LCHF-Gruppe* näher erläutert.

Tabelle 6 Energie- und Makronährstoffaufnahme der einzelnen Gruppen vor und während der Intervention

	LOW-GI	HIGH-GI	LCHF
PRE-Brennwert [kJ]	11055,92 (± 3473,52)	10117,39 (± 3659,06)	9718,61 (± 3612,06)
PRE-Proteine [%]	15,9 (± 4,2)	16,7 (± 4,1)	17,8 (± 7,1)
PRE-CHO [%]	51,2 (± 7,8)	48,1 (± 8,3)	43,3 (± 15,1)
PRE-Fett [%]	30,0 (± 7,8)	32,8 (± 7,6)	37,1 (± 13,1)
POST- Brennwert [kJ]	9254,3 (± 2042,0)	10614,5 (± 2144,1)	9844,7 (± 2427,8)
POST-Proteine [%]	20,2 (± 3,5)	15,7 (± 2,8)	25,1 (± 3,8)
POST-CHO [%]	45,6 (± 5,5)	49,2 (± 5,1)	8,6 (± 2,7)
POST-Fett [%]	30,9 (± 5,9)	31,4 (± 4,5)	65,5 (± 6,0)

Angaben der Daten Mittelwert (MW) und Standardabweichung (± SD)

Tabelle 7 p-Wert (Wilcoxon-Test) PRE und während der Ernährungsintervention der einzelnen Gruppen (Eigendarstellung, 2025)

	PRE-&POST Brennwert [p-Wert]	PRE-&POST CHO [p-Wert]	PRE-&POST Proteine [p-Wert]	PRE-&POST Fett [p-Wert]
LOW-GI	0,062	0,003*	<0,001*	0,833
HIGH-GI	0,677	0,527	0,459	0,158
LCHF	0,391	<0,001*	<0,001*	0,002*

*gibt einen signifikanten Unterschied an; $p < 0,05$

8.1.2.1 LOW-GI Gruppe

Die durchschnittliche Energieaufnahme vor der Intervention lag bei 11055,92 ($\pm 3473,52$) kJ und während der Intervention bei 9254,31 ($\pm 2042,03$) kJ. Es konnte kein signifikanter Unterschied bei der Energieaufnahme in der LOW-GI Gruppe gefunden (p-Wert 0,062) werden. Abbildung 7 gibt einen Überblick über die Makronährstoffverteilung vor und während der Intervention. Vor der Intervention lag die Makronährstoffaufteilung bei: CHO 51,2 % ($\pm 7,8$), Proteine 15,9 % ($\pm 4,2$) und Fette 30,0 % ($\pm 7,8$). Während der Intervention verteilten sich die Makronährstoffe folgend: CHO 45,6 % ($\pm 5,5$), Proteine 20,2 % ($\pm 3,5$) und Fette 30,9 ($\pm 5,9$). Es wurden signifikante Unterschiede zwischen PRE und POST CHO- (p-Wert 0,003) und Proteinaufnahme (p-Wert < 0,001) gefunden. Diese Unterschiede sind auch in der Abbildung 7 klar ersichtlich. Der glykämische Index lag während der Intervention bei durchschnittlich 41 (± 3).

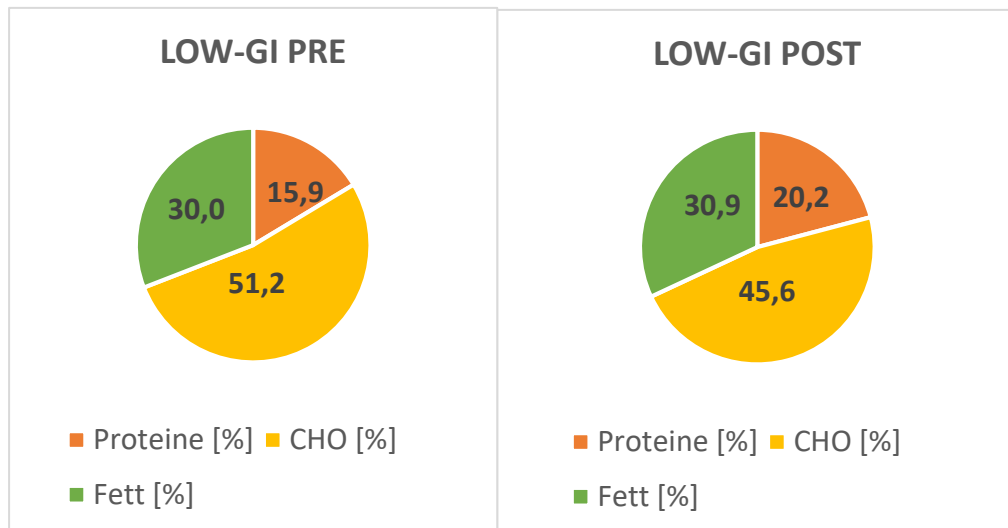


Abbildung 7 PRE und POST Makronährstoffverteilung der LOW-GI Gruppe (n= 23) (Eigendarstellung, 2025)

8.1.2.2 HIGH-GI Gruppe

Die durchschnittliche Energieaufnahme vor der Intervention lag bei 10117,39 ($\pm 3659,06$) kJ und während der Intervention bei 10614,54 ($\pm 2144,08$). Es konnte kein signifikanter Unterschied bei der Energieaufnahme in der HIGH-GI Gruppe gefunden (p-Wert 0.677) werden. Die Abbildung 8 gibt einen Überblick über die Makronährstoffverteilung vor und während der Intervention. Vor der Intervention lag die Makronährstoffaufteilung bei: CHO 49,24 % ($\pm 5,11$), Proteine 16,65 % ($\pm 4,05$) und Fette 32,84 % ($\pm 7,62$). Während der Intervention verteilten sich die Makronährstoffe wie folgt: CHO 45,60 % ($\pm 5,47$), Proteine 15,72 % ($\pm 2,78$) und Fette 31,42 % ($\pm 4,54$). Es wurde kein signifikanter Unterschied bei der Makronährstoffverteilung vor und während der Ernährungsintervention gefunden. Dies ist auch in der Abbildung 8 deutlich zu sehen. Der glykämische Index lag während der Ernährungsintervention durchschnittlich bei 64,29 ($\pm 2,97$).

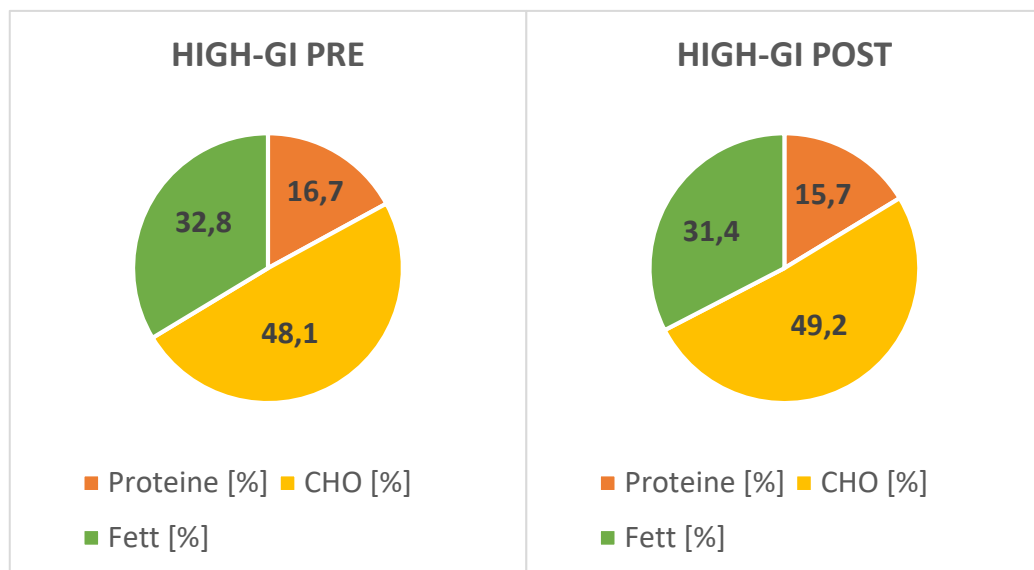


Abbildung 8 PRE und POST Makronährstoffverteilung der HIGH-GI Gruppe (n=25) (Eigendarstellung, 2025)

8.1.2.3 LCHF Gruppe

Die durchschnittliche Energieaufnahme vor der Intervention lag bei 9718,61 ($\pm$ 3612,06) kJ und während der Intervention bei 9844,74 ($\pm$ 2427,81) kJ. Es konnte kein signifikanter Unterschied bei der Energieaufnahme in der LCHF Gruppe gefunden (p-Wert 0,391) werden. Abbildung 9 gibt einen Überblick über die Makronährstoffverteilung vor und während der Intervention. Vor der Intervention lag die Makronährstoffaufteilung bei: CHO 43,27 % ($\pm$ 15,11), Proteine 17,79 % ($\pm$ 7,14) und Fette 37,06 ($\pm$ 13,10). Während der Intervention verteilten sich die Makronährstoffe wie folgt: CHO 8,55 % ($\pm$ 2,65), Proteine 25,08 % ($\pm$ 3,83) und Fette 65,47 % ($\pm$ 6,04). Signifikante Unterschiede wurden zwischen PRE- und POST Makronährstoffverteilung bei allen drei Makronährstoffen (CHO p-Wert < 0,001, Proteine p-Wert < 0,001, Fett p-Wert 0,002) gefunden. In der Abbildung 9 sind diese Unterschiede deutlich ersichtlich.

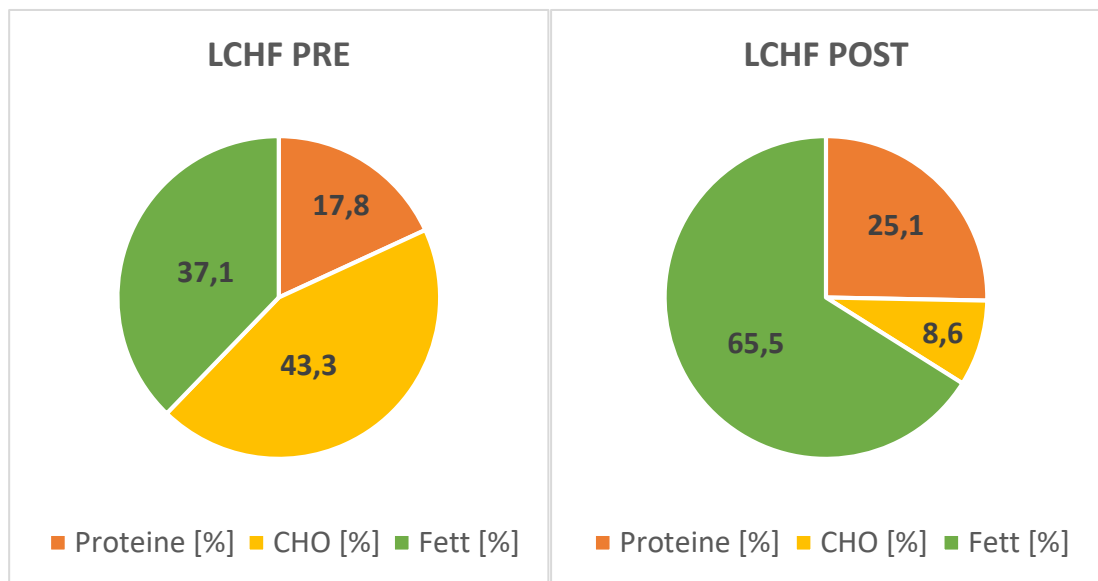


Abbildung 9 PRE und POST Makronährstoffverteilung der LCHF Gruppe (n= 20) (Eigendarstellung, 2025)

8.1.3 Trainingsintervention

Bei der zehnwöchigen Trainingsintervention wurden von der HIGH-GI und LCHF-Gruppe ähnlich viele Gesamttrainingsminuten (HIGH-GI 1953 ($\pm$ 397), LCHF 1960 ($\pm$ 365)) als auch ähnlich viele Minuten bei den Intervall- (High-GI 592 ($\pm$ 134), LCHF 600 ($\pm$ 109)) und Grundlageneinheiten (High-GI 1361 ($\pm$ 294), LCHF 1360 ($\pm$ 266)) absolviert. Die LOW-GI Gruppe legte im Vergleich mit den anderen zwei Gruppen sowohl bei den Gesamttrainingsminuten (2106 ($\pm$ 300)) als auch bei den Intervall- (650 ($\pm$ 133)) und Grundlageneinheiten (1456 ($\pm$ 189)) mehr Minuten zurück. Insgesamt wurde aber kein Unterschied zwischen den absolvierten Trainingsminuten der verschiedenen Interventionsgruppen gefunden. (Siehe Tabelle 8)

Tabelle 8 Übersicht über Trainingsminuten der einzelnen Interventionsgruppen (Eigene Darstellung, 2025)

	Gesamtminuten	Intervalle	Grundlage
LOW-GI	2106 ($\pm$ 300)	650 ($\pm$ 133)	1456 ($\pm$ 189)
HIGH-GI	1953 ($\pm$ 397)	59 ($\pm$ 134)	1361 ($\pm$ 294)
LCHF	1960 ($\pm$ 365)	600 ($\pm$ 109)	1360 ($\pm$ 266)
p-Wert	0,345	0,171	0,294

8.1.4 Ballaststoffaufnahme der einzelnen Ernährungsinterventionsgruppen

8.1.4.1 Gesamtballaststoffaufnahme

Die Gesamtballaststoffaufnahme vor der Intervention betrug in der LOW-GI Gruppe 34,86 g ($\pm$ 12,32), in der HIGH-GI Gruppe 32,20 g ($\pm$ 9,88) und in der LCHF-Gruppe 27,95 ($\pm$ 12,90). Es zeigte sich kein signifikanter Unterschied bei der Ballaststoffaufnahme vor der Ernährungsintervention zwischen den Interventionsgruppen. Während der Ernährungsintervention betrug die Ballaststoffaufnahme durchschnittlich 42,72 g ($\pm$ 9,59) in der LOW-GI Gruppe, 27,77 g ($\pm$ 7,54) in der HIGH-GI Gruppe und 27,63 g ($\pm$ 9,35) in der LCHF-Gruppe. Die Ballaststoffaufnahme während der Intervention unterscheidet sich signifikant zwischen den Interventionsgruppen. Zudem unterscheidet sich die Ballaststoffaufnahme vor und während der Intervention signifikant in der LOW-GI Gruppe ($p= 0,021$) und in der HIGH-GI Gruppe ($p= 0,028$). Abbildung 10 zeigt den Unterschied zwischen der Ballaststoffaufnahme vor und während der Intervention und zwischen den einzelnen Interventionsgruppen. So ist beim Balkendiagramm ersichtlich, dass die LOW-GI Gruppe im Vergleich die meisten Ballaststoffe zu sich genommen hat und die LCHF Gruppe am wenigsten. Ebenso kann man sehen, dass die Ballaststoffaufnahme in der LCHF-Gruppe sich vor und während der Ernährungsintervention nicht bzw. nur minimal

unterscheidet. Der Wilcoxon-Test zeigt keinen signifikanten Unterschied zwischen PRE und POST Ballaststoffaufnahme ($p=0,682$).

Tabelle 9 Unterschiede der DF Pre und Post Ernährungsintervention in den Interventionsgruppen (Mittelwerte und Standardabweichung) (Eigendarstellung, 2025)

	PRE DF [g]	POST DF [g]	p-Wert
LOW-GI (n= 25)	34,86 ($\pm 12,32$)	42,72 ($\pm 9,59$)	0,021*
HIGH-GI (n= 23)	32,20 ($\pm 9,88$)	27,77 ($\pm 7,54$)	0,028*
LCHF (n= 20)	27,95 ($\pm 12,90$)	27,63 ($\pm 9,35$)	0,940
p-Wert	0,158	< 0.001*	

**gibt einen signifikanten Unterschied an $p < 0,05$; Wilcoxon-Test für nicht normalverteilten Daten; einfaktorielle ANOVA mit Post-Hoc-Test für normalverteilte Daten; Mittelwert (MW) und Standardabweichung (SD $\pm$)*

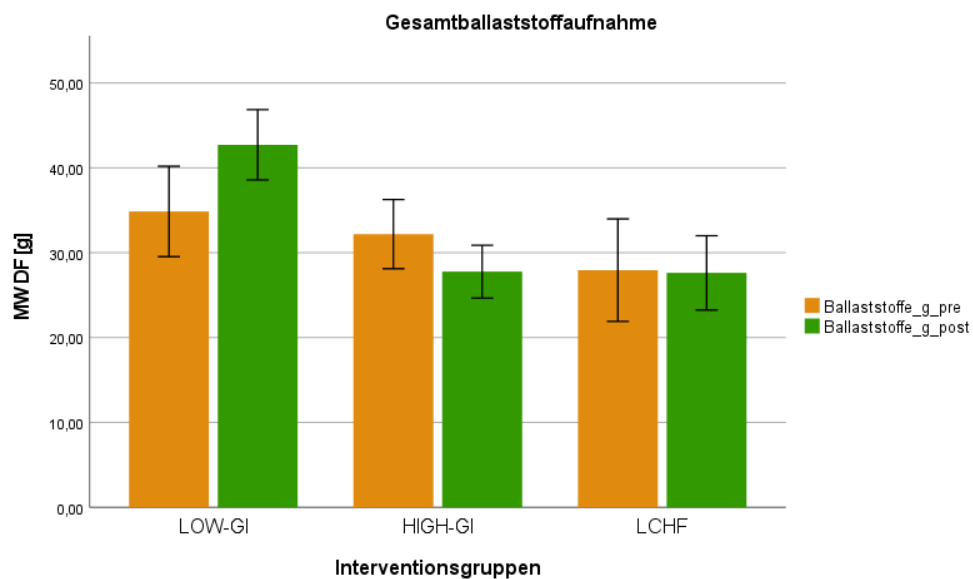


Abbildung 10 Balkendiagramm für die Gesamtballaststoffaufnahme vor und während der Ernährungsintervention der verschiedenen Gruppen ; Fehlerbalken 95 % CI + SD (Eigendarstellung SPSS, 2025)

8.1.4.2 Wasserlösliche Ballaststoffe (SDF)

Vor der Ernährungsintervention betrug die SDF-Aufnahme 10,79 g ($\pm$ 3,84) in der LOW-GI Gruppe, 10,98 g ($\pm$ 2,99) in der HIGH-GI Gruppe und 8,65 g ($\pm$ 4,20) in der LCHF-Gruppe. Die IDF-Aufnahme während der Intervention war 12,74 g ($\pm$ 3,02) in der LOW-GI Gruppe, 9,28 g ($\pm$ 2,5) in der HIGH-GI Gruppe und 5,82 g ($\pm$ 2,56) in der LCHF Gruppe. Bei der PRE SDF Aufnahme gab es zwischen den Gruppen keinen signifikanten Unterschied ($p= 0,078$). Während es bei der POST-SDF Aufnahme einen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen gab ($p= < 0,001$). Die Werte vor und während der Ernährungsintervention unterscheiden sich signifikant in der HIGH-GI Gruppe ($p= 0,025$) und in der LCHF Gruppe ($p= 0,011$). Die untenstehende Tabelle als auch das Balkendiagramm (Abbildung 11) zeigen, dass die beiden Gruppen vor der Ernährungsintervention mehr SDF aufgenommen haben als während der Intervention. Ebenso sieht man beim Balkendiagramm und in der Tabelle, dass die LOW-GI während der Intervention die meisten SDF aufgenommen haben und die LCHF am wenigsten.

Tabelle 10 Unterschiede der SDF Pre und Post Ernährungsintervention in den Interventionsgruppen (Mittelwerte und Standardabweichung) (Eigendarstellung, 2025)

	PRE SDF [g]	POST SDF [g]	P-Wert
LOW-GI (n= 25)	10,79 ($\pm$ 3,84)	12,74 ($\pm$ 3,02)	0,056
HIGH-GI (n= 23)	10,98 ($\pm$ 2,99)	9,28 ($\pm$ 2,5)	0,025*
LCHF (n= 20)	8,65 ($\pm$ 4,20)	5,82 ($\pm$ 2,56)	0,011*
p-Wert	0,078	< 0,001*	

**gibt einen signifikanten Unterschied an $p= < 0,05$;einfaktorielle MANOVA; Mittelwert (MW) und Standardabweichung (SD $\pm$)*

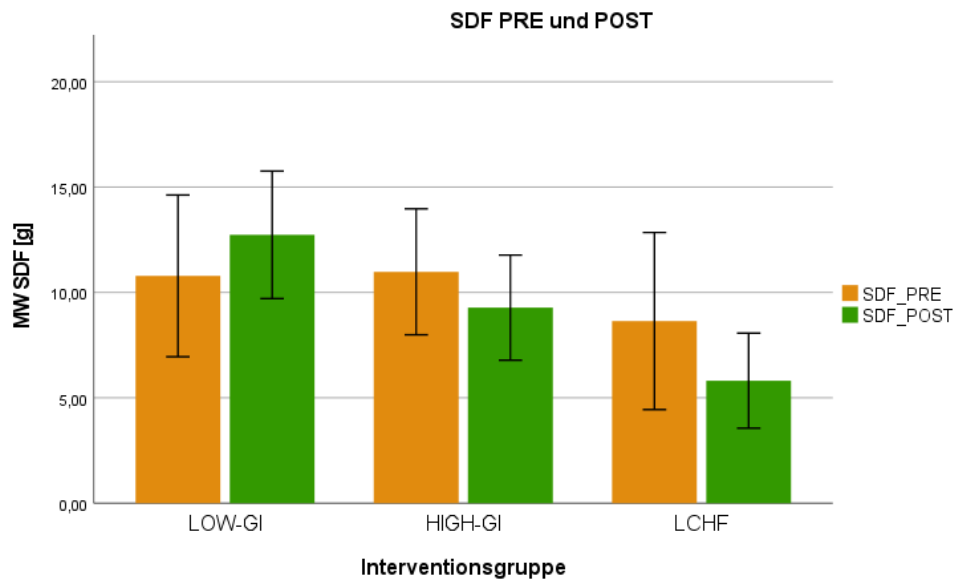


Abbildung 11 Balkendiagramm für die SDF-Aufnahme vor und während der Ernährungsintervention der verschiedenen Gruppen; Fehlerbalken 95% CI + SD (Eigendarstellung SPSS, 2025)

8.1.4.3 Wasserunlösliche Ballaststoffe (IDF)

Die IDF-Aufnahme betrug vor der Ernährungsintervention 23,58 g ($\pm$ 9,13) in der LOW-GI Gruppe, 21,28 g ($\pm$ 7,52) in der HIGH-GI Gruppe und 18,41 g ($\pm$ 9,72) in der LCHF-Gruppe. Während der Ernährungsintervention betrug die IDF-Aufnahme 29,93 g ($\pm$ 6,84) in der LOW-GI Gruppe, 18,25 g ($\pm$ 5,05) in der HIGH-GI Gruppe und 19,03 g ($\pm$ 6,60) in der LCHF Gruppe. Zwischen der pre und post IDF Aufnahme gibt es nach dem Friedman Test keinen statistisch signifikanten Unterschied. Das Balkendiagramm (Abbildung 12) gibt eine Übersicht über die IDF-Aufnahme vor und während der Ernährungsintervention der einzelnen Gruppen. Man sieht, dass sich die IDF-Aufnahme PRE minimal zwischen den Gruppen unterscheidet aber nicht statistisch signifikant ist. Einen signifikanten Unterschied gibt es bei der IDF-Aufnahme POST (p = <0,001) zwischen der LOW-GI Gruppe und der HIGH-GI und LCHF-Gruppe. Die IDF-Aufnahme zwischen High-GI und LCHF-Gruppe unterscheidet sich nicht signifikant (p = 0,408).

Tabelle 11 Unterschiede der IDF Pre und Post Ernährungsintervention in den Interventionsgruppen (Mittelwerte und Standardabweichung) (Eigendarstellung, 2025)

	PRE IDF [g]	POST IDF [g]	p-Wert
LOW-GI (n= 25)	23,58 (± 9,13)	29,93 (± 6,84)	0,012*
HIGH-GI (n= 23)	21,28 (± 7,52)	18,25 (± 5,05)	0,128
LCHF (n= 20)	18,41 (± 9,72)	19,03 (± 6,60)	0,794
p-Wert	0,125	< 0,001*	

*gibt einen signifikanten Unterschied an $p = < 0,05$; nicht parametrischer Test, Wilcoxon-Test
Kruskal-Wallis-Test, Mittelwert (MW) und Standardabweichung (SD ±)

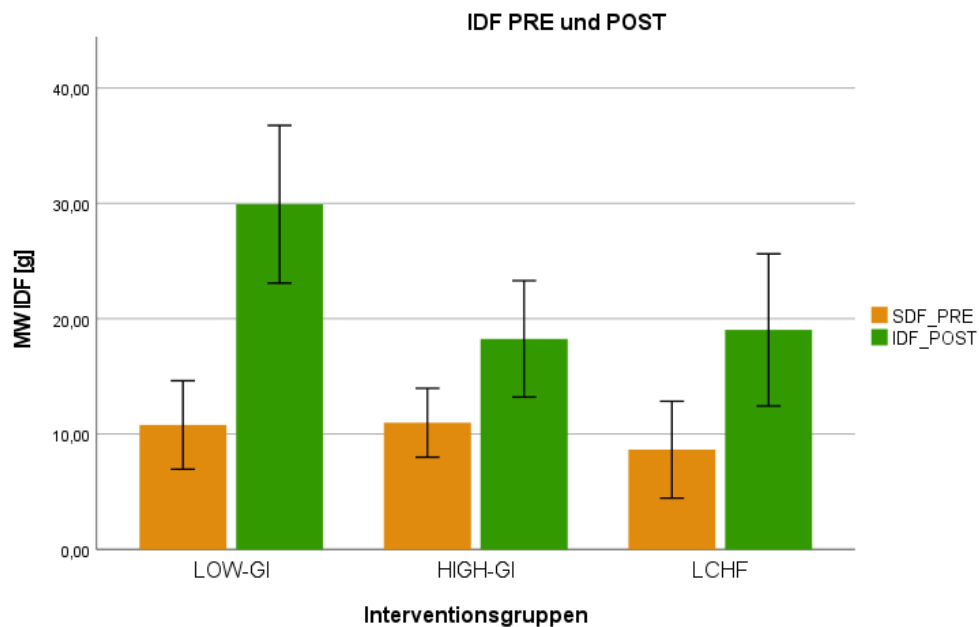


Abbildung 12 Balkendiagramm für die IDF-Aufnahme vor und während der Ernährungsintervention der verschiedenen Gruppen; Fehlerbalken 95% CI + SD (Eigendarstellung SPSS, 2025)

9 Diskussion

Um ein optimales Training, Regeneration und Performance als Läufer zu erreichen ist eine adäquate Ernährung unumgänglich. Dabei spielen Ballaststoffe eine wichtige Rolle. In zahlreichen Studien wurde zwar die Aufnahme von CHO, Proteinen, Fetten und Mineralstoffen von Breiten- und Leistungssportlern ermittelt, jedoch legten nur sehr wenige Studien den Fokus auf die Ballaststoffaufnahme. Diese Arbeit soll dazu dienen Daten zur DF-, SDF- und IDF-Aufnahme von Breitensportlern während einer 10-wöchigen Ernährungs- und Trainingsintervention zu liefern.

Für die Erhebung der Nahrungsaufnahme wurden für jede Woche zwei Ernährungsprotokolle, die mittels 24 h Recall durchgeführt wurden, herangezogen. Die Verwendung eines 24 h Recalls war für diese Studie gut gewählt. So konnten die Probanden präzisere Angaben über die Menge der verzehrten Lebensmittel und Flüssigkeitsaufnahme machen. Ebenso wurden dadurch detailliertere Angaben über die verzehrten Lebensmittel (z.B. Fettgehaltsstufe) gemacht.

Glykämischer Index und Ernährungsintervention

Wie aus den Ergebnissen ersichtlich ist konnte der glykämische Index von ≤ 50 in der LOW-GI Gruppe mit durchschnittlich $40,76 (\pm 3,43)$ eingehalten werden. Während der Intervention verringerte sich die durchschnittliche Kohlenhydrataufnahme ($45,6 \% (\pm 5,5)$), was mitunter zu einer Verringerung der Gesamtenergieaufnahme (PRE= $11055,92 (\pm 3473,52)$; POST $9254,31 (\pm 2042,03)$) führte. Die vorgegebenen Ernährungsrichtlinien konnte im Bereich der Kohlenhydrate (55-60%) und Fette (25 %) nicht eingehalten werden.

Bei der HIGH-GI Gruppe hingegen wurde der glykämische Index von ≥ 70 mit durchschnittlich 64,29 ($\pm 2,97$) nicht erreicht. Ebenso wie in der LOW-GI Gruppe konnte auch in der HIGH-GI Gruppe trotz einer mittleren Kohlenhydrataufnahme von 49,25 % der vorgegebene Bereich von 55-60 Energieprozent aus CHO (55-60 %) nicht erreicht werden. Des Weiteren wurde die vorgegebene Fettaufnahme von 25 % im Mittel überstiegen (31,42 %).

In der LCHF-Gruppe wurden während der Ernährungsintervention durchschnittlich 9844,74 ($\pm 2427,81$) kJ an Gesamtenergie aufgenommen, wovon 8,55 % ($\pm 2,65$) an Kohlenhydraten zugeführt wurden. Dies entspricht einer durchschnittlichen Kohlenhydrataufnahme von 50,29 g pro Tag. Damit wurden die vorgegebenen < 50 g Kohlenhydrate pro Tag knapp überschritten. Mit einer durchschnittlichen Fettaufnahme von 65,47 % konnten die vorgegebenen ≥ 65 Energie% erreicht werden.

Trainingsintervention

Der vorgegebene Trainingsumfang wurde zwar von keiner der drei Gruppen erreicht, jedoch leisteten alle drei Gruppen einen ähnlichen Umfang. Ein signifikanter Unterschied im Trainingsumfang konnte nicht festgestellt werden.

Ballaststoffaufnahme

Die Ballaststoffaufnahme während der Intervention unterschied sich signifikant zwischen den Interventionsgruppen. Zudem unterscheidet sich die Ballaststoffaufnahme vor und während der Intervention signifikant in der LOW-GI Gruppe ($p= 0,021$) und in der HIGH-GI Gruppe ($p= 0,028$). Der Richtwert von 30 g Ballaststoffe pro Tag (D-A-CH, 2015) wurde von den LOW-GI Probanden erreicht bzw. überschritten. Sie nahmen im Mittel 42,72 g Ballaststoffe pro Tag auf. Insgesamt erreichten bzw. überschritten 19 Probanden den Richtwert und 4 erreichten ihn nicht. Ein wichtiger Punkt bei einer so hohen

Ballaststoffaufnahme ist auf eine ausreichende Flüssigkeitszufuhr zu achten, um keine negative Flüssigkeitsbilanz zu erreichen. (ÖGE, 2017) Die erhöhte Zufuhr von DF kann laut Studien (Gonlachanvit et al. (2004) und Zhang et al. (2020)) zu gastrointestinalen Beschwerden (z.B. Übelkeit, Flatulenzen durch erhöhte Gasproduktion), Konsistenzveränderung des Faeces und Gewichtsschwankungen führen, was jedoch erst ab einer Aufnahme von mehr als 50 g DF pro Tag eintritt. Die hohe Ballaststoffaufnahme ist womöglich auf die verminderte Einschränkung des Obst- und Gemüseverzehrs - Gemüse: Kartoffeln; Obst: Datteln, Bananen, Weintrauben und gezuckerte Früchte - während der Ernährungsintervention zurückzuführen (Anhang 2 Ernährungsrichtlinien).

Mit einer mittleren Ballaststoffaufnahme von 27,77 g pro Tag in der HIGH-GI Gruppe und 27,63 g pro Tag in der LCHF-Gruppe wurde der Richtwert im Mittel knapp nicht erreicht. Betrachtet man die einzelnen Probanden innerhalb der Gruppen, erreichten 9 Probanden in der HIGH-GI und 6 Probanden in der LCHF-Gruppe den Richtwert. Hingegen erreichten 16 Teilnehmer in der HIGH-GI und 14 Teilnehmer der LCHF-Gruppe den Richtwert nicht.

Insgesamt konnte gezeigt werden, dass 50 % der Probanden den Richtwert erreichen bzw. überschreiten konnten. Dabei lag die mittlere DF-Aufnahme der 68 Probanden bei 32,79 g.

Insgesamt haben aber alle Gruppen im Mittel die Ballaststoffempfehlung von 25 g pro Tag erreicht bzw. überschritten. (EFSA, 2010) Aufgeteilt auf die einzelnen Probanden der jeweiligen Gruppen erreichten alle 23 Probanden der LOW-GI Gruppe, 17 Probanden der HIGH-GI Gruppe und 11 Probanden der LCHF-Gruppe die Ballaststoffempfehlung von 25 g pro Tag (EFSA, 2010). 8 Teilnehmer der HIGH-GI Gruppe und 9 Teilnehmer der LCHF-Gruppe erreichten die Ballaststoffempfehlung nicht. Zusammenfassend konnte gezeigt werden, dass 25 % der Probanden die Ballaststoffempfehlung nicht erreichen konnte.

Die höchste Ballaststoffaufnahme lag in der LOW-GI-Gruppe. Dies ist mit den wenigen Limitierungen beim Obst und Gemüseverzehr zu erklären.

Grund für das nicht Erreichen des Ballaststoffrichtwertes/ der Ballaststoffempfehlung liegt zum Großteil an der Ernährung, welche die Probanden während der Intervention einhalten mussten. Vor allem in der LCHF-Gruppe spielte die Kohlenhydratlimitierung eine große Rolle bei der Ballaststoffaufnahme. Ein Grund für das nicht Erreichen in der HIGH-Gruppe könnte die eingeschränkte Zufuhr von Gemüse sein. Dieses durfte nur als Beilage und nicht als Hauptmahlzeit verzehrt werden.

Moss et al. (2023) kamen in ihrer Studie zu einem annähernd ähnlichen Ergebnis. Dabei wurde die empfohlene DF-Menge von insgesamt 49,5 % der Athleten nicht erreicht, wovon deutlich mehr männlichen Teilnehmer (70,8 %) als weibliche (27,7 %) diese nicht erreichten. In der Studie wird dieser Unterschied mit den Ergebnissen aus der Studie von Wardle et al (2004) begründet. Demnach konsumieren Frauen mehr Früchte als Männer.

Nebel et al (2019) berichten in ihrer Studie, dass von den 81 Probanden bis auf die 27 omnivoren Hobbyläufern alle den Ballaststoffrichtwert von ≥ 30 erreichten, was wiederum 66,67 % der Probanden entspricht.

In der Studie von Baranauskas et al (2015) nahmen in der Alterskategorie der 19-31-Jährigen 63,4 % die empfohlene Ballaststoffmenge auf.

SDF- und IDF-Aufnahme

Wie aus den Ergebnissen aus Kapitel 8.1.4.2 (wasserlösliche Ballaststoffe (SDF)) ersichtlich ist, gibt es bei der PRE SDF-Aufnahme keinen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen. Hingegen gibt es in der POST SDF-Aufnahme einen signifikanten Unterschied. Die POST SDF-Aufnahme lag bei der LOW-GI Gruppe bei 12,74 g, bei der HIGH-GI Gruppe bei 9,28 g und bei der LCHF-Gruppe bei 5,82 g. Demnach hatte die LOW-GI Gruppe die höchste SDF-

Aufnahme. Betrachtet man die SDF-Aufnahme aller 68 Probanden während der Ernährungsintervention, so lag diese im Mittel bei 9,43 g.

Zu einem weitaus geringeren Ergebnis kam Kümmerle (2017) in ihrer Arbeit. In dieser betrug die mittlere SDF-Aufnahme 6,73 g, wobei Männer im Mittel 6,91 g und Frauen 6,58 g SDF aufgenommen haben. Vergleicht man die Ballaststoffaufnahme zwischen den beiden Probandengruppen, ist zu erkennen, dass die Probanden in dieser Arbeit eine deutlich höhere durchschnittliche Ballaststoffaufnahme (32,79 g pro Tag) aufweisen. Dadurch lässt sich die geringere SDF-Aufnahme in der Arbeit von Kümmerle (2017) im Vergleich erklären.

Im Kapitel 8.1.4.3 (wasserunlösliche Ballaststoffe (IDF)) werden die Ergebnisse der IDF-Aufnahme näher beschrieben. Daraus geht hervor, dass die IDF-Aufnahme während der Ernährungsintervention bei 29,93 g in der LOW-GI Gruppe, 18,25 g in der HIGH-GI Gruppe und 19,03 in der LCHF-Gruppe lag. Die Werte vor und während der Intervention unterschieden sich nur in der LOW-GI Gruppe signifikant. Betrachtet man die IDF-Aufnahme aller 68 Probanden während der Ernährungsintervention, so lag diese im Mittel bei 22,43 g.

Die hohe SDF- und IDF-Aufnahme in der LOW-GI Gruppe ist mit hoher Wahrscheinlichkeit auf die nur wenig limitierte Gemüse- und Obst-Aufnahme zurückzuführen. Die sehr geringe SDF-Aufnahme in der LCHF-Gruppe lässt sich mit der kohlenhydratarmen Ernährung (≤ 50 g CHO pro Tag) erklären.

Während der Literaturrecherche wurden keine Studien gefunden, die sich mit der IDF-Aufnahme beschäftigen, weshalb kein Vergleich möglich ist.

gesundheitlichen Aspekte der DF

Eine adäquate DF-Zufuhr sorgt aufgrund der Erhöhung der Viskosität (Quell- bzw. Wasserbindungsvermögen von DF) des Speisebreis für eine verzögerte Magenentleerung, was wiederum zu einer Erhöhung des Sättigungsgefühls

führt (Schneemann, 1986). Bei einer niedrigen DF-Zufuhr tritt dies nicht ein. Entsprechend den Ergebnissen der Gesamtballaststoffaufnahme kann davon ausgegangen werden, dass im Mittel alle Probanden ein hohes Sättigungsgefühl aufgewiesen haben.

Ein weiterer positiver Aspekt der hohen DF-Zufuhr ist die Vielzahl von präventiven Effekten mit denen diese in Verbindung gebracht wird. So wirkt sich die hohe Zufuhr protektiv auf kardiovaskuläre Erkrankungen (CVD), Diabetes mellitus Typ 2, Adipositas, Gesamt- und LDL-Cholesterinkonzentration, Hypertonie, Colon- und Brustkrebs aus. Hingegen können diese präventiven Effekte bei einer niedrigen Ballaststoffaufnahme nicht eintreten (DGE, 2011).

Anderson et al (2009) kamen in ihrer Studie zu dem Ergebnis, dass eine Erhöhung der DF-Aufnahme zu einer Verringerung von erhöhten Blutdruckwerten, Gesamt- und LDL-Cholesterolkonzentrationen im Blut, Verbesserung der Insulinsensitivität und der Glukosetoleranz, als auch zu einer Verringerung des Körpergewichts bei adipösen Personen führen kann.

Ein wichtiger gesundheitlicher Aspekt von SDF ist deren sterolbindende Eigenschaft, welche cholesterinsenkend wirkt. Durch die Bindung an primäre Gallensäuren werden diese der intertestinalen Reabsorption und dem enterohaptischen Kreislauf entzogen, wodurch neue Gallensäuren über eine vermehrte Aufnahme von LDL-Cholesterol aus dem Blut synthetisiert wird (Elmadfa, Leitzmann, 2023; DGE, 2011). Die bei der Fermentation von IDF gebildeten SCFAs hemmen die Cholesterinsynthese in der Leber, wodurch ebenfalls die LDL-Cholesterolkonzentration im Blutplasma gesenkt wird (Chen et al., 1984; Kasper 1988).

Wenn man die mittlere SDF-Aufnahme der einzelnen Gruppen betrachtet könnte man theoretisch davon ausgehen, dass die LOW-GI Gruppe eine geringere LDL-Cholesterolkonzentration im Blutplasma aufweist als die HIGH-GI Gruppe. Um genauere Schlüsse auf die Auswirkung der Ballaststoffaufnahme

auf den einzelnen Probanden (z.B. Blutfettwerte) ziehen zu können, müssten die Blutparameter genauer untersucht werden. Dies wurde jedoch nicht im Zuge dieser Arbeit gemacht.

Das hohe Wasserbindungsvermögen von IDFs sorgt für eine Erhöhung des Stuhlvolumens, was zu einer verstärkten Peristaltik und damit einer verkürzten Transitzeit im Dickdarm führt (Schutze-Lohmann, 2012). Eine niedrige Ballaststoffaufnahme wiederum erhöht das Risiko für eine Obstipation (DGE, 2011). Die hohe IDF-Aufnahme in der LOW-GI Gruppe lässt auf eine verstärkte Peristaltik und verkürzte Transitzeit (regelmäßige Stuhlentleerung) bei den Probanden schließen. Wobei dies wahrscheinlich auch auf die anderen beiden Gruppen zutrifft, da sowohl die HIGH-GI als auch die LCHF-Gruppe eine nicht geringe IDF-Aufnahme aufweisen (18,25 g und 19,03 g).

Eine vermehrte Zufuhr von SDF wurde mit einem stärkeren risikosenkenden Effekt für kardiovaskuläre Erkrankungen assoziiert (Pereira et al, 2004).

Eine niedrige Ballaststoffaufnahme wurde in der Studie von Karnehed et al (2006) mit einem Anstieg des BMI um 0,45 Einheiten im Vergleich mit einer hohen Zufuhr assoziiert. In diversen Kohortenstudien kam man zu dem Schluss, dass ein vermindertes Adipositasrisiko mit einer erhöhten Ballaststoffzufuhr einhergeht (DGE, 2011). Dies wiederum bedeutet für eine niedrige Ballaststoffzufuhr ein erhöhtes Risiko. Im Zuge der Arbeit konnte keine Erhöhung des BMIs bei den Probanden mit geringerer Ballaststoffaufnahme festgestellt werden.

9.1 Limitierungen und Stärken

Es gibt einige Limitation in dieser Arbeit, die nicht außer Acht gelassen werden sollten. Die geringe Studienkollektivanzahl - 87 Probanden, wovon nur 68 in die in die Arbeit eingeschlossen werden konnten - lässt nur eine geringe Aussagekraft zu. Des Weiteren bestand die Stichprobe nur aus männlichen

Breitensportlern zwischen 18 und 40 Jahren. Aufgrund dessen können die Ergebnisse weder auf Frauen, Jugendliche, ältere Personen oder Leistungssportlern jeglichen Alters abgeleitet werden.

Eine weitere Limitation der Studie könnte das Under- bzw. Overreporting der Probanden beim 24h Recall sein.

Während der Literaturrecherche fanden sich nur sehr wenige Studien, die sich mit der Ballaststoffaufnahme von Ausdauersportlern beschäftigten. Der Vergleich mit den anderen Studien viel schwer, da die meisten sowohl die Ballaststoffaufnahme von Frauen als auch von Männern untersuchten. Es wurden keine Studien gesichtet, die sich mit der Ballaststoffaufnahme während einer Trainings- und Ernährungsintervention beschäftigten. Nur eine sehr geringe Anzahl von Studien beschäftigen sich mit der Aufnahme von löslichen Ballaststoffen. Es wurden keine Studien zur Aufnahme von unlöslichen Ballaststoffen gefunden. Viele Studien legen den Fokus auf die Nahrungszufuhr vor bzw. während einer Trainingsbelastung (z.B. Marathon, 10-km Lauf etc.) Des Weiteren gibt es sehr wenige Studien, die die Nährstoffaufnahme von Breitensportlern betrachten.

Der Vergleich der Studienkollektive stellte sich als relativ schwierig heraus, da bei der Literaturrecherche überwiegend die Nahrungsaufnahme vor oder während einer Trainingsbelastung bzw. die Nahrungsaufnahme im Allgemeinen befragt wurde. Aufgrund der limitierten Studienlage ist ein Vergleich der Ballaststoff-, SDF- und IDF-Aufnahme nur bedingt möglich.

Die 10-wöchige Dauer der Ernährungs- und Trainingsintervention stellt einen positiven Aspekt dar. Während diesem Zeitraum konnten die Probanden die vorgegebene Ernährung adaptieren. Des Weiteren konnte aufgrund der Dauer und der damit einhergehenden hohen Anzahl an Ernährungsprotokollen mehr Daten gesammelt werden.

10 Beantwortung der Forschungsfragen

Der Ballaststoffrichtwert von 30 g pro Tag (D-A-CH, 2015) konnte von 50 % (n= 34) der Probanden während der Ernährungsintervention erreicht werden. Die Ballaststoffempfehlung von 25 g pro Tag (EFSA; 2010) konnte insgesamt von 75 % der Teilnehmer erreicht werden.

Ebenso konnte gezeigt werden, dass zwischen PRE und POST Ballaststoffaufnahme kein signifikanter Unterschied besteht ($p= 0,682$). Die Ballaststoffaufnahme unterschied sich nur während der Ernährungsintervention ($p= <0,001$) zwischen den Gruppen signifikant. Einen signifikanten Unterschied gab es in der LOW-GI ($p= 0,021$) und HIGH-GI Gruppe ($p=0,028$) zwischen PRE und POST DF-Aufnahme.

Einen signifikanten Unterschied gab es nur in der POST SDF-Aufnahme zwischen den Gruppen ($p= 0,001$). Innerhalb der Gruppen unterschied sich die SDF-Aufnahme vor und während der Intervention in der HIGH-GI ($p= 0,025$) und der LCHF-Gruppe ($p= 0,011$).

Bei der PRE IDF-Aufnahme konnte zwischen den Gruppen kein signifikanter Unterschied ($p= 0,125$) festgestellt werden. Hingegen unterschied sich die POST IDF-Aufnahme zwischen den Interventionsgruppen signifikant ($p= <0,001$). Ebenso konnte ein signifikanter Unterschied zwischen der PRE- und POST IDF-Aufnahme in der LOW-GI Gruppe ($p= 0,012$) festgestellt werden.

11 Schlussfolgerung

Zusammenfassend konnte gezeigt werden, dass eine Ballaststoffaufnahme von ≥ 25 g pro Tag (DF-Empfehlung), während einer 10-wöchigen Ernährungs- und Trainingsintervention, grundsätzlich mit einer LOW-GI, HIGH-GI und LCHF Ernährung erreicht werden kann. Eine LOW-GI Ernährung (n=23; 100% erreicht) kristallisierte sich als die beste Ernährungsform heraus, da alle 23 Probanden die Empfehlung (≥ 25 g DF/d) erreichten. Ebenso konnte ein Unterschied bei der DF-, SDF- und IDF-Aufnahme während einer Ernährungsintervention mit variablen Kohlenhydratanteilen und glykämischen Indices festgestellt werden.

Aufgrund der limitierten Studienlage ist ein Vergleich der Ballaststoff-, SDF- und IDF-Aufnahme nur bedingt möglich. Des Weiteren braucht es mehr Studien, die dieses Thema behandeln, um bessere Vergleiche ziehen und die Ergebnisse dieser Studie besser untermauern zu können. Es ist empfehlenswert weitere Studien mit unterschiedlichen Studienkollektiven und Altersgruppen durchzuführen.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Wirkungen löslicher und unlöslicher Ballaststoffe im menschlichen Körper (Stehle, Ellinger, 2024)	12
Abbildung 2 Wirkungen von DF im Gastrointestinaltrakt (Schulze-Lohmann, 2012)	12
Abbildung 3 Potenzielle Mechanismen einer LCHF-Ernährung nach einer Langzeitadaption (Chang et al, 2017)	23
Abbildung 4 Überblick über die medizinischen Untersuchungen, Untersuchungszeitpunkten und Test bei der Trainingsintervention (Moitzi A, 2022)	36
Abbildung 5 Übersicht über die beinhalteten Daten der österreichischen Nährwerttabelle (ÖNWT, 2025)	39
Abbildung 6 Ernährungsprotokoll in nut.s; eingegebenen Speisen und Getränke (eigene Eingabe, nut.s; 2022)	39
Abbildung 7 PRE und POST Makronährstoffverteilung der LOW-GI Gruppe (n= 23) (Eigendarstellung, 2025)	44
Abbildung 8 PRE und POST Makronährstoffverteilung der HIGH-GI Gruppe (n=25) (Eigendarstellung, 2025)	45
Abbildung 9 PRE und POST Makronährstoffverteilung der LCHF Gruppe (n= 20) (Eigendarstellung, 2025)	46
Abbildung 10 Balkendiagramm für die Gesamtballaststoffaufnahme vor und während der Ernährungsintervention der verschiedenen Gruppen ; Fehlerbalken 95 % CI + SD (Eigendarstellung SPSS, 2025)	48
Abbildung 11 Balkendiagramm für die SDF-Aufnahme vor und während der Ernährungsintervention der verschiedenen Gruppen; Fehlerbalken 95% CI + SD (Eigendarstellung SPSS, 2025)	50
Abbildung 12 Balkendiagramm für die IDF-Aufnahme vor und während der Ernährungsintervention der verschiedenen Gruppen; Fehlerbalken 95% CI + SD (Eigendarstellung SPSS, 2025)	51

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Beispiele von Lebensmitteln und deren GI (Atkinson et al, 2021)	25
Tabelle 2 Ein- und Ausschlusskriterien für Studienteilnehmer.....	33
Tabelle 3 Allgemeine Kriterien der Ernährungsinterventionsgruppen.....	33
Tabelle 4 Trainingsumfang während der Intervention	35
Tabelle 5 allgemeine Parameter der Ernährungsinterventionsgruppen	41
Tabelle 6 Energie- und Makronährstoffaufnahme der einzelnen Gruppen vor und während der Intervention	42
Tabelle 7 p-Wert (Wilcoxon-Test) PRE und während der Ernährungsintervention der einzelnen Gruppen (Eigendarstellung, 2025)	43
Tabelle 8 Übersicht über Trainingsminuten der einzelnen Interventionsgruppen (Eigene Darstellung, 2025)	47
Tabelle 9 Unterschiede der DF Pre und Post Ernährungsintervention in den Interventionsgruppen (Mittelwerte und Standardabweichung) (Eigendarstellung, 2025).....	48
Tabelle 10 Unterschiede der SDF Pre und Post Ernährungsintervention in den Interventionsgruppen (Mittelwerte und Standardabweichung) (Eigendarstellung, 2025).....	49
Tabelle 11 Unterschiede der IDF Pre und Post Ernährungsintervention in den Interventionsgruppen (Mittelwerte und Standardabweichung) (Eigendarstellung, 2025).....	51

Abkürzungsverzeichnis

BMI	Body-Mass-Index
CHO	Kohlenhydrate
CVD	Kardiovaskuläre Erkrankungen (cardiovascular diseases)
DF	Ballaststoffe (dietary fiber)
EFSA	Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit
FDF	Fermentierbare Ballaststoffe (fermentable dietary fiber)
FFQ	Food Frequency Questennaire
GI	Glykämischer Index
GL	Glykämische Last
High-GI	Hoher glykämischer Index (high glycaemic index)
IDF	unlösliche Ballaststoffe (insoluble dietary fiber)
LOV	Lacto-ovo Vegetarier
Low-GI	Niedriger glykämischer Index (low glycaemic index)
LCHF	Niedrige Kohlenhydrate hoher Fettanteil(Low carb high fat)
NFDF	Nicht-fermentierbare Ballaststoffe (non-fermentable dietary fiber)
OMN	Omnivore
SCFAs	Kurzkettige Fettsäuren (short chain fatty acids)
SDF	lösliche Ballaststoffe (soluble dietary fiber)
SD	Standardabweichung
UL	Upper Level
VAS	Visuelle Analoge Skala
VEG	Vegan
WHO	World Health Organization

Literaturverzeichnis

- Aune D, Norat T, Romundstad P et al. (2013) Whole grain and refined grain consumption and the risk of type 2 diabetes: a systematic review and dose-response meta-analysis of cohort studies. *Eur J Epidemiol* 28, 845–858.
- Anderson JW, Baird P, Davis Jr RH et al. (2009): Health benefits of dietary fiber. *Nutr Rev* 67: 188-205
- Atkinson FS, Brand-Miller J C, Foster-Powell K, Buyken AE, Goletzke J (2021): International tables of glycemic index and glycemic load values 2021: a systematic review. *Am J Clin Nutr* 114(5): 1625 – 1632. doi:10.1093/ajcn/nqab233.
- Atkinson FS, Foster-Powell K, Brand-Miller JC (2008) International tables of glycemic index and glycemic load values: 2008. *Diabetes Care* 31: 2281–2283
- Barber T.M., Kabisch S., Pfeiffer A.F.H., Weickert M.O. (2020): The Health Benefits of Dietary Fibre; *Nutrients* 2020, 12,3209, [The Health Benefits of Dietary Fibre](#)
- Bao J, Atkinson F, Petocz P et al. (2011) Prediction of postprandial glycemia and insulinemia in lean, young, healthy adults: glycemic load compared with carbohydrate content alone. *Am J Clin Nutr* 93: 984–996
- Baranauskas M., Stukas R., Tubelis L. et al (2015): Nutritional habits among high-performance endurance athletes; *Medicina*, Volume 51, Issue 6, Pages 351-362 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1010660X1500-1019>
- Burkitt DP, Trowell HC. (1975) Refined Carbohydrate Foods and Diseases: Some Implications of Dietary Fibre. London: Academic Press

- Bueno NB, de Melo ISV, de Oliveira SL, da Rocha Ataíde T. (2013): Very-low-carbohydrate ketogenic diet v. low-fat diet for long-term weight loss: a meta-analysis of randomised controlled trials. *Br J Nutr*; 110: 1178-1187
- Burke LM. (2015): Re-Examining High-Fat Diets for Sports Performance: Did We Call the ‚Nail in the Coffin‘ Too Soon? *Sports Med.*; 5:33-49. doi:10.1007/s40279-015-0393-9
- Burke LM, Hawley JA, Jeukendrup A, Morton JP, Stellingwerff T & Maughan RJ (2018). Toward a common understanding of diet-exercise strategies to manipulate fuel availability for training and competition preparation in endurance sport. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 28, 451–463.
- Cao J, Lei S, Wang X, Cheng S (2021): The Effect of a Ketogenic Low-Carbohydrate, High-Fat Diet on Aerobic Capacity and Exercise Performance in Endurance Athletes: A Systematic Review and Meta-Analysis; *Nutrients*, 13, 2896. <https://doi.org/10.3390/nu13082896>
- Chen WJ, Anderson JW, Jennings D (1984): Propionate may mediate the hypocholesterolemic effects of certain soluble plant fibers in cholesterol-fed rats. *Proc Soc Exp Biol Med* 175: 215-218
- Clark, A.; Mach, N. (2016): Exercise-Induced Stress Behavior, Gut-Microbiota-Brain Axis and Diet: A Systematic Review for Athletes. *J. Int. Soc. Sport. Nutr.* 13, 43.
- Crowson, M.M.; McClave, S.A. (2020): Does the Intestinal Microbiome Impact Athletic Performance? *Curr. Gastroenterol. Rep.* 22, 53.
- D-A-CH (Deutsche Gesellschaft für Ernährung, Österreichische Gesellschaft für Ernährung, Schweizerische Gesellschaft für Ernährung) (2015): Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr, Neuer Umschau Buchverlag, Bonn; Kapitel Energieliefernde Nährstoffe, Kohlenhydrate, Ballaststoffe (Nahrungsfasern), Seite 2-3
- DGE (Deutsche Gesellschaft für Ernährung e.V.) (2021): Ausgewählte Fragen und Antworten zu Ballaststoffen <https://www.dge.de/gesunde-ernaehrung/faq/ausgewaehlte-fragen-und-antworten-zu-ballaststoffen/>

- DGE (Deutsche Gesellschaft für Ernährung e.V.) (2018): Paleo-Diät, Glyx-Diät, Formula-Diät- ein Überblick. DGEInfo (4/2018) 56-62
[https://www.dge.de/gesunde-ernaehrung/diaeten-und-fasten/heilfasten/weitere-diaeten/glyx-diaet/#:~:text=Der%20Glyk%C3%A4mische%20Index%20\(Glyx%2C%20Glyx%20glyk%C3%A4mische%20Index&text=Der%20GI%20von%20Glucose%20\(100,hoch%20\(70%20100\)%20eingeteilt.](https://www.dge.de/gesunde-ernaehrung/diaeten-und-fasten/heilfasten/weitere-diaeten/glyx-diaet/#:~:text=Der%20Glyk%C3%A4mische%20Index%20(Glyx%2C%20Glyx%20glyk%C3%A4mische%20Index&text=Der%20GI%20von%20Glucose%20(100,hoch%20(70%20100)%20eingeteilt.) (Zugriff: 19.01.2025)
- Du H, van der A DL, Boshuizen HC, et al. (2010): Dietary fiber and subsequent changes in body weight and waist circumference in European men and women. Am J Clin Nutr; 91: 329-36
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0002916523016489>
- EFSA (Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit) (2010): Scientific Opinion on Dietary Reference Values for carbohydrates and dietary fibre, EFSA Journal; 8(3):1462
<https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.2903/j.efsa.2010.1462>
- ELMADFA I, LEITZMANN C. (2023): Ernährung des Menschen, 7. Auflage, Kapitel Energielieferende Nahrungsbestandteile, Kohlenhydrate, Glykämischer Index, Verlag Eugen Ullmer Stuttgart, S. 202-202
- ELMADFA I, LEITZMANN C. (2023): Ernährung des Menschen, 7. Auflage, Kapitel Energielieferende Nahrungsbestandteile, Ballaststoffe, Verlag Eugen Ullmer Stuttgart, S. 207
- Estwood MA (1992): The physiological effect of dietary fiber: an update; Annu Rev Nutr 12: 19-35
- Evans RA, Frese M, Romero J, Cunningham JH, Mills KE. (2017): Fructose replacement of glucose or sucrose in food or beverages lowers postprandial glucose and insulin without raising triglycerides: a systematic review and meta-analysis. Am J Clin Nutr;106(2):506–18.

- Evans RA, Frese M, Romero J, Cunningham JH, Mills KE. Chronic (2017) fructose substitution for glucose or sucrose in food or beverages has little effect on fasting blood glucose, insulin, or triglycerides: a systematic review and meta-analysis. *Am J Clin Nutr* 2017;106(2):519–29.
- Food and Agriculture Organization/World Health Organization Codex Alimentarius Commission. Codex Alimentarius: Guidelines on Nutrition Labelling CAC/GL 2-1985. (FAO, 2010)
- Frape DL, Williams NR, Scriven AJ, Palmer CR, O'Sullivan K, Fletcher RJ.(1997) Diurnal trends in responses of blood plasma concentrations of glucose, insulin, and C-peptide following high- and low-fat meals and their relation to fat metabolism in healthy middle-aged volunteers. *Br J Nutr*; 77: 523-535
- Foster-Powell K, Holt SHA, Brand-Miller JC (2002) International table of glycemic index and glycemic load values: 2002. *Am J Clin Nutr* 76: 5–56
- Hopping BN, Erber E, Grandinetti A et al. (2010): Dietary fiber, magnesium, and glycemic load alter risk of type 2 diabetes in a multiethnic cohort in Hawaii. *J Nutr* 140: 68-74
- Hipsley E.H. (1953): Dietary „fibre“ and pregnancy toxemia *Br. Med. J.* 2, 420-422 <https://doi.org/10.1136/bmj.2.4833.420>
- Gesundheit.GV.AT (2025): Hämoglobin A1c (HBA1C) <https://www.gesundheit.gv.at/labor/laborwerte/organe-stoffwechsel/hba1c.html#warum-wird-hba1c-im-blut-bestimmt> (Zugriff: 25.01.2025)
- Gibson, GR & Roberfroid, MB (1995) Dietary modulation of the human colonic microflora introducing the concept of probiotics. *Journal of Nutrition* 125, 1401–1412.CrossRef
- Greenwood DC, Threapleton DE, Evans CE et al. (2013) Glycemic index, glycemic load, carbohydrates, and type 2 diabetes: systematic review and dose-

- response meta-analysis of prospective studies. *Diabetes Care* 36, 4166–4171.
- Huang T, Xu M, Lee A, Cho S, Qi L (2015) Consumption of whole grains and cereal fiber and total and cause-specific mortality: prospective analysis of 367, 442 individuals. *BMC Med* 13(1):59
- Hession M, Rolland C, Kulkarni U, Wise A, Broom J.(2009) Systematic review of randomized controlled trials of low-carbohydrate vs. low-fat/low-calorie diets in the management of obesity and its comorbidities. *Obes Rev*; 10: 36-50
- Hu T, Mills KT, Yao L, Demanelis K, Eloustaz M, Yancy WS, Jr., Kelly TN, He J, Bazzano LA. (2012): Effects of low -carbohydrate diets versus low-fat diets on metabolic risk factors: a meta-analysis of randomized controlled clinical trials. *Am J Epidemiol*; 176 Suppl 7: S44-54
- Ibrahim O. Menkovska (2022): Dietary Fibers-Classification, Properties, Analysis and Function: A Review; *Advances in Bioscience and Biotechnology*, 2022, 13, 527-544 <https://www.scirp.org/journal/abb>
- Jenkins, D. J., Wolever, T. M., Taylor, R. H., Barker, H., Fielden, H., Baldwin, J. M., Bowling, A. C., Newman, H. C., Jenkins, A. L., & Goff, D. V. (1981). Glycemic index of foods: a physiological basis for carbohydrate exchange. *Am J Clin Nutr*, 34(3), 362-366. <https://doi.org/10.1093/ajcn/34.3.362>
- Juntunen KS, Niskanen LK, Liukkonen KH et al. (2002) Postprandial glucose, insulin, and incretin response to grain products in healthy subjects. *Am J Clin Nutr* 75: 254–262
- Karnehed N, Tynelius P, Heitmann BL, Rasmussen F (2006): Physical activity, diet and gene-environment interactions in relation to body mass index and waist circumference: the Swedish young male twins study. *Public Health Nutr* ;9:851–858.
- Kasper H. (2009): *Ernährungsmedizin und Diätetik*. 11. Aufl., Urban & Fischer, München/Jena

- Kasper H. (1988): Einfluss von Ballaststoffen auf die Serum-Lipid-Konzentration. Akt Ernähr 13: 7526
- Khan K, Jovanovski E, Ho HVT et al. (2018) The effect of viscous soluble fiber on blood pressure: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. Nutrition, Metabolism, and Cardiovascular Diseases: NMCD 28, 3–13.
- Lairon D (1996): Dietary fibers: Effects on lipid metabolism and mechanism of action; Eur J Clin Nutr 50:125-133
- Louie JC, Atkinson F, Petocz P, Brand-Miller JC (2008) Delayed effects of coffee, tea and sucrose on postprandial glycemia in lean, young, healthy adults. Asia Pac J Clin Nutr 17: 657–662
- MacIntosh CG, Holt SHA, Brand-Miller JC (2003) The degree of fat saturation does not alter glycemic, insulinemic or satiety responses to a starchy staple in healthy men. J Nutr 133: 2577–2580
- Makki, K.; Deehan, E.C.;Walter, J.; Backhed, F. (2018): The Impact of Dietary Fiber on Gut Microbiota in Host Health and Disease. Cell Host Microbe 2018, 23, 705–715. [CrossRef] [PubMed]
- Mancin L, Burke LM, Rollo I (2024): Fiber: The Forgotten Carbohydrate in Sports Nutrition Recommendations; Sports Medicine <https://doi.org/10.1007/s40279-024-02167-1>
- Moitzi A.M., König D. (2023) Longer-Term Effects of the Glycaemic Index on Substrate Metabolism and Performance in Endurance Athletes; Nutrients, 15, 3028. <https://doi.org/10.3390/nu15133028>
- MRI (Max Rubner-Institut) (?): 24-h Recalls in der NVSII; Institut für Ernährungsverhalten; Forschungsprojekte, NVSII, Methode-24-h-Recall <https://www.mri.bund.de/de/institute/ernaehrungsverhalten/forschungsprojekte/nvsii/methode-24h-recall/> (Zugriff 20.01.2025)
- Nebi, J., Schuchardt, J.P., Wasserfurth, P. et al.(2019): Characterization, dietary habits and nutritional intake of omnivorous, lacto-ovo vegetarian and

- vegan runners – a pilot study. BMC Nutr 5, 51.
<https://doi.org/10.1186/s40795-019-0313-8>
- Österreichische Nährwerttabelle (ÖNWT, 2025): ÖNWT - Die österreichische Nährwerttabelle; <https://www.oenwt.at/> (Zugriff: 21.02.2025)
- Österreichische Gesellschaft für Ernährung (ÖGE) (2017): Ballaststoffe - Wie wirken sie und welchen Beitrag können sie zur Gesundheitsprävention leisten? Ernährung Aktuell, Ausgabe 2/2017, <https://www.oege.at/pressemeldungen-aktuell/ballaststoffe-wie-wirken-sie-und-welchen-beitrag-koennen-sie-zur-gesundheitspraevention-leisten/> (Stand 09.12.2024)
- Paoli A, Bianco A, Grimaldi KA. (2015): The ketogenic diet and sport: a possible marriage? Exerc Sport Sci Rev; 43: 153-162
- Paoli A, Grimaldi K, D'Agostino D, Cenci L, Moro T, Bianco A, Palma A. (2012): Ketogenic diet does not affect strength performance in elite artistic gymnasts. J Int Soc Sports Nutr, 2012; 9: 34
- Pereira MA, O'Reilly E, Augustsson K, et al. Dietary fiber and risk of coronary heart disease: a pooled analysis of cohort studies. Arch Intern Med 2004; 164: 370-6
- Phinney SD. (2004): Ketogenic diets and physical performance. Nutr Metab (Lond); 1: 2
- Rust P., Hassenegger V., König J. (2017): Österreichische Ernährungsbericht 2017, Wien, S. 50
- Salmeron J, Ascherio A, Rimm EB et al. (1997): Dietary fiber, glycemic load, and risk of NIDDM in men. Diabetes Care 20: 545–550
- Schneemann BO (1986): Dietary fiber. Physical and chemical properties, methods of analysis and physiological effects. Food Technol 40: 104-110
- Schulze-Lohmann P. (2012): Ballaststoffe, Grundlagen - präventives Potenzial - Empfehlungen für die Lebensmittelauswahl; Ernährungs Umschau|7/2012

- Schulze MB, Schulz M, Heidemann C et al. (2007): Fiber and magnesium intake and incidence of type 2 diabetes: a prospective study and meta-analysis. Arch Intern Med 167: 956-965
- Sharman MJ, Gomez AL, Kraemer WJ, Volek JS. (2004): Very low-carbohydrate and low-fat diets affect fasting lipids and postprandial lipemia differently in overweight men. J Nutr; 134: 880-885
- Stehle, P.; Ellinger S. (2024): Einführung in die Humanernährung, Physiologische Grundlagen, Nährstoffe, Ernährungsformen, Nahrungsfasern/Ballaststoffe S.295-304
https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-662-68399-6_11
- Stevens J, Ahn K, Juhaeri (2002) Dietary fiber intake and glycemic index and incidence of diabetes in African-American and white adults: the ARIC study. Diabetes Care 25:1715–1721
- Straßburg A, (2010): Ernährungserhebung - Methoden und Instrumente; Ernährungsumschau, EU 08/10 Karlsruhe https://www.ernaehrungsumschau.de/fileadmin/Ernaehrungsumschau/pdfs/pdf_2010/08_10/EU08_2010_422_430.qxd.pdf
- Strohm D. (2013): Glykämischer Index und glykämische Last - ein für die Ernährungspraxis des Gesunden relevantes Konzept? Wissenschaftliche Stellungnahme der DGE; Bonn; Ernährungsumschau 1/2013; S 26-38
- Tay J, Luscombe-Marsh ND, Thompson CH, et al. (2015): Comparison of low- and high-carbohydrate diets for type 2 diabetes management: a randomized trial. Am J Clin Nutr; 102:780–90
- Threapleton DE, Greenwood DC, Evans CE et al. (2013) Dietary fibre intake and risk of cardiovascular disease: systematic review and meta-analysis. BMJ 347, f6879.
- Threapleton DE, Greenwood DC, Evans CE et al. (2013) Dietary fiber intake and risk of first stroke: a systematic review and meta-analysis. Stroke. 44, 1360–1368

- van Bakel MM, Kaaks R, Feskens EJ et al. (2009) Dietary glycaemic index and glycaemic load in the European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition. *Eur J Clin Nutr* 63: S188–S205
- Volek JS, Sharman MJ, Love DM, Avery NG, Gomez AL, Scheett TP, Kraemer WJ. (2002): Body composition and hormonal responses to a carbohydrate-restricted diet. *Metabolism*; 51: 864-870
- Volek JS, Freidenreich DJ, Saenz C, Kunces LJ, Creighton BC, Bartley JM, Davitt PM, Munoz CX, Anderson JM, Maresh CM, Lee EC, Schuenke MD, Aerni G, Kraemer WJ, Phinney SD. (2016) Metabolic characteristics of keto-adapted ultra-endurance runners. *Metabolism*; 65: 100-110
- Wang R, Wu X, Lin K, Guo S, Hou Y, Ma R, Wang Q, Wang R. (2022): Plasma metabolomics reveals β -glucan improves muscle strength and exercise capacity in athletes. *Metabolites* 12(10):988. <https://doi.org/10.3390/metab12100988>.
- Wardle J., Haase A.M., Steptoe A., Nillapun M., Jonwutiwes K., Bellisle F. (2004): Gender Differences in Food Choice: The Contribution of Health Beliefs and Dieting. *Ann. Behav. Med.* ;27:107–116. doi: 10.1207/s15324796abm2702_5. [[DOI](#)] [[PubMed](#)] [[Google Scholar](#)]
- Weickert, M.O.; Pfeiffer, A.F. Metabolic effects of dietary fiber consumption and prevention of diabetes. *J. Nutr.* 2008, 138, 439–442. [[CrossRef](#)]
- Weickert MO, Möhlig M, Schöfl C et al. (2006): Cereal fiber improves whole-body insulin sensitivity in overweight and obese women. *Diabetes Care* 29: 775-780
- Wolever TM, Bolognesi C (1996) Prediction of glucose and insulin responses of normal subjects after consuming mixed meals varying in energy, protein, fat, carbohydrate and glycemic index. *J Nutr* 126: 2807–2812
- Zajac A, Poprzecki S, Maszczyk A, Czuba M, Michalczyk M, Zydek G. (2014): The effects of a ketogenic diet on exercise metabolism and physical performance in off-road cyclists. *Nutrients*; 6: 2493-2508

Zdzieblik D., Friesenborg H. Gollhofer A., König D (2022): Effect of a High Fat Diet vs. High Carbohydrate Diets With Different Glycemic Indices on Metabolic Parameters in Male Endurance Athletes: A Pilot Trial; Frontiers in Nutrition; Volume 9; Article 802374 doi: 10.3389/fnut.2022.802374

Zielinski, G., DeVries, J. W., Craig, S. A. & Bridges, A. R. Dietary fiber methods in Codex Alimentarius: current status and ongoing discussions. Cereal Food World 58, 148–152 (2013).

Anhang

Anhang 1: Überblick über die Ernährungsintervention der einzelnen Gruppen



HIGH GI

ALLGEMEIN

- Kohlenhydrate: 55-60% (65% der Kohlenhydrate mit GI > 70)
- Fett (vor allem pflanzenbasierte Öle und Fette aus Fisch, Nüsse und Samen): 25%
- Proteine: 15-20%

GEMÜSE

Nur als Beilage, aber nicht als Hauptkohlenhydratquelle
Kartoffeln und Gerichte aus Kartoffeln sind erlaubt

MILCHPRODUKTE

Gezuckerte Milchprodukte wie Fruchtjoghurts fettarme Varianten sollten bevorzugt werden
reifer Käse mit hohem Fettgehalt sollte gelegentlich verzehrt werden
Reisdrink als Alternative mit hohem GI zu Kuhmilch

NÜSSE & SAMEN

Keine Einschränkungen, aber in kleinen Mengen (Fettquelle)

SÜBSTOFFE, SÜßIGKEITEN & SNACKS

Fettarme Snacks wie Gummibärchen, Smarties, Sorbets, Reiswaffeln, fettarme Chips und Sportriegel, Zucker

FLEISCH, FISCH & EIER

Keine Einschränkungen, aber in kleinen Mengen und eher in der niedrig Fettvariante
Beispiele: Steak, Lachs, Hühnerbrust, Eier, Aufschnitt

OBST

Datteln (getrocknet)
süße Früchte wie Banane oder Weintrauben sind erlaubt

GETREIDEPRODUKTE

Weißmehlprodukte wie Weißbrot, Toast, weißer Reis, Hirse, Couscous, Bulgur, Nudeln, Cerealien und Kartoffeln
Vollkorn (Brot, Reis, Nudeln) und Pseudogetreide (Buchweizen, Quinoa, Amaranth) sind nicht erlaubt

GETRÄNKE

Keine Einschränkungen für alkoholfreie Getränke
Alkoholische Getränke sollten vor den Untersuchungen eingeschränkt und strikt vermieden werden

LCHF

ALLGEMEIN

- Kohlenhydrate: ≤ 50 g pro Tag
- Fett (vor allem pflanzenbasierte Öle und Fette aus Fisch, Nüsse und Samen): $\geq 65\%$
- Proteine: 15-20%

GEMÜSE

Stärkearmes Gemüse wie Kohl, Gurken, Salat, Tomaten und Paprika
Stärkehaltiges Gemüse wie Kartoffeln oder Süßkartoffeln sollten vermieden werden

MILCHPRODUKTE

Keine frischen Milchprodukte (Milch, einige fettarme Joghurts und Fruchtjoghurts) wegen des hohen Gehalts an Kohlenhydraten
butterreifer Käse, Vollmilchjoghurt und Frischkäse mit geringem Kohlenhydratgehalt sind erlaubt

NÜSSE & SAMEN

Keine Einschränkungen außer für Kastanien und Cashewnüsse

FLEISCH, FISCH & EIER
Keine Einschränkungen außer für panierte Produkte
Beispiele: Steak, Lachs, Hühnerbrust, Eier, Aufschnitt

OBST

Eine tägliche Höchstmenge von 200g
zuckerarme Früchten, wie Beeren, Papayas und Wassermelone ist erlaubt.

GETREIDEPRODUKTE

Wegen des hohen Gehalts an Kohlenhydraten nicht erlaubt
Kohlenhydratarme Brote aus Nüssen und Kokos- oder Mandelmehl können herkömmliches Brot ersetzen

GETRÄNKE

Kaffee, ungesüßte Tees und Wasser
Keine alkoholischen Getränke, Limonaden und Säfte

SÜßSTOFFE, SÜßIGKEITEN & SNACKS

Nüsse, Beeren und dunkle Schokolade ($\geq 70\%$ Kakao), Zimt, Zuckeraustauschstoffe wie Stevia oder Xucker (Xylit) sind erlaubt

Anhang 2: Ernährungsrichtlinien

ERNÄHRUNGSRICHTLINIEN

	High GI	Low GI	LCHF
Allgemeine Informationen:	55-60% (65% der CHO mit GI $\geq$ 70)	55-60% (65% der CHO mit GI $\leq$ 50)	$\leq$ 50 g pro Tag
• Kohlenhydrate			$\geq$ 65%
• Fett (65% pflanzenbasiert und nicht verarbeitete Fette wie Öl, Fisch, Nüsse und Samen)	25%	25%	15 – 20%
• Proteine	15 – 20 %	15 – 20%	
Fleisch, Fisch und Eier	Keine Einschränkungen, aber in kleinen Mengen und eher in der niedrig Fettvariante <i>Beispiele:</i> Steak, Lachs, Hühnerbrust, Eier, Aufschnitt	Keine Einschränkungen, aber in kleinen Mengen und eher in der niedrig Fettvariante <i>Beispiele:</i> Steak, Lachs, Hühnerbrust, Eier, Aufschnitt	Keine Einschränkungen außer für panierte Produkte <i>Beispiele:</i> Steak, Lachs, Hühnerbrust, Eier, Aufschnitt
Gemüse	Nur als Beilage, aber nicht als Hauptkohlenhydratquelle Kartoffeln und Gerichte aus Kartoffeln sind erlaubt	Keine Einschränkungen außer Kartoffeln	Stärkearmes Gemüse wie Kohl, Gurken, Salat, Tomaten und Paprika Stärkehaltiges Gemüse wie Kartoffeln oder Süßkartoffeln sollten vermieden werden
Obst	Datteln (getrocknet) süße Früchte wie Banane oder Weintrauben sind erlaubt	Keine Einschränkungen außer für Datteln, Bananen, Weintrauben und gezuckerte Früchte	Eine tägliche Höchstmenge von 200g zuckerarme Früchte wie Beeren, Papayas und Wassermelone sind erlaubt

Milchprodukte	Gezuckerte Milchprodukte wie Fruchtjoghurts fettarme Varianten sollten bevorzugt werden reifer Käse mit hohem Fettgehalt sollte gelegentlich verzehrt werden Reisdink als Alternative mit hohem GI zu Kuhmilch	Fettarme Produkte wie fettarmer Quark, fettarmer Joghurt, Hüttenkäse, Buttermilch, gereifter Käse in kleinen Mengen keine gezuckerten oder aromatisierten industriellen Milcherzeugnisse	Keine frischen Milchprodukte (Milch, einige fettarme Joghurt und Fruchtjoghurts) wegen des hohen Gehalts an Kohlenhydraten butterreifer Käse, Vollmilchjoghurt und Frischkäse mit geringem Kohlenhydratgehalt sind erlaubt
Getreideprodukte	Weißmehlprodukte wie Weißbrot, Toast, weißer Reis, Hirse, Couscous, Bulgur, Nudeln, Cerealien und Kartoffeln Vollkorn (Brot, Reis, Nudeln) und Pseudogetreide (Buchweizen, Quinoa, Amaranth) sind nicht erlaubt	Vollkornprodukte, wie Vollkornbrot, Reis und Nudeln Pseudogetreide Hafer	Wegen des hohen Gehalts an Kohlenhydraten nicht erlaubt Kohlenhydratarme Brote aus Nüssen und Kokos- oder Mandelmehl können herkömmliches Brot ersetzen
Nüsse und Samen	Keine Einschränkungen, aber in kleinen Mengen (Fettquelle)	Keine Einschränkungen, aber in kleinen Mengen (Fettquelle)	Keine Einschränkungen außer für Kastanien und Cashewnüsse
Getränke	Keine Einschränkungen für alkoholfreie Getränke Alkoholische Getränke sollten vor den Untersuchungen eingeschränkt	Kaffee, ungesüßte Tees, Wasser, zuckerfreie Limonaden und Säfte auf der Basis der erlaubten Früchte Keine alkoholischen Getränke,	Kaffee, ungesüßte Tees und Wasser Keine alkoholischen Getränke, Limonaden und Säfte

	und strikt vermieden werden	Limonaden und gezuckerte Säfte
Süßstoffe, Süßigkeiten und Snacks	Fettarme Snacks wie Gummibärchen, Smarties, Sorbets, Reiswaffeln, fettarme Chips und Sportriegel, Zucker	Nüsse, Früchte (außer Bananen, Trauben und Datteln), dunkle Schokolade ($\geq 70\%$ Kakao), zuckerfreie Marmelade, Agavensirup, Zimt, Zuckeraustauschst offe wie Stevia und Xucker (Xylit) sind erlaubt Nüsse, Beeren und dunkle Schokolade ($\geq 70\%$ Kakao), Zimt, Zuckeraustauschst offe wie Stevia oder Xucker (Xylit) sind erlaubt

Anhang 3: Erläuterung des Ernährungsprotokolls und Ernährungsprotokoll aus Woche 1

Erläuterungen zum Ernährungsprotokoll

- Pro Woche sind zwei Tage zu protokollieren.
- Bitte wähle jeweils einen Wochentag und einen Wochenendtag.
- Bitte sei gewissenhaft und ehrlich und trage die Lebensmittel oder die Mahlzeit direkt nach dem Essen ein.
- **Mahlzeit:** Frühstück, Mittagessen und Abendessen sind die Hauptmahlzeiten. Alles dazwischen wird als Snack bezeichnet. Es werden jede Mahlzeit, jeder Snack und jedes Getränk ins Protokoll eingetragen.
- **Uhrzeit:** Die Uhrzeit bitte möglichst genau notieren.
- **Ort/Art und Weise:** Wo fand der Verzehr statt? Zu Hause, bei Freunden, im Restaurant oder unterwegs auf die Hand?
- **Essen:** Besteht eine Mahlzeit aus mehreren Komponenten, sollen alle Komponenten (z.B. Fleisch, Beilage, Salat, Soße,...) im Protokoll erfasst werden. Einzelne Rezept-Zutaten einer Speise müssen nicht berücksichtigt werden. Bitte auch nicht auf die Fettangaben bei selbst zubereiteten Speisen wie Salaten, Fleisch- und Fischgerichten oder ähnlichem, vergessen.

Die Portionsgrößen so genau wie möglich angeben. Hierzu bitte folgende Bilder als Richtwerte verwenden. Es darf natürlich auch gerne abgewogen werden, ist aber kein Muss.



(Lizenz: Creative Commons CC BY-NC-ND 3.0 AT
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/at/>)

- **Getränke:** Alle Getränke, auch Wasser, bitte sorgfältig mit Mengenangabe notieren.

ERNÄHRUNGSPROTOKOLL 1

Datum: _____ O Arbeitstag/Alltag O freier Tag/Wochenende O Urlaub

	Uhrzeit	Ort/ Art und Weise	Essen	Getränke	Anmerkungen
Frühstück					
zwischen durch					
Mittagessen					
zwischen durch					
Abendessen					
später					

ERNÄHRUNGSPROTOKOLL 2

Datum: _____

☐ Arbeitstag/Alltag

☐ freier Tag/Wochenende

☐ Urlaub

	Uhrzeit	Ort/ Art und Weise	Essen	Getränke	Anmerkungen
Frühstück					
zwischen durch					
Mittagessen					
zwischen durch					
Abendessen					
später					

Anhang 4: Erläuterungen zur Trainingsintervention

Allgemeine Erläuterungen zum Trainingsplan

- * Intervalle und lange Läufe sind essentielle Teile des Trainingsplans und sollten nicht an aufeinanderfolgenden Tagen absolviert werden.
- * Zwischen zwei Intervallläufen sollte ebenfalls mindestens ein Tag liegen.
- * Pause zwischen den Intervallen ist je nach Befinden entweder lockeres traben, gehen oder stehen.
- * Pro Woche gibt es zwei Dauerläufe, zwei Intervallläufe, einen Longrun und zwei Ruhetage.
- * Vor dem Stufentest in Woche 5 bitte einen Tag Trainingspause einlegen.
- * Angaben sind in min:sek.

Intervallläufe

Intervallläufe sind wichtig, um Kraft aufzubauen und die Geschwindigkeit zu erhöhen. Der Zweck eines Intervalllaufes besteht darin, die mentale und körperliche Ausdauer aufzubauen und sich daran zu gewöhnen, sich unwohl zu fühlen. Jede Woche wird es zwei Tempo/Intervallläufe geben.

Dauerläufe

Lange Läufe sind wichtig, um die Ausdauer zu trainieren und sowohl den Körper als auch den Geist an die Belastung des Halbmarathons zu gewöhnen. Es wird wöchentlich einen so genannten "Long Run" und zwei etwas kürzere Dauerläufe geben.

Ruhetage

Nutze die Ruhetage, um deine Batterien wieder aufzuladen und dich von den Trainingseinheiten zu erholen. Hör auf deinen Körper, denn du selbst weißt am besten, was dir gut tut. Dieser Tag kann für die ein oder andere Stabilitäts- oder Mobilitätseinheit genutzt werden.