



MASTERARBEIT | MASTER'S THESIS

Titel | Title

Auswirkungen eines 10-wöchigen Ausdauertrainings kombiniert mit einer kohlenhydratreichen niedrig glykämischen Ernährungsweise auf das Blutbild junger sportlicher Männer

verfasst von | submitted by

Ramona Krupicka BSc

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

Master of Science (MSc)

Wien | Vienna, 2024

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

UA 066 826

Studienrichtung lt. Studienblatt | Degree pro-
gramme as it appears on the student record
sheet:

Masterstudium Sportwissenschaft

Betreut von | Supervisor:

Univ.-Prof. Dr. Daniel König

Kurzfassung

Einleitung: Bewegung und Ernährung spielen eine Schlüsselrolle im Leben. Während die Auswirkungen von Ausdauertraining auf Blutparameter überwiegend bekannt sind, gibt es noch begrenzte Untersuchungen zur Wirkung einer niedrig-glykämischen Ernährung auf das Blutbild, besonders in Verbindung mit Training. Diese Studie zielt darauf ab, die Auswirkungen eines zehnwöchigen Ausdauertrainings in Kombination mit einer niedrig-glykämischen Ernährung auf das Blutbild und die klinische Chemie bei jungen sportlichen Männern zu beleuchten.

Methode: Diese Untersuchung wurde im Rahmen einer umfangreichen Studie an der Universität Wien durchgeführt. 32 männliche Probanden, die durchschnittlich 28,91 Jahre alt waren ($\pm 3,93$), wurden in eine Interventions- und eine Kontrollgruppe zu je 16 Personen aufgeteilt. Beide Gruppen absolvierten einen zehnwöchigen Trainingsplan, wobei die Interventionsgruppe eine LOW-GI-Diät (niedriger-glykämischer Index) und die Kontrollgruppe eine HIGH-GI-Diät (hoher-glykämischer-Index) einhielt. Die Studie umfasste medizinische Untersuchungen, sowie eine Blutabnahme zu Beginn und am Ende der Intervention.

Resultate: In der LOW-GI-Gruppe zeigte der Nierenwert BUN (Blutharnstoff-Stickstoff) einen Anstieg von 13,19 mg/dl ($\pm 3,62$) auf 15,56 mg/dl ($\pm 4,24$) ($p = 0,009$), und Harnstoff änderte sich von 28,19 mg/dl ($\pm 7,40$) auf 33,19 mg/dl ($\pm 9,04$) ($p = 0,009$). Gamma-GT (Gamma-Glutamat-Transferase) reduzierte sich von 22,50 U/l ($\pm 11,34$) auf 16,87 U/l ($\pm 5,39$) ($p = 0,009$). Cholesterin veränderte sich von 179,62 mg/dl ($\pm 39,69$) zu 157,94 mg/dl ($\pm 103,84$) ($p = 0,004$), und auch LDL-C (Low Density Lipoprotein Cholesterin) verringerte sich von 103,81 mg/dl ($\pm 30,75$) auf 87,06 mg/dl ($\pm 27,33$) ($p = 0,005$). Signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen gab es bei den segmentkernigen Granulozyten, dem Absolutwert der segmentkernigen Granulozyten, den Lymphozyten und Gamma-GT.

Schlussfolgerung: Das zehnwöchige Ausdauertraining mit begleitender niedrig-glykämischer Ernährung hatte keinen Einfluss auf das rote und weiße Blutbild, führte jedoch zu Veränderungen in der klinischen Chemie. Signifikante Ergebnisse wurden bei BUN, Harnstoff, Gamma-GT, Cholesterin und LDL-C beobachtet. Interessanterweise gab es trotz einer verringerten Kohlenhydrataufnahme in der LOW-GI-Gruppe einen leichten, aber nicht signifikanten Anstieg des Blutzuckers. Das Ausbleiben einer Blutzuckerreduktion könnte auf verschiedene Faktoren zurückzuführen sein und markiert einen negativen Aspekt dieser Studie. Es wird angenommen, dass die LOW-GI-Diät Entzündungen verringert, beziehungsweise die Regeneration unterstützen kann. Eine Ernährung mit niedrigem glykämischem Index in Kombination mit Ausdauertraining scheint jedoch positive Auswirkungen auf das Lipidprofil zu haben.

Abstract

Introduction: Exercise and diet play a key role in life. While the effects of endurance training on blood parameters are mostly known, there is still limited research on the effect of a low-glycaemic diet on blood counts, especially in combination with exercise. This study aims to shed light on the effects of ten weeks of endurance training in combination with a low-glycaemic diet on blood counts and clinical chemistry in young athletic men.

Methods: This study was conducted as part of an extensive study at the University of Vienna. 32 male subjects, who were on average 28.91 years old (± 3.93), were divided into an intervention group and a control group of 16 people each. Both groups completed a ten-week training plan, with the intervention group following a LOW-GI diet (low glycaemic index) and the control group a HIGH-GI-diet (high glycaemic index). The study included medical examinations and a blood test at the beginning and end of the intervention.

Results: In the LOW-GI-group, renal BUN (blood urea nitrogen) showed an increase from 13.19 mg/dl (± 3.62) to 15.56 mg/dl (± 4.24) ($p = 0.009$), and urea changed from 28.19 mg/dl (± 7.40) to 33.19 mg/dl (± 9.04) ($p = 0.009$). Gamma-GT (gamma-glutamyl transferase) decreased from 22.50 U/l (± 11.34) to 16.87 U/l (± 5.39) ($p = 0.009$). Cholesterol changed from 179.62 mg/dl (± 39.69) to 157.94 mg/dl (± 33.84) ($p = 0.004$), and LDL-C (low density lipoprotein cholesterol) also decreased from 103.81 mg/dl (± 30.75) to 87.06 mg/dl (± 27.33) ($p = 0.005$). There were significant differences between the groups in segmental nucleated granulocytes, the absolute value of segmental nucleated granulocytes, lymphocytes and gamma-GT.

Conclusion: Ten weeks of endurance training with an accompanying low-glycaemic diet had no effect on red and white blood count, but led to changes in clinical chemistry. Significant results were observed for BUN, urea, gamma-GT, cholesterol and LDL-C. Interestingly, despite a reduced carbohydrate intake in the LOW-GI-Group, there was a slight but non-significant increase in blood glucose. The lack of blood glucose reduction could be due to several factors and marks a negative aspect of this study. It is assumed that the LOW-GI diet can reduce inflammation and support regeneration. However, a diet with a low glycaemic index in combination with endurance training appears to have positive effects on the lipid profile.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	7
1.1 Das Blutbild und seine Parameter	9
1.1.1 Das rote Blutbild	10
1.1.2 Das weiße Blutbild	12
1.1.3 Blutzucker	17
1.1.4 Nierenwerte	19
1.1.5 Leberwerte	21
1.1.6 Muskelstressparameter	23
1.1.7 Blutfette	25
1.2 Ernährung	28
1.3 Training	32
2 Aktueller Forschungsstand	33
2.1 Auswirkungen von Ausdauertraining auf das Blutbild	33
2.2 Einfluss der LOW-GI-Diät auf das Blutbild	38
2.3 Kombination von LOW-GI-Diät und Ausdauertraining auf das Blutbild	41
3 Fragestellung und Ziele der Studie	46
3.1 Forschungsfrage	47
3.2 Hypothesen	47
4 Methodik	48
4.1 Studienteilnehmer	48
4.2 Ablauf der Studie	50
4.3 Statistische Analyse	53
5 Ergebnisse	55
5.1 Demographische Daten	55
5.2 Ernährung	57
5.3 Training	59
5.4 Blutwerte	61
6 Diskussion	73

6.1 Auswirkungen auf das rote Blutbild	73
6.2 Auswirkungen auf das weiße Blutbild	75
6.3 Auswirkungen auf den Blutzucker	77
6.4 Auswirkungen auf die Blutfette	79
6.5 Auswirkungen auf die Nierenwerte	81
6.6 Auswirkungen auf die Leberwerte	82
6.7 Auswirkungen auf die Muskelstressparameter.....	83
7 Verzerrungen und Limitationen	85
8 Conclusio	87
Literaturverzeichnis	91
Abkürzungsverzeichnis.....	95
Tabellenverzeichnis.....	98
Abbildungsverzeichnis.....	99

Vorwort

Mit großer Freude und Stolz präsentiere ich Ihnen meine Masterarbeit mit dem Titel "Auswirkungen eines 10-wöchigen Ausdauertrainings kombiniert mit einer kohlenhydratreichen niedrig glykämischen Ernährungsweise auf das Blutbild junger sportlicher Männer". Diese Arbeit markiert einen bedeutenden Meilenstein in meinem akademischen Werdegang und ich bin dankbar für die Gelegenheit, an diesem spannenden Thema zu forschen. Die Idee für diese Masterarbeit entstand während meines Forschungspraktikums, welches ich unter der Aufsicht von Frau Anna Maria Moitzi BSc Bakk MSc MSc, im Rahmen Ihrer Doktoratsstudie absolviert hatte. In Kombination mit meiner langjährigen Leidenschaft für den Ausdauersport und meinem großen Interesse an verschiedenen Ernährungsformen entwickelte sich mein Wunsch, tiefer in dieses Feld einzutauchen. Während meines Studiums der Sportwissenschaft konnte ich bereits wertvolle Einblicke in verschiedene Aspekte dieses Fachgebiets gewinnen, was meine Begeisterung für die Thematik weiter verstärkte.

Danksagung

Ich möchte gerne allen meinen aufrichtigen Dank aussprechen, die mich während der Entstehung dieser Arbeit unterstützt haben. Besonders möchte ich mich bei Herrn Univ.-Prof. Dr. Daniel König bedanken, der mich während dieser Arbeit hervorragend betreut und wertvolle Anleitungen gegeben hat. Ebenso geht mein Dank an Frau Anna Maria Moitzi BSc Bakk MSc MSc, die mich bei der Themenfindung unterstützt, die Datensätze bereitstellte und wertvolle Inputs beisteuerte.

Einen herzlichen Dank an meine Familie und meine Freunde, die mich ermutigt und unterstützt haben. Sie waren nicht nur bei der Korrektur meiner Arbeit behilflich, sondern waren auch stets für mich da und haben mich in herausfordernden Zeiten unterstützt, um kontinuierlich an dieser Arbeit zu arbeiten.

Es war eine herausfordernde, aber auch äußerst bereichernde Erfahrung, an dieser Masterarbeit zu arbeiten. Ich hoffe, dass diese Arbeit einen wertvollen Beitrag zum Verständnis und zur Weiterentwicklung von Ausdauertraining in Kombination mit einer niedrig glykämischen Ernährungsweise auf das Blutbild leisten wird.

Abschließend möchte ich mich bei allen Leserinnen und Lesern dieser Masterarbeit für ihr Interesse und ihre Zeit bedanken. Ich hoffe, dass Sie beim Lesen ebenso viel Freude und Erkenntnis gewinnen, wie ich bei der Erstellung dieser Arbeit erfahren durfte.

1 Einleitung

Es besteht kein Zweifel darüber, dass Ausdauertraining zahlreiche positive Effekte auf die körperliche Verfassung hat. Die Verbindung von körperlicher Aktivität und Ernährung spielt eine wesentliche Rolle in der Erforschung der Gesundheit und Leistungsfähigkeit des menschlichen Körpers. Die gezielte Anpassung durch Training und spezielle Ernährungsweisen kann nicht nur die körperliche Fitness beeinflussen, sondern auch tiefe Auswirkungen auf biochemische Prozesse im Körper haben. Diese Arbeit konzentriert sich auf die Untersuchung der Effekte eines zehnwöchigen Ausdauertrainings, begleitet von einer spezifischen kohlenhydratreichen, niedrig-glykämischen Ernährung, auf das Blutbild junger männlicher Sportler. Das Ziel besteht nicht nur darin, die unmittelbaren Auswirkungen dieser Intervention auf die Blutzusammensetzung zu analysieren, sondern auch das Zusammenspiel von Bewegung, Ernährung und deren Auswirkungen auf die Gesundheit näher zu beleuchten. Durch die detaillierte Untersuchung spezifischer Blutparameter wird ein tieferes Verständnis für die physiologischen Veränderungen, die durch dieses Trainings- und Ernährungsprotokoll ausgelöst werden, angestrebt. Diese Herangehensweise trägt dazu bei, die Zusammenhänge zwischen Bewegung, Ernährung und der biochemischen Zusammensetzung des Blutes bei jungen, aktiven Männern besser zu erforschen.

Regelmäßiges Ausdauertraining hat zahlreiche positive Auswirkungen auf verschiedene Aspekte der Gesundheit. Es beeinflusst nachweislich den Body-Mass-Index (BMI), die kardiorespiratorische Fitness sowie die Körperzusammensetzung positiv (Kostrzewa-Nowak et al., 2020; Jamka et al., 2021). Zusätzlich hat Ausdauertraining nachweislich positive Auswirkungen auf die Insulinreaktion, das Lipidprofil und kann auch zur Senkung des Blutdrucks beitragen (Wirth & Hauner, 2010; Kostrzewa-Nowak et al., 2015; Myers et al., 2019; Jamka et al., 2022). Es zeigen sich auch zahlreiche Veränderungen im Blutbild durch regelmäßiges Ausdauertraining (Montero et al., 2017; Jamurtas et al., 2018; Kostrzewa-Nowak et al., 2020). Darüber hinaus führt regelmäßiges Ausdauertraining zu Trainingsanpassungen, die sich günstig auf Stressreaktionen auswirken können und möglicherweise eine negative Immunreaktion verhindern (Ferrauti et al., 2020).

Eine ganzheitliche Gesundheit setzt nicht nur auf körperliche Aktivität, sondern betont auch die Bedeutung einer ausgewogenen Ernährung. Insbesondere eine Ernährung mit niedrigem-glykämischen Index (GI) hat sich als Schlüssel in der Forschung erwiesen, speziell für Menschen mit Diabetes Typ 1 und Typ 2 (Chiavaroli et al., 2021; Zafar et al., 2019).

Die Erfolge einer niedrig-glykämischen Diät, basierend auf Lebensmitteln mit niedrigem GI, wurden in verschiedenen Untersuchungen betont. Diese Diät zeigt positive Auswirkungen

auf Krankheiten wie Diabetes, Adipositas, bestimmte Krebsarten und Herzkrankheiten (Juanola-Falgarona et al., 2014; Ni et al., 2022). Gleichzeitig belegen Studien, dass eine Ernährung mit niedrigem GI die postprandiale Glykämie reduziert und stabile Blutzuckerkonzentrationen unterstützt (Malin et al., 2012; Zafar et al., 2019; Chiavaroli et al., 2021). Zusätzlich trägt dieser Ernährungsansatz auch zur Regulierung von Blutdruck und Blutfettwerten bei, wodurch das Risiko von Herz-Kreislauf-Erkrankungen reduziert wird (Zafar et al., 2019; Chiavaroli et al., 2021; Pavithran et al., 2020; Ni et al., 2022). Diese gesundheitlichen Vorteile sind nur ein Bruchteil der positiven Wirkungen einer Ernährung mit niedrigem GI.

Die Anwendung des glykämischen Index in der Ernährung hat einige Herausforderungen. Der glykämische Index (GI) berücksichtigt nicht die tatsächliche Menge an Kohlenhydraten in einer einzelnen Portion eines Lebensmittels. Dies kann dazu führen, dass Lebensmittel mit einem hohen GI den Blutzuckerspiegel nur geringfügig beeinflussen, wenn sie in kleinen Mengen konsumiert werden. Der GI eines Lebensmittels kann von verschiedenen Faktoren beeinflusst werden, wie Zubereitungsmethoden, Reifegrad und Kombination mit anderen Lebensmitteln. Eine Weiterentwicklung des GI ist die glykämische Last (GL), die den GI in Bezug auf den Kohlenhydratgehalt der Lebensmittel betrachtet.

Im folgenden Abschnitt dieser Masterarbeit werden die relevanten Parameter des weißen und roten Blutbildes sowie der klinischen Chemie erläutert, um dem Leser oder der Leserin ein besseres Verständnis zu vermitteln (Kapitel 1.1). Des Weiteren erfolgt eine Erläuterung aller relevanten Begrifflichkeiten im Bereich der Ernährung für diese Masterarbeit (Kapitel 1.2). Abschließend bietet dieser Abschnitt einen umfassenden Einblick in das Thema des Ausdauertrainings (Kapitel 1.3), einschließlich verschiedener Ausprägungsformen, Energieverbrauch und damit verbundene Stoffwechselprozesse im Ausdauersport. Ziel ist es, dem Leser oder der Leserin ein grundlegendes Verständnis zu vermitteln, um im darauffolgenden Kapitel 2 den aktuellen Forschungsstand besser nachvollziehen zu können. Darauf aufbauend wird die konkrete Fragestellung und die dazugehörigen Hypothesen im Kapitel 3 präsentiert. Anschließend beschreibt Kapitel 4 detailliert die angewandte Methodik der Studie. Die Präsentation und Analyse der Studienergebnisse erfolgen im Kapitel 5, gefolgt von der Interpretation und Diskussion im Kontext des aktuellen Forschungsstandes im Kapitel 6. Mögliche Verzerrungen und Limitationen der Studie werden kritisch im Kapitel 7 beleuchtet. Im abschließenden Kapitel 8 werden die wichtigsten Erkenntnisse zusammengefasst und Schlussfolgerungen auf Basis der durchgeführten Studie präsentiert.

1.1 Das Blutbild und seine Parameter

Allgemeines

Von einem funktionalen Standpunkt aus betrachtet, fungiert Blut als eine Art "flüssiges Gewebe" im Körper. Die Zusammensetzung sowie das Volumen des Blutes unterliegen in der Regel nur geringfügigen Schwankungen. Das Blut setzt sich aus dem Blutplasma und aus verschiedenen Blutzellen wie Erythrozyten, Leukozyten und Thrombozyten zusammen. Das Blutplasma bildet den nicht-zellulären Anteil, der ungefähr 0,9l Wasser, 9 g Elektrolyte, 65-82g Proteine und ca. 20g niedermolekulare organische Substanzen umfasst (Vaupel et al., 2015).

Die Hauptaufgabe des Blutes liegt überwiegend im Transport von Substanzen innerhalb des Körpers. Zusätzlich spielt es eine wesentliche Rolle bei der Regulierung eines stabilen internen Gleichgewichts (Homöostase) als auch bei der Abwehr von eindringenden Fremdstoffen sowie Krankheitserregern. Etwa 7-8% des Körpergewichts eines Erwachsenen entsprechen der gesamten Blutmenge, entspricht durchschnittlich einem Blutvolumen von etwa 4-6l (Vaupel et al., 2015).

Blutparameter

Bei der Bestimmung der Blutparameter wird zwischen dem roten und dem weißen Blutbild unterschieden. Das rote Blutbild untersucht die zellulären Bestandteile der roten Blutkörperchen (Erythrocyten) und gibt Informationen über die Hämoglobinkonzentration und den Hämatokritwert. Außerdem werden die dazugehörigen Parameter, das mittlere korpuskuläre Volumen (MCV), das mittlere korpuskuläre Hämoglobin (MCH) und die mittlere korpuskuläre Hämoglobinkonzentration (MCHC) ermittelt. Das weiße Blutbild beinhaltet verschiedene Subgruppen der Leukozyten, einschließlich der Thrombozyten. Die Leukozyten werden unterteilt in die sogenannten neutrophilen Granulozyten, Lymphozyten, Monozyten, eosinophile Granulozyten und die basophilen Granulozyten (Grass, 2019).

Alle erfassten Blutparameter des roten und weißen Blutbildes, des Blutzuckers, der Leberwerte, der Nierenwerte, der Muskelstressparameter sowie der Cholesterinwerte, werden in den folgenden Unterkapiteln ausführlich erläutert. In den dazugehörigen Kapiteln sind die Norm- und Referenzbereiche für die jeweiligen Parameter in den Tabellen 1-7 übersichtlich dargestellt.

1.1.1 Das rote Blutbild

Erythrozyten – Ery

Unter Erythrozyten versteht man auch als rote Blutkörperchen bezeichnete Zellen. Sie sind runde, kernlose und verformbare Scheiben, die sich nach innen wölben. Die bedeutsamsten Bestandteile der Erythrozyten sind der rote Blutfarbstoff Hämoglobin (macht etwa 90% der Bestandteile aus), Wasser und Kaliumchlorid. Die Lebensdauer der Erythrozyten beträgt für gewöhnlich 120 Tage, anschließend werden sie in der Milz und in der Leber abgebaut. Die Neubildung der Erythrozyten findet wie bei allen anderen Blutzellen im roten Knochenmark über die Stammzellen statt (Grass, 2019). Die Aufgabenbereiche der Erythrozyten sind an den enthaltenen roten Blutfarbstoff Hämoglobin gebunden. Sie spielen eine enorm wichtige Rolle für den Sauerstofftransport als auch im Mitwirken des Abtransports von Kohlendioxid. Zudem sind sie an der Regulation des pH-Werts beteiligt (Vaupel et al., 2015). Der Normalwert für Frauen liegt im Bereich zwischen 4,0-5,0 Mio/ μ l, bei den Männern ist der Bereich mit 4,5-5,8 Mio/ μ l etwas höher angesetzt. Klinisch relevant sind Werte von <3,5 Mio/ μ l und >6,5 Mio/ μ l (Grass, 2019).

Hämoglobin – Hb

Wie bereits im vorhergehenden Absatz kurz erwähnt wurde, handelt es sich beim sogenannten Hämoglobin um den roten Blutfarbstoff. Er ist der Hauptbestandteil (90%) der Erythrozyten, kommt allerdings auch in geringen Mengen im Blutplasma vor. Die Zusammensetzung von Hämoglobin besteht aus der eisenhaltigen Gruppe Häm (6%), welche für die rote Farbe des Blutes verantwortlich ist, sowie dem Proteinanteil Globin (94%). Zu den Hauptaufgaben gehört die Aufnahme von Sauerstoff und dessen Transport für die Sauerstoffversorgung in die Körperzellen. Anschließend wird das entstandene Kohlenstoffdioxid abtransportiert, wodurch das Hämoglobin am Säure-Basen-Gleichgewicht und der pH-Regulation des Blutplasmas beteiligt ist. Der Normalwert von Hämoglobin befindet sich bei den Frauen zwischen 12-16 g/dl und bei den Männern zwischen 14-18 g/dl. Werte <10 g/dl und >20 g/dl sind als klinisch relevant anzusehen (Grass, 2019).

Hämatokrit - Hk

Das Hämatokrit zeigt den prozentualen Anteil des Volumens, den die roten Blutzellen in einem Liter Blut einnehmen. Die Bestimmung des Hämatokritwertes dient unter anderem der Verlaufsbeurteilung der Blutzusammensetzung und spielt eine wichtige Rolle in der therapeutischen Thrombosevorbeugung. Für die Bestimmung des Wertes wird zunächst das Blut z.B. durch zentrifugieren in flüssige und feste Bestandteile aufgeschlüsselt. Die gewonnenen festen Bestandteile entsprechen der reinen Erythrozytenmasse des Blutes.

Wenn sich der Hämatokrit, die Erythrozyten oder das Hämoglobin ändern, beeinflussen sie oft auch die anderen beiden Werte in ähnlicher Weise (Grass, 2019; Zylka-Menhorn, 2021). Bei den Frauen liegt der Normalwert im Bereich von 37-47%. Der Normalbereich der Männer liegt zwischen 42-52%. Sinkt der Hämatokrit-Wert unter 30% oder übersteigt er 55% des Volumens in einem Liter Blut, so handelt es sich um einen klinisch relevanten Wert (Grass, 2019).

Erythrozyten-Parameter

Für die Klassifikation von Anämien gibt es drei verschiedene Parameter (MCV, MCH, MCHC), welche die Erythrozytengröße und den Hämoglobingehalt im Blut wiedergeben. Diese Werte sind rein rechnerisch zu ermitteln. In den nachfolgenden Absätzen werden die Parameter genau erklärt und beschrieben (Grass, 2019).

Mittleres korpuskuläres Erythrozytenvolumen - MCV

Durch den MCV-Wert kann das mittlere Volumen eines einzelnen Erythrozyten dargestellt werden. Da das Volumen mikroskopisch klein ist, wird es in der Einheit Femtoliter angegeben. Das MCV ermöglicht zudem einen guten Einblick auf den Alterungsprozess der Erythrozyten, da diese mit zunehmendem Alter wachsen und somit größer werden. Dadurch kann auch die Erneuerungsbereitschaft des Organismus beurteilt werden. Der Normalwert liegt bei 82-98fl (Femtoliter). Wenn sich der MCV-Wert in diesem Normbereich befindet, dann spricht man von einem normozytären Erythrozyten. Befindet sich der Wert unter dem Normalwert, sprich unter 82fl, so spricht man von einer mikrozytären Veränderung. Werte über 98fl werden als makrozytär bezeichnet (Grass, 2019).

Mittleres korpuskuläres Hämoglobin - MCH

Der MCH-Wert beschreibt den mittleren Hämoglobingehalt in einem einzelnen Erythrozyten. Berechnet wird der MCH-Wert, indem man die Hämoglobinkonzentration durch die Erythrozyten Anzahl teilt (Vaupel et al., 2015). Der errechnete Wert kann in die drei Normbereiche Normochrom (der MCV-Wert befindet sich im Normbereich, 27-33pg (Pikogramm), Hypochrom (Werte unter 27pg) und Hyperchrom (Werte über 33pg) gegliedert werden. Werte zwischen 27-33pg entsprechen dem Normalwert (Grass, 2019).

Mittlere korpuskuläre Hämoglobinkonzentration - MCHC

Auch der MCHC-Wert kann rechnerisch ermittelt werden, indem man den Hämoglobinwert durch den Hämatokritwert teilt. Der Wert des MCHC verändert sich überwiegend simultan mit dem MCH. Der Normalwert liegt im Bereich zwischen 32-36% (Grass, 2019).

Tab. 1: Laborparameter rotes Blutbild

Größe	Abkürzung	Einheit	Normbereich	Klinisch relevant
Erythrozyten	Ery	Mio/ μ l	♀ 4,0 - 5,0 ♂ 4,5 - 5,8	<3,5 >6,5
Hämoglobin	Hb	g/dl	♀ 12 - 16 ♂ 14 - 18	<10 >20
Hämatokrit	Hk	Vol. -%	♀ 37 - 47 ♂ 42 - 52	<30 >55
mittleres korpuskuläres Erythrozytenvolumen	MCV	fl	82 - 98	/
mittleres korpuskuläres Hämoglobin	MCH	pg	27 - 33	/
mittlere korpuskuläre Hämoglobinkonzentration	MCHC	%	32 - 36	/

Quelle: mod. n. Grass, U. (2019, S. 150-151)

1.1.2 Das weiße Blutbild

Leukozyten – LEU

Bei den sogenannten Leukozyten (LEU) handelt es sich um die weißen Blutkörperchen, die eine entscheidende Rolle in der Schutzfunktion des Immunsystems einnehmen. Die Anzahl der Leukozyten gibt Auskunft über entzündliche oder bakterielle Veränderungen im Organismus. Der Großteil der Leukozyten befindet sich im Interstitium (ca. 60%) und im Knochenmark (ca. 33%). Nur etwa 5% der im gesamten Körper vorkommenden Leukozyten lassen sich direkt im Blutkreislauf nachweisen. Je nach Funktion und Aufbau (z.B. Zellgröße, Kernform) werden die weißen Blutkörperchen in fünf Untergruppen gegliedert. Sie werden in die Subtypen der Granulozyten (Neutrophile, Eosinophile und Basophile), Lymphozyten und Monozyten eingeteilt. In den nachfolgenden Abschnitten werden die einzelnen Untergruppen näher beschrieben. Der Normalwert der Leukozyten liegt im Bereich zwischen 4.000-10.000 μ l Blut (Zellen pro Mikroliter). Klinisch relevante Werte befinden sich im Bereich von <3.000 und >12.000 μ l Blut (Grass, 2019). Steigt die gesamte Anzahl an Leukozyten über die Obergrenze des Normalwerts, so ist von einer Leukozytose die Rede. Bleibt der Wert unter dem Normalwert, so spricht man von einer Leukopenie (Vaupel et al., 2015).

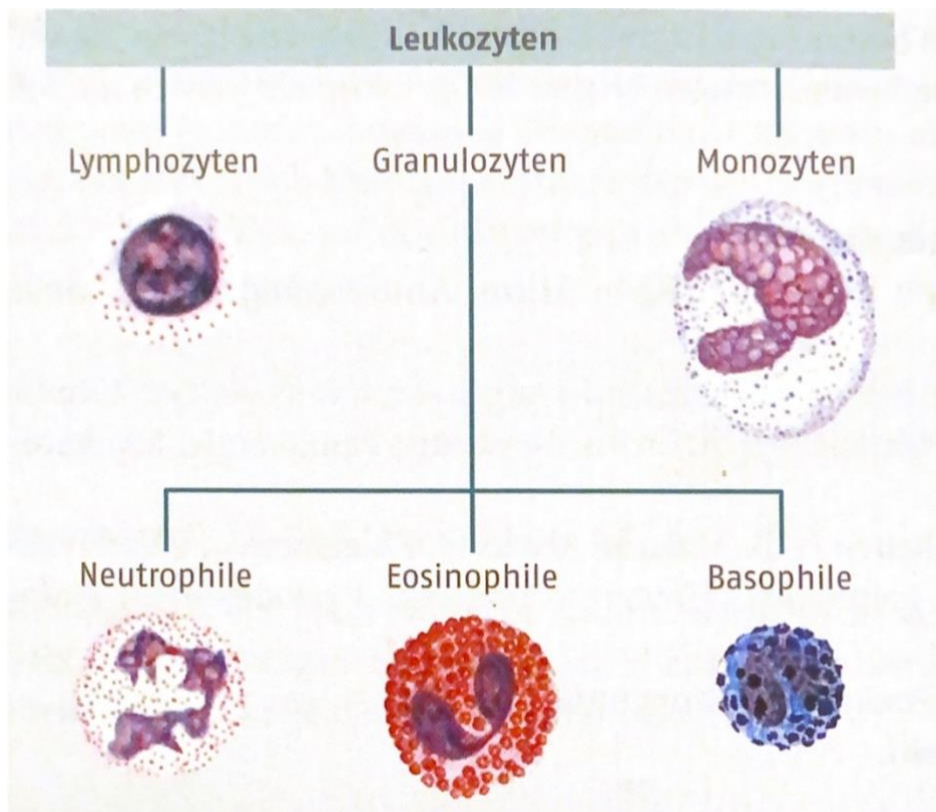


Abb. 1: Untergruppen der Leukozyten (Grass, S. 26)

Granulozyten – GRAN

Die Granulozyten (GRAN) machen etwa 60-70% der im Blut vorkommenden Leukozyten aus. Gebildet werden sie im Knochenmark. Auch diese Art der Leukozyten lässt sich in drei weitere Untergruppen einteilen. Es wird unterschieden zwischen den neutrophilen-, eosinophilen- und basophilen Granulozyten (Grass, 2019). Sie sind bei der akuten Entzündungsreaktion und bei der Abwehr von Bakterien, Viren als auch parasitischen Formen beteiligt. Die Phagozytose, ein aktiver Transportprozess von festen Partikeln oder anderen Zellen, ist die Hauptaufgabe der Granulozyten. Bei diesem Prozess werden Partikel oder Zellen aus dem Extrazellulärraum aufgenommen und in der Zellmembran eingeschlossen. Anschließend werden die Partikel bzw. Zellen in Form von Vesikeln in die Zelle transportiert (Vaupel et al., 2015).

Neutrophile Granulozyten – NEU

Mit über 90%, sind die neutrophilen Granulozyten (NEU), die am häufigsten vorkommende Untergruppe der Granulozyten. Je nach Entwicklungsstufe, spricht man von segmentkernigen (SEG) oder stabkernigen (STAB) neutrophilen Granulozyten. Die reiferen sind die segmentkernigen, bei ihnen ist der Zellkern in segmentähnliche Abschnitte aufgeteilt. Bei den jüngeren Granulozyten ist der Zellkern stabförmig und noch in keine Abschnitte gegliedert. Auch diese Art der Granulozyten wird im Knochenmark gebildet und

gelangen von dort aus aufgrund ihrer amöboiden Beweglichkeit zu ihrem Einsatzort. Durch diese Eigenschaft können die neutrophilen Granulozyten selbst die kleinsten Kapillaren problemlos durchqueren. Als Teil des Immunsystems zählt zu ihren Aufgaben die Abwehr von Bakterien und Entzündungen. Außerdem werden durch den Prozess der Phagozytose unter anderem Gewebetrümmer, Fremdmaterialien oder Tumorzellen beseitigt. Bei diesem Vorgang werden von den weißen Blutzellen Erreger aufgenommen und anschließend zerstört. Der Normalwert der segmentkernigen neutrophilen Granulozyten liegt zwischen 55-60% der gesamten Leukozyten (Grass, 2019).

Eosinophile Granulozyten – EOS

Ungefähr 1-3% aller Leukozyten im Gesamtblut sind eosinophile Granulozyten (EOS), was auch dem Normalwert entspricht. Auch diese Subgruppe ist amöboid beweglich und fähig den Prozess der Phagozytose durchzuführen. Zu ihren Aufgabenbereichen zählt vorrangig die Abwehr von parasitären Infektionskrankheiten und Reaktionen auf Typ 1 Allergien. Ein vermehrtes Vorkommen dieser Granulozyten-Subgruppe im Blutbild gibt Hinweis auf eine allergische Erkrankung wie z.B. dem Asthma bronchiale oder einer Wurmerkrankung. Kommen zu viele eosinophile Granulozyten im Blut vor, so spricht man auch von einer Eosinophilie. Ist die Anzahl jedoch reduziert, dann ist von einer Eosinopenie die Rede (Grass, 2019).

Basophile Granulozyten – BASO

Die basophilen Granulozyten (BASO) besitzen ein intrazelluläres Granulum, in dem Histamin, Serotonin sowie Heparin enthalten ist. Die Aufgabenbereiche dieser Leukozytenart sind noch nicht ausreichend erforscht, allerdings wird von einer beteiligten Reaktion auf Typ 1 Allergien ausgegangen. Werte zwischen 0-1% liegen im Normalbereich und Werte >5% sind von klinischer Relevanz (Grass, 2019).

Monozyten – MONO

Als Untergruppe der weißen Blutkörperchen gehören die Monozyten (MONO) zu den größten Zellen im Blut. Ihr prozentueller Anteil ist mit drei bis sieben Prozent jedoch eher gering im Vergleich zu den restlichen Leukozyten (Grass, 2019). Die Monozyten gelangen über das Blut direkt in das Gewebe, wo sie sich in sogenannte Fresszellen oder auch Makrophagen genannt, verwandeln. Diese übernehmen die wichtige Aufgabe, Bakterien sowie Zelltrümmer aufzunehmen, um diese anschließend zu entsorgen. Der Anstieg von Monozyten im Blutbild kann eine Stressreaktion, oder auch ein Hinweis auf chronische Entzündungsprozesse im Körper sein (Haferlach et al., 2019).

Die Lebensdauer von Monozyten im Blut beträgt zwischen 32 Stunden und 5 Tagen. Der Normalwert von Monozyten im Blut liegt zwischen 3-7% der Gesamtleukozyten. Ab einem Wert von >15% handelt es sich um einen klinisch relevanten Wert (Grass, 2019).

Lymphozyten – LYM

Auch die Lymphozyten gehören zur Gruppe der weißen Blutkörperchen. Sie werden überwiegend im Knochenmark gebildet, aber auch in unterschiedlichen Teilen des lymphatischen Gewebes. Zu diesem Gewebe gehören unter anderem die Lymphknoten, die Milz und die Thymusdrüse. Ihre Bildung ist für die Aufrechterhaltung eines gut funktionierenden Immunsystems unerlässlich. Zu ihren Hauptaufgaben gehört in erster Linie die Produktion von Antikörpern für die spezifische Bekämpfung von Infektionen. Ist die Bildung von Lymphozyten gestört, so kann eine Beeinträchtigung der Immunfunktion das Risiko für Infektionen, Autoimmunerkrankungen oder für bestimmte Krebsarten erhöhen (Grass, 2019). Unterteilt werden die Lymphozyten in drei Untergruppen: B-Lymphozyten, T-Lymphozyten sowie NK-Zellen (Haferlach et al., 2019). Bei den B- und T-Lymphozyten handelt es sich um antigenspezifische adaptive Lymphozyten. Die B-Lymphozyten besitzen bei Kontakt mit einem speziellen Antigen die besondere Fähigkeit, sich in sogenannte Gedächtniszellen oder in antikörperproduzierende Plasmazellen weiterzubilden. Die Gedächtniszellen bleiben dem Körper erhalten und gewährleisten so bei erneuten Begegnungen mit gleichen Antigenen, eine rasche Immunantwort. Plasmazellen produzieren große Mengen an Antikörpern, welche sich gezielt an wiedererkannte Antigene binden und dadurch Erreger neutralisieren bzw. zerstören. Auch die T-Lymphozyten sind für die Abwehr von Viren zuständig, jedoch haben sie zusätzlich die wichtige Aufgabe, abnormale Krebszellen zu identifizieren und diese zu beseitigen (K. M. Murphy & C. Weaver, 2016).

Lange Zeit war fraglich, ob es eine Unterscheidung zwischen den natürlichen Killerzellen (NK-Zellen) und den T-Lymphozyten gibt. Heute sind die aus dem Knochenmark entspringenden NK-Zellen als eigene Zelllinie anerkannt. Im Gegensatz zu den B- und T-Lymphozyten sind die NK-Zellen angeboren und besitzen keine antigenspezifischen Rezeptoren des adaptiven Immunsystems. Durch unterschiedliche angeborene Rezeptoren können die NK-Zellen auf zellulären Stress und auf unterschiedliche Infektionen bzw. Viren reagieren. Die NK-Zellen nehmen eine besonders wichtige Rolle in unserem Immunsystem ein, da diese bereits reagieren können, bevor sich die adaptive Immunreaktion (B- und T-Lymphozyten) entwickelt hat (K. Murphy & C. Weaver, 2016). Der Normalwert für Lymphozyten beträgt in etwa 30-40% der Gesamtleukozyten. Werte <10% und Werte >60% sind von klinischer Relevanz (Grass, 2019).

Thrombozyten – THROMBO

Die Thrombozyten, oder auch Blutplättchen, sind scheibenförmige Zellkörper ohne Zellkern. Sie sind die kleinsten Blutzellen und spielen eine wichtige Rolle für die Blutgerinnung sowie Wundheilungsprozesse. Aufgrund ihrer hohen Empfindlichkeit, sind Thrombozyten ein besonders guter Indikator bei auftretenden Störungen der Blutbildung. Gebildet werden die Blutplättchen im Knochenmark. Ihre Hauptaufgabe liegt im Mitwirken bei dem Prozess der Hämostase (Blutstillung). Bei der primären Hämostase werden Blutgerinnsel durch das aneinanderreihen von Thrombozyten gebildet, durch welche Blutungen gestoppt bzw. reduziert werden können. Dieser Prozess lässt sich in drei Prozessstufen aufteilen. Zunächst erfolgt die sogenannte Adhäsion. Bei der Adhäsion haften sich die Thrombozyten an geschädigtes Gewebe oder an die Zellschicht der Innenseite von Blutgefäßen (Endothel). Im Anschluss darauf kommt es zur reversiblen Ansammlung von Thrombozyten und zur Bildung eines Thrombozytenpfropfens. Bezüglich der Anzahl an Thrombozyten im Blut, kann eine Erhöhung (Thrombozytose) aber auch ein vermindertes Vorkommen (Thrombopenie) im Blutbild nachgewiesen werden. Der Normbereich an Thrombozyten im Blut liegt bei 140.000 - 400.000 μl . In einigen Fällen kann eine Erhöhung der Thrombozytenzahl asymptomatisch verlaufen und zufällig im Zuge einer Blutuntersuchung festgestellt werden. Bei der Thrombozytose besteht ein erhöhtes Risiko von spontan auftretenden Gefäßverschlüssen. Wohingegen bei der Thrombopenie eine akute Blutungsgefahr aufgrund der verminderten Thrombozytenanzahl besteht (Grass, 2019; K. Murphy & C. Weaver, 2016).

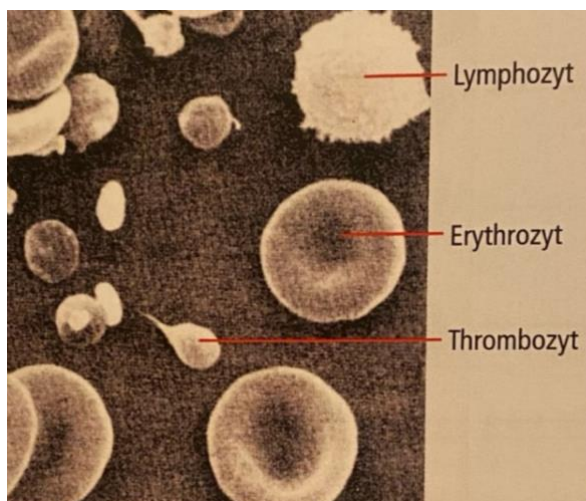


Abb. 2: Lymphozyt, Erythrozyt, Thrombozyt (Vaupel et al., S. 145)

Tab. 2: Laborparameter weißes Blutbild

Größe	Abkürzung	Einheit	Normbereich	Klinisch relevant
Leukozyten	LEU	μl	4000 – 10.000	<3000 >12000
Granulozyten	GRAN	%	60 – 70% der ges. Leukos	/
neutrophile Granulozyten	NEU	%	50 – 60% der ges. Leukos	<30%
segmentkernige	SEG	%	55 – 60 % der ges. Leukos	/
stabkernige	STAB	%	3 – 5% der ges. Leukos	/
eosinophile Granulozyten	EOS	%	1 – 3% der ges. Leukos	>10%
basophile Granulozyten	BASO	%	0 – 1% der ges. Leukos	>5%
Monozyten	MONO	%	3 – 7% der ges. Leukos	>15%
Lymphozyten	LYM	%	30 – 40% der ges. Leukos	<10%, >60%
Thrombozyten	THROMBO	μl	140.000 – 400.000	<100.000 >500.000

Quelle: mod. n. Grass, U. (2019, S. 151)

1.1.3 Blutzucker

Der Blutzuckerspiegel oder auch Blutzucker zeigt wie viel Glucose (Zucker) sich im Blut befindet. Bestimmt wird der Anteil der Blutzuckerkonzentration im Labor entweder aus kapillärem oder venösem Plasma (Grass, 2019). Glucose zählt zu den bedeutsamsten Energiequellen für unseren Körper. Sie wird aus Nahrungskohlenhydraten aufgenommenen, körpereigenen Glykogenspeichern sowie durch den Prozess der Gluconeogenese gewonnen.

Bei der Gluconeogenese handelt es sich um einen biochemischen Prozess, bei dem der Körper aus nicht-kohlenhydrathaltigen Verbindungen Glucose produziert (Niederau et al., 2021).

Liegt der Glucosespiegel des Öfteren deutlich über dem Normbereich von 60 bis 115mg/dl, so kann dies ein Indikator für eine bestehende Zuckerkrankheit (Diabetes mellitus) sein. Übersteigen die Werte des Glucosespiegels den Normbereich eindeutig, spricht man von einer sogenannten Hyperglykämie. Zu den Symptomen einer Hyperglykämie gehören unter anderem: schlechte Wundheilung, motorische Störungen, Nervenschmerzen und Gewichtsabnahme trotz einer vermehrten Nahrungsaufnahme (Grass, 2019).

Reguliert wird der Blutzuckerspiegel durch Hormone, vorrangig durch Insulin. Der Normbereich für den Insulinspiegel im nüchternen Zustand liegt bei Werten zwischen 6-29 mU/l. Postprandial, sprich nach einer Mahlzeit, liegt der Normbereich für Insulin im Bereich zwischen 50-200mU/l (Grass, 2019).

Bei bestehendem Verdacht einer Zuckererkrankung, sind die Werte des Nüchternblutzuckers als auch der Langzeitblutzucker (HbA1C-Wert) zu bestimmen. Der HbA1C-Wert sollte sich in einem Normbereich von 4,1-6,4% bewegen und wird bei Werten >7,0% klinisch relevant (Grass, 2019).

Befindet sich der Blutzucker unterhalb des Normbereichs, ist von einer Hypoglykämie die Rede. Klassische Symptome für eine mögliche Hypoglykämie sind z.B.: Herzklopfen, Benommenheit (verändertes Verhalten/ Denken) bis hin zur Bewusstlosigkeit (Zylka-Menhorn, 2021). Es ist wichtig zu beachten, dass Ernährung, körperliche Aktivität, Stress, Medikamente und andere Erkrankungen den Blutzuckerspiegel beeinflussen können. Daher ist es wichtig, den Blutzuckerspiegel in einem gesunden Bereich zu halten, indem eine ausgewogene Ernährung, regelmäßige körperliche Aktivität und die Einhaltung des individuellen Behandlungsplans eingehalten werden (Association, 2020).

Tab. 3: Laborparameter Blutzucker

Größe	Abkürzung	Einheit	Normbereich	Klinisch relevant
Glucose		mg/dl	60-115	>130
Langzeitblutzucker	HbA1c	%	4,1-6,4	>7,0
Insulin nüchtern	/	mU/l	6-29	/
Insulin postprandial	/	mU/l	50-200	/

Quelle: mod. n. Grass, U. (2019, S. 150)

1.1.4 Nierenwerte

Blut-Harnstoff-Stickstoff – BUN

Der Laborparameter Blut-Harnstoff-Stickstoff, auch bekannt als BUN, ist ein Maß für den Stickstoffgehalt des Stoffwechselendprodukts Harnstoff im Blut. Harnstoff wird in der Leber über den Proteinstoffwechsel abgebaut und anschließend über die Nieren ausgeschieden. Der Laborparameter hilft die Nierenfunktion zu bewerten und kann bei abnormalen Werten ein Hinweis auf Nierenprobleme wie z.B. Niereninsuffizienz oder Dehydratation sein. Es ist wichtig zu erwähnen, dass ein erhöhter BUN-Spiegel alleine kein eindeutiges Anzeichen für Nierenerkrankungen darstellt. Andere Variablen, die den BUN beeinflussen können, umfassen den Flüssigkeitshaushalt, die Ernährung, Lebererkrankungen und Blutungen im Magen-Darm-Trakt. Daher wird der BUN-Test häufig gemeinsam mit anderen Nierenfunktionstests und klinischen Daten verwendet, um eine eindeutige Diagnose stellen zu können. Für gewöhnlich liegen die Normalwerte des BUN bei erwachsenen Frauen zwischen 6 und 21 mg/dl (Milligramm pro Deziliter) und bei Männern zwischen 8 und 24 mg/dl (Professional, o. D.).

Harnstoff

Harnstoff ist ein in der Leber gebildetes Abbauprodukt und gehört zu den wichtigsten Stickstoffverbindungen im menschlichen Organismus. Er entsteht im Zuge des Proteinstoffwechsels, wobei Eiweiß abgebaut wird. Durch den Abbau von Eiweiß entsteht Ammoniak, welcher anschließend zum ungiftigen Harnstoff umgewandelt wird (Grass, 2019).

Die Harnstoffkonzentration im Blut wird von folgenden drei Faktoren beeinflusst: dem Ernährungszustand, der täglichen Eiweißzufuhr als auch von der Ausscheidungsfunktion der Nieren. Zu den häufigsten Ursachen für erhöhte Harnstoffwerte gehören unter anderem Nierenfunktionsstörungen, Fieber, Hunger, der Gebrauch von Schmerzmitteln oder Antibiotika, sowie Medikamente zur Behandlung von Krebs. Die Bestimmung des Harnstoffspiegels im Blut ist ein unspezifischer und unempfindlicher Parameter zur Bewertung der Filterfunktion der Nieren. Die Spiegel steigen erst an, wenn mehr als die Hälfte aller Nierenfilter beschädigt sind (Zylka-Menhorn, 2021). Der angegebene Normalbereich liegt bei <50mg/dl (Grass, 2019).

Kreatinin

Bei dem Parameter Kreatinin handelt es sich um ein im Muskel entstehendes Stoffwechselprodukt. In der Leber, dem Pankreas und den Nieren wird Kreatin produziert, welches über den Blutkreislauf an die Muskulatur abgegeben wird. Anschließend wird es durch den Prozess der Kreatinkinase in den Energiespeicher Kreatinphosphat

umgewandelt. Durch den Abbau von Kreatin und Kreatinphosphat entsteht Kreatinin, welches sich über den Blutkreislauf verteilt und letzten Endes über den Urin ausgeschieden wird. Die Menge an Kreatinin, die täglich freigesetzt wird, hängt von der Muskelmasse und der täglichen Aktivität der Muskulatur ab. Der Anteil an Kreatinin der sich in der Serumkonzentration nachweisen lässt, wird durch die glomeruläre Filtrationsrate der Nieren beeinflusst. Aufgrund dessen, dass der Kreatininwert von der täglichen Muskelaktivität stark beeinflussbar und damit eher unzuverlässig ist, wird er für die Identifizierung einer Niereninsuffizienz zumeist in Kombination mit anderen Werten herangezogen. Bei der alleinigen Betrachtung des Kreatininwertes, kann eine Niereninsuffizienz erst einer glomerulären Filtrationsrate unter 50ml/min identifiziert werden. Der Normalwert von Frauen liegt bei <1,0mg/dl und bei Männern bei <1,2mg/dl. Klinisch relevant sind Werte ab >1,8mg/dl. Bei einem erhöhten Wert werden unterschiedliche Ursachen wie z.B. akuter Muskelzerfall, akutes Nierenversagen oder Niereninsuffizienz in Betracht gezogen. Ein reduzierter Kreatininwert alleine hat hingegen für gewöhnlich keine klinische Bedeutung (Grass, 2019).

Glomeruläre Filtrationsrate – GFR

Bei der glomerulären Filtrationsrate handelt es sich um einen Wert, welcher unter Berücksichtigung des Alters und der Körperfläche unter Einsatz des sogenannten Clearance-Verfahren direkt berechenbar ist (Grass, 2019). Der Primärharn wird durch Ultrafiltration in den Glomeruli gebildet. Die Struktur des Filtrats wird von den Porengrößen der Filtermembran und den negativen Wandladungen des Filters beeinflusst, während die Bildungsrate auch von den effektiven Filtrationsdrücken beeinflusst wird (Vaupel et al., 2015). Der Normalwert für die glomeruläre Filtrationsrate beträgt <50 mg/dl für beide Geschlechter. Ab einem Wert von >70 mg/dl ist von einer klinischen Relevanz die Rede (Grass, 2019).

Harnsäure

Die Harnsäure ist das Abbauprodukt des Purinstoffwechsels, das zu mehr als 80% über die Nieren ausgeschieden (renale Exkretion) wird. Aufgrund ihrer schlechten Wasserlöslichkeit, kann sich die Harnsäure in den Nieren in Form von Nierensteinen oder besonders in kleinen Gelenken auskristallisieren. Ab einer Serumkonzentration von 9 mg/dl ist damit zu rechnen, dass schwere Gichtanfälle (Gelenkveränderungen) auftreten können. Die Ursachen für eine Hyperurikämie (Harnsäurewert ist erhöht) kann unterschiedliche Auslöser haben, so z.B. Alkoholabusus, Leukämie, übermäßig proteinreiche Ernährungsweisen aber auch Niereninsuffizienz oder Hungerzustände. Frauen befinden sich mit Werten >6,0 mg/dl und

Männer mit >7,0 mg/dl Harnsäure im Normalbereich. Ab Werten >8,0 mg/dl spricht man von klinisch relevanten Harnsäure-Werten (Grass, 2019).

Tab. 4: Laborparameter der Nierenwerte

Größe	Abkürzung	Einheit	Normbereich	Klinisch relevant
Blut-Harnstoff-Stickstoff	BUN	mg/dl	♀ 6-21 ♂ 8-24	>24
Harnstoff	/	mg/dl	<50	>70
Kreatinin	/		♀ <1,0 ♂ <1,2	>1,8
glomeruläre Filtrationsrate	GFR	mg/dl	<50	>70
Harnsäure	/	mg/dl	♀ <6,0 ♂ <7,0	>8,0

Quelle: mod. n. Grass, U. (2019, S. 45, 152, 154), mod. n. Anonym. (2022)

1.1.5 Leberwerte

Glutamat-Oxalacetat-Transaminase – GOT

Das Enzym Glutamat-Oxalacetat-Transaminase wird auch als Aspartat-Amino-Transferase (AST oder ASAT) bezeichnet. GOT befindet sich in erster Linie in den Mitochondrien, ist aber auch in verschiedenen Organen wie dem Herz, der Leber, der Skelettmuskulatur, den Nieren und dem Gehirn vorzufinden. Bei diesem Enzym handelt es sich um ein Leberenzym, das eine wichtige Rolle für die Aufdeckung von Lebererkrankungen spielt. Gemeinsam mit dem Leberenzym Gamma-GT lassen sich über 95% aller Lebererkrankungen sehr zuverlässig aufdecken. Alle drei Enzyme sind zellgebundene Leberenzyme, die für gewöhnlich im Blutbild von gesunden Personen nicht bzw. nur in sehr geringen Mengen vorkommen. Sind geringe Mengen im Blutbild nachweisbar, so sind diese auf die kontinuierlichen natürlichen Erneuerungen von Leberzellen zurückzuführen. Lediglich bei beschädigten Leberzellen, können diese drei Enzyme vermehrt im Blut vorkommen. Der GOT-Wert ist ein guter Indikator bei besonders stark zerstörten Leberzellen. Für Frauen liegt der Normalbereich bei etwa <35 U/l (Units pro Liter) und bei den Männern hingegen bei <50 U/l. Ab einem Serumwert von >70 U/l, spricht man von einem klinisch relevanten Wert. Bei einer akuten Virushepatitis aber auch bei einer

auftretenden Lebernekrose können sogar Werte von mehr als 1.000 U/l festgestellt werden (Grass, 2019).

Glutamat-Pyruvat-Transaminase – GPT

Eine andere Bezeichnung für Glutamat-Pyruvat-Transaminase (GPT) ist das Synonym Alanin-Amino-Transferase (ALT, ALAT). Das Enzym GPT kommt vorwiegend im Plasma der Leberzellen vor und gelangt bei auftretenden Leberzellnekrosen in die Blutbahn.

Aus diesem Grund ist der GPT-Wert neben dem GOT-Wert einer der wichtigsten Indikatoren für Gallen- und Lebererkrankungen. Die Diagnostik, Differenzierung als auch die Verlaufsbeobachtung von Erkrankungen der Leber und der Gallenwege erfolgt immer in Kombination der Serumwerte GPT, Gamma-GT und GOT. Der Normalbereich von GPT ist ident mit den Normalwerten von GOT (Frauen: <35 U/l, Männern: <50 U/l). Auch der klinisch relevante Wert von GPT unterscheidet sich mit >70 U/l nicht von GOT (Grass, 2019).

Gamma-Glutamyl-Transferase – Gamma-GT

Bei der Gamma-Glutamyl-Transferase (Gamma-GT) handelt es sich um ein Leberenzym, das hauptsächlich an den Zellmembranen von Leberzellen haftet. Es ist sehr leicht freisetzbar, wodurch das Enzym Gamma-GT bereits bei geringfügigen Schädigungen der Leberzellen im Blutbild nachgewiesen werden kann. Folglich handelt es sich hiermit um den empfindlichsten Messwert als Indikator für Beeinträchtigungen der Leber und des Gallengangsystems, wodurch es nicht selten vorkommt, dass die Serumkonzentration von Gamma-GT als einziger Wert erhöht ist. Eine gesteigerte Gamma-GT-Produktion kann auf unterschiedliche Faktoren wie zum Beispiel Medikamenteneinnahme, Alkohol oder der Stau von Gallenflüssigkeit (Cholestase) zurückzuführen sein. Erniedrigte Werte, also auch Werte unterhalb des Normalwerts, geben keinerlei Hinweise auf eine mögliche krankhafte Veränderung der Leber oder des Gallensystems. Der Normalbereich für Gamma-GT liegt bei Frauen bei <40 U/l und bei Männern bei <60 U/l. Ab einem Serumwert von >90 U/l, ist von einem klinisch relevanten Wert die Rede (Grass, 2019).

Tab. 5: Laborparameter der Leberwerte

Größe	Abkürzung	Einheit	Normbereich	Klinisch relevant
Glutamat-Oxalacetat-Transaminase	GOT	U/l	♀ <35 ♂ <50	>70
Glutamat-Pyruvat-Transaminase	GPT	U/l	♀ <35 ♂ <50	>70
Gamma-Glutamyl-Transferase	Gamma-GT	U/l	♀ <40 ♂ <60	>90

Quelle: mod. n. Grass, U. (2019, S. 66, 67)

1.1.6 Muskelstressparameter

Lactat-Dehydrogenase – LDH

Bei der Lactat-Dehydrogenase (LDH) handelt es sich um ein im Körper weit verbreitetes Enzym, durch das gemeinsam mit dem Coenzym NADH die Umwandlung von Pyruvat in Laktat erfolgt (Grass, 2019). Die Konzentration von LDH ist speziell in der Leber, den roten Blutkörperchen, der Skelettmuskulatur sowie im Herzmuskel besonders hoch. Durch die starke Ausbreitung in den unterschiedlichen Systemen des menschlichen Körpers, führt jede Membran- oder Zellschädigung bereits zu einem Anstieg der LDH-Konzentration im Blut (Zylka-Menhorn, 2021). Der Normalbereich beinhaltet alle Werte unter 250 U/l. Klinisch auffällig sind Werte die über 400 U/l liegen (Grass, 2019). Eine Erhöhung der LDH-Konzentration kann ein wichtiger Indikator für unterschiedliche Erkrankungen sein. So kann ein erhöhter Wert z.B. ein Indiz für einen aufgetretenen Herzinfarkt, Herzmuskel-, Leber- oder Muskelerkrankungen sowie für eine Anämie, Tumore oder Leukämie sein. Unterteilt wird das Enzym in die fünf verschiedenen Varianten LDH 1 bis LDH 5. (Zylka-Menhorn, 2021). Bei der Blutentnahme ist zu beachten, dass die LDH-Konzentration oberhalb der Norm liegen kann, wenn direkt zuvor körperliche Belastung (Muskelaktivität) stattgefunden hat (Grass, 2019).

Creatin-Kinase – CK

Die Creatin-Kinase (CK) ist maßgeblich am Energiestoffwechsel beteiligt. Sie sorgt durch den Prozess der Umwandlung von Kreatin in Phosphokreatin dafür, dass die nötige Energie für Muskelkontraktionen bereitgestellt wird. Die Kreatinphosphokinase (CPK), oder auch Kreatinkinase genannt, lässt sich je nach Isoenzym und dessen Lokalisation in Untereinheiten einteilen. In der Skelettmuskulatur lässt sich am häufigsten die Untereinheit CK-MM auffinden, im Herzmuskel hingegen lässt sich die Untereinheit CK-MB lokalisieren.

Die dritte und letzte Untereinheit bildet das im Gehirn auffindbare Isoenzym CK-BB. Kommt es in diesen Geweben zu Schädigungen, wird CK in die Blutbahn abgegeben. Die Bestimmung des CK-Werts kann aufgrund unterschiedlicher Indikatoren erfolgen, wie z. B. für die Diagnose von Myokarderkrankungen, zur Verlaufskontrolle von Muskelschädigungen, bei Abbau von Skelettmuskelzellen (Muskeldystrophie) oder epileptischen Anfällen. Der Normalwert für CK ist bei Frauen im Bereich von <170 U/l und bei Männern <190 U/l. Klinisch relevant sind Werte ab >250 U/l (Grass, 2019).

Myoglobin – MYO

Das Protein Myoglobin (MYO) ist für den Transport sowie für die Speicherung von Sauerstoff innerhalb des Muskelgewebes verantwortlich. Hierfür wird der Sauerstoff aus dem Hämoglobin aufgenommen und anschließend wieder an die Muskelzellen abgegeben. Die Myoglobin-Konzentration im Blut steigt, wenn Muskelgewebeschädigung vorliegt, z.B. aufgrund eines Herzinfarkts oder bei Verletzungen der Skelettmuskulatur. Da der Myoglobinwert schneller als andere Marker auf Muskelschäden reagiert, eignet er sich besonders gut als Früherkennungsmarker bei Verdacht auf einen Herzinfarkt oder anderen muskelbezogenen Erkrankungen. Interpretation von Myoglobinwerten sollte allerdings immer in Kombination mit anderen klinischen Daten und Tests durchgeführt werden, da die Myoglobinkonzentration im Blut auch nach intensiven körperlichen Betätigungen ansteigen kann. Der Normbereich für Myoglobin im Serum liegt bei Frauen bis zu 35 µg/l (Mikrogramm pro Liter) und bei Männern beträgt der Wert bis zu 55 µg/l (Zylka-Menhorn, 2021).

Tab. 6: Laborparameter der Muskelstressparameter

Größe	Abkürzung	Einheit	Normbereich	Klinisch relevant
Lactat-Dehydrogenase	LDH	U/l	<250	>400
Kreatin(phospho)kinase	CK	U/l	♀ <170 ♂ <190	>250
Myoglobin	MYO	µg/l	♀ <35 ♂ <55	/

Quelle: mod. n. Grass, U. (2019, S.152), mod. n. Zylka-Menhorn. (2021)

1.1.7 Blutfette

Cholesterin – CHOL

Bei Cholesterin (CHOL) handelt es sich um eine fettähnliche Substanz, die sich in beinahe allen Zellen des menschlichen Körpers wiederfindet. Es wird zu den sogenannten Serumfetten gezählt und erfüllt eine Vielzahl an Funktionen. Unter anderem ist Cholesterin gemeinsam mit Phospholipiden am Aufbau von Zellmembranen beteiligt, weshalb sich Cholesterin auch in den Myelinscheiden der Nervenfasern nachweisen lässt. Außerdem handelt es sich bei Cholesterin um einen wichtigen Ausgangsstoff für Vitamin D, die Gallensäure, als auch für die Steroidhormone der Nebennierenrinde und der Keimdrüsen (Grass, 2019).

Lipide (Blutfette) sind nicht wasserlöslich, weshalb sie sich an Trägerproteine binden und so zu Lipoproteinen werden. Anhand dieser Lipoproteine gelangt der Großteil des Cholesterins zur Leber, wo es teilweise in Gallensäure abgeändert wird. Der restliche Anteil des Cholesterins dient als eine Art Emulgator und wird im Darm über die Galle wieder ausgeschieden. Cholesterin wird überwiegend über die Nahrung aufgenommen, wie z.B. durch den Verzehr von tierischen Fetten oder Eidotter. Der Körper ist jedoch auch im Stande es selbst zu produzieren (Grass, 2019).

Bei den Transportproteinen des Cholesterins werden je nach Dichte, ihrem Verhalten, als auch aufgrund ihrer unterschiedlichen Funktionen in insgesamt drei Kategorien eingeteilt. Die zwei bekanntesten sind das HDL- (High Density Lipoprotein) und das LDL- (Low Density Lipoprotein) Cholesterin. Bei der dritten Kategorie handelt es sich um das VLDL- Cholesterin (Very Low Density Lipoprotein), welches eine sehr niedrige Dichte an Lipoprotein aufweist. Den überwiegend größten Anteil des Cholesterintransports deckt die LDL-Kategorie ab. Im Volksmund ist oft die Rede vom „guten“ bzw. „schlechten“ Cholesterin, aber was ist damit eigentlich gemeint? Die Beurteilung verschiedener Cholesterinwerte hängt davon ab, wie das Cholesterin in seinen verschiedenen Proteinfractionen durch den Körper transportiert wird. Zuerst wird das Cholesterin aus dem Darm aufgenommen und zur Leber weitertransportiert, wo es zunächst in VLDL- und später in LDL-Cholesterin umgewandelt wird. Das LDL-Cholesterin setzt sich an den Gefäßwänden ab und kann eine Arteriosklerose und im Zuge dessen einen Herzinfarkt nach sich ziehen. Bereits mäßig erhöhte LDL-Werte lassen das Risiko einen Herzinfarkt zu erleiden enorm ansteigen. Aufgrund dieser Tatsache wird das LDL-Cholesterin oft als „schlechtes“ Cholesterin betitelt. Das in den Zellen und Gefäßwänden abgesetzte LDL-Cholesterin kann sich allerdings auch an HDL binden und so in die Leber weitertransportiert werden, wo es anschließend metabolisiert wird. Dieser Vorgang wird auch als reverser Cholesteroltransport bezeichnet. Demzufolge besitzt das HDL-Cholesterin eine Art

Schutzfunktion für Gefäße und wird daher im Volksmund oft als „gutes“ Cholesterin bezeichnet. Zusammenfassend lässt sich bezüglich der Arteriosklerose sagen, dass das Risiko steigt, je höher die Werte des Gesamt-Cholesterins und LDL-Cholesterins sind, während es mit niedrigen HDL-Cholesterinwerten korreliert. Es ist jedoch anzumerken, dass ein zu hoher LDL-Wert nicht durch einen erniedrigten HDL-Wert kompensiert werden kann! Der Normalwert des Gesamtcholesterins liegt bei Werten <200 mg/dl und ab >230 mg/dl handelt es sich um einen klinisch relevanten Wert (Grass, 2019). Die beiden Fraktionen HDL- als auch LDL-Cholesterin werden in den nachstehenden Unterpunkten näher erläutert

High Density Lipoprotein Cholesterin – HDL-C

Das HDL-Cholesterin ist ein Lipoprotein mit einer hohen Dichte, sie beträgt zwischen 1,063-1,210 g/ml. Die Zusammensetzung besteht zu 50% aus Protein und zu 50% aus Lipiden. Das HDL-Cholesterin macht etwa 25% des Gesamt-Cholesterins im Körper aus. Der Normalwert von HDL-Cholesterin beinhaltet Werte >40 mg/dl (Grass, 2019).

Low Density Lipoprotein Cholesterin – LDL-C

Es handelt sich um ein Lipoprotein, welches zu 25 % aus Protein und zu 75 % aus Lipiden besteht. Low density lipoproteine (LDL-C) besitzen mit 1,019 bis 1,063 g/ml eine geringe Dichte und sind aus medizinischer Sicht mitverantwortlich für irreversible arteriosklerotischen Wandveränderungen. Der Normalwert von LDL-Cholesterin beinhaltet Werte <190 mg/dl (Grass, 2019).

Triglyceride – TGL

Bei Triglyceriden handelt es sich um aus Fettsäuren und Glycerin bestehende Nahrungsfette, die einen tierischen oder pflanzlichen Ursprung haben. Sie nehmen mit über 90% den größten Anteil der gesamten Körperfette ein und sind durch ihre Energiespeicherfunktion im Fettgewebe die wichtigsten Energieträger die aus der Nahrung gewonnen werden können. Nach der Nahrungsaufnahme werden die Triglyceride aus dem Dünndarm aufgenommen und mittels Lipoproteinpartikel (Chylomikronen) weitertransportiert. Nachdem sie in der Leber angekommen sind, werden die Triglyceride an Lipoproteine gebunden und als VLDL-Cholesterin über die Blutbahn weiterbefördert. Fettsäuren werden in gesättigte, ungesättigte und mehrfach ungesättigte Fettsäuren eingeteilt. Bei Triglyceriden mit gesättigten Fettsäuren besteht aufgrund des atherogenen Potenzials ein besonders großes Risiko für Arteriosklerose. Sind die Triglyceridwerte erhöht, so spricht man von einer sogenannten Hypertriglyceridämie. Die Auslöser für eine bestehende Hypertriglyceridämie können unter anderem Diabetes mellitus, das metabolische Syndrom, Alkoholismus aber auch die Einnahme von Medikamenten wie z.B.

Diuretika oder Corticoide sein. Vor einer Blutentnahme ist es wichtig zu berücksichtigen, dass die Konzentration der Triglyceride stark nahrungsabhängig ist und diese daher noch empfindlicher als Cholesterinwerte sind. Allein geringe Fettmengen am Abend vor einer Blutabnahme können bereits zu erheblichen Veränderungen der Blutwerte führen. Aufgrund dieser Tatsachen ist es empfehlenswert, die Triglyceridwerte ausschließlich nüchtern, das heißt nach einer Nahrungskarenz von mindestens 12 Stunden, zu messen. Sowohl bei Frauen als auch bei Männern ist die Norm für Triglyceride unter 150 mg/dl. Ein klinisch relevanter Wert liegt bei einem Serumwert von über 230 mg/dl vor (Grass, 2019).

Tab. 7: Laborparameter der Blutfette

Größe	Abkürzung	Einheit	Normbereich	Klinisch relevant
Cholesterin / Gesamtcholesterin	<i>CHOL</i>	mg/dl	<200	>230
High Density Lipoprotein Cholesterin	HDL	mg/dl	>40	/
Low Density Lipoprotein Cholesterin	LDL	mg/dl	<190	/
Triglyceride	TGL	mg/dl	<150	>230

Quelle: mod. n. Grass, U. (2019, S.153)

1.2 Ernährung

1.2.1 Kohlenhydrate

Der physiologische Bedarf an Kohlenhydraten variiert je nach den individuellen Lebensumständen einer Person. Für eine ausgewogene Ernährung werden 5-6 Gramm Kohlenhydrate pro Kilogramm Körpergewicht und Tag empfohlen. Idealerweise sollten Kohlenhydrate etwa 50-60% der gesamten Energiezufuhr ausmachen. Der Großteil der in der menschlichen Ernährung vorkommenden Kohlenhydrate stammt aus pflanzlicher Stärke. Während der Verdauung wird diese in Glucose (einfacher Zucker, besteht aus einem einzelnen Zuckermonomer und gehört zu den Monosacchariden) umgewandelt und als solche aufgenommen (Vaupel et al., 2015).

Zu den Hauptquellen für Stärke gehören Lebensmittel wie Getreide, Kartoffeln und Reis. Stärke, die insbesondere in Vollkornprodukten vorkommt, erweist sich in der Ernährung als äußerst vorteilhaft, da ihre enzymatische Aufspaltung und die Aufnahme der resultierenden Glucose im Darm verlangsamt erfolgt. Stärke führt zu einem moderateren Anstieg des Blutzuckers und einer geringeren Insulinausschüttung im Vergleich zu Disacchariden oder Glucose (Kohlenhydrate aus zwei verbundenen Zuckermonomeren wie Glucose, Fructose oder Galactose). Folglich hat Stärke einen niedrigen glykämischen Index, der den Anstieg von Blutzucker und Insulin nach der Aufnahme von Kohlenhydraten misst. Dies trägt zu einem langanhaltenden Sättigungsgefühl bei (Vaupel et al., 2015).

Eine unzureichende Aufnahme von Kohlenhydraten sowie eine unzureichende Verwertung von Glucose, wie sie bei Diabetes mellitus auftreten kann, erfordern einen verstärkten Fettabbau zur Energiegewinnung. Dieser Prozess führt zur Bildung von Ketonkörpern, welche wiederum eine Ketoazidose verursachen können. Gleichzeitig wird in der Leber die Gluconeogenese, ein Prozess, bei dem Glucose aus Aminosäuren neu gebildet wird, gesteigert. Dies hat zur Folge, dass vermehrt Proteine abgebaut werden und sich dadurch negativ auf das Körpergewicht und die Leistungsfähigkeit auswirken. Aus diesem Grund ist von einer kohlenhydratfreien Diät abzuraten. Es ist jedoch wichtig zu beachten, dass übermäßiger Konsum von Kohlenhydraten, insbesondere Mengen über 500 Gramm pro Tag, zu Gewichtszunahmen führen kann. Dies ist darauf zurückzuführen, dass überschüssige Kohlenhydrate in Fett umgewandelt werden (Vaupel et al., 2015).

Obwohl Kohlenhydrate und vor allem Zucker in der breiten Öffentlichkeit in der letzten Zeit ihren Ruf beeinträchtigt haben, bleibt eine ausreichende Kohlenhydratzufuhr im Leistungssport, insbesondere bei Ausdauerbelastungen, unverzichtbar. Bessere Muskel- und Leberglykogenspeicher vor Trainingseinheiten und Wettkämpfen durch die Aufnahme von komplexen, langsam verdaulichen Kohlenhydraten, wie stärkehaltige Lebensmittel mit

einem niedrigen glykämischen Index, ermöglichen eine längere Aufrechterhaltung hoher Leistungsfähigkeit und verzögern das Auftreten von Unterzuckerung (Ferrauti et al., 2020).

1.2.2 Glykämischer Index

Der glykämische Index (GI) ist eine Kennzahl, die die Auswirkungen eines kohlenhydrathaltigen Lebensmittels auf den Anstieg des Blutzuckerspiegels nach dem Verzehr quantifiziert. Als Referenzwert für den GI dient der Blutzuckeranstieg nach dem Verzehr von 50 Gramm Glucose oder Traubenzucker, der auf einen Wert von 100 festgelegt ist. Die Freisetzung des Hormons Insulin wird durch den Blutzuckerspiegel gesteuert, der wiederum von der Glucosekonzentration im Blut abhängt. Der GI-Wert von Glucose, der bei 100 liegt, repräsentiert den höchstmöglichen Wert. Alle anderen Lebensmittel werden relativ zu diesem Wert bewertet und in niedrige (<55), mittlere (55-70) und hohe (70-100) GI-Bereiche eingeteilt. Die Wirkung von Lebensmitteln auf den Blutzuckerspiegel kann durch Zubereitungsmethoden und andere Faktoren wie das Vorhandensein von Fetten und Proteinen in einer Mahlzeit beeinflusst werden (AOK, n.d.).

1.2.3 Die Glyx-Diät

Die sogenannte Glyx-Diät basiert auf der Unterscheidung zwischen „guten“ und „schlechten“ Kohlenhydraten und hat in der Regel das Hauptziel der Gewichtsreduktion. Zur Gestaltung des Speiseplans dienen Glyx-Tabellen als hilfreiche Ressource. Diese Tabellen listen die glykämischen Indexwerte (GI) der Lebensmittel auf und verwenden übersichtliche Ampelfarben zur Kategorisierung (grün= niedriger GI, gelb= mittlerer GI, rot= hoher GI). Bei dieser Ernährungsweise liegt der Schwerpunkt auf dem dauerhaften Verzehr von Lebensmitteln mit niedrigem GI, wobei der regelmäßige Konsum von Fleisch, Fisch und qualitativ hochwertigen Fetten empfohlen wird. Zusätzlich zur Kategorisierung der Kohlenhydrate werden auch die Fette in einem Ampelsystem eingeordnet. Zuckerhaltige Lebensmittel werden weitgehend vermieden, und eine proteinreiche Ernährung am Abend wird empfohlen, um die nächtliche Fettverbrennung zu fördern. Der Konsum von zuckerhaltigen Getränken und Bier sollte ebenfalls vermieden werden. Die Glyx-Diät sieht in der Regel drei Mahlzeiten pro Tag vor (AOK, n.d.).

1.2.4 Vorteile der Glyx-Diät

Vorteile der Glyx-Diät für die allgemeine Bevölkerung

Die Glyx-Diät, die bewusst auf die Auswahl von Lebensmitteln mit einem niedrigen glykämischen Index abzielt, hat sich in zahlreichen Studien als vorteilhaft für die Gesundheit

erwiesen. Einer der am besten dokumentierten Vorteile einer vorwiegend niedrig glykämischen Ernährung, auch bekannt als die LOW-GI-Diät, liegt in der verbesserten Kontrolle des Blutzuckerspiegels. Studien haben gezeigt, dass der Verzehr von Lebensmitteln mit niedrigem GI zu einem langsameren Anstieg des Blutzuckers führt und dazu beiträgt, Blutzuckerspitzen zu vermeiden. Diese Erkenntnis ist insbesondere für Menschen mit Diabetes oder Prädiabetes von großer Bedeutung (Chiavaroli et al., 2021; Zafar et al., 2019).

Darüber hinaus belegen zahlreiche Studien eindeutig, dass eine Ernährung mit niedrigem GI im Vergleich zu einer mit hohem GI als wirksamer in der Behandlung verschiedener Stoffwechselerkrankungen agiert, darunter Adipositas, Diabetes und das metabolische Syndrom (Ni et al., 2022).

Weitere Untersuchungen haben gezeigt, dass die Einhaltung einer Ernährung mit Lebensmitteln niedrigen glykämischen Index dazu beiträgt, den Blutdruck zu regulieren und die Blutfettwerte zu verbessern. Dies wiederum reduziert das Risiko von Herz-Kreislauf-Erkrankungen. Untersuchungen haben ergeben, dass Menschen, die eine LOW-GI-Diät befolgen, ein geringeres Risiko für Herzkrankheiten aufweisen (Ni et al., 2022; Sievenpiper, 2020).

Die oben genannten Vorteile der Glyx-Diät bzw. einer niedrig glykämischen Ernährung sind nur einige Beispiele für die positiven Auswirkungen dieser Ernährungsweise auf die Gesundheit. In Kapitel 2.3 werden wir genauer auf die Auswirkungen einer LOW-GI-Diät bei Ausdauersportlern eingehen, um die potenziellen Vorteile aber auch Risiken sowie deren Bedeutung zu beleuchten.

1.2.5 Kritik der Glyx-Diät und des glykämischen Index

Obwohl die Glyx-Diät und der glykämische Index einige potenzielle Vorteile mit sich bringen, gibt es auch einige Nachteile und Einschränkungen, die berücksichtigt werden sollten. Ursprünglich wurde der glykämische Index zu Forschungszwecken als Laborparameter entwickelt, weshalb er sich für die alltägliche Ernährung als weniger praktikabel erweisen kann. Wie bereits in Abschnitt 1.2.2 „glykämischer Index“ erläutert, gibt der glykämische Index Aufschluss über die Reaktion des Blutzuckerspiegels nach dem Verzehr kohlenhydrathaltiger Lebensmittel. Genauer gesagt bewertet er die Auswirkungen der Aufnahme von 50g Kohlenhydraten aus einem bestimmten Lebensmittel und nicht den Verzehr von 50g des Lebensmittels selbst (Deutsche Gesellschaft für Ernährung e.V., n.d.; AOK, n.d.).

Die Herausforderung bei der Anwendung des glykämischen Index in der täglichen Ernährung besteht darin, dass er nicht die tatsächliche Menge an Kohlenhydraten berücksichtigt, die in einer Portion eines Lebensmittels enthalten ist. Daher kann ein Lebensmittel mit hohem GI den Blutzuckerspiegel nur leicht beeinflussen, wenn es in kleinen Mengen verzehrt wird. Der GI eines Lebensmittels kann von verschiedenen Faktoren beeinflusst werden, einschließlich Zubereitungsmethoden, Reifegrad und die Kombination mit anderen Lebensmitteln. Eine Weiterentwicklung des glykämischen Index ist die sogenannte glykämische Last (GL), die den GI in Verbindung mit dem Kohlenhydratgehalt der Lebensmittel berücksichtigt (Deutsche Gesellschaft für Ernährung e.V., n.d.; AOK, n.d.).

Die Präferenz für Lebensmittel mit einer niedrigen glykämischen Last kann dazu beitragen, den Blutzucker- und Insulinspiegel auf einem moderateren und stabileren Niveau zu halten. Dadurch kann die Einlagerung von Fett, die durch Insulin verursacht wird, verringert werden. Ein häufig geäußelter Kritikpunkt ist jedoch, dass für die Gewichtszunahme oder -abnahme letztendlich nicht der Insulinspiegel, sondern die Energiebilanz entscheidend ist. Daher könnte der glykämische Index in Bezug auf die Bekämpfung von Übergewicht weniger relevant sein (Deutsche Gesellschaft für Ernährung e.V., n.d.; AOK, n.d.).

1.3 Training

1.3.1 Ausdauertraining

Für den Leistungs- als auch den Gesundheitssport ist die Ausdauer und das damit verbundene Ausdauertraining von großer Bedeutung, da sie viele physiologische Faktoren beeinflusst und zu den wichtigsten konditionellen Fähigkeiten gehört. Die Ausdauer setzt sich aus zwei wichtigen Komponenten zusammen: der Ermüdungswiderstandsfähigkeit und der Regenerationsfähigkeit. Konkret bedeutet dies, dass eine Beanspruchung sowohl körperlich als auch geistig über einen längeren Zeitraum aufrechterhalten werden kann und der Körper sich nach Beendigung der Aktivität möglichst rasch erholen kann (Ferrauti et al., 2020).

Regelmäßiges Ausdauertraining ruft unterschiedliche Anpassungsvorgänge auf verschiedenen körperlichen Funktionsebenen hervor. Dies kann mitochondriale, zirkulatorische und hämatologische Anpassungen im Energie- und Fettstoffwechsel sowie im kardiopulmonalen System beeinflussen. Entscheidend für die Ausdauer ist sowohl die Leistungsfähigkeit des kardiopulmonalen Systems, als auch die peripheren metabolischen Voraussetzungen in der Skelettmuskulatur, einschließlich des Mitochondrienvolumens. Die Kombination dieser beiden Komponenten kann in verschiedenen Sportarten eine leistungslimitierende Rolle spielen (Ferrauti et al., 2020). Im folgenden Absatz werden die unterschiedlichen Kategorisierungsformen der Ausdauer näher erläutert.

1.3.2 Energieverbrauch und Stoffwechselprozesse im Ausdauersport

Die Nutzung von Muskel- und Leberglykogen, Blutglucose und Fetten als Energiequellen für lange zyklische Ausdauerbelastungen variieren je nach Trainingsniveau, sowie der Dauer und Intensität der Beanspruchung. Während einer Ausdauerbelastung wird die benötigte Energie hauptsächlich durch die beiden primären Energiequellen, nämlich Kohlenhydrate und Fette, bereitgestellt. Geringe Mengen stammen zusätzlich aus dem Proteinmetabolismus. Das Mischverhältnis dieser beiden Energiequellen ist stets von der körperlichen Belastung abhängig. Der Gesamtenergieverbrauch hängt hauptsächlich von der Intensität und Dauer der Belastung sowie vom Körpergewicht ab. Ebenso wirken sich sowohl der Umfang der beanspruchten Muskulatur (bei Ganzkörper-Ausdauerbelastungen besteht ein erhöhter Energiebedarf) als auch das Geschlecht (Männer haben aufgrund der üblicherweise höheren Muskelmasse einen gesteigerten Energieverbrauch) erheblich auf den Gesamtenergieverbrauch aus. Verglichen mit Dauerbelastungen zeigen Intervallbelastungen spezifische Auswirkungen auf den Energieverbrauch und die Nutzung von Energiesubstraten, während auch der mentale Stress bei Wettkampfbelastungen einen bedeutsamen Einfluss hat (Ferrauti et al., 2020).

2 Aktueller Forschungsstand

Dieser Abschnitt widmet sich einer umfassenden Analyse des aktuellen Forschungsstandes in den Themenfeldern „Auswirkungen von Ausdauertraining auf das Blutbild“ (Unterkapitel 2.1), „Einfluss der LOW-GI-Diät auf das Blutbild“ (Unterkapitel 2.2) und „Kombination von LOW-GI-Diät und Ausdauertraining auf das Blutbild“ (Unterkapitel 2.3). Durch die eingehende Betrachtung dieser relevanten Themenbereiche wird ein umfassender Überblick für diese Masterarbeit sichergestellt. Die Analyse der Forschungsergebnisse ermöglicht es, zu verdeutlichen, wie Ausdauertraining, die Anwendung einer LOW-GI-Diät und ihre Kombination in bisherigen Studien verschiedene Parameter des Blutbildes beeinflusst haben.

2.1 Auswirkungen von Ausdauertraining auf das Blutbild

Die positiven Effekte von körperlicher Aktivität auf die Gesundheit des Menschen sind seit langem gut dokumentiert. Ausdauertraining hat unmittelbare Effekte, die bei regelmäßiger Ausübung zu langfristigen Anpassungen führen. Die spezifische Wirkung des aeroben Trainings liegt in einem dauerhaften erhöhten Sauerstoffbedarf und einem hohen kalorischen Verbrauch bei der Nährstoffoxidation. Im Muskelgewebe führt das Training zu Kapillarisation, erhöhtem Mitochondrienvolumen und gesteigertem Myoglobingehalt. Zudem aktiviert es aerobe und anaerobe Enzyme (Ferrauti et al., 2020).

Die allgemeinen Anpassungseffekte zeigen sich auf verschiedenen Ebenen, darunter kardiovaskulär (Ökonomisierung und Variabilität der Herztätigkeit und Blutdrucksenkung), metabolisch (Lipoproteinprofiloptimierung und erhöhte Insulinsensitivität), immunologisch (geringere Infektanfälligkeit) und auf anderen Ebenen. Diese Anpassungen sind sowohl für Leistungssportler als auch in präventivmedizinischer Hinsicht von Bedeutung, da sie zur Prävention von Zivilisationskrankheiten wie koronarer Herzkrankheit und metabolischem Syndrom beitragen und die Krebsinzidenz reduzieren können (Ferrauti et al., 2020).

Um den aktuellen Forschungsstand in Bezug auf die Auswirkungen von Ausdauertraining auf das Blutbild näher zu beleuchten, werden wir nun die wichtigsten Erkenntnisse und Entwicklungen in diesem Bereich genauer betrachten.

Das rote und weiße Blutbild

In einer 12-wöchigen Untersuchung von Kostrzewa-Nowak et al. (2015) nahmen insgesamt 34 weibliche Probanden/Probandinnen teil. Die Teilnehmer/Teilnehmerinnen wurden anhand ihres Körpergewichts in drei verschiedene Gruppen eingeteilt: Untergewicht, Normalgewicht oder Übergewicht. Im Rahmen der Studie nahmen alle drei Gruppen dreimal

wöchentlich an einer 30-minütigen Aerobic-Trainingseinheit teil, bei der sie mit 50% ihrer maximalen Herzfrequenz trainierten. Nach Abschluss der Intervention zeigten sich in keiner der drei Interventionsgruppen signifikante Veränderungen hinsichtlich der Parameter Hämoglobin, Hämatokrit, Erythrozyten, MCH, MCHC oder MCV. Zu teilweise abweichenden Ergebnissen gelangte Kostrzewa-Nowak et al. (2020). In dieser nahmen sechs ehemalige männliche Fußballspieler, die in den letzten zwei Jahren inaktiv waren, an einem viermonatigen Trainingsprogramm teil. Das Trainingsprogramm bestand aus Zirkeltraining, fußballspezifischen Übungen entlang einer 50 m Strecke, sowie aus unterschiedlichen Lafeinheiten. Die Studie zeigte, dass das absolvierte Programm zu signifikanten Verringerungen der Parameter MCH und MCHC im roten Blutbild führte. Die restlichen Parameter des roten Blutbildes zeigten keine signifikanten Veränderungen als Reaktion auf das Trainingsprogramm. Auch das weiße Blutbild ergab keine signifikanten Veränderungen hinsichtlich der Anzahl der weißen Blutkörperchen, Lymphozyten, Monozyten sowie Granulozyten (Kostrzewa-Nowak et al., 2020).

In der Crossover-Studie von Jamurtas et al. (2018) nahmen zwölf männliche Probanden im Alter von $22,4 \pm 0,5$ Jahren teil. Das Studiendesign basierte auf den Ergebnissen eines Maximaltests, welcher vor Beginn der Intervention durchgeführt wurde, um die Belastungsintensität für das kontinuierliche aerobe Training (CET) und das hochintensive Intervalltraining (HIIT) zu bestimmen. Mittels Zufallsprinzips wurden die Teilnehmer entweder in die CET- oder in die HIIT-Gruppe eingeteilt. In keiner der beiden Interventionsgruppen zeigten sich signifikante Veränderungen in der Erythrozytenzahl, dem Hämoglobin- und dem Hämatokrit-Wert. Das HIIT-Trainingsprogramm führte zu einem signifikanten Anstieg der Werte MCV und MCHC, daher konträr zu den Studienergebnissen von Kostrzewa-Nowak et al. (2020). Die Thrombozyten nahmen hingegen in der CET-Gruppe zu. Die Leukozyten stiegen nach beiden Trainingsprotokollen signifikant an, wobei der Anstieg bei HIIT größer war. Lymphozyten (%) und Granulozyten (%) zeigten nach HIIT signifikante Veränderungen, während Monozyten unverändert blieben (Jamurtas et al., 2018).

Für die Untersuchung von Johannsen et al. (2012) wurden 390 postmenopausale Frauen mit Übergewicht oder Adipositas eingeschlossen. Über einen Zeitraum von sechs Monaten absolvierten die Teilnehmer/Teilnehmerinnen drei bis vier Mal pro Woche ein Training auf dem Ergometer oder Laufband. Die Frauen wurden in vier Gruppen mit unterschiedlichem wöchentlichem Kalorienverbrauch eingeteilt. Drei von den vier Gruppen waren Interventionsgruppen, die vierte Gruppe diente als Kontrollgruppe und musste keine Trainingsintervention absolvieren. Die „4-KKW-Gruppe“ sollte 4 kcal, die „8-KKW-Gruppe“ 8 kcal und die „12-KKW-Gruppe“ 12 kcal pro Kilogramm Körpergewicht pro Woche

verbrauchen. Nach sechs Monaten zeigten die Ergebnisse eine deutliche Abnahme der Leukozytenzahl in der 12-KKW-Gruppe. Auch bei den Werten der neutrophilen Granulozyten konnten in der 8-KKW- und 12-KKW-Gruppe signifikante Abnahmen nachgewiesen werden. Die anderen Parameter des weißen Blutbildes blieben hingegen unverändert. Die Forschungsergebnisse der Studie von Johannsen et al. (2012) stehen im klaren Gegensatz zu den Studienergebnissen von Jamurtas et al. (2018).

In der 8-wöchigen Studie von Montero et al. (2017) absolvierten neun untrainierte junge Teilnehmer/Teilnehmerinnen, bestehend aus Männern und Frauen, insgesamt 25 Trainingseinheiten auf einem Ergometer. Jede Einheit dauerte 60 Minuten. Nach den acht Wochen wurden erneut Untersuchungen durchgeführt, um die Auswirkungen des Trainings auf die Blutparameter zu analysieren. Die Ergebnisse zeigten eine Abnahme der roten Blutkörperchen, der Hämoglobinkonzentration sowie des Hämatokritwerts. Ähnlich wie in der Studie von Kostrzewa-Nowak et al. (2015) wurden auch in der Studie von Montero et al. (2017) keine signifikanten Veränderungen bei den Werten MCV, MCH und MCHC beobachtet.

Blutzucker

Jamka et al. (2021) verglichen Ausdauertraining und die Kombination aus Ausdauer und Krafttraining bei abdominell fettleibigen Frauen. Von insgesamt 101 Probanden/Probandinnen wurden 52 der reinen Ausdauertrainingsgruppe und 49 der Ausdauer-Kraft-Trainingsgruppe zugeteilt. Beide Gruppen absolvierten über einen Zeitraum von 12 Wochen dreimal pro Woche ein einstündiges Training. Vor Beginn der Intervention, sowie nach Abschluss des 12-wöchigen Trainingsprogramms, wurde bei allen Probanden/Probandinnen die Körperzusammensetzung, der Blutdruck, sowie Marker für Glucose, Lipide und der Myoglobinspiegel gemessen. Beide Programme wirkten sich positiv auf die Körperzusammensetzung aus. Sie zeigten jedoch keine Verbesserungen im Glucose- und Lipidstoffwechsel, sowie bei den Werten für Nüchternnglucose, Insulin, HbA1c, insulinähnlicher Wachstumsfaktor (IGF-1), homöostatisches Modell der Insulinresistenz (HOMA) und des quantitativen Insulinsensitivitätsprüfungsindex (QUICKI) (Jamka et al., 2021).

In einer Metaanalyse verglichen Jamka et al. (2022) insgesamt 46 Studien. In den eingeschlossenen Studien wurden die Effekte von Ausdauer und kombiniertem Training bestehend aus Ausdauer- und Krafttraining bei übergewichtigen Erwachsenen untersucht. Im Gegensatz zur vorherigen Studie zeigte sich hier, dass reines Ausdauertraining den HbA1c-Wert und das LDL-Cholesterin stärker senkt als Krafttraining. Kombiniertes Training zeigte größere Auswirkungen auf Glucose, HbA1c, HOMA, Gesamtcholesterin, LDL-

Cholesterin, HDL-Cholesterin und Triglyceride im Vergleich zum reinen Krafttraining. Insgesamt zeigten Ausdauer- und Ausdauer-Kraft-Training bei übergewichtigen Erwachsenen bessere Ergebnisse für Glucose, Insulin und das Lipidprofil im Vergleich zu reinem Krafttraining (Jamka et al., 2022).

Einige Studien, die den Blutzucker betrachten, beziehen sich häufig auf eine Kombination aus Ernährungsinterventionen und Trainingsprogrammen. Dabei liegt der Fokus oft auf der Synergie zwischen Bewegung und Ernährung zur Regulation des Blutzuckerspiegels, wodurch die Anzahl der ausschließlich auf Ausdauertraining fokussierten Untersuchungen begrenzt ist.

Blutfette

Veränderungen im Cholesterinspiegel sind eine weitere bemerkenswerte Auswirkung des Ausdauertrainings. In der Studie von O'Donovan et al. (2005) absolvierten 64 untrainierte Männer ein 24-wöchiges Ausdauertraining auf dem Ergometer. Es erfolgte eine Einteilung der Teilnehmer in drei Gruppen, wobei es zwei Interventionsgruppen und eine Kontrollgruppe gab. Interventionsgruppe 1 trainierte mit 60% ihrer maximalen Sauerstoffaufnahme, während Interventionsgruppe 2 mit 80% ihrer maximalen Sauerstoffaufnahme trainierte. Die Gruppe 3 diente als Kontrollgruppe. Die Aufgabe der Interventionsgruppen bestand darin, jeweils pro Einheit so lange zu trainieren, bis 400 kcal verbraucht wurden. Nach dem 24-wöchigen Interventionszeitraum zeigten die Ergebnisse, dass das Gesamtcholesterin und das LDL-Cholesterin in der Interventionsgruppe 2, die mit einer höheren Trainingsintensität trainierte, signifikant abnahmen. In Gruppe 1, in der mit moderater Intensität trainiert wurde, konnten keine signifikanten Veränderungen festgestellt werden. In der bereits erwähnten Studie von Kostrzewa-Nowak et al. (2015) wurde zudem das Lipidprofil der weiblichen Probanden/Probandinnen analysiert. Hierbei konnten ähnliche Ergebnisse wie in der Studie von O'Donovan et al. (2005) nachgewiesen werden. Die Resultate zeigten positive Effekte der Intervention auf die Cholesterinwerte. Nur in der Gruppe der übergewichtigen Frauen gab es signifikante Reduktionen des Gesamtcholesterins, des LDL-Cholesterins und der Triglyzeride, während das HDL-Cholesterin unverändert blieb. In den anderen beiden Interventionsgruppen (Untergewicht und Normalgewicht) konnten hingegen keine signifikanten Effekte nachgewiesen werden. Auch in der Studie von Kostrzewa-Nowak et al. (2020), an der ehemalige Fußballspieler teilnahmen, wurden die Auswirkungen auf das Lipidprofil untersucht. Dabei konnten jedoch keine signifikanten Veränderungen nachgewiesen werden.

In der sorgfältigen Analyse von Lin et al. (2015), wurden insgesamt 160 randomisierte kontrollierte Studien eingeschlossen, um die Auswirkungen von körperlichem Training auf

die kardiorespiratorische Fitness und die Marker der kardiometabolischen Gesundheit zu untersuchen. Die Ergebnisse deuteten darauf hin, dass regelmäßiges körperliches Training mit einer Senkung der Triglyzeride und einem Anstieg des HDL-Cholesterins einhergeht. Insbesondere bei Personen mit Erkrankungen wie Typ-2-Diabetes, Bluthochdruck, Hyperlipidämie oder dem metabolischen Syndrom, wurden deutliche Verbesserungen beim Gesamtcholesterin und LDL-Cholesterin festgestellt. Allerdings ergaben die Gesamtergebnisse des Reviews keine signifikanten Veränderungen im Gesamtcholesterin und LDL-Cholesterin, wenn die Teilnehmer/Teilnehmerinnen aller Studien berücksichtigt wurden (Lin et al., 2015). Die Studienergebnisse von Lin et al. (2015) sind ähnlich zu denen von Kostrazewa-Nowak et al. (2015) und O'Donovan et al. (2005).

In der Studie von Lippi et al. (2006) wurden ausschließlich Männer eingeschlossen. Die Kontrollgruppe bestand aus 60 inaktiven Männern, während die Interventionsgruppe ausschließlich aus Profisportlern bestand, darunter 40 Skilangläufer und 102 Rennradfahrer. Die Athleten unterzogen sich vierteljährlich einer Laboruntersuchung, die jeweils während der Wettkampfsaison durchgeführt wurde. Sowohl der Kontrollgruppe als auch der Interventionsgruppe wurde regelmäßig Blut entnommen. Bei den Sportlern wurde darauf geachtet, dass zwischen der letzten sportlichen Aktivität und der Blutentnahme eine Ruhephase von mindestens 24 bis 48 Stunden lang. Die Studienergebnisse zeigten bei der Interventionsgruppe der Profisportler signifikant niedrigere Werte des Gesamtcholesterins, HDL-Cholesterin, Triglyceride und dem Verhältnis zwischen Gesamtcholesterin und LDL-Cholesterin. Die mittlere HDL-Cholesterin Konzentration war hingegen signifikant höher als zu Beginn der Studie. Die Konzentration des Lipoproteins zeigte keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Gruppen. Diese Ergebnisse stehen laut Lippi et al. (2006) mit einer verbesserten aeroben körperlichen Aktivität in Verbindung. Abschließend lässt sich durch diese Studie erneut unterstreichen, dass eine deutliche Steigerung der aeroben körperlichen Aktivität in der Bevölkerung empfohlen werden sollte, um ungünstige Lipidanomalien umzukehren, insbesondere bei Personen mit einem höheren kardiovaskulären Risiko (Lippi et al., 2006). Die Studienergebnisse von Lippi et al. (2006) ähneln teilweise den Ergebnissen der Studie von Kostrzewa-Nowak et al. (2015).

Nieren- und Leberwerte sowie Muskelstressparameter

Die Studie von Kostrzewa-Nowak et al. (2020) befasste sich ebenfalls mit Nierenwerten, Leberwerten und Muskelstressparametern im Zusammenhang mit regelmäßigem Training. Hierbei konnte gezeigt werden, dass kontinuierliches Training keine signifikanten Veränderungen bei den Werten CK, Kreatinin, Harnsäure, Harnstoff und Gamma-GT bewirkte. Allerdings wurde ein signifikanter Anstieg der Muskelstressparameter LDH sowie der Leberwerte AST und ALT nach mehrwöchigen Trainingseinheiten festgestellt.

Interessanterweise berücksichtigte lediglich die Studie von Kostrzewa-Nowak et al. (2020) die zuvor genannten Blutparameter. Während einige Studien die Auswirkungen körperlicher Aktivität auf einzelne Parameter des weißen oder roten Blutbildes sowie auf die klinische Chemie beleuchten (Kostrzewa-Nowak et al., 2015; Montero et al., 2017), sind ganzheitliche Untersuchungen, die alle drei Bereiche des Blutbildes gemeinsam in den Fokus rücken, eher selten. Die oben genannten Studien und ihre unterschiedlichen Ergebnisse unterstreichen die Relevanz weiterer Untersuchungen, die die umfassenden Auswirkungen eines gezielten Ausdauertrainings auf das gesamte Blutbild beleuchten.

2.2 Einfluss der LOW-GI-Diät auf das Blutbild

Wie bereits in der Einleitung erwähnt, spielt neben dem Ausdauertraining auch die Ernährung eine bedeutende Rolle für die Blutparameter. Der aktuelle Forschungsstand zeigt, dass ein besonders großes Interesse hinsichtlich der Auswirkungen einer LOW-GI-Diät bei unterschiedlichen Krankheitsbildern besteht. Die Recherche zeigt, dass die LOW-GI-Diät in einigen Studien bezüglich einiger Blutparameter im Vergleich zu Kontrolldiäten oft überlegen war. In diesem Kapitel wird der aktuelle Forschungsstand präsentiert und die Auswirkungen der LOW-GI-Diät auf das Blutbild aufgezeigt.

Blutzucker

Die Studie von Pavithran et al. (2020) zielte darauf ab, die Effekte einer Diät mit niedrigem glykämischen Index auf die Blutzuckerkontrolle und Körperzusammensetzung bei Personen mit Typ-2-Diabetes in Südindien zu erforschen. Über einen Zeitraum von 24 Wochen führte man eine prospektive und randomisierte kontrollierte Studie durch, in der 36 Teilnehmer/Teilnehmerinnen aus der Endokrinologie- und Diabetesambulanz in Kerala, Südindien, teilnahmen. Alle Personen hatten seit mindestens einem Jahr Typ-2-Diabetes und wurden zufällig entweder einer Diät mit niedrigem GI (LOW-GI-Gruppe, n=18) oder ihrer normalen Ernährung, die als Kontrollgruppe diente (n=18) zugewiesen. Das Alter der Teilnehmer/Teilnehmerinnen lag zwischen 35 und 65 Jahren. Nach dem Interventionszeitraum zeigten die Ergebnisse der LOW-GI-Gruppe eine bemerkenswerte Senkung des HbA1c-Werts um 0,8%. Im Gegensatz dazu verzeichnete die Kontrollgruppe einen Anstieg von 0,24% (Pavithran et al., 2020).

Ähnliche Ergebnisse wurden auch von Zafar et al. (2019) festgestellt, die in einer systematischen Übersichtsarbeit den positiven Einfluss der LOW-GI-Diät auf den HbA1c-Wert und den Nüchternblutzucker hervorhoben. In dieser Untersuchung wurden Diäten mit niedrigem glykämischen Index (GI) bzw. niedriger glykämischer Last (GL) mit Diäten mit hohem GI, konventionellen Gewichtsabnahme-Diäten oder Spezialdiäten verglichen. Es

ging um ihre Auswirkungen auf die Blutzuckerkontrolle und das Körpergewicht bei Menschen mit gestörter Glucosetoleranz, Typ-1-Diabetes oder Typ-2-Diabetes in randomisierten kontrollierten Studien. Hierfür konzentrierten sich die Studien hauptsächlich auf den HbA1c-Wert, zudem wurde der Nüchternblutzucker, das Nüchterninsulin, der HOMA-Index, der postprandiale Blutzucker und der BMI untersucht. Insgesamt wurden 54 Studien in die systematische Übersichtsarbeit eingeschlossen. Das Ergebnis dieser Übersichtsarbeit zeigt, dass eine niedrig-glykämische Diät für Menschen mit gestörter Glucosetoleranz oder Diabetes vorteilhaft für die Blutzuckerkontrolle und die Insulinsensitivität sein kann (Zafar et al., 2019).

In einer weiteren systematischen Übersichtsarbeit von Chiavaroli et al. (2021) wurden 29 Studien verglichen. Die Teilnehmer waren größtenteils mittleren Lebensalters, übergewichtig oder fettleibig und hatten Typ-1 oder Typ-2-Diabetes. Die Auswirkungen von Ernährungsmustern mit niedrigem GI/GL auf den HbA1c-Wert und andere Gesundheitsmarker wurden untersucht. Es zeigte sich, dass eine Ernährung mit niedrigem glykämischen Index im Vergleich zu Kontrolldiäten mit hohem GI/GL den HbA1c-Wert signifikant reduzierte. Die signifikante Senkung des HbA1c-Werts aus dieser Übersichtsarbeit deckt sich mit den Ergebnissen der Studie von Pavithran et al. (2020) und Zafar et al. (2019).

Blutfette

In der Untersuchung von Pavithran et al. (2020) wurde neben der Blutzuckerkontrolle auch das Lipidprofil von Patienten mit Typ-2-Diabetes analysiert. Neben der Verbesserung des HbA1c-Werts in der LOW-GI-Gruppe zeigte sich auch eine signifikante Abnahme der Gesamtcholesterin-, Triglycerid- und Lipoproteinwerte mit sehr geringer Dichte (VLDL). In der Kontrollgruppe stieg das LDL-Cholesterin um 1,63 mg/dl an. Obwohl zu Studienbeginn die Serumtriglyceride in beiden Gruppen im normalen Bereich lagen, wies die LOW-GI-Gruppe nach 24 Wochen eine statistisch signifikante Senkung auf. Das HDL-Cholesterin, welches auch als „gutes“ Cholesterin bekannt ist, befand sich zu Beginn der Studie im Normalbereich und blieb während der Intervention in beiden Gruppen unverändert (Pavithran et al., 2020).

Neben der Untersuchung des Blutzuckers verglich die systematische Übersichtsarbeit von Zafar et al. (2019) auch die Studienergebnisse der 54 einbezogenen Diabetesstudien bezüglich des Lipidprofils. Neben den positiven Effekten auf die Blutzuckerkontrolle zeigten sich erwartungsgemäß auch positive Auswirkungen auf die Blutfettwerte und den BMI der Studienteilnehmer/Studienteilnehmerinnen. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass Diäten mit niedrigem GI im Vergleich zu Kontrolldiäten signifikant effektiver sind, um das

Gesamtcholesterin zu senken. Auch das LDL-Cholesterin zeigte eine signifikante Abnahme unter der LOW-GI-Diät. Allerdings wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen in Bezug auf HDL-Cholesterin und Triglyceride festgestellt (Zafar et al., 2019). Die Ergebnisse bezüglich des HDL-Cholesterins stimmen mit denen aus der Studie von Pavithran et al. (2020) überein.

Auch in der systematischen Übersichtsarbeit von Chiavaroli et al. (2021) wurde neben dem Blutzucker auch die Auswirkungen auf das Lipidprofil untersucht. Die Ergebnisse zeigten neben der positiven Wirkung einer Ernährung mit niedrigem glykämischen Index auf den HbA1c-Wert auch moderate Senkungen bei Nüchternblutglucose, LDL-Cholesterin, Non-HDL-Cholesterin (Differenz aus Gesamtcholesterin und HDL-Cholesterin) und Triglyceriden bei Personen mit Diabetes Typ-1 oder Typ-2. Diese positiven Effekte spiegelten sich auch in Vorteilen für das Körpergewicht, den BMI und den systolischen Blutdruck im Vergleich zu Kontrolldiäten wider (Chiavaroli et al., 2021).

Nieren- und Leberwerte sowie Muskelstressparameter

In der systematischen Übersichtsarbeit von Schwingshackl & Hoffmann (2013) ging es um die langfristigen Effekte von Diäten mit unterschiedlichem glykämischen Index zur Behandlung von Übergewicht und Fettleibigkeit. Der Fokus lag auf dem potenziellen Nutzen eines niedrigen glykämischen Index bzw. einer niedrigen glykämischen Last als präventive Maßnahme gegen Fettleibigkeit und den damit verbundenen Risiken. Die Analyse umfasste insgesamt 14 Studien, die in die systematische Übersichtsarbeit aufgenommen wurden. Die Auswertung zeigte, dass eine Ernährung mit niedrigem glykämischen Index/Last zu einer signifikanten Reduktion des C-reaktiven Proteins (Marker für Entzündungen im Körper, wird von der Leber produziert) und der fettfreien Masse führte. Hingegen wurden keine wesentlichen Veränderungen bei Blutfetten, anthropometrischen Maßen, HbA1c und Nüchternblutglucose festgestellt (Schwingshackl & Hoffmann, 2013).

In den analysierten Studien, die die Auswirkungen einer Diät mit niedrigem glykämischen Index auf das Blutbild untersuchten, lag der Fokus vor allem auf der Beobachtung des Blutzuckerprofils und der Blutfette. Diese Forschungen konzentrierten sich hauptsächlich auf Personen mit Diabetes, und es besteht noch eine Lücke hinsichtlich gesunder Probanden. Zudem fehlen Studien, die die Auswirkungen einer niedrig glykämischen Ernährungsweise auf das gesamte Blutbild untersuchen. Infolgedessen gibt es noch zu wenig Informationen über die Auswirkungen auf die Parameter des roten und weißen Blutbildes, sowie der Nieren-, Leber- und Muskelstressparameter.

2.3 Kombination von LOW-GI-Diät und Ausdauertraining auf das Blutbild

Die begrenzte Anzahl von Langzeitstudien zu diesem Thema führt zu einem Mangel an umfassendem Verständnis über die langfristigen Auswirkungen einer kohlenhydratreichen Ernährung mit niedrigem GI auf die sportliche Leistungsfähigkeit und die Blutparameter. Infolgedessen konzentrieren sich die meisten verfügbaren Studien auf die unmittelbaren Auswirkungen einer Mahlzeit mit niedrigem oder hohem GI auf die Ausdauerleistungsfähigkeit, sowie auf verschiedene Stoffwechsel- und physiologische Parameter. Dieser Fokus auf kurzfristige Effekte ermöglicht Einblicke in die unmittelbaren Reaktionen des Körpers auf verschiedene Kohlenhydratquellen, wobei Aspekte wie der Einfluss auf den Blutzuckerspiegel, die Insulinreaktion und andere Stoffwechselprozesse häufig untersucht werden. Einige Studien legen nahe, dass kohlenhydratreiche Lebensmittel mit niedrigem GI vor dem Training den Stoffwechsel währenddessen optimieren können. Obwohl es Hinweise auf eine verbesserte Ausdauer nach dem Verzehr von Kohlenhydraten mit niedrigem GI vor dem Training gibt, bleibt die Evidenz für einen klaren Leistungsvorteil uneinheitlich, wie unter anderem in der Studie von Burke et al. (2011) festgestellt wurde. Diese Diskrepanz zwischen den Studienergebnissen deutet darauf hin, dass weitere Forschungen erforderlich sind, um die langfristigen Auswirkungen einer Ernährung mit niedrig glykämischen Index auf die sportliche Leistung und Blutparameter besser zu verstehen. Daher bietet die folgende Übersicht über verschiedene Studien einen Einblick in den aktuellen Stand der Forschung, bezüglich der Auswirkungen einer Ernährung mit niedrigem glykämischen Index in Verbindung mit Ausdauertraining auf verschiedene Blutparameter.

Das rote und weiße Blutbild

In einer interessanten Studie von Chen et al. (2008), wurde der unmittelbare Einfluss einer vor dem Training eingenommenen Mahlzeit mit unterschiedlichem glykämischen Index (GI) und unterschiedlicher glykämischer Last (GL) auf die Immunreaktion während eines Ausdauerlaufs untersucht. Acht männliche Probanden absolvierten einen vorbelastenden einstündigen Lauf bei 70% ihrer maximalen Sauerstoffaufnahme (VO_{2peak}) auf einem flachen Laufband, gefolgt von einem 10km Leistungslauf. Die Testung wurde an drei verschiedenen Terminen unter den gleichen Rahmenbedingungen wiederholt. Zwei Stunden vor jedem Lauf verzehrten die Teilnehmer eine der drei vorgeschriebenen isoenergetischen Mahlzeiten, die entweder einen hohen GI und eine hohe GL, einen hohen GI und eine niedrige GL oder einen niedrigen GI und eine niedrige GL aufwiesen. Die Laufdauer betrug in allen drei Versuchen etwa 112 Minuten bei 70% VO_{2peak} in der ersten Stunde und 76% der VO_{2peak} in den letzten 52 Minuten.

Die Ergebnisse zeigen, dass der Verzehr kohlenhydratreicher Mahlzeiten vor dem Training (hoch-GI und hoch-GL sowie niedrig-GI und niedrig-GL) im Vergleich zur Gruppe, die sich mit einer Mahlzeit mit einem hohen GI und niedriger GL ernährten, mit einer geringeren Beeinträchtigung der zirkulierenden Anzahl von Leukozyten, neutrophilen Granulozyten und T-Lymphozyten-Untergruppen einhergeht. Gleichzeitig wurde ein reduzierter Anstieg der IL-Plasmakonzentration unmittelbar nach der Belastung und während der 2-stündigen Erholungsphase beobachtet. Diese Reaktionen waren begleitet von einem reduzierten Anstieg der IL-10-Konzentration im Plasma zum Ende der zweistündigen Erholungsphase. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Menge an verzehrten Kohlenhydraten vor dem Training möglicherweise den Haupteffekt darstellt, und nicht unbedingt die Art der Kohlenhydrate. Es ist anzumerken, dass in dieser Studie keine Langzeiteffekte untersucht wurden, sondern ausschließlich der unmittelbare Einfluss der Ernährungsweise vor der Belastung analysiert wurde (Chen et al., 2008).

Das Ziel der Studie von Li et al. (2004) war es, den Einfluss von kohlenhydratreichen Mahlzeiten vor dem Training mit hohem und niedrigem glykämischen Index auf die Verteilung von Leukozyten während nachfolgender Ausdauertrainingseinheiten zu untersuchen. Acht männliche Teilnehmer absolvierten einen 90-minütigen Lauf auf einem Laufband 70% ihrer maximalen Sauerstoffaufnahme (VO_{2peak}), nachdem sie drei Stunden zuvor entweder eine isokalorische Mahlzeit mit hohem (HIGH-GI) oder niedrigem glykämischen Index (LOW-GI) mit Werten von 77 bzw. 37 gegessen hatten. Die Anzahl der Leukozyten sowie Neutrophilen und das Verhältnis von Neutrophilen zu Lymphozyten war nach 90 Minuten Bewegung signifikant niedriger in der LOW-GI-Gruppe im Vergleich zur HIGH-GI-Gruppe ($P < 0,05$). Die Plasmaglukosekonzentrationen waren zwischen 15 und 45 Minuten Bewegung signifikant höher bei der LOW-GI-Gruppe im Vergleich zur HIGH-GI-Gruppe. Allerdings gab es keine Unterschiede in den Plasmakonzentrationen von Cortisol, Wachstumshormonen und Interleukin-6 zwischen den Versuchen. Zusammenfassend zeigen die Ergebnisse dieser Studie, dass die Einnahme einer kohlenhydratreichen Mahlzeit mit niedrigem glykämischen Index drei Stunden vor einer submaximalen körperlichen Aktivität den Anstieg der zirkulierenden Leukozyten- und Neutrophilenzahlen während des nachfolgenden Laufs im Vergleich zu einer Mahlzeit mit hohem glykämischen Index verringert. Auch wird während des Trainings die Plasmaglukosekonzentration besser aufrechterhalten. Es scheint jedoch, dass diese Wirkung nur begrenzte Auswirkungen auf die Reaktionen der zirkulierenden Stresshormone und Zytokine auf die körperliche Aktivität hat (Li et al., 2004).

Die Studie von Wong et al. (2009) untersucht die Auswirkungen von Mahlzeiten mit unterschiedlichem glykämischen Index (GI) auf die Erholungszeit und die nachfolgende

Leistung bei sieben männlichen Teilnehmern. An verschiedenen Tagen absolvierten die Teilnehmer jeweils eine 90-minütige Laufeinheit und erhielten dann entweder eine kohlenhydratreiche Mahlzeit mit hohem GI, oder eine mit niedrigem GI. Nach einer vierstündigen Ruhephase führten sie einen weiteren Lauf durch. Die Wasseraufnahme während der Erholungszeit war vorgeschrieben. Die Studie beinhaltete die wiederholte Messung verschiedener Blutparameter zu verschiedenen Zeitpunkten durch Blutabnahmen, darunter postprandialer Blutzucker, Hämatokrit, Hämoglobinkonzentration, Blutlaktat, freie Fettsäuren und Cortisol.

Die Ergebnisse zeigten, dass die Ausdauerleistung nach dem Verzehr einer Mahlzeit mit hohem GI um 15% länger war als nach einer mit niedrigem GI. Interessanterweise gab es trotz der längeren Laufzeit keine Unterschiede in der Verbrennung von Kohlenhydraten und Fetten oder in den Blutwerten. Die Untersuchungen zeigten, dass die Muskelglykogensynthese in der HIGH-GI-Gruppe höher war, was darauf hindeutet, dass die Muskelglykogenspeicher vor dem zweiten Lauf in dieser Gruppe voller waren und möglicherweise die verbesserte Leistung erklären könnte. Alle Probanden erreichten während der Erholungsphase eine vollständige Wiederherstellung des Wasserhaushalts. Es wurden keine signifikanten Unterschiede in den Blutparametern und der Substratoxidation zwischen den Gruppen festgestellt. Dies deutet darauf hin, dass andere Faktoren die Leistungsverbesserung in der HIGH-GI-Gruppe erklären könnten. Die genauen Mechanismen, die für die verbesserte Ausdauerleistung nach dem Verzehr von Mahlzeiten mit hohem GI während der Erholung verantwortlich sind, bleiben jedoch in dieser Studie unklar (Wong et al., 2009).

Blutzucker und Blutfette

Die Studie von Malin et al. (2012) untersuchte die Auswirkungen von Bewegungstraining in Verbindung mit einer Ernährungsweise mit niedrigem oder hohem glykämischen Index auf den Schweregrad des metabolischen Syndroms. Eine Gruppe von 21 älteren fettleibigen Frauen mit metabolischem Syndrom durchliefen ein 12-wöchiges Trainingsprogramm mit begleitender Ernährungsintervention. Die Frauen trainierten für jeweils 60 Minuten an fünf Tagen der Woche. Das Trainingsprogramm beinhaltete Gehen auf dem Laufband und Radfahren auf dem Fahrradergometer. Trainiert wurde mit einer Trainingsintensität von ungefähr 85% der HRmax (maximale Herzfrequenz). Die Einteilung in die Ernährungsgruppen erfolgte nach dem Zufallsprinzip. Vor und nach der Intervention wurden verschiedene Parameter wie Blutdruck, Triglyceride, HDL-Cholesterin, Nüchternplasmaglukose und der Taillenumfang ermittelt. Die Resultate der Studie zeigten, dass sowohl die LOW-GI- als auch die HIGH-GI-Interventionsgruppe eine Verbesserung der Insulinresistenz, eine Verringerung des Körpergewichts und eine Steigerung der

aeroben Fitness erreichten. Besonders bemerkenswert waren die beobachteten Reduzierungen der Triglyceride, sowie die Verbesserung des Blutdrucks, der Nüchternplasmaglukose und des Taillenumfangs in beiden Interventionsgruppen während des 12-wöchigen Programms (Malin et al., 2012).

In der Forschungsarbeit von Solomon et al. (2010) wurden die Auswirkungen von körperlicher Aktivität und einer Diät mit niedrigem glykämischen Index (GI) auf den Glucosestoffwechsel und die Reaktion des Insulins bei übergewichtigen Personen mit Prädiabetes untersucht. Für die 12-wöchige Intervention wurden 22 Teilnehmer im Alter von 65-67 Jahren eingeschlossen. Das Trainingsprogramm umfasste Einheiten an 5 Tagen pro Woche, mit jeweils einer Stunde Training bei 85% der maximalen Herzfrequenz (Laufband und Fahrradergometer). Die Teilnehmer wurden zufällig entweder einer Diät mit hohem oder niedrigem GI zugeteilt. Messungen umfassten Körperzusammensetzung, Insulinsensitivität sowie die Reaktion von Insulin- und Inkretinhormonen nach oraler Glucosezufuhr.

Die Resultate zeigen ähnliche Ergebnisse wie in der Untersuchung von Malin et al. (2012). Beide Gruppen verloren ähnlich viel Körpergewicht und Körperfett und zeigten eine verbesserte Insulinsensitivität. Nur die Gruppe mit niedrigem GI (LOW-GI-Gruppe) zeigte eine verminderte Insulinreaktion nach oraler Glucoseaufnahme, die mit einer geringeren Reaktion des glucoseabhängigen insulinotropen Polypeptids verbunden war. Nüchternblutzucker-, Nüchterninsulin-, Triglycerid- und Cholesterinwerte sowie das C-Peptid reduzierten sich in beiden Gruppen während der 12-wöchigen Ernährungs- und Trainingsintervention. Der HbA1c Wert zeigte in keiner der beiden Gruppen eine Veränderung. Die Schlussfolgerung dieser Studie war, dass eine Gewichtsabnahme die Insulinresistenz verbessert, jedoch nur eine LOW-GI-Diät die postprandiale Hyperinsulinämie reduziert. Im Gegensatz dazu beeinträchtigte eine HIGH-GI-Diät trotz Gewichtsabnahme die Funktion der Bauchspeicheldrüsen- und Darmzellen (Solomon et al., 2010).

Bennett et al. (2012) untersuchten in ihrer Studie die Auswirkungen von Mahlzeiten mit unterschiedlichem glykämischen Index (niedrig und hoch) während hochintensiven, intermittierenden Trainings. An der Studie nahmen 10 Männer und 4 Frauen teil. Zu Beginn der Studie wurde der maximale Sauerstoffverbrauch (VO_2 peak) und die maximale Laufgeschwindigkeit der Teilnehmer/Teilnehmerinnen auf dem Laufband ermittelt. Nach einer Pause von mindestens 7 Tagen folgte ein weiterer Laufbandtest. Dieser bestand aus zwei intensiven Trainingsabschnitten (2x45 Minuten), die durch eine 15-minütige Pause, die die Halbzeit bei einem Fußballspiel simulierte, getrennt waren. Die Laufbandgeschwindigkeit wurde individuell auf Basis des Eingangstests für jeden

Teilnehmer angepasst. Zwei Stunden vor und eine Stunde nach den Testungen erhielten die Teilnehmer/Teilnehmerinnen entweder eine Mahlzeit mit niedrigem glykämischen Index (GI ca. 42) auf Linsenbasis oder eine Mahlzeit mit hohem glykämischen Index (GI ca. 78) auf Kartoffelbasis. Der Energiewert der Mahlzeiten wurde jedoch zwischen beiden Interventionsgruppen angeglichen. Die Leistung wurde anhand der zurückgelegten Strecke bei fünf einminütigen Sprints gemessen, die jeweils durch 2,5-minütige Gehpausen unterbrochen wurden. Blutproben wurden genommen und Atemgase wurden gemessen. Die Ergebnisse der Studie zeigten, dass der Blutzuckerspiegel nach einer Mahlzeit mit hohem glykämischen Index um 30,8% höher war als nach einer Mahlzeit mit niedrigem glykämischen Index, ebenso wie der Insulinspiegel ($p=0,039$ bzw. $p=0,003$). Zu Beginn des ersten Trainingsabschnitts war die Kohlenhydratoxidation bei der LOW-GI-Gruppe um 5,5% niedriger im Vergleich zu HIGH-GI-Gruppe ($p<0,05$). Am Ende des zweiten Trainingsabschnitts zeigte sich ein signifikant höherer Blutlaktatwert (6,1 vs. 2,6 mmol/l; $p=0,019$) und ein signifikant niedrigerer Blutzuckerspiegel (4,8 vs. 5,4 mmol/l; $p=0,039$) in der HIGH-GI-Gruppe im Vergleich zur LOW-GI-Gruppe. Es gab keine signifikanten Unterschiede in der zurückgelegten Sprintdistanz zwischen den Gruppen.

Nahrungsmittel mit niedrigen glykämischen Index zeigen eine leicht verbesserte Kontrolle des Blutzuckers, reduzierte Blutlaktatwerte nach dem Training, eine niedrigere prätrainingsbedingte Insulinreaktion und eine verringerte Kohlenhydratverbrennung zu Beginn des Trainings. Basierend auf diesen Ergebnissen könnte der Verzehr von Mahlzeiten mit niedrigem glykämischen Index vor dem Training langfristige positive Stoffwechselreaktionen bei Sportlern hervorrufen (Bennett et al., 2012).

Nieren- und Leberwerte sowie Muskelstressparameter

Bis dato konnten keine Studien gefunden werden, die spezifisch die Auswirkungen einer niedrig glykämischen Ernährung in Verbindung mit Ausdauertraining auf Nieren- und Leberwerte sowie Muskelstressparameter untersucht haben. Es besteht eine Lücke im Verständnis der potenziellen Zusammenhänge zwischen dieser speziellen Ernährungsform, körperlicher Ausdauerbelastung und den Auswirkungen der genannten Parameter.

3 Fragestellung und Ziele der Studie

Das Ziel dieser Masterarbeit besteht darin, die Auswirkungen eines mehrwöchigen, gezielten Ausdauertrainings in Verbindung mit einer LOW-GI-Diät auf die Parameter des gesamten Blutbildes und der klinischen Biochemie zu untersuchen. Frühere Forschungsergebnisse legen nahe, dass sowohl regelmäßiges Ausdauertraining, als auch eine mehrwöchige LOW-GI-Diät überwiegend positive Effekte auf das Blutbild haben können. Allerdings besteht ein erheblicher Forschungsbedarf bezüglich der LOW-GI-Diät bei gesunden Probanden/Probandinnen, da bisherige Studien sich hauptsächlich auf Personen mit verschiedenen Krankheitsbildern wie Diabetes konzentrierten.

Die aktuelle Forschung deutet darauf hin, dass Ausdauertraining und eine LOW-GI-Diät verschiedene, teilweise gegensätzliche Auswirkungen auf diese Parameter haben können. Es bleibt unklar, welchen Nutzen diese Ernährungsweise bei gesunden, sportlich aktiven Menschen hat. Darüber hinaus ist die Wirkung einer Kombination aus Ausdauersport und einer begleitenden niedrig glykämischen Ernährung noch zu wenig erforscht, weshalb weitere Studien von großer Bedeutung sind. Angesichts der begrenzten Anzahl an Studien zu den kombinierten Auswirkungen von Ausdauertraining und LOW-GI-Diäten, insbesondere bei gesunden sportlichen Probanden/Probandinnen, erweisen sich die Ergebnisse dieser Studie von großem Interesse. Ziel ist es, neue Erkenntnisse zu generieren, die zukünftige Forschungen unterstützen können.

Diese Arbeit untersucht die Auswirkungen eines 10-wöchigen Ausdauertrainings in Verbindung mit einer begleitenden LOW-GI-Diät auf die Parameter des gesamten Blutbildes und der klinischen Biochemie bei jungen, sportlichen Männern. Basierend auf dem aktuellen Forschungsstand wird vermutet, dass durch diese Kombination das rote Blutbild beeinflusst und zu einer Reduktion von Hämoglobin, Hämatokrit und der Anzahl der Erythrozyten führen könnte. Eine weitere Hypothese besagt, dass diese Intervention eine Abnahme der Leukozyten und ihrer Untergruppen, einschließlich Lymphozyten und Granulozyten, bewirken könnte. Zudem wird erwartet, dass diese Intervention zu einer Senkung des Gesamtcholesterins, LDL-Cholesterins, der Triglyceride und des Blutzuckers führt. Auch Veränderungen der Nieren- und Leberwerte sowie der Muskelstressparameter werden vermutet. Aufgrund bestehender Forschungslücken stellt sich folgende Forschungsfrage:

3.1 Forschungsfrage

Wie wirkt sich ein 10-wöchiges Ausdauertraining mit begleitender LOW-GI-Diät auf die Parameter des gesamten Blutbildes sowie der klinischen Biochemie bei jungen, sportlich aktiven Männern aus?

3.2 Hypothesen

Durch diese Fragestellung lassen sich folgende Hypothesen aufstellen:

1. Ein 10-wöchiges Ausdauertraining mit begleitender LOW-GI-Diät führt zu Veränderungen im roten Blutbild, einschließlich Reduktionen der Werte Hämoglobin, Hämatokrit und der Anzahl der Erythrozyten.
2. Es wird angenommen, dass diese Intervention eine Abnahme der Leukozyten und ihrer Untergruppen, einschließlich Lymphozyten und Granulozyten bewirkt.
3. Zusätzlich wird erwartet, dass diese Intervention zu einer Senkung des Gesamtcholesterins, LDL-Cholesterins, der Triglyceride und des Blutzuckers führt. Auch Veränderungen der Nieren- und Leberwerte sowie der Muskelstressparameter werden vermutet.

4 Methodik

Das Thema zu dieser Masterarbeit entstand während eines Forschungspraktikums im Rahmen einer klinischen Studie an der Universität Wien. Die betreffende Studie trägt den Titel „Einfluss einer Ernährung mit unterschiedlichem glykämischen Index und Kohlenhydratgehalt auf die Substratverwendung, Energiespeicher und leistungsbezogene Parameter bei ausdauertrainierten Männern“. Diese Studie wurde von Frau Anna Maria Moitzi, BSc Bakk. MSc MSc geleitet.

Dieses Kapitel fungiert als strukturgebendes Grundgerüst für die Methodik der vorliegenden Forschungsarbeit. Es bietet eine umfassende Darstellung der ausgewählten strategischen Ansätze, Instrumente und Verfahren, die dazu verwendet wurden, die formulierten Forschungsziele zu erreichen und die gestellten Fragen zu beantworten. Dieser Abschnitt gewährt Einblicke in den Prozess der Datensammlung, Analyse und Interpretation, der wiederum die Basis für die Gültigkeit und Verlässlichkeit der erzielten Ergebnisse darstellt. Hierbei werden nur jene Untersuchungen und Tests erläutert, welche für diese Masterarbeit von Bedeutung sind.

4.1 Studienteilnehmer

Insgesamt 60 Probanden konnten zur Studie zugelassen werden. Abzüglich der Dropouts waren es am Ende der Intervention noch 49 Probanden. Die Studie wurde von den 11 Probanden überwiegend aus zeitlichen Gründen oder aufgrund von Krankheit abgebrochen bzw. schieden aufgrund von zu häufig ausgelassenen Trainingseinheiten aus der Studie aus.

Für die vorliegende Masterarbeit sind von den insgesamt 49 Probanden jedoch nur 32 relevant. Die Zuteilung in die Interventionsgruppe (LOW-GI-Diät) oder in die Kontrollgruppe (HIGH-GI-Diät) wurde randomisiert vorgenommen. „LOW-GI“ steht hierbei für eine Ernährung mit einem niedrigen glykämischen Index, während „HIGH-GI“ für eine Ernährung mit hohem glykämischen Index steht. Von den 32 Probanden, die bis zum Ende der Studie verblieben, wurden jeweils 16 der Interventionsgruppe und der Kontrollgruppe zugeteilt.

Um die Anonymität der Probanden zu gewährleisten, erhielt jede Person eine individuelle Kennzahl, inklusive des davorstehenden Kürzels „GI“. So bekam ein Proband z.B. die Identifikationsnummer: GI3. Im folgenden Unterkapitel werden die Kriterien für die Ein- und Ausschlusskriterien der Studienteilnehmer detailliert erläutert.

4.1.1 Einschlusskriterien und Ausschlusskriterien

Vor Studienbeginn wurden die Kriterien für die Aufnahme der Probanden festgelegt. Es wurden ausschließlich junge, physisch gesunde Männer im Alter von 18 bis 40 Jahren rekrutiert, die eine gewisse Lauferfahrung im Hobbybereich aufwiesen. Es war Voraussetzung, dass akute oder chronische Erkrankungen ausgeschlossen werden konnten. Männer, die Medikamente einnahmen und bei denen diese die Messergebnisse beeinflussen könnten, wurden von der Studie ausgeschlossen. Außerdem war die Teilnahme von Leistungssportlern an der Studie nicht gestattet. Die untenstehende Tabelle 8 gibt einen gesammelten Überblick der zuvor erwähnten Ein- und Ausschlusskriterien der Studie.

Tab. 8: Ein- und Ausschlusskriterien

Einschlusskriterien	Ausschlusskriterien
physisch gesunde Männer -keine akuten bzw. chronischen Erkrankungen -keine Kontraindikationen	- Frauen - Männer mit akuten oder chronischen Erkrankungen → Kontraindikationen für körperliche Belastung gemäß den Richtlinien des ACSM
Alter von 18 bis 40 Jahren	Unter 18- bzw. über 40 Jahre alt
Lauferfahrung im Hobbybereich und in der Freizeit sportlich aktiv	Leistungssportler mit individuellem Trainingsprogramm
Interesse an Leistungstests und die Motivation, einen Trainingsplan konsequent zu verfolgen	Medikamenteneinnahme, welche sich auf die Messergebnisse auswirken könnten bzw. gemäß dem WADA-Code im Training oder während eines Wettkampfes untersagt sind.
Interesse, einen Halbmarathon zu laufen	
Bereitschaft, sich an die zufällig zugewiesene Diät zu halten	

4.2 Ablauf der Studie

Die Studie umfasste zwei wesentliche Komponenten: Ernährung und Training. Diese beiden Interventionen wurden in Kombination durchgeführt und erstreckten sich über einen Zeitraum von insgesamt zehn Wochen, beginnend am 31. Januar 2022 und endend am 10. April 2022. Zu Studienbeginn durchliefen die Teilnehmer eine ärztliche Untersuchung, um sicherzustellen, dass keine gesundheitlichen Ausschlusskriterien für ihre Teilnahme bestanden. Zusätzlich wurde eine Anamnese erstellt und eine Laufband-Spiroergometrie durchgeführt, um verschiedene Parameter des aktuellen Leistungsstandes zu ermitteln. Besonderes Augenmerk lag dabei auf der maximalen Sauerstoffaufnahme, da diese für die Gruppeneinteilung herangezogen wurde. Dies erfolgte, um sicherzustellen, dass ein Vergleich der Gruppen in Bezug auf ihre Leistungsfähigkeit nach Abschluss der Studie möglich war.

4.2.1 Trainingsintervention

Die Probanden erhielten vor Beginn der Intervention einen Lauftrainingsplan, sowie eine Sportuhr der Marke Polar, die sie nach Abschluss der Studie behalten durften. Der Plan umfasste jeweils fünf Trainingseinheiten pro Woche mit unterschiedlichen Distanzen, Intensitäten, Trainingsbereichen und Dauer. Um sicherzustellen, dass jeder Proband wusste, welches Training in welchem Herzfrequenzbereich durchgeführt werden sollte, absolvierte jeder von ihnen vor Beginn der Intervention einen ausbelastenden Laufbandtest. Jede Woche waren ein bis zwei längere Dauerläufe (Long Run) geplant, die entweder im Bereich der Grundlagenausdauer GA 1, GA 2 oder GA 1-2 stattfanden. Zusätzlich waren zwei Intervallläufe und ein ausdauernder Regenerationslauf (REG) Teil des Trainingsprogramms. Die Intensität der Intervallläufe bewegte sich im Bereich zwischen der Grundlagenausdauer (GA 1-2, GA2) und der wettkampfspezifischen Ausdauer (WSA). Auch die Methodik des Intervalltrainings unterschied sich in Bezug auf die Dauer, die Anzahl der Intervalle und natürlich der Intensität. Dabei wurde häufig die Methode der Fahrtenspiele angewendet, bei der innerhalb einer Trainingseinheit mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten und Tempowechseln gearbeitet wurde. Zur besseren Veranschaulichung dient Tabelle 9, die die neunte Trainingswoche als Beispiel zeigt.

Die Reihenfolge der einzelnen Trainingseinheiten pro Woche konnte von den Probanden unter Berücksichtigung spezieller Vorgaben frei gewählt werden. Dabei sollten sie darauf achten, dass zwischen den Intervallläufen mindestens ein Tag Pause lag. Ebenso war es wichtig, die langen Läufe und die Intervalleinheiten nicht an aufeinanderfolgenden Tagen zu absolvieren. Darüber hinaus sollten die vorgegebenen Herzfrequenzbereiche speziell

bei den Dauerläufen und dem langen Lauf beachtet werden, während die beiden Intervallläufe in den angegebenen Geschwindigkeitsbereichen durchgeführt werden sollten.

Tab. 9: Darstellung einer Trainingswoche – Beispiel: Trainingswoche 9

Trainingswoche 9

Training	Beschreibung	Umfang (min)
Dauerlauf	GA 1	45
Intervalle	10:00 Einlaufen 3x (1:00 WSA + 1:00 Pause) 3x (2:00 GA 2 + 1:00 Pause) 10:00 Auslaufen	35
Dauerlauf	REG	35
Intervalle	5:00 Einlaufen 35:00 Fahrtenspiele in GA 1-2	40
Long Run	GA 1 – GA 1-2	80
Gesamt		235

GA 1= Grundlagenausdauer 1

GA 2= Grundlagenausdauer 2

GA 1-2= Grundlagenausdauer 1-2

REG= Regenerationsbereich

Bei der Erstellung des Trainingsplans wurde besonderer Wert auf eine schrittweise Steigerung der Trainingsumfänge gelegt, damit sich die Probanden kontinuierlich an die Belastungen gewöhnen konnten. Aus diesem Grund wurde auch die Trainingsdauer innerhalb der zehn Wochen allmählich erhöht, wobei eine 3-zu-1 Periodisierung angewendet wurde. Diese Periodisierung führte zu einer Reduzierung des Trainingsumfangs in der vierten und achten Interventionswoche. In den zehn Wochen der Studie wurden im Optimalfall 2.302 (entspricht etwa 38 Stunden gesamt) Minuten Training absolviert. Für zwei Tage in der Woche war keine Trainingseinheit geplant, um ausreichende Erholung zu ermöglichen. Um den Fortschritt der durchgeführten Trainingseinheiten zu verfolgen, wurden die Probanden gebeten, bei jeder Trainingseinheit ihre Sportuhr zu verwenden. Zudem erhielten die Probanden ein Trainingstagebuch, welches wöchentlich kontrolliert wurde, um einen Überblick zu bewahren. In dieses wurde das Wohlbefinden, die durchgeführten Einheiten als auch der Ruhepuls schriftlich festgehalten. Um nicht von der Studienleitung ausgeschlossen zu werden, mussten die Teilnehmer mindestens 75% der geplanten Trainingszeit erfüllen. Weitere Informationen zu

den wöchentlichen Trainingsumfängen pro Trainingsbereich und deren jeweiligen Dauer pro Woche finden sich in der darauffolgenden Tabelle 10.

Tab. 10: Trainingsumfang

Woche	Trainingsbereich			
	Dauerlauf (min)	Interfalle (min)	Long Run (min)	Dauer gesamt pro Woche (min)
Woche 1	70	60	60	190
Woche 2	80	75	80	235
Woche 3	90	60	100	350
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 (min)	2.302			
Gesamt (h)	38 h 22 min			

4.2.2 Ernährungsintervention

Die Probanden wurden in dieser Studie über einen Zeitraum von zehn Wochen einer spezifischen Diät zugeteilt, die ihnen zufällig zugewiesen wurde. Die Interventionsgruppe (LOW-GI-Diät) musste darauf achten, dass in etwa 55-60% der täglich zugeführten Energie aus Kohlenhydraten stammt. Von dieser Menge sollten mehr als 65% der Kohlenhydrate einem niedrigen glykämischen Index entsprechen. Der Effekt von niedrig glykämischen Lebensmitteln ist der, dass der Blutzucker nach dem Konsum der Kohlenhydrate nur langsam bzw. flach ansteigt. Zu diesen Lebensmitteln gehören unter anderem Vollkornbrot, fettarmes Joghurt, Linsen oder Buttermilch. Die Kontrollgruppe (HIGH-GI-Diät) hingegen ernährte sich zu 55-60% mit kohlenhydratreichen Lebensmitteln, die einem hohen glykämischen Index entsprachen. Der Großteil dieser Kohlenhydratmenge, sprich 65% davon, sollten hoch glykämisch sein. Im Gegensatz zu den niedrig glykämischen Lebensmitteln, kommt es bei den hoch glykämischen zu einem raschen Anstieg des Blutzuckers.

Zu Beginn der Intervention erhielten die Probanden ein Ernährungstagebuch, welches sie täglich so genau wie möglich dokumentieren sollten. Zudem erhielten sie ein aufklärendes Gespräch mit Studierenden der Ernährungswissenschaft, um Unterstützung zu erhalten und eventuelle Fragen zu ihrer zugewiesenen Ernährungsform zu klären. Sowohl vor, als auch nach der Intervention, wurde eine Ernährungserhebung durchgeführt. Die Ernährungstagebücher wurden innerhalb der 10 Wochen regelmäßig überprüft.

4.2.3 Blutabnahme

Alle für diese Masterarbeit relevanten Testungen und Untersuchungen werden im weiteren Verlauf näher erläutert. Bei jedem Probanden wurde vor Beginn und am Ende der Intervention, im nüchternen Zustand Blut abgenommen. Durchgeführt wurde die Blutabnahme auf venöse Weise aus der Armbeuge. Insgesamt wurden in etwa 30 ml Blut abgenommen. Für den Vergleich im Safety- und Routinelabor, wurden jeweils 15 ml Blut vor und nach der Studie benutzt. Die übrigen Blutproben, bestehend aus 8 ml EDTA (Ethylendiamintetraazetat) und 8 ml Serum, wurden aufbereitet und anschließend tiefgefroren, um sie für zukünftige Analysen aufzubewahren. Für den Laborbefund wurden insgesamt 34 Blutparameter erfasst.

Im Zuge der Blutabnahme konnten folgende Blutparameter ermittelt werden:

- *Aus dem roten Blutbild:* Erythrozyten, Hämoglobin, Hämatokrit, MCV, MCH, MCHC
- *Aus dem weißen Blutbild:* Leukozyten, segmentkernige-, eosinophile- sowie basophile- Granulozyten, Monozyten, Lymphozyten und Thrombozyten
- *Blutzucker*
- *Nierenwerte:* BUN, Harnstoff, Kreatinin, GFR, Harnsäure,
- *Leberwerte:* GOT, GPT, Gamma-GT
- *Muskelstressparameter:* LDH, CK, Myoglobin
- *Blutfette:* Gesamtcholesterin, LDL-C, HDL-C, Triglyzeride

4.3 Statistische Analyse

Um die gesammelten Daten analysieren zu können, wurden sie zunächst mithilfe von Excel (Microsoft® Office®, 2022, USA) zusammengefasst und nachfolgend in das Statistik Programm SPSS (IBM® SPSS® Statistics, Version 29, USA) übertragen. Um im Anschluss die statistische Analyse durchzuführen, erfolgte die Überprüfung aller Parameter auf ihre Normalverteilung. Im Falle einer Abweichung der Normalverteilung wurde ein alternativer

Test durchgeführt. Zu Beginn der Analyse wurde eine deskriptive Statistik des untersuchten Kollektivs erstellt, um eine umfassende Übersicht zu erhalten.

Die gewonnenen Daten wurden dann in Form von Mittelwerten $\pm$ Standardabweichungen dargestellt. Im Anschluss darauf wurden statistische Tests durchgeführt, um festzustellen, ob es signifikante Unterschiede in den demographischen Daten zwischen der Interventions- (LOW-GI-Diät) und der Kontrollgruppe (HIGH-GI-Diät) gibt.

Ebenfalls wurde eine deskriptive Analyse der Trainingsdaten durchgeführt, gefolgt von statistischen Tests, um mögliche Unterschiede zwischen den beiden Gruppen in Bezug auf die Trainingsdaten festzustellen. Dabei wurde der t-Test für unabhängige Stichproben oder der Mann-Whitney-U-Test verwendet. Auch diese Ergebnisse wurden ebenfalls als Mittelwert $\pm$ Standardabweichung angegeben. Die p-Werte wurden verwendet, um festzustellen, ob es signifikante Unterschiede in den wöchentlichen Trainingsminuten sowie den Gesamttrainingsminuten zwischen der LOW-GI- und der Kontrollgruppe (HIGH-GI-Diät) gibt. Die Ernährungsdaten wurden ebenfalls mittels deskriptiver Statistik in Form von Mittelwerten $\pm$ Standardabweichungen präsentiert.

Um Veränderungen in den Nährstoffen und dem Brennwert zwischen den Zeitpunkten Pre (vor Beginn der Intervention) und Post (nach der Intervention) in beiden Gruppen zu untersuchen, wurden entweder ein t-Test für abhängige Stichproben oder ein Wilcoxon-Test durchgeführt.

Die Werte der Blutparameter wurden ebenfalls mit Hilfe der deskriptiven Statistik analysiert und im Anschluss durch Mittelwerte $\pm$ Standardabweichungen präsentiert. Um mögliche signifikante Unterschiede in den verschiedenen Parametern zwischen den Zeitpunkten Pre und Post in den beiden Gruppen zu ermitteln, wurden entweder ein t-Test für abhängige Stichproben oder ein Wilcoxon-Test durchgeführt. Danach erfolgte die Berechnung der Differenz aller Blutparameter zwischen den Zeitpunkten Pre und Post sowohl in der LOW-GI-Gruppe als auch in der Kontrollgruppe. Diese Differenzen wurden dann mit Hilfe eines t-Tests für unabhängige Stichproben oder eines Mann-Whitney-U-Tests analysiert, um eventuelle signifikante Unterschiede zwischen den beiden Gruppen festzustellen. Eine statistische Signifikanz wurde festgelegt, wenn der p-Wert kleiner als 0,05 ($<$) war, und in den Tabellen 11-17 wurde dies durch das Symbol „*“ entsprechend gekennzeichnet.

5 Ergebnisse

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse der vorliegenden Studie vorgestellt. Zuerst erfolgt eine statistische Darstellung der demographischen Daten sowie der Informationen bezüglich des Trainings und der Ernährung. Im Anschluss daran werden die Resultate in Bezug auf die Unterschiede zwischen den Zeitpunkten Pre (vor Beginn der Intervention) und Post (nach der Intervention) sowohl in der LOW-GI-Gruppe als auch in der Kontrollgruppe präsentiert. Nachfolgend wird auch die Überprüfung der Unterschiede zwischen den beiden Zeitpunkten (Pre und Post) in den einzelnen Blutparametern zwischen den beiden Gruppen durchgeführt.

5.1 Demographische Daten

Im Durchschnitt betrug das Alter in der LOW-GI-Gruppe 30,06 Jahre ($\pm 4,22$), während es in der Kontrollgruppe 27,75 Jahre ($\pm 3,36$) betrug. Die durchschnittliche Körpergröße und das durchschnittliche Körpergewicht waren in beiden Gruppen ähnlich: In der LOW-GI-Gruppe waren es 181,73 cm ($\pm 6,4$) und 79,07 kg ($\pm 9,59$), während es in der Kontrollgruppe 181,98 cm ($\pm 7,32$) und 80,83 kg ($\pm 12,10$) waren. Der Body-Mass-Index (BMI) betrug im Durchschnitt 23,98 kg/m² ($\pm 2,92$) in der LOW-GI-Gruppe und 24,40 kg/m² ($\pm 2,95$) in der Kontrollgruppe. Die Teilnehmer in der LOW-GI-Gruppe betätigten sich im Durchschnitt an 3,13 Tagen ($\pm 1,09$) pro Woche sportlich, während die Teilnehmer der Kontrollgruppe an 3,34 Tagen ($\pm 0,98$) pro Woche sportlich aktiv waren. Bezüglich des VO₂peak wurden in der LOW-GI-Gruppe im Durchschnitt ein Wert von 56,19 ml/min/kg ($\pm 7,90$) ermittelt, in der Kontrollgruppe hingegen lag der Durchschnittliche Wert bei 56,63 ml/min/kg ($\pm 6,76$).

Es konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Gruppen bei allen in Tabelle 11 aufgeführten Daten festgestellt werden. Die nachfolgende Tabelle 11 bietet eine zusammengefasste Übersicht über die demographischen Daten, den VO₂peak und die wöchentliche sportliche Aktivität des Kollektivs vor Studienbeginn, einschließlich der entsprechenden p-Werte.

Tab. 11: Demographische Daten, VO₂peak und wöchentliche sportliche Aktivität des Studienkollektivs

Variable [Einheit]	Gesamt (n= 32)	LOW-GI-Gruppe (n= 16)	Kontrollgruppe (n= 16)	p-Wert
Alter [Jahre]	28,91 (± 3,93)	30,06 (± 4,22)	27,75 (± 3,36)	0,138
Größe [cm]	181,85 (± 6,76)	181,73 (± 6,4)	181,98 (± 7,32)	0,917
Gewicht [kg]	79,95 (± 10,78)	79,07 (± 9,59)	80,83 (± 12,10)	0,838
BMI [kg/m ²]	24,19 (± 2,90)	23,98 (± 2,92)	24,40 (± 2,95)	0,724
sportlich aktive Tage pro Woche [Tage]	3,23 (± 1,02)	3,13 (± 1,09)	3,34 (± 0,98)	0,554
VO ₂ peak [ml/min/kg]	56,19 (± 7,90)	55,79 (± 9,10)	56,63 (± 6,76)	0,760

Die Tabelle zeigt:

n = Stichprobengröße, Mittelwert (± Standardabweichung), LOW-GI = Low Glycemic Index, BMI = Body-Mass-Index, VO₂peak = maximale Sauerstoffaufnahme, Den Unterschied zwischen der LOW-GI-Gruppe und der Kontrollgruppe wurde mittels t-Test für unabhängige Stichproben bzw. Mann-Whitney- U-Test ermittelt, wobei die Signifikanz wie folgt angegeben ist: *: p < 0,05

5.2 Ernährung

Mit Hilfe von Ernährungsprotokollen wurde in dieser Studie sowohl vor, als auch nach der Intervention der Brennwert, sowie der Anteil von Eiweiß, Kohlenhydraten und Fett bei den Studienteilnehmern erfasst. Da vor Beginn der Intervention in der LOW-GI-Gruppe von drei Probanden keine Ernährungsprotokolle eingereicht wurden, konnten lediglich dreizehn Pre-Werte dieser Gruppe in die Analyse einbezogen werden.

In der LOW-GI-Gruppe gab es signifikante Unterschiede zwischen den Werten vor (Pre) und nach (Post) der Intervention in Bezug auf den Eiweißanteil, der sich von 14,94 % ($\pm 3,29$) auf 19,48 % ($\pm 3,62$) erhöhte ($p < 0,001$), sowie den Kohlenhydratanteil, der von 52,26 % ($\pm 8,29$) auf 48,94 % ($\pm 4,78$) abnahm ($p < 0,031$). Die Kontrollgruppe zeigte hingegen keine signifikanten Unterschiede in allen Parametern bezüglich der Nährstoffzusammensetzung zwischen den Pre- und Post-Werten.

Tabelle 12 präsentiert die Ergebnisse der Nährstoffzusammensetzung der beiden Gruppen, wobei statistisch signifikante Ergebnisse mit einem Stern (*) gekennzeichnet sind.

Tab. 12: Brennwert und Zusammensetzungen der Nährstoffe

Variable [Einheit]	LOW-GI-Gruppe (n=16)			Kontrollgruppe (n=16)		
	Pre-Werte (n=13)	Post-Werte (n=16)	p-Wert	Pre-Werte (n=16)	Post-Wert (n=16)	p-Wert
Brennwert [kJ]	10.418,10 ($\pm 3.676,90$)	8.551,70 ($\pm 2.283,32$)	0,101	9.222,93 ($\pm 3.393,55$)	10.239,72 ($\pm 1.875,09$)	0,273
Eiweiß [%]	14,94 ($\pm 3,29$)	19,48 ($\pm 3,62$)	<0,001*	15,75 ($\pm 2,77$)	15,34 ($\pm 2,78$)	0,551
Kohlenhy- drate [%]	52,26 ($\pm 8,29$)	48,94 ($\pm 4,78$)	<0,031*	49,80 ($\pm 7,92$)	49,75 ($\pm 5,19$)	0,982
Fett [%]	29,71 ($\pm 6,52$)	27,75 ($\pm 3,86$)	0,372	31,92 ($\pm 7,39$)	31,05 ($\pm 4,33$)	0,708

Die Tabelle zeigt:

n = Stichprobengröße, Mittelwert ($\pm$ Standardabweichung), LOW-GI = Low Glycemic Index,

Der Unterschied zwischen der LOW-GI-Gruppe und der Kontrollgruppe wurde mittels t-Test für abhängige Stichproben bzw. Wilcoxon-Test ermittelt, wobei die Signifikanz wie folgt angegeben ist:

*: $p < 0,05$

Abbildung 3 stellt die Veränderung der prozentualen Nährstoffanteile zwischen den Zeitpunkten Pre und Post in der LOW-GI-Gruppe dar, während Abbildung 4 die entsprechenden Veränderungen in der Kontrollgruppe zeigt.

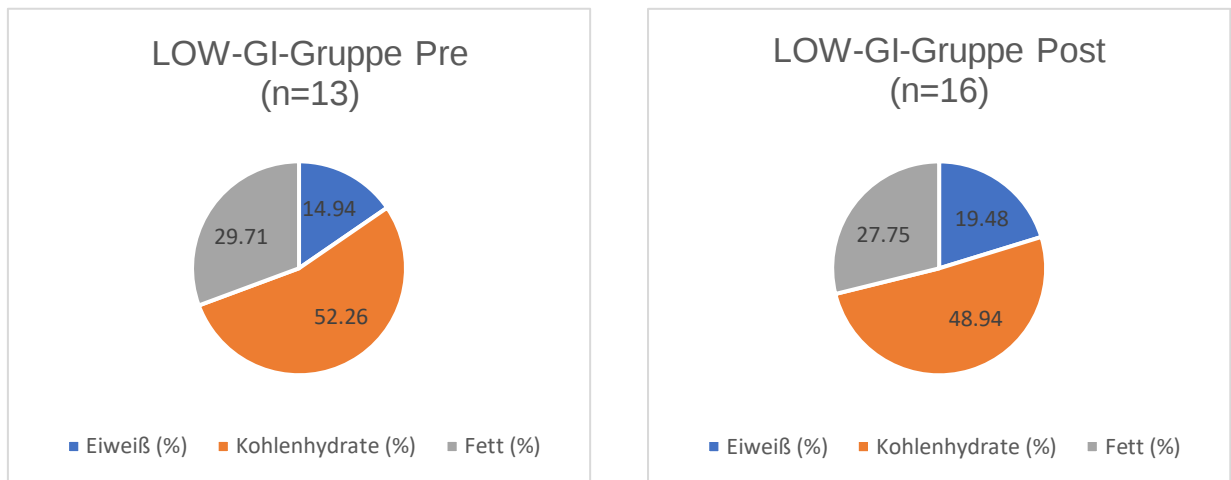


Abb. 3: Prozentuelle Pre- und Post- Werte der Nährstoffzusammensetzung in der LOW-GI-Gruppe

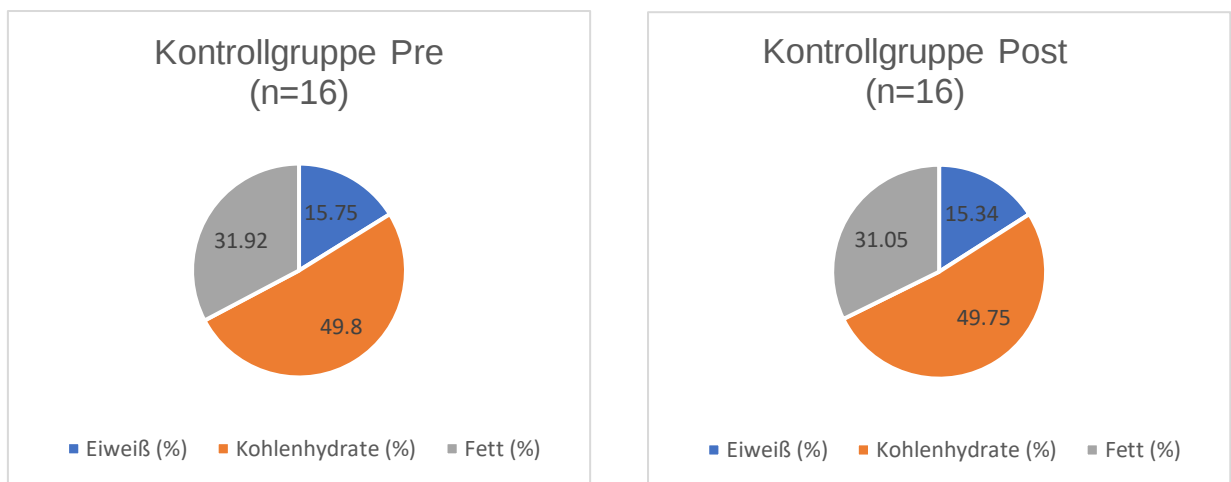


Abb. 4: Prozentuelle Pre- und Post- Werte der Nährstoffzusammensetzung in der Kontrollgruppe

5.3 Training

Während der zehnwöchigen Trainingsintervention absolvierten beide Gruppen durchschnittlich eine ähnliche Anzahl an Trainingsminuten pro Woche als auch gesamt. Ein signifikanter Unterschied der Trainingsminuten zwischen den beiden Gruppen konnte hierbei in keiner der zehn Wochen festgestellt werden. Das vorgesehene Trainingspensum der Studie betrug 2.302 Minuten gesamt. Die LOW-GI-Gruppe erreichte im Durchschnitt 2.069,25 Minuten ($\pm 326,08$), während die Kontrollgruppe im Durchschnitt 1.901,19 Minuten ($\pm 406,49$) absolvierte.

Abbildung 5 und Tabelle 13 bieten einen Überblick über die durchschnittlich pro Woche absolvierten Trainingsminuten und die durchschnittlich absolvierten Gesamtminuten sowohl für die LOW-GI-Gruppe als auch für die Kontrollgruppe.

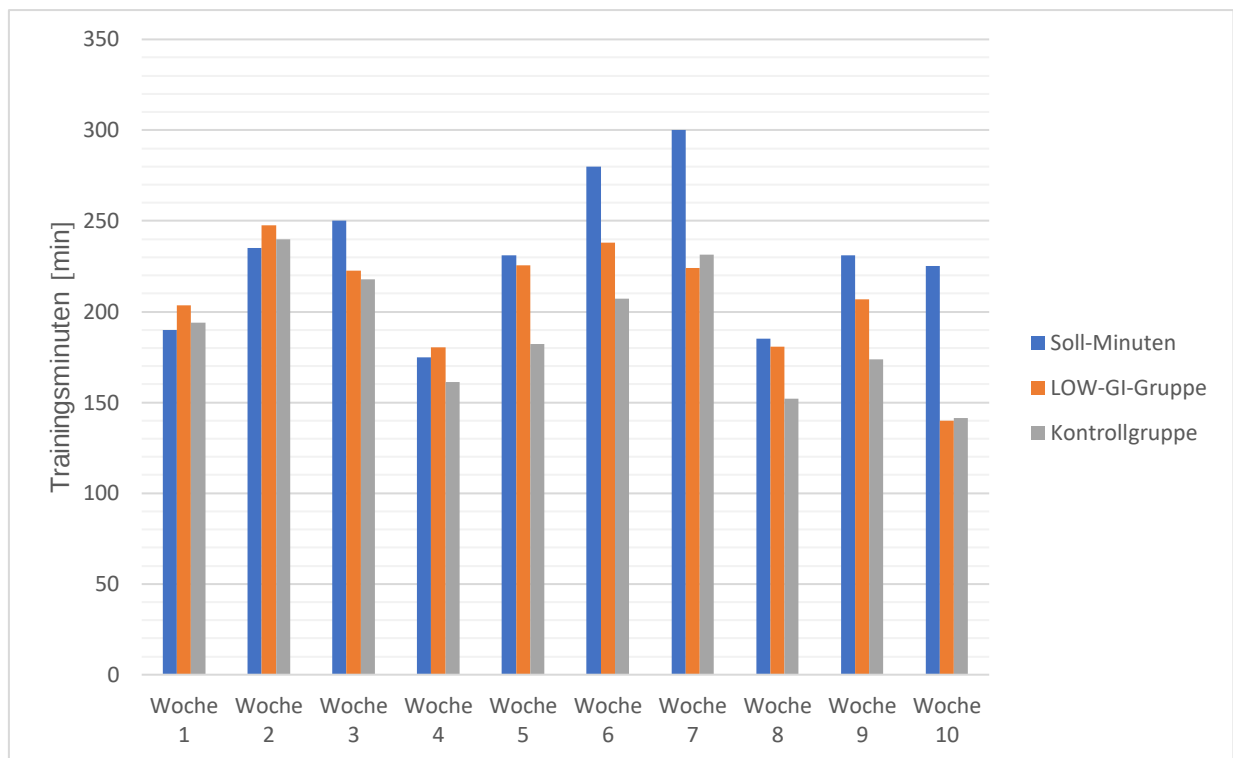


Abb. 5: Soll- und absolvierte Trainingsminuten in der LOW-GI-Gruppe und in der Kontrollgruppe

Tab. 13: Soll- und absolvierte Trainingsminuten

Trainingsminuten [min]					
	Soll- Trainings- minuten [min]	Gesamt (n=32)	LOW-GI-Gruppe (n=16)	Kontrollgruppe (n=16)	p-Wert
Woche 1	190	198,72 (± 27,59)	203,37 (± 33,25)	194,06 (± 20,51)	0,323
Woche 2	235	243,81 (± 52,08)	247,63 (± 35,05)	240,00 (± 65,92)	0,926
Woche 3	250	220,38 (± 69,91)	222,75 (± 63,42)	218,00 (± 77,89)	0,780
Woche 4	175	170,66 (± 53,80)	180,25 (± 38,56)	161,06 (± 65,57)	0,897
Woche 5	231	203,87 (± 75,23)	225,56 (± 49,31)	182,19 (± 90,89)	0,073
Woche 6	280	222,62 (± 103,04)	238,00 (± 96,53)	207,25 (± 110,09)	0,305
Woche 7	300	227,91 (± 93,00)	224,25 (±101,77)	231,56 (± 86,53)	0,724
Woche 8	185	166,28 (± 71,21)	180,63 (± 75,48)	151,94 (± 65,92)	0,261
Woche 9	231	190,37 (± 89,10)	206,94 (± 80,53)	173,81 (± 96,63)	0,468
Woche 10	225	140,59 (± 78,34)	139,87 (± 83,95)	141,31 (± 75,05)	0,960
Gesamt- minuten	2.302	1.985,22 (± 372,41)	2.069,25 (± 326,08)	1.901,19 (± 406,49)	0,207

Die Tabelle zeigt:

n = Stichprobengröße, Mittelwert (± Standardabweichung), LOW-GI = Low Glycemic Index,

Der Unterschied zwischen der LOW-GI-Gruppe und der Kontrollgruppe mittels t-Test für unabhängige Stichproben bzw. Mann-Whitney-U-Test ermittelt, wobei die Signifikanz wie folgt angegeben ist:

*: p < 0,05

5.4 Blutwerte

Die Blutwerte wurden in beiden Gruppen auf Veränderungen zwischen den Zeitpunkten Pre und Post untersucht. Darüber hinaus wurde geprüft, ob es Unterschiede in den verschiedenen Blutparametern zwischen der LOW-GI-Gruppe und der Kontrollgruppe gab. In Tabelle 14 wurden statistisch signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) durch ein Sternchen (*) markiert.

5.4.1 Unterschied der Blutparameter zwischen Pre und Post

In der LOW-GI-Gruppe wurden bei insgesamt fünf Blutparametern signifikante Unterschiede zwischen den Zeitpunkten Pre und Post festgestellt. Die Nierenwerte BUN und Harnstoff wiesen nach Abschluss der Intervention signifikante Veränderungen im Vergleich zum Studienbeginn auf. Der BUN-Wert stieg im Durchschnitt von 13,19 mg/dl ($\pm 3,62$) auf 15,56 mg/dl ($\pm 4,24$) nach der Intervention ($p=0,009$), während der Harnstoffwert von 28,19 mg/dl ($\pm 7,40$) auf 33,19 mg/dl ($\pm 9,04$) anstieg ($p=0,009$). Ebenso zeigte der Leberwert Gamma-GT in der LOW-GI-Gruppe nach der Intervention einen signifikanten Rückgang. Vor Beginn der Intervention betrug der Gamma-GT-Wert im Durchschnitt 22,50 U/l ($\pm 11,34$), nach der Intervention reduzierte er sich auf 16,87 U/l ($\pm 5,39$) ($p=0,009$). Auch bei den Blutfetten kam es zu signifikanten Reduzierungen der Werte Cholesterin und LDL-Cholesterin. Das Cholesterin verringerte sich von 179,62 mg/dl ($\pm 39,69$) auf 157,94 ($\pm 33,84$) ($p=0,004$), während sich das LDL-Cholesterin von anfänglich 103,81 mg/dl ($\pm 30,75$) auf 87,06 ($\pm 27,33$) ($p=0,005$) reduzierte. Für die nicht genannten Parameter konnten in der LOW-GI-Gruppe keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden.

In der Kontrollgruppe wurden ebenfalls signifikante Unterschiede zwischen den Zeitpunkten Pre und Post beobachtet. Der Hämatokritwert verringerte sich von 46,56 % ($\pm 1,63$) vor der Intervention auf 44,94 % ($\pm 1,61$) ($p=0,013$). Die segmentkernigen Granulozyten zeigten eine signifikante Zunahme von 49,52 % ($\pm 7,20$) auf 52,31 % ($\pm 7,26$) ($p=0,018$). Der Wert der Lymphozyten nahm während der Intervention von anfänglichen 35,73 % ($\pm 6,73$) auf 33,21% ($\pm 6,47$) ab ($p=0,011$). Außerdem stieg der Blutzuckerspiegel in der Kontrollgruppe von 80,44 mg/dl ($\pm 8,51$) auf 85,94 mg/dl ($\pm 5,87$) an ($p=0,017$). Bei den Nierenwerten änderte sich lediglich der Wert der Harnsäure, nämlich von 5,81 mg/dl (0,84) auf 5,48 mg/dl ($\pm 0,75$) ($p=0,008$). Bei den Blutfetten reduzierten sich sowohl das Cholesterin, LDL-Cholesterin aber auch das HDL-Cholesterin signifikant. Das Cholesterin reduzierte sich von 165,44 mg/dl ($\pm 34,06$) auf 148,06 mg/dl ($\pm 24,46$) ($p=0,004$), ebenso wie das LDL-Cholesterin, das von 87,25 mg/dl ($\pm 28,68$) auf 74,63 mg/dl ($\pm 21,80$) sank ($p=0,016$). Das HDL-Cholesterin reduzierte sich von 62,88 mg/dl ($\pm 12,62$) auf 58,50 mg/dl ($\pm 12,56$)

($p=0,049$). Für die übrigen Blutwerte wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Zeitpunkten Pre und Post festgestellt.

Tabelle 14 bietet eine Übersicht über die gemessenen Blutparameter zu den Zeitpunkten Pre und Post, aufgeteilt in die LOW-GI-Gruppe und die Kontrollgruppe. Die statistische Signifikanz der Unterschiede zwischen Pre und Post wurden in beiden Gruppen durch einen p-Wert unter 0,05 gekennzeichnet. In den Abbildungen 6 bis 12 werden die Veränderungen der signifikanten Parameter zwischen den beiden Zeitpunkten der Probenentnahme sowohl für die LOW-GI-Gruppe als auch für die Kontrollgruppe grafisch dargestellt.

Tab. 14: Unterschied der Blutwerte zwischen Pre und Post in der LOW-GI-Gruppe und der Kontrollgruppe

Blutwerte [Einheit]	LOW-GI-Gruppe (n=16)			Kontrollgruppe (n=16)		
	Pre-Wert	Post-Wert	p-Wert	Pre-Wert	Post-Wert	p-Wert
Erythrozyten [T/l]	4,95 (± 0,27)	4,94 (± 0,29)	0,587	5,16 (± 0,19)	5,01 (± 0,29)	0,099
Hämoglobin [g/dl]	14,86 (± 0,80)	14,89 (± 0,97)	0,916	15,54 (± 0,56)	15,23 (± 0,53)	0,151
Hämatokrit [%]	45,06 (± 2,59)	44,81 (± 2,26)	0,590	46,56 (± 1,63)	44,94 (± 1,61)	0,013 *
MCV [fl]	91,13 (± 4,72)	90,69 (± 3,18)	0,512	90,44 (± 3,03)	89,94 (± 3,57)	0,472
MCH [pg]	30,04 (± 1,12)	30,19 (± 1,10)	0,358	30,16 (± 0,71)	30,43 (± 1,05)	0,154
MCHC [g/dl]	33,01 (± 1,00)	33,30 (± 1,06)	0,103	33,37 (± 0,86)	33,90 (± 0,73)	0,111
Leukozyten [G/l]	5,33 (± 1,35)	4,98 (± 1,10)	0,252	5,26 (± 1,08)	5,21 (± 1,25)	0,803
segmentkernige Granulozyten [%]	53,18 (± 8,68)	49,97 (± 6,45)	0,128	49,52 (± 7,20)	52,31 (± 7,26)	0,018 *
segmentkernige Granulozyten Absolut [G/l]	2,86 (± 1,01)	2,47 (± 0,58)	0,097	2,61 (± 0,75)	2,74 (± 0,88)	0,306
Eosinophile [%]	2,43 (± 1,18)	2,79 (± 2,40)	0,887	3,89 (± 2,90)	4,24 (± 4,12)	0,569
Eosinophile Absolut [G/l]	0,12 (± 0,07)	0,15 (± 0,17)	0,900	0,21 (± 0,18)	0,22 (± 0,24)	0,361
Basophile [%]	0,65 (± 0,34)	0,65 (± 0,32)	1,000	0,81 (± 0,34)	0,73 (± 0,31)	0,311
Basophile Absolut [G/l]	0,03 (± 0,02)	0,03 (± 0,01)	0,896	0,04 (± 0,02)	0,04 (± 0,02)	0,147

Blutwerte [Einheit]	LOW-GI-Gruppe (n=16)			Kontrollgruppe (n=16)		
	Pre-Wert	Post-Wert	p-Wert	Pre-Wert	Post-Wert	p-Wert
Monozyten [%]	7,89 (± 1,24)	8,04 (± 1,06)	0,688	10,06 (± 2,00)	9,51 (± 1,98)	0,091
Monozyten Absolut [G/l]	0,42 (± 0,13)	0,40 (± 0,10)	0,516	0,52 (± 0,12)	0,49 (± 0,14)	0,238
Lymphozyten [%]	35,86 (± 8,38)	38,56 (± 5,56)	0,139	35,73 (± 6,73)	33,21 (± 6,47)	0,011 *
Lymphozyten Absolut [G/l]	1,88 (± 0,62)	1,92 (± 0,50)	0,815	1,86 (± 0,46)	1,71 (± 0,47)	0,056
Thrombozyten [G/l]	244,38 (± 46,07)	244,63 (± 46,22)	0,988	234,13 (± 37,88)	224,81 (± 51,60)	0,340
Blutzucker [mg/dl]	79,94 (± 9,91)	82,63 (± 6,26)	0,248	80,44 (± 8,51)	85,94 (± 5,87)	0,017 *
BUN [mg/dl]	13,19 (± 3,62)	15,56 (± 4,24)	0,009 *	14,69 (± 2,80)	15,06 (± 3,75)	0,662
Harnstoff [mg/dl]	28,19 (± 7,40)	33,19 (± 9,04)	0,009 *	31,25 (± 5,95)	32,06 (± 7,95)	0,666
Kreatinin [mg/dl]	0,86 (± 0,15)	0,88 (± 0,11)	0,642	0,89 (± 0,12)	0,90 (± 0,12)	0,655
GFR [ml/min]	> 60 (± 0,00)	> 60 (± 0,00)	1,000	> 60 (± 0,00)	> 60 (± 0,00)	1,000
Harnsäure [mg/dl]	5,67 (± 1,42)	5,39 (± 1,08)	0,282	5,81 (± 0,84)	5,48 (± 0,75)	0,008 *
GOT [U/l]	31,94 (± 20,20)	31,25 (± 11,58)	0,674	29,06 (± 10,55)	27,88 (± 10,08)	0,776
GPT [U/l]	25,88 (± 10,04)	28,88 (± 18,59)	0,589	30,38 (± 21,93)	24,75 (± 9,12)	0,513
Gamma-GT [U/l]	22,50 (± 11,34)	16,87 (± 5,39)	0,009 *	19,50 (± 9,03)	18,63 (± 5,68)	0,897
LDH [U/l]	198,94 (± 45,22)	192,25 (± 32,45)	0,362	180,56 (± 17,79)	186,19 (± 24,46)	0,443

Blutwerte [Einheit]	LOW-GI-Gruppe (n=16)			Kontrollgruppe (n=16)		
	Pre-Wert	Post-Wert	p-Wert	Pre-Wert	Post-Wert	p-Wert
CK [U/l]	279,13 (± 493,12)	206,50 (± 171,33)	0,535	243,38 (± 192,47)	203,25 (± 161,99)	0,501
Myoglobin [ng/ml]	57,78 (± 43,26)	54,93 (± 39,90)	0,352	49,49 (± 14,26)	49,44 (± 26,83)	0,408
Cholesterin [mg/dl]	179,62 (± 39,69)	157,94 (± 33,84)	0,004 *	165,44 (± 34,06)	148,06 (± 24,46)	0,004 *
HDL-C [mg/dl]	55,31 (± 11,58)	52,88 (± 10,52)	0,251	62,88 (± 12,62)	58,50 (± 12,56)	0,049 *
LDL-C [mg/dl]	103,81 (± 30,75)	87,06 (± 27,33)	0,005 *	87,25 (± 28,68)	74,63 (± 21,80)	0,016 *
TGL [mg/dl]	102,19 (± 57,25)	89,44 (± 44,04)	0,308	76,38 (± 36,48)	74,44 (± 25,21)	0,776

Die Tabelle zeigt:

n = Stichprobengröße, Mittelwert (± Standardabweichung), LOW-GI = Low Glycemic Index

MCV = mittleres Erythrozytenvolumen, MCH = mittlere korpuskuläre Hb-Masse,

MCHC = mittlere korpuskuläre Hämoglobinkonzentration, BUN = Blut-Harnstoff-Stickstoff,

GFR = Glomeruläre Filtrationsrate, GOT = Glutamat-Oxalacetat-Transaminase,

GPT = Glutamat-Pyruvat-Transaminase, Gamma-GT = Gamma-Glutamyl-Transferase,

LDH = Laktat-Dehydrogenase, CK = Creatin-Kinase, HDL-C = High Density Lipoprotein-Cholesterin, LDL-C = Low Density Lipoprotein-Cholesterin, TGL = Triglyzeride,

Der Unterschied zwischen Pre und Post in der LOW-GI-Gruppe und der Kontrollgruppe wurde mittels t-Test für abhängige Stichproben bzw. Wilcoxon-Test ermittelt, wobei die Signifikanz wie folgt angegeben ist: *: $p < 0,05$

LOW-GI-Gruppe:

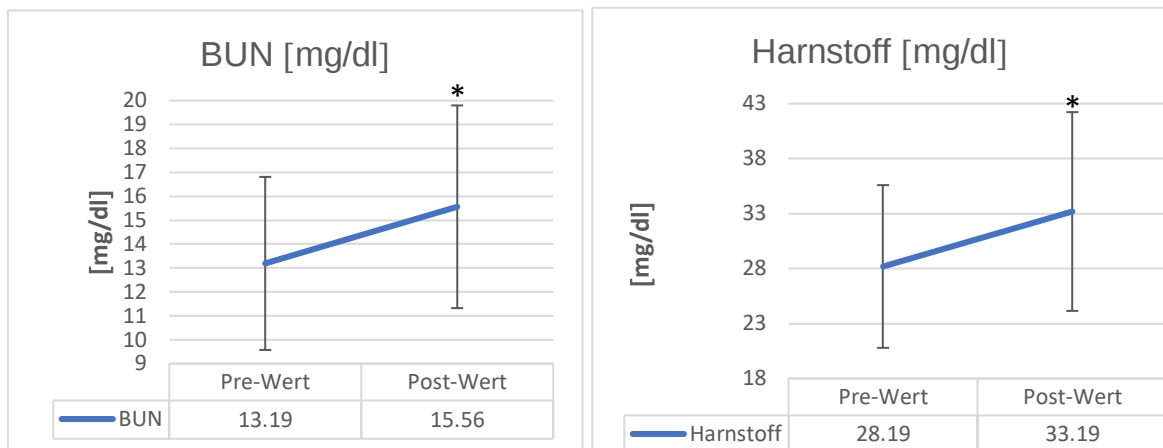


Abb. 6: Veränderung der Parameter BUN und Harnstoff von Pre zu Post in der LOW-GI-Gruppe

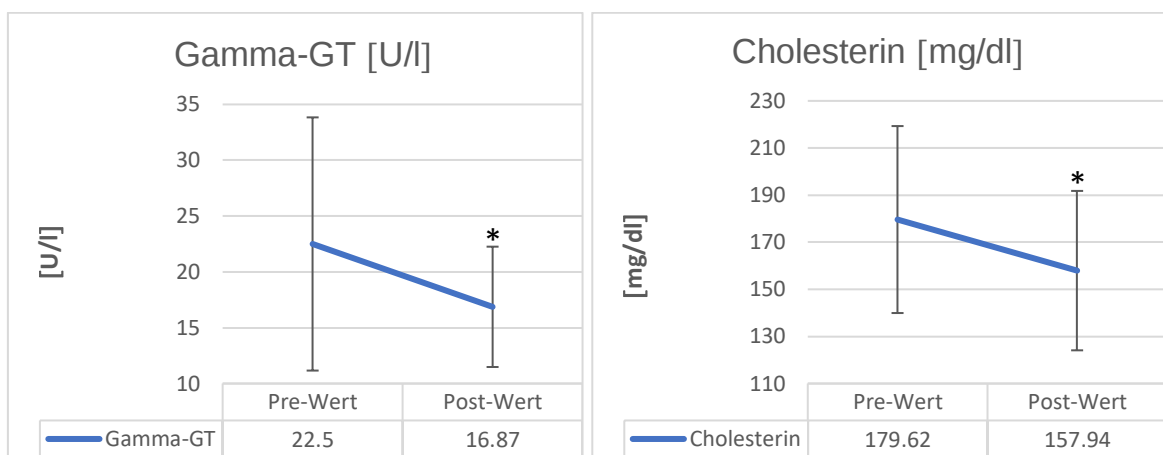


Abb. 7: Veränderung der Parameter Gamma-GT und Cholesterin von Pre zu Post in der LOW-GI-Gruppe

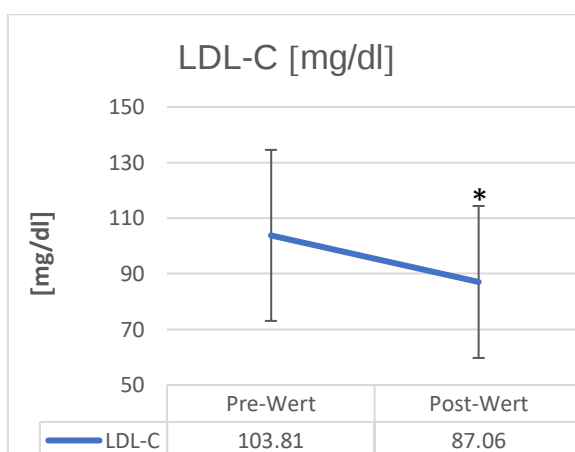


Abb. 8: Veränderung des Parameters LDL-Cholesterin von Pre zu Post in der LOW-GI-Gruppe

Kontrollgruppe:

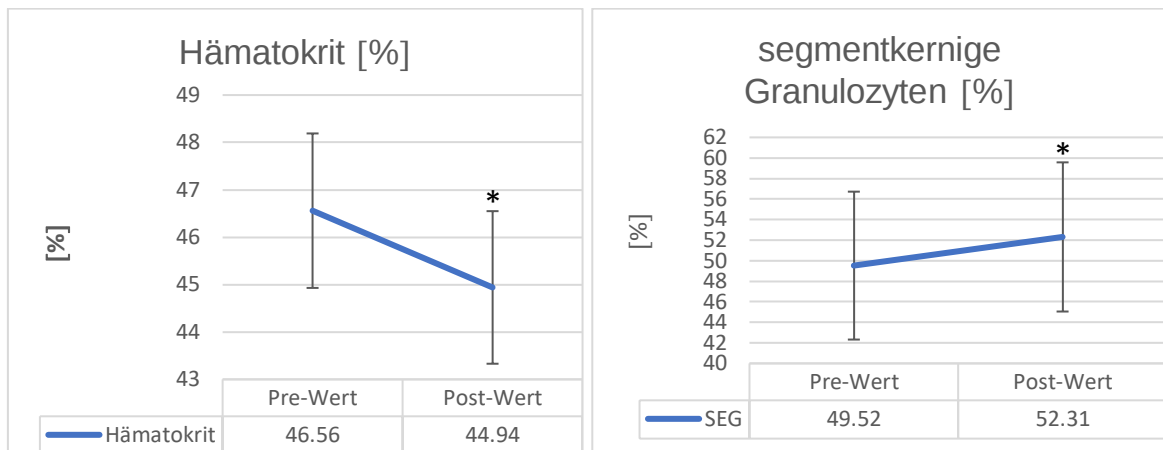


Abb. 9: Veränderung des Hämatokritwerts und der segmentkernigen Granulozyten von Pre zu Post in der Kontrollgruppe

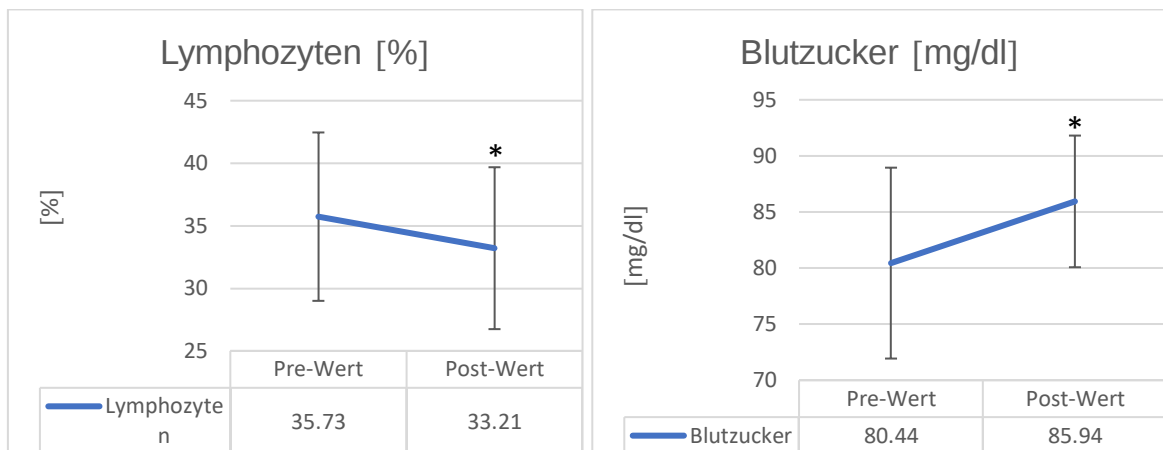


Abb. 10: Veränderung der Lymphozyten und des Blutzuckers von Pre zu Post in der Kontrollgruppe

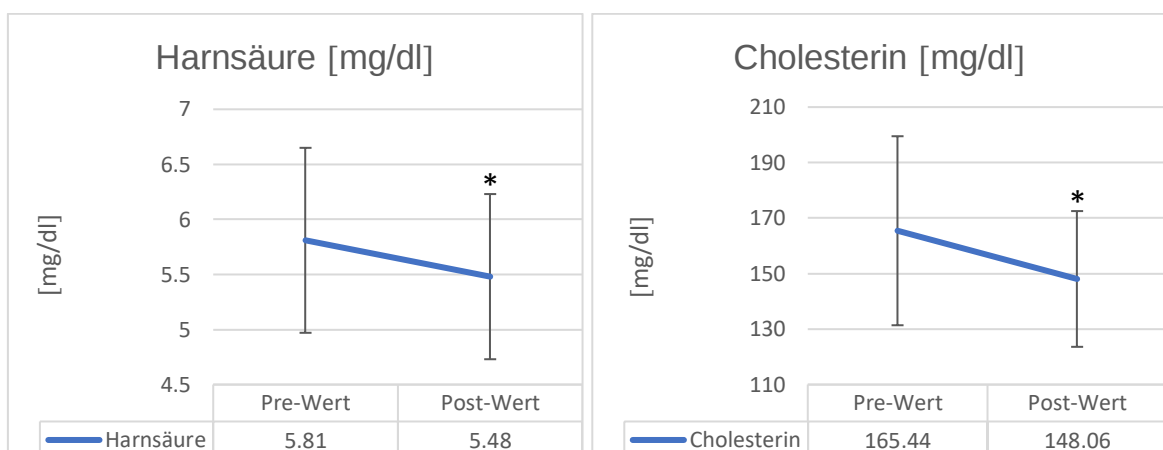


Abb. 11: Veränderung der Harnsäure und des Cholesterins von Pre zu Post in der Kontrollgruppe

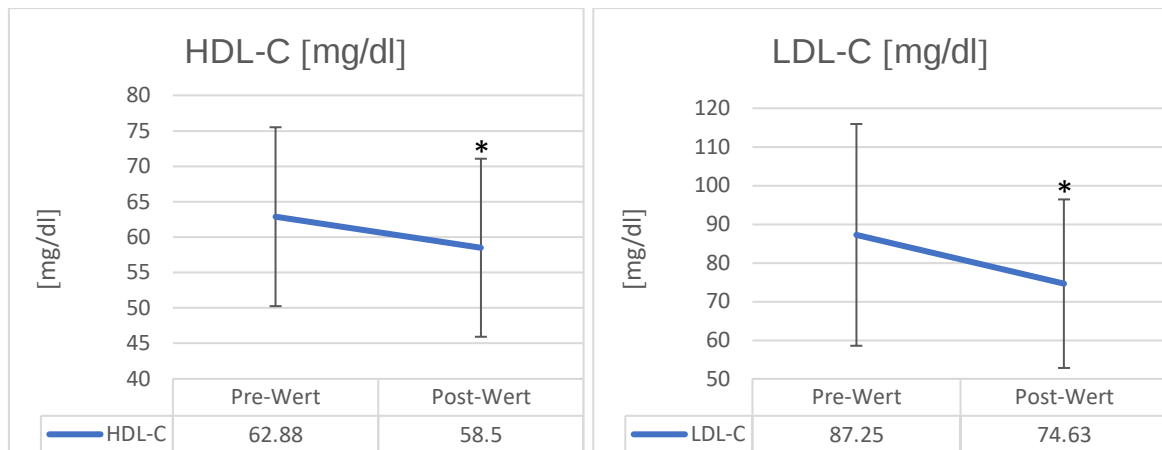


Abb. 12: Veränderung des HDL-C und des LDL-C von Pre zu Post in der Kontrollgruppe

5.4.2 Unterschied der Blutparameter zwischen den Gruppen

Es wurde nicht nur eine Analyse der Veränderungen zwischen den beiden Zeitpunkten Pre und Post in den einzelnen Gruppen durchgeführt, sondern auch geprüft, ob Unterschiede zwischen der LOW-GI-Gruppe und der Kontrollgruppe festgestellt werden können. Dabei wurden signifikante Unterschiede zwischen den beiden Gruppen in vier der insgesamt 34 Parametern festgestellt.

Der Wert der segmentkernigen Granulozyten reduzierte sich in der LOW-GI-Gruppe um 3,2063 % ($\pm 7,9694$), während er in der Kontrollgruppe um 2,7875 % ($\pm 4,2207$) anstieg ($p=0,014$). Ebenso wurde ein signifikanter Unterschied im Absolutwert der segmentkernigen Granulozyten (SEGAB) zwischen den beiden Gruppen festgestellt. In der LOW-GI-Gruppe reduzierte sich der Wert um 0,3887 % ($\pm 0,8784$), in der Kontrollgruppe hingegen wurde ein Anstieg von 0,1294 % ($\pm 0,4883$) verzeichnet ($p=0,048$). Bei den Lymphozyten kam es in der LOW-GI-Gruppe zu einem Anstieg von 2,7 % ($\pm 6,9154$), während in der Kontrollgruppe eine Reduzierung von 2,5250% ($\pm 3,4807$) beobachtet wurde ($p=0,013$). Der Nierenwert Gamma-GT reduzierte sich in der LOW-GI-Gruppe um 5,6250 U/l ($\pm 8,1230$) und in der Kontrollgruppe um 0,8750 U/l ($\pm 7,0887$) ($p=0,014$).

Es wurden keine weiteren signifikanten Unterschiede zwischen der LOW-GI-Gruppe und der Kontrollgruppe bei den übrigen Blutparametern festgestellt. Eine detaillierte Übersicht über die Ergebnisse der Unterschiede ist in Tabelle 15 zu finden, während die Abbildung 13 bis 16 eine graphische Darstellung bietet. Statistisch signifikante Unterschiede ($p<0,05$) wurden durch ein Sternchen (*) markiert.

Tab. 15: Unterschied der Blutwerte zwischen der LOW-GI-Gruppe und der Kontrollgruppe

Blutwerte [Einheit]	LOW-GI-Gruppe (n=16)	Kontrollgruppe (n=16)	p-Wert
Erythrozyten [T/l]	-0,150 (± 0,2141)	-0,1450 (± 0,3302)	0,196
Hämoglobin [g/dl]	0,0313 (± 0,5907)	-0,3125 (± 0,8253)	0,186
Hämatokrit [%]	-0,2500 (± 1,8439)	-1,6250 (± 0,2,3058)	0,072
MCV [fl]	-0,4375 (± 2,6069)	-0,5000 (± 2,7080)	0,696
MCH [pg]	0,1500 (± 0,6325)	0,2750 (± 0,7326)	0,669
MCHC [g/dl]	0,2937 (± 0,8182)	0,5313 (± 1,0650)	0,485
Leukozyten [G/l]	-0,3500 (±1,1759)	-0,0500 (± 0,7857)	0,403
segmentkernige Granulozyten [%]	-3,2063 (± 7,9694)	2,7875 (± 4,2207)	0,014 *
segmentkernige Granulozyten Absolut [G/l]	-0,3887 (± 0,8784)	0,1294 (± 0,4883)	0,048 *
Eosinophile [%]	0,3562 (± 1,8500)	0,3563 (± 2,4830)	0,780
Eosinophile Absolut [G/l]	0,0244 (± 1,2966)	0,0075 (± 0,1323)	0,381
Basophile [%]	0,0000 (± 0,3670)	-0,0750 (± 0,2595)	0,510
Basophile Absolut [G/l]	0,0006 (± 0,0188)	-0,0056 (± 0,0155)	0,313
Monozyten [%]	0,1500 (± 1,4633)	-0,5437 (± 1,2022)	0,153
Monozyten Absolut [G/l]	-0,0200 (± 0,1202)	-0,0337 (± 0,1098)	0,616

Blutwerte [Einheit]	LOW-GI-Gruppe (n=16)	Kontrollgruppe (n=16)	p-Wert
Lymphozyten [%]	2,7000 (± 6,9154)	-2,5250 (± 3,4807)	0,013 *
Lymphozyten Absolut [G/l]	0,0331 (± 0,5576)	-0,1525 (± 0,2950)	0,251
Thrombozyten [G/l]	0,2500 (± 63,6506)	-9,3125 (± 37,7725)	0,402
Blutzucker [mg/dl]	2,6875 (± 8,9347)	5,5000 (± 8,1813)	0,360
BUN [mg/dl]	2,3750 (± 3,1807)	0,3750 (± 3,3640)	0,094
Harnstoff [mg/dl]	5,0000 (± 6,6833)	0,8125 (± 7,3776)	0,103
Kreatinin [mg/dl]	0,0125 (± 1,1147)	0,0062 (± 0,0574)	0,897
GFR [ml/min]	0,0000 (± 0,0000)	0,0000 (± 0,0000)	1,000
Harnsäure [mg/dl]	-0,2750 (± 0,9862)	-0,3313 (± 0,4301)	0,836
GOT [U/l]	-0,6875 (± 14,6866)	-1,1875 (± 14,7568)	0,564
GPT [U/l]	3,0000 (± 19,3115)	-5,6250 (± 19,1551)	0,926
Gamma-GT [U/l]	-5,6250 (± 8,1230)	-0,8750 (± 7,0887)	0,014 *
LDH [U/l]	-6,6875 (± 28,4270)	5,6250 (± 28,5678)	0,445
CK [U/l]	-72,6250 (± 374,8448)	-40,1250 (± 275,8820)	0,539
Myoglobin [ng/ml]	-2,8563 (± 29,2264)	-0,0500 (± 31,9512)	1,000
Cholesterin [mg/dl]	-21,6875 (± 25,5727)	-17,3750 20,5228	0,603
HDL-C [mg/dl]	-2,4375 (± 8,1729)	-4,3750 (± 8,1803)	0,508

Blutwerte [Einheit]	LOW-GI-Gruppe (n=16)	Kontrollgruppe (n=16)	p-Wert
LDL-C [mg/dl]	-16,7500 ($\pm$ 20,5020)	-12,6250 ($\pm$ 18,6257)	0,556
TGL [mg/dl]	-12,7500 ($\pm$ 41,2351)	-1,9375 ($\pm$ 34,8453)	0,429

Die Tabelle zeigt:

n = Stichprobengröße, Mittelwert ($\pm$ Standardabweichung), LOW-GI = Low Glycemic Index

MCV = mittleres Erythrozytenvolumen, MCH = mittlere korpuskuläre Hb-Masse,

MCHC = mittlere korpuskuläre Hämoglobinkonzentration, BUN = Blut-Harnstoff-Stickstoff,

GFR = Glomeruläre Filtrationsrate, GOT = Glutamat-Oxalacetat-Transaminase,

GPT = Glutamat-Pyruvat- Transaminase, Gamma-GT = Gamma-Glutamyl-Transferase,

LDH = Laktat-Dehydrogenase, CK = Creatin-Kinase, HDL-C = High Density Lipoprotein-Cholesterin,

LDL-C = Low Density Lipoprotein- Cholesterin, TGL = Triglyzeride,

Der Unterschied zwischen Pre und Post (Differenz) zwischen der LOW-GI-Gruppe und der Kontrollgruppe wurde mittels t-Test für unabhängige Stichproben bzw. Mann-Whitney-U-Test ermittelt, wobei die Signifikanz wie folgt angegeben ist: *: $p < 0,05$

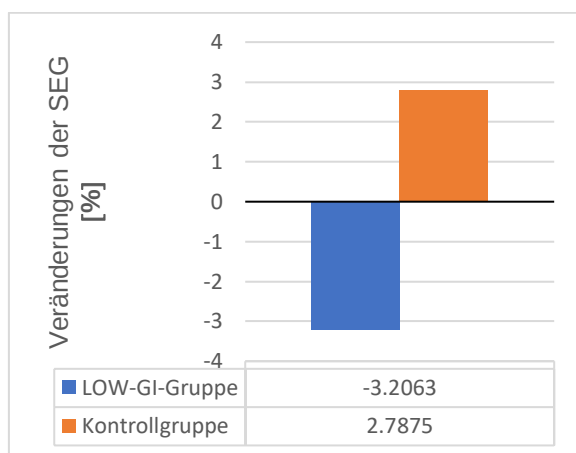


Abb. 13: Unterschied der segmentkernigen Granulozyten zwischen der LOW-GI-Gruppe und der Kontrollgruppe

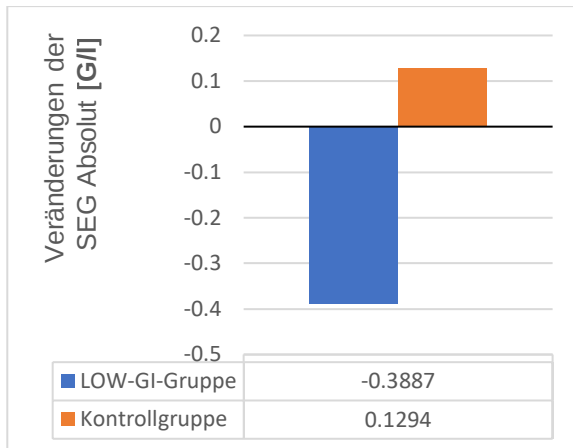


Abb. 14: Unterschied der segmentkernigen Granulozyten Absolut zwischen der LOW-GI-Gruppe und der Kontrollgruppe

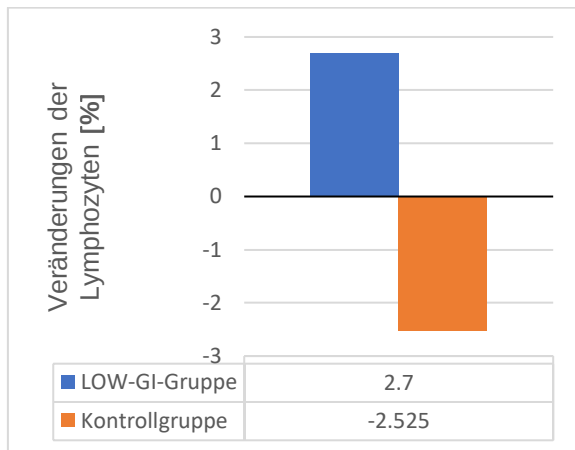


Abb. 15: Unterschied der Lymphozyten zwischen der LOW-GI-Gruppe und der Kontrollgruppe

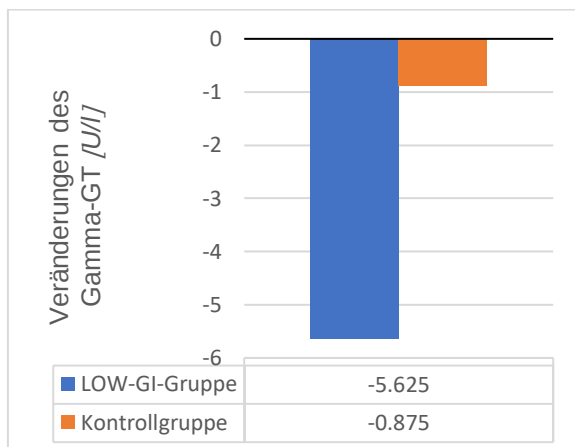


Abb. 16: Unterschied des Gamma-GT zwischen der LOW-GI-Gruppe und der Kontrollgruppe

6 Diskussion

Das Ziel dieser Masterarbeit besteht darin, die Auswirkungen eines mehrwöchigen, gezielten Ausdauertrainings in Kombination mit einer begleitenden, niedrig glykämischen Ernährungsweise auf die Parameter des gesamten Blutbildes sowie der klinischen Chemie zu untersuchen. Die zentrale Forschungsfrage dieser Arbeit lautet: „Wie wirkt sich ein 10-wöchiges Ausdauertraining mit begleitender LOW-GI-Diät auf die Parameter des gesamten Blutbildes sowie der klinischen Biochemie bei jungen, sportlich aktiven Männern aus?“ Da Ausdauertraining und eine niedrig glykämischen Ernährung individuell unterschiedliche Auswirkungen auf die Blutparameter haben können und es noch wenig Erkenntnisse darüber gibt, wie sich diese beiden Faktoren kombiniert auswirken, ist diese Studie von besonderem Interesse. Im weiteren Verlauf werden die Studienergebnisse ausführlich analysiert, mit den bereits vorhandenen Erkenntnissen aus der Literatur verglichen und die aufgestellten Hypothesen behandelt.

6.1 Auswirkungen auf das rote Blutbild

In der vorliegenden Studie wurden die Blutwerte vor und nach der Intervention in beiden Gruppen analysiert, um potenzielle Veränderungen zu identifizieren. Die Ergebnisse zeigen, dass in der LOW-GI-Gruppe zwischen den Zeitpunkten Pre und Post keine signifikanten Veränderungen im roten Blutbild festgestellt wurden. Interessanterweise zeigte alleine die Kontrollgruppe eine signifikante Abnahme des Hämatokritwerts zwischen Pre und Post.

Die Ausgangshypothese dieser Studie war, dass ein 10-wöchiges Ausdauertraining mit begleitender LOW-GI-Diät zu Veränderungen im roten Blutbild führt, einschließlich Reduktionen der Werte Hämoglobin, Hämatokrit und der Erythrozytenanzahl. Allerdings unterstützen die gewonnenen Ergebnisse die Hypothese nur teilweise. Der Hämatokritwert wurde reduziert, jedoch zeigte der Hämoglobinwert und die Anzahl an Erythrozyten keine signifikanten Veränderungen.

Die signifikante Reduktion des Hämatokritwerts in der Kontrollgruppe legt nahe, dass diese Veränderungen eher auf das Training als auf die Ernährungsintervention zurückzuführen sind.

Durch Ausdauertraining wird eine Steigerung des Blutvolumens hervorgerufen. Demzufolge ist bei Ausdauertrainierten das Erythrozytenvolumen im Vergleich zum Plasmavolumen erheblich verkleinert. Erkennbar ist dies an einem niedrigen Hämoglobin- sowie Hämatokritwert (Thomas, 2013). Diese Erkenntnis könnte eine mögliche Erklärung für die signifikante Abnahme des Hämatokrits in der Kontrollgruppe darstellen.

Angesichts vergleichbarer Trainingsbedingungen bleibt die Ursache für die signifikante Reduktion des Hämatokritwerts in der Kontrollgruppe weiterhin unerklärt. Weder die Häufigkeit aktiver Trainingstage pro Woche, noch die Trainingsinhalte oder das Trainingsvolumen unterschieden sich signifikant zwischen den Gruppen. Ebenso zeigten beide Gruppen eine ähnliche durchschnittliche VO₂peak, was die Frage aufwirft, warum diese spezifische Veränderung nur in der Kontrollgruppe auftrat.

Die Ergebnisse sollten im Vergleich zu den Studienergebnissen von Montero et al. (2017) betrachtet werden, da diese sich ausschließlich auf eine Trainingsintervention konzentrierte. In der genannten Studie führte ein 8-wöchiges Ergometer Training zu ähnlichen Ergebnissen, bezüglich der Reduzierung des Hämatokritwerts wie in der vorliegenden Arbeit. Zusätzlich wurde eine Abnahme der Erythrozyten und der Hämoglobinkonzentration, ohne signifikante Veränderungen bei MCV, MCH und MCHC festgestellt.

Die Forschungslage zu den Auswirkungen von Ausdauertraining auf das rote Blutbild ist nicht einheitlich und zeigt unterschiedliche Ergebnisse bei verschiedenen Parametern. In einer Studie von Kostrzewa-Nowak et al. (2015) nahmen 34 weibliche Probanden/Probandinnen dreimal wöchentlich an einer 30-minütigen Aerobic-Trainingseinheit teil. Trotz unterschiedlicher Interventionsgruppen (Untergewicht, Normalgewicht, Übergewicht), zeigten sich keine signifikanten Veränderungen im roten Blutbild. Abgesehen vom Hämatokritwert, decken sich diese Ergebnisse mit denen der vorliegenden Forschungsarbeit. Hingegen fand eine Untersuchung von Kostrzewa-Nowak et al. (2020) mit nur sechs Probanden im Verlauf eines viermonatigen fußballspezifischen Trainingsprogramms eine Reduzierung von MCH und MCHC. Die übrigen Parameter des roten Blutbildes blieben hingegen unverändert. Aufgrund der geringen Stichprobengröße ist eine kritische und differenzierte Betrachtung dieser Studie erforderlich. Zu unterschiedlichen Ergebnissen kam es in der Untersuchung von Jamurtas et al. (2018). Dabei wurde kontinuierliches aerobes Training (CET-Gruppe) mit hochintensivem Intervalltraining (HIIT-Gruppe) verglichen. Weder die CET- noch die HIIT-Gruppe zeigten signifikante Veränderungen der Erythrozytenanzahl, Hämoglobin oder Hämatokrit. Jedoch führte das HIIT-Programm zu einem Anstieg von MCV und MCHC.

Interessanterweise wurde in bisherigen Studien nicht spezifisch die alleinige Auswirkung einer niedrig glykämischen Ernährungsintervention auf das rote Blutbild untersucht. Es wäre von großem Interesse, Untersuchungen durchzuführen, die spezifisch die Auswirkungen einer niedrig glykämischen Ernährungsweise im Vergleich zu reinen Trainingsinterventionen auf das rote Blutbild analysieren. Solche Studien könnten die

relativen Effekte einer niedrig glykämischen Ernährungsintervention im Vergleich zu einem Trainingsplan auf das rote Blutbild klären.

6.2 Auswirkungen auf das weiße Blutbild

Die Ergebnisse der Parameter des weißen Blutbildes zeigten keine signifikanten Veränderungen in der LOW-GI-Gruppe. Im Gegensatz dazu, wiesen die segmentkernigen Granulozyten in der Kontrollgruppe eine signifikante Zunahme auf, während der Wert der Lymphozyten durch die Intervention signifikant abnahm. Leukozyten, eosinophile und basophile Granulozyten, sowie Thrombozyten zeigten auch in der Kontrollgruppe keine signifikanten Veränderungen. Es gab keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Gruppen.

Die Ergebnisse stehen im Kontrast zu der anfänglichen Hypothese, die eine Abnahme der Leukozyten und ihre Untergruppen in der LOW-GI-Gruppe vorhergesagt hat. Aus diesem Grund wird die Hypothese widerlegt. Die beobachteten signifikanten Veränderungen in der Kontrollgruppe könnte auf andere nicht berücksichtigte Einflussfaktoren zurückzuführen sein, die in dieser Studie nicht erfasst wurden. Diese Diskrepanz zwischen den Erwartungen und den tatsächlichen Veränderungen deutet darauf hin, dass weitere Untersuchungen erforderlich sind, um potenzielle zusätzliche Einflussfaktoren zu identifizieren und diese Ergebnisse besser zu verstehen.

Auch hinsichtlich des weißen Blutbildes gibt es der aktuellen Forschungslage zufolge noch einige Unstimmigkeiten, bezüglich der Auswirkungen von Ausdauertraining auf seine Parameter. In der viermonatigen, auf Fußball ausgerichteten Studie von Kostrzewa-Nowak et al. (2020) blieben Leukozyten, Lymphozyten, Monozyten sowie Granulozyten unverändert, was mit den Ergebnissen der vorliegenden Studie in der LOW-GI-Gruppe übereinstimmt. Es ist jedoch anzumerken, dass die Studie von Kostrzewa-Nowak et al. (2020) aufgrund ihrer geringen Stichprobengröße von lediglich sechs Probanden, durchaus eingeschränkt ist und ausschließlich eine Trainingsintervention umfasste. Die Studie von Jamurtas et al. (2018), in der die CET- mit der HIIT-Gruppe verglichen wurde, zeigte in beiden Gruppen einen Anstieg der Lymphozyten, wobei dieser nur in der HIIT-Gruppe signifikant war. Lediglich bei den Granulozyten zeigte sich eine Abnahme, die in der HIIT-Gruppe signifikanter war als in der CET-Gruppe. Die Leukozyten stiegen nach beiden Trainingsprotokollen signifikant an, wobei der Anstieg in der HIIT-Gruppe größer ausfiel. Im Gegensatz dazu, zeigte Johannsen et al. (2012) eine starke Abnahme der Leukozyten, die zu anderen Ergebnissen im Vergleich zu Jamurtas et al. (2018) führte. In dieser Studie nahmen ausschließlich Frauen mit Übergewicht oder Adipositas teil. Es wurde eine starke

Abnahme der Leukozyten festgestellt, insbesondere in der 12-KKW-Gruppe, die gleichzeitig den größten vorgegebenen kcal-Verbrauch pro Kilogramm Körpergewicht pro Woche hatten. Auch die neutrophilen Granulozyten waren in dieser Gruppe reduziert. Die übrigen Parameter des weißen Blutbildes blieben unverändert.

Im Zuge der Nachforschung nach dem aktuellen Wissensstand, konnte keine Studie gefunden werden, die sich ausschließlich mit den Auswirkungen einer niedrig glykämischen Ernährungsweise auf die Parameter des weißen Blutbilds beschäftigt. Es wurden lediglich drei Studien gefunden, die die Kombination von Ausdauertraining mit einer niedrig glykämischen Ernährungsintervention untersuchten und deren Effekte auf das weiße Blutbild analysierten. Die Studie von Chen et al. (2008) untersuchte den Einfluss von vor dem Training konsumierten Mahlzeiten mit unterschiedlichem glykämischen Index (GI) und glykämischer Last (GL) auf die Immunreaktion während eines Ausdauerlaufs. Die Ergebnisse zeigten, dass der Verzehr kohlenhydratreicher Mahlzeiten vor dem Training zu einer geringeren Beeinträchtigung bestimmter Immunparameter führte. Eine reduzierte Zunahme von zirkulierenden Leukozyten, neutrophilen Granulozyten und T-Lymphozyten sowie der IL-Plasmakonzentration nach der Belastung und während der Erholungsphase wurden beobachtet. Die Studie deutet darauf hin, dass die Menge an konsumierten Kohlenhydraten vor dem Training den Haupteffekt bestimmt, nicht unbedingt die Art der Kohlenhydrate. Es ist wichtig anzumerken, dass diese Studie lediglich den unmittelbaren Einfluss der vorbelasteten Ernährung analysiert, ohne Langzeiteffekte zu berücksichtigen.

Die Effekte kohlenhydratreicher Mahlzeiten mit unterschiedlichem glykämischen Index vor dem Training auf die Leukozytenverteilung während Ausdauertrainings, wurden in der Studie von Li et al. (2004) untersucht. Dabei zeigte sich, dass eine niedrig glykämische Ernährung im Vergleich zu einer hoch glykämischen Ernährung nach 90 Minuten Training zu einer signifikanten Verringerung der Leukozyten und neutrophilen Granulozyten führte. Wong et al. (2009) konnten in ihrer Studie keine Unterschiede in den Blutparametern feststellen. Sie untersuchten den Einfluss von Mahlzeiten mit unterschiedlichem glykämischen Index (GI) auf die Erholungszeit und die nachfolgende Leistung nach einer Laufeinheit bei sieben männlichen Teilnehmern. Obwohl die Ausdauerleistung nach einer Mahlzeit mit hohem GI um 15% länger war als nach einer mit niedrigem GI, ergaben sich keine signifikanten Unterschiede in der Substratoxidation zwischen den Gruppen. Diese Ergebnisse stehen im Kontrast zu den Ergebnissen von Chen et al. (2008) und Li et al. (2004). Die geringe Stichprobengröße ist erneut zu berücksichtigen, wobei die Aussagekraft der Ergebnisse einschränkt ist. Es ist wichtig anzumerken, dass die letzten drei genannten Studien lediglich den unmittelbaren Einfluss einer niedrig glykämischen Ernährung analysieren, ohne Langzeiteffekte zu berücksichtigen. Eine Untersuchung, die die

Langzeiteffekte von Ernährung und Ausdauer analysiert, wäre besonders interessant. Daher ist ein direkter Vergleich mit der vorliegenden Studie in Bezug auf die Ernährungsintervention nicht wirklich möglich.

Das weiße Blutbild reagiert stark auf körperliche Belastung. Nach intensiver Belastung kann die Leukozytenzahl mehr als das Doppelte des Ruhewerts erreichen. Direkt nach einer Ausdauerleistung steigt die Anzahl der Leukozyten stark an, gefolgt von einem Rückgang der Lymphozyten und einem späteren erneuten Anstieg der neutrophilen Granulozyten. Die verschiedenen Leukozytenarten zeigen unterschiedliche Reaktionen und es gibt bis dato nur wenige Untersuchungen zu den chronischen Veränderungen des weißen Blutbildes bei trainierten Personen. Dennoch wird angenommen, dass hoch trainierte Athleten niedrigere Leukozytenwerte haben können, dass sich durch eine erhöhte Immunreaktion erklären lässt (Thomas, 2013).

Bezugnehmend auf die Ergebnisse der vorliegenden Studie in der Kontrollgruppe lässt sich abschließend sagen, dass die Veränderungen der segmentkernigen Granulozyten und Lymphozyten nach der Intervention auf verschiedene Faktoren zurückzuführen sind. Körperliche Belastung und Stress können die Immunantwort beeinflussen, was zu einer Zunahme der Granulozyten und einer vorübergehenden Abnahme der Lymphozyten führen kann. Temporäre Veränderungen in diesen Leukozytenarten können auch durch Entzündungsreaktionen und die Anpassung des Immunsystems an Belastungen hervorgerufen werden. Da es in der LOW-GI-Gruppe zu keinen signifikanten Veränderungen des weißen Blutbildes kam, könnte diese Ernährungsform die Immunantwort nach dem Training moduliert haben. Möglicherweise durch die Reduzierung von Entzündungen oder die Förderung der Regeneration.

6.3 Auswirkungen auf den Blutzucker

In der LOW-GI-Gruppe gab es nach der Ernährungs- und Trainingsintervention keine signifikanten Veränderungen im Blutzuckerspiegel im Vergleich von Pre zu Post. Ursprünglich wurde erwartet, dass sich der Blutzuckerwert in der Gruppe mit niedrigem glykämischen Index verringern würde. Überraschenderweise stieg der Blutzuckerspiegel trotz des prozentualen Rückgangs des Kohlenhydratanteils (von 52,26% auf 48,94%) in der LOW-GI-Gruppe im Vergleich von Pre zu Post leicht an, wenn auch nicht signifikant. In der Kontrollgruppe hingegen, konnte ein signifikanter Anstieg des Blutzuckerspiegels verzeichnet werden. Dieser könnte darauf zurückzuführen sein, dass die Art der konsumierten Kohlenhydrate möglicherweise vermehrt zu einem Anstieg des Blutzuckerspiegels beitrug. Der leichte Anstieg des Blutzuckerwerts in der LOW-GI-Gruppe,

könnte auf mehrere Faktoren zurückzuführen sein. Zum einen kann es durch körperliche Aktivität zu einem vorübergehenden Anstieg des Blutzuckerspiegels kommen. Der individuelle Stoffwechsel und die Nahrungsverarbeitung könnten ebenso eine Rolle spielen, da die Zusammensetzung der Nahrung trotz niedrig glykämischen Index unterschiedliche Auswirkungen haben kann. Nicht zuletzt könnten unberücksichtigte Faktoren wie Stress oder individuelle Stoffwechselunterschiede den Blutzuckerspiegel beeinflusst haben.

Die Studie von Jamka et al. (2021) beleuchtete die Effekte von Ausdauertraining, sowie einer Kombination aus Ausdauer und Krafttraining bei unterschiedlichen Gruppen übergewichtiger Frauen. Die 12-wöchige Intervention zeigte überwiegend positive Auswirkungen auf die Körperzusammensetzung, jedoch keine signifikanten Veränderungen im Glucosestoffwechsel. Eine umfassende Metaanalyse von Jamka et al. (2022) inkludierte 46 Studien in die Analyse. Hierbei zeigte sich, dass reines Ausdauertraining den HbA1c-Wert stärker senkte als reines Krafttraining. Das kombinierte Ausdauer-Kraft-Training hatte größere Auswirkungen auf Glucose, HbA1c und Insulinresistenz, im Vergleich zum reinen Krafttraining. Diese beiden Studien waren die einzigen, die sich ausschließlich mit den Auswirkungen einer Trainingsintervention auf die Blutparameter des Blutzuckerspiegels beschäftigten.

Die Studie von Pavithran et al. (2020) beschäftigte sich mit dem Einfluss einer Diät mit niedrigem glykämischen Index auf Personen mit Typ-2-Diabetes. Durch die Intervention kam es zu einer bemerkenswerten Verbesserung des Blutzuckerstoffwechsels in der LOW-GI-Gruppe, während die Kontrollgruppe einen Anstieg des HbA1c-Werts verzeichnete. Ähnliche Ergebnisse wurden von Zafar et al. (2019) in einer systematischen Übersichtsarbeit bestätigt. Sie unterstrichen den positiven Effekt einer LOW-GI-Diät auf den Blutzuckerstoffwechsel bei Menschen mit gestörter Glucosetoleranz oder Diabetes. Chiavaroli et al. (2021) kamen zu ähnlichen Schlussfolgerungen und beobachteten, dass eine Ernährung mit niedrigem glykämischen Index den Blutzuckerstoffwechsel verbessert. Dieses Ergebnis stimmt mit anderen Studien überein.

Drei Studien beschäftigten sich mit der Kombination von Ausdauertraining und einer niedrig glykämischen Ernährungsintervention. Dazu gehört auch die Studie von Malin et al. (2021), in dieser wurden ältere fettleibige Frauen in eine LOW-GI- bzw. HIGH-GI-Gruppe eingeteilt. Beide Gruppen zeigten während des 12-wöchigen Trainingsprogramms eine verbesserte Insulinresistenz, Gewichtsabnahme und eine gesteigerte aerobe Fitness. Auch die Nüchternplasmaglukose, der Blutdruck, die Triglyceride und der Taillenumfang verringerte sich in beiden Gruppen. Solomon et al. (2010) untersuchte ebenfalls übergewichtige Personen mit Prädiabetes in einer 12-wöchigen Studie. Die LOW-GI-Gruppe zeigte nach der Ernährungsintervention eine verminderte Insulinreaktion direkt nach der

Glucoseaufnahme. Sowohl die LOW-GI-Gruppe, als auch die HIGH-GI-Gruppe hatten reduzierte Nüchternblutzucker und Nüchterninsulin Werte.

In der Untersuchung von Benett et al. (2012) wurden Auswirkungen von Mahlzeiten mit unterschiedlichem GI auf Leistung und Blutzucker nach hochintensivem Training analysiert. Nach einer Mahlzeit mit hohem GI waren der Blutzuckerspiegel und der Insulinspiegel erhöht. Die LOW-GI-Gruppe zeigte eine verringerte Kohlenhydratverbrennung und niedrigere Blutzuckerwerte am Ende des Trainings. Diese Ergebnisse decken sich zum Teil mit denen der vorliegenden Studie, in der es auch in der Kontrollgruppe (HIGH-GI) zu erhöhten Werten des Blutzuckerspiegels kam.

Aufgrund der begrenzten Anzahl von Studien, die sich mit den Auswirkungen von Ausdauertraining und einer begleitenden niedrig glykämischen Ernährungsweise auf den Blutzuckerspiegel befassen, lässt der aktuelle Wissensstand vermuten, dass dieses Gebiet noch nicht ausreichend erforscht ist. Zudem gibt es kaum Studien, die sich ausschließlich mit den Auswirkungen bei gesunden sportlichen Probanden/Probandinnen beschäftigen. Das Forschungsinteresse lag hauptsächlich in der Untersuchung potenzieller Vorteile für an Diabetes Typ-1 oder Typ-2 erkrankten Personen. Demzufolge ist ein direkter Vergleich mit den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit nur eingeschränkt möglich.

Abschließend lässt sich sagen, dass der aktuelle Forschungsstand darauf hindeutet, dass eine niedrig glykämische Ernährungsweise vorteilhaft sein kann, indem sie dazu beiträgt, den Blutzuckerspiegel zu reduzieren und eine verminderte Insulinreaktion auslöst. Dies könnte insbesondere für Menschen mit Diabetes von Vorteil sein. Auch für sportliche Personen könnte sich eine Ernährung mit niedrigem glykämischen Index als vorteilhaft erweisen. Dies liegt daran, dass der Blutzuckerspiegel stabil gehalten oder reduziert werden kann, was wiederum die Energieversorgung während des Trainings unterstützen könnte.

6.4 Auswirkungen auf die Blutfette

Die Ergebnisse zeigten signifikante Reduzierungen der Cholesterin- und LDL-Cholesterinwerte in der LOW-GI-Gruppe. Jedoch konnten in dieser Gruppe keine signifikanten Unterschiede für den HDL-Cholesterinwert und die Triglyceride festgestellt werden. Im Gegensatz dazu zeigten sich in der Kontrollgruppe signifikante Reduzierungen sowohl beim Cholesterin, als auch beim LDL-Cholesterin, während der Wert des HDL-Cholesterins ebenfalls signifikant gesenkt wurde. Die Triglyceride blieben in beiden Gruppen unverändert. Die ursprüngliche Hypothese, dass die Intervention zu einer

Senkung des Gesamtcholesterins, LDL-Cholesterins sowie der Triglyceride in der LOW-GI-Gruppe führt, kann daher nur teilweise bestätigt werden.

Die Studien, die sich mit den Auswirkungen von Ausdauertraining auf die Werte der Blutfette beschäftigten, zeigen, dass Ausdauertraining signifikante Auswirkungen auf die Cholesterinwerte hat. O'Donovan et al. (2005) fanden bei Männern, die intensiver trainierten, eine Abnahme von Gesamtcholesterin und LDL-Cholesterin. Ähnliche Ergebnisse bei übergewichtigen Frauen gab es in der Studie von Kostrzewa-Nowak et al. (2015). Bei ehemaligen Fußballspielern (Kostrzewa-Nowak et al., 2020) und Profisportlern (Lippi et al., 2006) waren die Effekte auf das Lipidprofil unterschiedlich. Während keine signifikanten Veränderungen bei Fußballspielern nachgewiesen wurden, zeigten Profisportler niedrigere Gesamtcholesterin- und Triglyceridwerte, sowie höhere HDL-Cholesterinwerte. Lin et al. (2015) fanden ebenfalls heraus, dass Training mit niedrigeren Triglyceriden und höherem HDL-Cholesterin verbunden war, besonders bei Personen mit gesundheitlichen Problemen wie Diabetes oder Bluthochdruck. Alle Studien legen nahe, dass eine gesteigerte aerobe Aktivität die ungünstigen Lipidwerte bei Menschen mit erhöhtem kardiovaskulärem Risiko verbessern kann. Diese Studienergebnisse von O'Donovan et al. (2005) und Kostrzewa-Nowak et al. (2015) stimmen mit den Ergebnissen der vorliegenden Studie überein.

Die Studie von Pavithran et al. (2020) untersuchte Patienten mit Typ-2-Diabetes, die sich in der Intervention mit niedrigem glykämischen Index ernährten. In der LOW-GI-Gruppe kam es zu signifikanten Abnahmen von Gesamtcholesterin, Triglyceriden und VLDL. Zafar et al. (2019) zeigten in ihrer systematischen Übersichtsarbeit, dass eine LOW-GI-Diät im Vergleich zu Kontrolldiäten das Gesamtcholesterin und LDL-Cholesterin signifikant senkte, aber keine Unterschiede bei HDL-Cholesterin und Triglyceriden aufwies. Chiavaroli et al. (2021) bestätigten die positiven Auswirkungen einer Ernährung mit niedrigem glykämischen Index auf Nüchternblutglucose, LDL-Cholesterin, Non-HDL-Cholesterin, Triglyceride, Körpergewicht, BMI und Blutdruck bei Personen mit Diabetes Typ-1 oder Typ-2 im Vergleich zu Kontrolldiäten.

Zwei Studien untersuchten die kombinierte Auswirkung von Ausdauertraining mit einer begleitenden Ernährungsintervention auf die Parameter des Lipidprofils. Die Studie von Malin et al. (2012) untersuchte die Kombination von Bewegungstraining und Ernährung mit niedrigem oder hohem glykämischen Index bei metabolischem Syndrom. Beide Gruppen zeigten während des 12-wöchigen Programms Reduzierungen der Triglyceride und Verbesserungen des Blutdrucks, der Nüchternplasmaglukose und des Taillenumfangs. Diese Ergebnisse lassen vermuten, dass Ausdauertraining einen größeren Einfluss auf das Lipidprofil hat, als die Ernährung mit niedrigem glykämischen Index. Allerdings ist es wichtig

zu beachten, dass weitere Untersuchungen notwendig sind, um diesen Zusammenhang genauer zu verstehen und zu bestätigen. Solomon et al. (2010) untersuchten den Einfluss von körperlicher Aktivität und einer niedrigen GI-Diät auf Glucosestoffwechsel und Insulinreaktion bei übergewichtigen Personen mit Prädiabetes. In beiden Gruppen reduzierten sich die Triglycerid- und Cholesterinwerte während der 12-wöchigen Intervention.

Die Studienergebnisse der vorliegenden Arbeit lassen sich teilweise durch den aktuellen Forschungsstand unterstützen und deuten darauf hin, dass eine Ernährung mit niedrigem glykämischen Index positive Auswirkungen auf das Lipidprofil haben kann.

Nach Ausdauerbelastungen steigt die Lipolyse, wodurch Lipide für die Energiebereitstellung während des Trainings genutzt werden. Dies führt zu einem bis zu 50%igen Triglyceridabfall, der bis zu 3 Tage anhält. Die gesteigerte Lipolyse erhöht Glycerin und freie Fettsäuren im Blut. Nach Ausdauertraining steigt HDL-Cholesterin leicht, während LDL-Cholesterin tendenziell sinkt. Aerobes Training erhöht HDL- und verringert VLDL-, LDL-Cholesterin und Triglyceride (Thomas, 2013).

6.5 Auswirkungen auf die Nierenwerte

In der LOW-GI-Gruppe wurden signifikante Zunahmen bei den Nierenwerten BUN und Harnstoff festgestellt, während die Werte von Kreatinin, Harnsäure und GFR unverändert blieben. In der Kontrollgruppe kam es ausschließlich bei der Harnsäure zu einer signifikanten Reduzierung, die restlichen Werte blieben unverändert. Zwischen den beiden Gruppen konnte kein signifikanter Unterschied festgestellt werden. Dies bestätigt die Annahme, dass sich die Nierenwerte in der LOW-GI-Gruppe durch die Ernährungs- und Trainingsintervention verändern.

Die Zunahme von BUN und Harnstoff in der LOW-GI-Gruppe könnte auf eine gesteigerte Proteinaufnahme oder einen erhöhten Proteinabbau zurückzuführen sein, da beide Parameter Abbauprodukte des Proteinstoffwechsels sind. Vor Beginn der Intervention machte der Proteinanteil der LOW-GI-Gruppe 14,94% aus und stieg während der Intervention auf 19,48%.

Die Studie von Kostrazewa-Nowak et al. (2020) untersuchte den Einfluss regelmäßigen Trainings auf das Blutbild, fand jedoch keine signifikanten Veränderungen bei den Nierenwerten wie Kreatinin, Harnsäure und Harnstoff. Die systematische Übersichtsarbeit von Schwingshackl & Hoffmann (2013) behandelte langfristige Effekte verschiedener Diäten mit unterschiedlichem glykämischen Index bei Übergewicht und Fettleibigkeit, erwähnte jedoch keine spezifischen Auswirkungen auf die Nierenwerte. Die Ergebnisse der

Studie von Kostrazewa-Nowak et al. (2020) und Schwingshackl & Hoffmann (2013) stehen im Widerspruch zu den Ergebnissen der vorliegenden Forschungsarbeit.

Es gibt bisher keine bekannten Studien, die die Auswirkungen einer LOW-GI-Diät in Kombination mit Ausdauertraining auf Nierenwerte wie BUN, Harnstoff, Kreatinin, GFR und Harnsäure untersucht haben. Dies führt zu einer Lücke im Verständnis potenzieller Zusammenhänge zwischen dieser speziellen Ernährungsform, Ausdauerbelastung und den genannten Parametern. Daher gestaltet sich ein direkter Vergleich der Studienergebnisse der vorliegenden Arbeit mit dem aktuellen Forschungsstand als problematisch. Es wäre daher besonders interessant, weitere Untersuchungen durchzuführen, die sich mit den Auswirkungen einer niedrig glykämischen Ernährung in Kombination mit Ausdauertraining auf das Blutbild und speziell der Nierenwerte beschäftigen.

6.6 Auswirkungen auf die Leberwerte

Ebenso zeigte der Leberwert Gamma-GT in der LOW-GI-Gruppe nach der Intervention einen signifikanten Rückgang, die Parameter GOT und GPT blieben unverändert. Dies bestätigt teilweise die Annahme, dass sich die Leberwerte in der LOW-GI-Gruppe durch die Ernährungs- und Trainingsintervention verändern. In der Kontrollgruppe wurde keine signifikante Veränderung aller Leberwerte zwischen den Zeitpunkten Pre und Post beobachtet. Zwischen den beiden Gruppen konnte ein signifikanter Unterschied des Parameters Gamma-GT festgestellt werden.

Die Studie von Kostrazewa-Nowak et al. (2020) ergab keine signifikanten Veränderungen im Leberwert Gamma-GT durch regelmäßiges Ausdauertraining, aber eine signifikante Zunahme von AST (GOT) und ALT (GPT) nach mehrwöchigen Trainingsinterventionen. Diese Ergebnisse widersprechen den Resultaten der vorliegenden Forschungsarbeit. Schwingshackl & Hoffmann (2013) stellten in einer systematischen Übersicht von 14 Studien fest, dass eine Ernährung mit niedrigem glykämischen Index zu einer deutlichen Reduktion des C-reaktiven Proteins und der fettfreien Masse führte.

Erhöhte Leberwerte können Anzeichen einer geschädigten Leberfunktion sein. Der signifikante Rückgang des Gamma-GT-Werts in der LOW-GI-Gruppe nach der Intervention könnte darauf hindeuten, dass die Kombination aus einer niedrig glykämischen Ernährung und Ausdauertraining, positive Auswirkungen auf die Lebergesundheit haben könnte. Es ist jedoch schwierig zu bestimmen, ob dieser Rückgang ausschließlich auf die Kombination beider Interventionen oder auf eine der beiden im Speziellen zurückzuführen ist. Zudem dient der Gamma-GT-Wert, insbesondere in Verbindung mit anderen Enzymen wie CK (Kreatinkinase) zur Erkennung möglicher Muskelschädigungen. Weitere Details dazu

finden sich im nachfolgenden Abschnitt 6.7. „Auswirkungen auf die Muskelstressparameter“.

Die begrenzte Anzahl an Studien zu diesem Thema stellt eine Herausforderung bei der Interpretation der Studienergebnisse dar. Diese Forschungsarbeit markiert die erste Untersuchung zur Auswirkung einer Kombination aus LOW-GI-Diät und Ausdauertraining auf Leberenzyme wie GOT/AST, GPT/ALT oder Gamma-GT. Diese Einzigartigkeit erschwert direkte Vergleich mit anderen Studien und offenbart eine beträchtliche Wissenslücke auf diesem Gebiet. Obwohl diese Erststudie eine grundlegende Basis legt, sind weitere Untersuchungen erforderlich, um detaillierte Einblicke in die Zusammenhänge zwischen Ernährung, Training und Leberwerten zu gewinnen. Folgestudien zu diesem Thema wären daher von großem Interesse, um ein vertieftes Verständnis zu erlangen und die potenziell vorteilhaften Auswirkungen dieser Kombination auf die Leberparameter genauer zu erforschen.

6.7 Auswirkungen auf die Muskelstressparameter

In dieser Studie wurden keine signifikanten Veränderungen der Muskelstressparameter LDH, CK und Myoglobin in beiden Interventionsgruppen festgestellt. Daher muss die ursprüngliche Annahme, dass die Intervention dieser Studie zu signifikanten Veränderungen der Muskelstressparameter führen würde, widerlegt werden.

Die fehlende Veränderung der Muskelstressparameter LDH, CK und Myoglobin in beiden Gruppen könnte auf den Zeitpunkt der Blutabnahme zurückzuführen sein. Positiv ist zu interpretieren, dass keine Erhöhung der Werte festgestellt wurde. Akute körperliche Aktivität kann zu erhöhten Enzymwerten im Serum führen, die Stunden bis Tage nach der Aktivität anhalten können, besonders bei untrainierten Personen. Diese Werte steigen aufgrund von Muskelschäden oder Veränderungen in der Muskelfasermembran. Es ist möglich, dass die Blutentnahme nicht unmittelbar nach der Aktivität erfolgte und daher die Messung während der maximalen Enzymfreisetzung verpasst hat, was erklären könnte, warum die Werte nicht erhöht waren (Thomas, 2013).

In der Studie von Kostrazewa-Nowak et al. (2020) wurde kein signifikanter Unterschied im CK-Wert durch das kontinuierliche Training festgestellt. Jedoch gab es einen signifikanten Anstieg des Muskelstressparameters LDH nach der mehrwöchigen Trainingsintervention. Diese Ergebnisse stehen im Kontrast zu denen der vorliegenden Studie. Die Teilnehmer in der Studie von Kostrazewa-Nowak et al. (2020) waren in den vergangenen Jahren sportlich inaktiv, was darauf hinweist, dass das wieder aufgenommene und ungewohnte Training zu einem Anstieg von LDH und damit zu Muskelschädigungen führte. Da die Probanden in der

vorliegenden Arbeit bereits vor der Intervention sportlich aktiv waren, ist ein direkter Vergleich der Ergebnisse beider Studien nicht sehr aussagekräftig.

Bisher gab es keine Studie, die die Auswirkungen einer Ernährung mit niedrigem glykämischen Index auf Muskelstressparameter oder die kombinierte Wirkung von Training und dieser Ernährungsform auf diese Parameter untersucht hat. Diese Studie markiert die erste Untersuchung der Auswirkungen einer Kombination aus LOW-GI-Diät und Ausdauertraining auf Muskelstressparameter wie LDH, CK und Myoglobin. Diese Einzigartigkeit erschwert direkte Vergleiche mit anderen Studien und offenbart eine beträchtliche Wissenslücke auf diesem Gebiet. Obwohl diese Erststudie eine grundlegende Basis legt, sind weitere Untersuchungen erforderlich, um detaillierte Einblicke in die Zusammenhänge zwischen Ernährung, Training und Muskelstressparametern zu gewinnen. Weitere Studien zu diesem Thema wären daher von großem Interesse.

7 Verzerrungen und Limitationen

In dieser Studie nahmen insgesamt 32 Probanden teil, von denen jeweils 16 der LOW-GI-Gruppe und der Kontrollgruppe angehörten. Wenngleich die Probandenzahl als relativ begrenzt angesehen werden kann, könnte die Aussagekraft der Ergebnisse durch eine größere Stichprobe weiter gestärkt werden. In Relation zu den in der Literatur recherchierten Studien ist die Teilnehmeranzahl von 32 Probanden in dieser Untersuchung vergleichsweise umfangreich, da die meisten Studien eine geringere Anzahl an Teilnehmern aufwiesen.

Die vorliegende Studie zeigte durch die zuvor festgelegten Ein- und Ausschlusskriterien eine bemerkenswerte Homogenität der Probanden. Diese Homogenität bezog sich auf verschiedene Eigenschaften, die sich positiv auf die Gesamtaussage der Ergebnisse auswirkten. Hinsichtlich Alter, Gewicht, Körpergröße, BMI, Trainingszustand vor Studienbeginn und der maximalen Sauerstoffaufnahme (VO₂peak), gab es nur geringfügige Unterschiede zwischen den Gruppen ohne signifikante Abweichungen. Somit ist der Vergleich zwischen der LOW-GI-Gruppe und der Kontrollgruppe sehr valide, und die Ergebnisse können wahrscheinlich auch auf Personen mit ähnlichen Merkmalen wie die Probanden dieser Studie übertragen werden.

Ein weiterer erfreulicher Aspekt dieser Studie liegt in der sorgfältig gewählten Dauer der Ernährungs- und Bewegungsintervention. Der Zeitraum von zehn Wochen erwies sich als passend, da sowohl das Ausdauertraining als auch die Ernährungsintervention innerhalb dieses Zeitraums bereits messbare Veränderungen bewirken können. Eine kürzere Studiendauer hätte womöglich nicht ausgereicht, um die potenziellen Auswirkungen der Interventionen angemessen zu erfassen. Es ist wichtig zu erwähnen, dass die längere Interventionsdauer sowohl für die Teilnehmenden als auch für das Forschungsteam mit erheblichem Aufwand verbunden war. Dennoch haben praktisch alle Probanden die Studie bis zum Ende durchgehalten und die Trainings- sowie Ernährungsintervention erfolgreich abgeschlossen.

Im Zuge der Literaturrecherche wurden nur wenige Studien identifiziert, die die Kombination von Training mit einer begleitenden niedrig glykämischen Ernährung und deren Einfluss auf Blutbildparameter untersuchten. Keine der gefundenen Studien untersuchte umfassend die Auswirkungen von Ausdauertraining und einer Ernährung mit niedrig glykämischen Lebensmitteln auf sämtliche Parameter des Blutbildes und die klinische Chemie. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie konnten daher größtenteils nur mit Untersuchungen verglichen werden, die entweder die Auswirkungen von Ausdauertraining, oder einer LOW-GI-Diät auf die Blutparameter betrachten. Dies wirft die Frage auf, inwieweit die Ergebnisse dieser Studie mit denen aus der Literaturrecherche vergleichbar sind und wie

aussagekräftig dieser Vergleich ist. Um die Ergebnisse dieser Arbeit zu stützen, sind weitere Studien erforderlich, die beide Aspekte in Kombination untersuchen. Der Vergleich gestaltete sich zudem schwierig, da die untersuchten Kollektive in den Literaturstudien sehr unterschiedlich waren. Einige Studien beinhalteten sowohl Männer als auch Frauen, während andere nur ein Geschlecht betrachteten. Aus diesem Grund wäre es interessant, die Auswirkungen dieser beiden Interventionen (Training und LOW-GI-Diät) auf weibliche Personen zu erforschen und zu prüfen, ob sich hierbei Unterschiede zu den Resultaten bei männlichen Probanden ergeben könnten. Allerdings sollte beachtet werden, dass ein Vergleich zwischen den Geschlechtern aufgrund der unterschiedlichen Hormonprofile eine komplexe Aufgabe darstellen könnte und entsprechende Anpassungen im Forschungsdesign notwendig wären.

Neben dem Geschlecht variierten auch das Gewicht und der Gesundheitszustand der Teilnehmer/Teilnehmerinnen zwischen den Studien. Einige Studien konzentrierten sich auf übergewichtige Personen oder solche mit Typ-1- bzw. Typ-2-Diabetes, während in anderen Studien normalgewichtige und sportlich aktive Probanden/Probandinnen herangezogen wurden.

Ebenso variierten die Art des Ausdauertrainings, die gewählte Intensität sowie der Trainingszustand der Probanden/Probandinnen stark zwischen den einzelnen Studien. Das Spektrum der Art des Ausdauertrainings war breit gefächert und umfasste Aktivitäten wie z.B. laufen auf dem Laufband oder im Freien, Fußballspielen, Fahrradergometer, HIIT-Training und Gehen. Angesichts dieser Vielfalt an Trainingsmerkmalen erfordert der Vergleich der Ergebnisse der vorliegenden Arbeit mit anderen Studien eine kritische Analyse.

8 Conclusio

Die regelmäßige Ausübung von Ausdauersport und eine Ernährung mit niedrigem glykämischen Index führen zu keinen Veränderungen im roten und weißen Blutbild. Allerdings zeigen sich verschiedene Veränderungen in der klinischen Chemie. Die Forschungslage zu den Auswirkungen von Ausdauertraining auf das rote und weiße Blutbild ist heterogen und zeigt divergente Ergebnisse bei verschiedenen Parametern.

Ziel dieser Masterarbeit war es, die Effekte eines mehrwöchigen, gezielten Ausdauertrainings in Verbindung mit einer LOW-GI-Diät auf das gesamte Blutbild und die klinische Biochemie zu erforschen. Frühere Forschungen deuteten an, dass sowohl regelmäßiges Ausdauertraining als auch eine LOW-GI-Diät überwiegend positive Auswirkungen auf das Blutbild haben können. Es besteht jedoch ein Bedarf an weiteren Studien zu LOW-GI-Diäten bei gesunden Probanden/Probandinnen, da bisherige Untersuchungen sich hauptsächlich auf Personen mit verschiedenen Krankheitsbildern wie Diabetes konzentrierten. Diese Studie trägt dazu bei, eine Forschungslücke zu schließen, indem sie beide Interventionsbereiche gleichzeitig betrachtet. Zudem gibt es in der Literatur oft widersprüchliche Ergebnisse zwischen Studien mit ähnlichen Themen. Diese Arbeit liefert neue Erkenntnisse zu einer Thematik, die bisher noch nicht klar definiert ist und in der Forschung noch wenig untersucht wurde.

Insgesamt nahmen 32 Probanden an der Studie teil, jeweils 16 wurden der LOW-GI- und Kontrollgruppe (HIGH-GI) zugeteilt. Die Studie erstreckte sich über zehn Wochen und umfasste ärztliche Untersuchungen vor und nach der Intervention, Blutabnahmen sowie eine Laufband-Spiroergometrie zu Studienbeginn. Bei den Blutabnahmen wurden insgesamt 34 Blutparameter analysiert, darunter rote und weiße Blutzellen, Blutzucker, Leber- und Nierenwerte sowie Muskelstressparameter und Blutfette. Um die gesammelten Daten analysieren zu können, wurden sie zunächst mit Hilfe von Excel zusammengefasst und nachfolgend in das Statistik Programm SPSS übertragen.

Das regelmäßige Ausdauertraining und die begleitende niedrig glykämische Ernährungsintervention waren in dieser zehnwöchigen Studie mit Veränderungen der Blutparameter verbunden. In der LOW-GI-Gruppe wurden zwischen den Zeitpunkten Pre und Post signifikante Unterschiede bei den Parametern BUN, Harnstoff, Gamma-GT, Cholesterin sowie LDL-C festgestellt. Es zeigte sich eine signifikante Zunahme der Nierenwerte BUN und Harnstoff sowie eine signifikante Abnahme des Leberwerts Gamma-GT und der Blutfette Cholesterin und LDL-Cholesterin. Zwischen der LOW-GI-Gruppe und der Kontrollgruppe wurden signifikante Unterschiede bei den segmentkernigen Granulozyten, dem Absolutwert der segmentkernigen Granulozyten, den Lymphozyten sowie dem Gamma-GT festgestellt.

Die aktuelle Studienlage bezüglich des roten Blutbildes ist uneinheitlich, da verschiedene Untersuchungen unterschiedliche Ergebnisse je nach Interventionsart zeigen. In dieser Studie konnten in der LOW-GI-Gruppe keine signifikanten Veränderungen in den Parametern des roten Blutbildes festgestellt werden. Somit wurde die Hypothese widerlegt, dass ein 10-wöchiges Ausdauertraining in Kombination mit einer LOW-GI-Diät zu Veränderungen im roten Blutbild führt. Es wurde eine Reduktion von Hämoglobin, Hämatokrit und der Erythrozytenzahl erwartet. Die signifikante Reduktion des Hämatokritwerts in der Kontrollgruppe wird eher durch das Training als durch die Ernährung erklärt.

Die Auswirkungen von regelmäßigem Ausdauertraining und einer niedrig glykämischen Ernährung auf das weiße Blutbild und dessen Parameter sind weiterhin unklar. In der LOW-GI-Gruppe wurden keine signifikanten Veränderungen der Parameter des weißen Blutbildes festgestellt, während es in der Kontrollgruppe zu einer signifikanten Zunahme der segmentkernigen Granulozyten und einer signifikanten Abnahme der Lymphozyten kam. Zudem zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Gruppen. Dies steht im Gegensatz zur anfänglichen Hypothese, die eine Abnahme der Leukozyten und ihrer Untergruppen in der LOW-GI-Gruppe vorhergesagt hatte. Folglich wird die Hypothese widerlegt. Die signifikante Zunahme der segmentkernigen Granulozyten und gleichzeitige Abnahme der Lymphozyten legen nahe, dass die Trainingsintervention in der Kontrollgruppe Stressreaktionen auslöste, die eine Immunreaktion hervorriefen. Die Ernährung mit niedrigem glykämischem Index in der Interventionsgruppe könnte geholfen haben, die Immunantwort nach dem Training zu beeinflussen. Es ist möglich, dass diese Diät Entzündungen reduziert, oder die Regeneration des Körpers unterstützt hat. Diese Faktoren könnten dazu geführt haben, dass die Immunreaktion nicht so ausgeprägt war.

Überraschenderweise kam es durch die intensive Trainings- und Ernährungsintervention in der LOW-GI-Gruppe zu keiner signifikanten Veränderung des Blutzuckerspiegels im Vergleich von Pre zu Post. Die anfängliche Erwartung einer Verringerung des Blutzuckerspiegels aufgrund der niedrig glykämischen Ernährungsweise wurde nicht bestätigt. Interessanterweise stieg der Blutzuckerwert trotz eines Rückgangs des Kohlenhydratanteils in der LOW-GI-Gruppe leicht an, wenn auch nicht signifikant. Im Gegensatz dazu, verzeichnete die Kontrollgruppe einen signifikanten Anstieg des Blutzuckerspiegels, möglicherweise aufgrund der Art der konsumierten Kohlenhydrate. Die ausbleibende Reduzierung des Blutzuckers trotz des kombinierten Trainings und einer niedrig glykämischen Ernährung könnte auf unterschiedliche Faktoren zurückzuführen sein. Während des Trainings steigt der Blutzucker vorübergehend an, da der Körper Energie benötigt. Intensives Training erhöht den Bedarf an gespeicherter Glucose, dass zu einem

weiteren Anstieg des Blutzuckers führen kann, wenn der Körper diese Speicher nach dem Training wieder auffüllt. Die Nahrungsaufnahme nach dem Training, besonders kohlenhydratreiche Lebensmittel, könnte ebenfalls vorübergehend den Blutzucker erhöhen. Daraus ergab sich die Annahme, dass sich die LOW-GI-Gruppe eventuell nicht konsequent an die Ernährungsvorgaben vor der letzten Blutabnahme gehalten haben und kohlenhydratreiche Lebensmittel mit einem mittleren oder hohen glykämischen Index konsumiert haben. Zudem reagiert jeder Körper individuell auf das Training als auch auf die Ernährung, was zu unterschiedlichen Blutzuckerreaktionen führen kann. Diese Faktoren könnten gemeinsam erklären, warum keine deutliche Abnahme des Blutzuckers beobachtet wurde.

Die Studienergebnisse zeigten in der LOW-GI-Gruppe signifikante Reduzierungen des Cholesterin- und LDL-Cholesterinspiegels im Vergleich zur Kontrollgruppe. Allerdings waren keine signifikanten Unterschiede beim HDL-Cholesterin und den Triglyceriden feststellbar. Im Gegensatz dazu, verzeichnete die Kontrollgruppe signifikante Senkungen des Gesamtcholesterins und LDL-Cholesterins, sowie des HDL-Cholesterins. Die Triglyceridwerte blieben in beiden Gruppen unverändert. Obwohl die Hypothese einer umfassenden Senkung des Lipidprofils in der LOW-GI-Gruppe nicht vollständig bestätigt wurde, weisen die Ergebnisse auf potenzielle Vorteile einer niedrig glykämischen Ernährung auf das Lipidprofil hin. Speziell die Reduzierung von LDL-Cholesterin und das daraus resultierende verringerte Risiko für Atherosklerose muss positiv hervorgehoben werden.

Die Nierenwerte BUN und Harnstoff zeigten in der LOW-GI-Gruppe nach der Intervention signifikante Zunahmen im Vergleich zur Kontrollgruppe, während Kreatinin, Harnsäure und GFR stabil blieben. Obwohl die Unterschiede zwischen den Gruppen nicht signifikant waren, legen diese Ergebnisse nahe, dass die Ernährungs- und Trainingsintervention in der LOW-GI-Gruppe Einfluss auf die Nierenwerte hatte. Mögliche Ursachen für die Zunahme von BUN und Harnstoff könnten eine gesteigerte Proteinaufnahme oder ein erhöhter Proteinabbau sein, da diese Parameter auf den Proteinstoffwechsel hindeuten. Der Proteinanteil in der LOW-GI-Gruppe stieg während der Intervention von 14,94% auf 19,48%. Bisherige Studien haben entweder die Auswirkungen einer niedrig glykämischen Ernährung, oder die des Ausdauertrainings auf die Nierenwerte untersucht, jedoch fehlt es an Studien, die beide Aspekte kombiniert untersuchen. Die bisherigen Einzelstudien, die sich auf diese spezifischen Interventionen konzentrierten, konnten keine signifikanten Unterschiede in den Nierenwerten feststellen. Diese Lücke in der Forschung unterstreicht die Notwendigkeit weiterer Untersuchungen, die die kombinierten Effekte von niedrig glykämischer Ernährung und Ausdauertraining auf die Nierenwerte umfassend beleuchten.

Die niedrig glykämische Ernährung zielt auf den fortlaufenden Verzehr von Lebensmitteln mit niedrigem GI ab, wie etwa Fleisch, Fisch und qualitativ hochwertigen Fetten. Dieser Ernährungsansatz wird oft mit dem Ziel einer Gewichtsabnahme in Verbindung gebracht. Während sie positive Gesundheitseffekte aufweisen soll, zeigen Studien uneinheitliche Ergebnisse zu ihren Auswirkungen. Einige Studien zeigen keinen eindeutig positiven Einfluss des glykämischen Index auf verschiedene Stoffwechselfparameter, während andere darauf hinweisen, dass ein niedriger GI/GL den Glucose- und Insulinstoffwechsel begünstigen kann. Besonders bei Personen mit Diabetes Typ 2 oder gestörter Glucosetoleranz scheint eine Ernährung mit niedrigem GI/GL vorteilhaft zu sein, da sie die Insulinausschüttung reduzieren kann (Pavithran et al., 2020; Chiavaroli et al., 2021). Einige Studien betonen bereits die positive Wirkung einer solchen Ernährung in Kombination mit Ausdauertraining bei gesunden Personen oder Personen mit Erkrankungen wie Bluthochdruck, Herz-Kreislauf Problemen oder Fettstoffwechselstörungen (Chiavaroli et al., 2021; Malin et al., 2012; Solomon et al., 2010; Bennett et al., 2012)

Ein bedeutender Nachteil der Verwendung des glykämischen Index besteht darin, dass er lediglich die Blutzuckerreaktion nach der Kohlenhydrataufnahme aus einem Lebensmittel angibt, nicht jedoch die tatsächliche Kohlenhydratmenge in einer Portion berücksichtigt. Die Weiterentwicklung, die glykämische Last, bezieht auch den Kohlenhydratgehalt ein. Kritiker argumentieren, dass Gewichtsreduktion nicht allein vom Insulinspiegel abhängt, sondern auch von der Energiebilanz. Daher könnte der glykämische Index möglicherweise eine eingeschränkte Rolle bei der Gewichtskontrolle spielen (Deutsche Gesellschaft für Ernährung e.V., n.d.; AOK, n.d.).

Abschließend lässt sich festhalten, dass die Kombination aus Ausdauertraining und einer niedrig glykämischen Ernährung keine signifikanten Auswirkungen auf verschiedene Parameter des roten und weißen Blutbildes hat, jedoch auf die klinische Chemie. Es besteht jedoch ein Mangel an spezifischen Studien, die gezielt die Wechselwirkung zwischen Ausdauertraining, niedrig glykämischer Ernährung und dem Blutbild untersucht. Weitere Untersuchungen in diesem Bereich wären entscheidend, um Vergleiche anzustellen und die Ergebnisse dieser Studie weiter zu validieren. Es ist von großer Bedeutung, die potenziellen Risiken und Vorteile einer niedrig glykämischen Ernährung in Kombination mit Ausdauertraining besser zu verstehen und ihre langfristigen Auswirkungen auf die Gesundheit umfassender zu bewerten. Dies könnte die Grundlage für evidenzbasierte Empfehlungen schaffen, um eine optimale Kombination von Ausdauertraining und einer niedrig glykämischen Ernährung für eine verbesserte Gesundheit zu entwickeln.

Literaturverzeichnis

- AOK Gesundheitsmagazin (n.d.). *Glykämischer Index: Abnehmen mit der Glyx-Diät*. Zugriff am 09. September 2023 unter <https://www.aok.de/pk/magazin/ernaehrung/abnehmen/glykaemischer-index-abnehmen-mit-der-glyx-diaet/>
- Association, A. D. (2020). 2. Classification and Diagnosis of Diabetes: Standards of Medical Care in Diabetes—2021. *Diabetes Care*, 44(Supplement_1), S15-S33. <https://doi.org/10.2337/dc21-S002>
- Bennett, C. B., Chilibeck, P. D., Barss, T., Vatanparast, H., Vandenberg, A., & Zello, G. A. (2012). Metabolism and performance during extended high-intensity intermittent exercise after consumption of low- and high-glycaemic index pre-exercise meals. *Br J Nutr*, 108 Suppl 1, S81-90. <https://doi.org/10.1017/s0007114512000840>
- Chen, Y. J., Wong, S. H., Wong, C. K., Lam, C. W., Huang, Y. J., & Siu, P. M. (2008). The effect of a pre-exercise carbohydrate meal on immune responses to an endurance performance run. *Br J Nutr*, 100(6), 1260-1268. <https://doi.org/10.1017/s0007114508975619>
- Chiavaroli, L., Lee, D., Ahmed, A., Cheung, A., Khan, T. A., Blanco, S., Mejia, M., A., Jenkins, D. J. A., Livesey, G., Wolever, T. M. S., Rahelić, D., Kahleová, H., Salas-Salvadó, J., Kendall, C. W. C., & Sievenpiper, J. L. (2021). Effect of low glycaemic index or load dietary patterns on glycaemic control and cardiometabolic risk factors in diabetes: systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials. *BMJ (Clinical research ed.)*, 374, n1651. <https://doi.org/https://doi.org/10.1136/bmj.n1651>
- Deutsche Gesellschaft für Ernährung e.V. (n.d.). *Glyx-Diät*. Zugriff am 14. September 2023 unter [https://www.dge.de/gesunde-ernaehrung/diaeten-und-fasten/heilfasten/weitere-diaeten/glyx-diaet/#:~:text=Der%20Glyk%C3%A4mische%20Index%20\(Glyx%2C%20GI\),-Der%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%20GI),-Der%20glyk%C3%A4mische%20Index&text=Der%20GI%20von%20Glucose%20(100,hoch%20(70%20100)%20eingeteilt.)
- Ferrauti, A., Hanakam, F., Fett, J., Raasch, K., Schneider, C., Kappenstein, J., Krombholz, A., Frytz, A., Remmert, H., Stadtmann, T., Wiewelhove, T., Götz, J., Kittel, T., Ulbricht, A., Vuong, J., Raeder, C., & Hottenrott, L. (2020). *Trainingswissenschaft für die Sportpraxis* (A. Ferrauti, Ed.). Springer-Verlag GmbH.
- Grass, U. (2019). Laborparameter: verstehen, einordnen, interpretieren. In (4 ed., pp. 19-34, 44-50, 59, 64-81, 86). Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft Stuttgart.

- Haferlach, T., Engels, M., & Diem, H. (2019). *Taschenatlas Hämatologie: Mikroskopische und klinische Diagnostik für die Praxis* (Vol. 7). Thieme. <https://doi.org/10.1055/b-004-140662>
- Jamka, M., Mądry, E., Krzyżanowska-Jankowska, P., Skrypnik, D., Szulińska, M., Mądry, R., Lisowska, A., Batyrova, G., Duś-Żuchowska, M., Gotz-Więckowska, A., Bogdański, P., & Walkowiak, J. (2021). The effect of endurance and endurance-strength training on body composition and cardiometabolic markers in abdominally obese women: a randomised trial. *Sci Rep*, 11(1), 12339. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-90526-7>
- Jamka, M., Makarewicz-Bukowska, A., Bokayeva, K., Śmidowicz, A., Geltz, J., Kokot, M., Kaczmarek, N., Żok, A., Kononets, V., Cielecka-Piontek, J., Mądry, E., & Walkowiak, J. (2022). Comparison of the Effect of Endurance, Strength and Endurance-Strength Training on Glucose and Insulin Homeostasis and the Lipid Profile of Overweight and Obese Subjects: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Int J Environ Res Public Health*, 19(22). <https://doi.org/10.3390/ijerph192214928>
- Kostrzewa-Nowak, D., Nowakowska, A., Zwierko, T., Rybak, M., & Nowak, R. (2020). The Influence of a Health-Related Fitness Training Program on Motor Performance as Well as Hematological and Biochemical Parameters. *International journal of environmental research and public health*, 17(2), 578. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/ijerph17020578>
- Li, T. L., Wu, C. L., Gleeson, M., & Williams, C. (2004). The effects of pre-exercise high carbohydrate meals with different glycemic indices on blood leukocyte redistribution, IL-6, and hormonal responses during a subsequent prolonged exercise. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*, 14(6), 647-656. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.14.6.647>
- Lin, X., Zhang, X., Guo, J., Roberts, C. K., McKenzie, S., Wu, W. C., Liu, S., & Song, Y. (2015). Effects of Exercise Training on Cardiorespiratory Fitness and Biomarkers of Cardiometabolic Health: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *J Am Heart Assoc*, 4(7). <https://doi.org/10.1161/jaha.115.002014>
- Lippi, G., Schena, F., Salvagno, G. L., Montagnana, M., Ballestrieri, F., & Guidi, G. C. (2006). Comparison of the lipid profile and lipoprotein(a) between sedentary and highly trained subjects. *Clin Chem Lab Med*, 44(3), 322-326. <https://doi.org/10.1515/cclm.2006.056>
- Malin, S. K., Niemi, N., Solomon, T. P., Haus, J. M., Kelly, K. R., Fillion, J., Rocco, M., Kashyap, S. R., Barkoukis, H., & Kirwan, J. P. (2012). Exercise training with weight loss and either a high- or low-glycemic index diet reduces metabolic syndrome severity in older adults. *Annals of nutrition & metabolism*, 61(2), 135-141. <https://doi.org/https://doi.org/10.1159/000342084>

- Montero, D., Breenfeldt-Andersen, A., Oberholzer, L., Haider, T., Goetze, J. P., Meinild-Lundby, A. K., & Lundby, C. (2017). Erythropoiesis with endurance training: dynamics and mechanisms. *American journal of physiology. Regulatory, integrative and comparative physiology*, 312(6), R894-R902. <https://doi.org/https://doi.org/10.1152/ajpregu.00012.2017>
- Murphy, K. M., & Weaver, C. (2016). *Janeway's Immunobiology: Ninth International Student Edition*. Garland Science. <https://books.google.at/books?id=DmebDwAAQBAJ>
- Niederau, C., Böhm, B. O., Aymanns, M., Claudi-Böhm, S., Manfras, B., & Plonné, D. (2021). *Klinikleitfaden Labordiagnostik* (Vol. 7). Urban & Fischer Verlag/Elsevier GmbH.
- Pavithran, N., Kumar, H., Menon, A. S., Pillai, G. K., Sundaram, K. R., & Ojo, O. (2020). The Effect of a Low GI Diet on Truncal Fat Mass and Glycated Hemoglobin in South Indians with Type 2 Diabetes-A Single Centre Randomized Prospective Study. *Nutrients*, 12(1), 179. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/nu12010179>
- Cleveland Clinic (n.d.). *Blood Urea Nitrogen (BUN) test*. Zugriff am 11. November 2023 unter [https://my.clevelandclinic.org/health/diagnostics/17684-blood-urea-nitrogen-bun-test#:~:text=The%20blood%20urea%20nitrogen%20\(BUN,health%20condition%2C%20including%20kidney%20damage](https://my.clevelandclinic.org/health/diagnostics/17684-blood-urea-nitrogen-bun-test#:~:text=The%20blood%20urea%20nitrogen%20(BUN,health%20condition%2C%20including%20kidney%20damage).
- Schwingshackl, L., & Hoffmann, G. (2013). Long-term effects of low glycemic index/load vs. high glycemic index/load diets on parameters of obesity and obesity-associated risks: a systematic review and meta-analysis. *Nutrition, metabolism, and cardiovascular diseases : NMCD*, 23(8), 699–706. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.numecd.2013.04.008>
- Sievenpiper, J. L. (2020). Low-carbohydrate diets and cardiometabolic health: the importance of carbohydrate quality over quantity. *Nutrition reviews*, 78(Suppl 1), 69-77. <https://doi.org/https://doi.org/10.1093/nutrit/nuz082>
- Solomon, T. P., Haus, J. M., Kelly, K. R., Cook, M. D., Filion, J., Rocco, M., Kashyap, S. R., Watanabe, R. M., Barkoukis, H., & Kirwan, J. P. (2010). A low-glycemic index diet combined with exercise reduces insulin resistance, postprandial hyperinsulinemia, and glucose-dependent insulinotropic polypeptide responses in obese, prediabetic humans. *Am J Clin Nutr*, 92(6), 1359-1368. <https://doi.org/10.3945/ajcn.2010.29771>
- Thomas, L. (2013). *Labor und Diagnose / Kapitel 51: Einfluss körperlicher Leistung auf Laborbefunde*. Zugriff am 12 Dezember 2023 unter <https://www.labor-und-diagnose.de/k51.html>
- Vaupel, P., Schaible, H.-G., & Mutschler, E. (2015). *Anatomie, Physiologie, Pathophysiologie des Menschen* (Vol. 7). Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft Stuttgart.

- Wong, S. H., Chen, Y. J., Fung, W. M., & Morris, J. G. (2009). Effect of glycemic index meals on recovery and subsequent endurance capacity. *Int J Sports Med*, 30(12), 898-905. <https://doi.org/10.1055/s-0029-1237710>
- Zafar, M. I., Mills, K. E., Zheng, J., Regmi, A., Hu, S. Q., Gou, L., & Chen, L. L. (2019). Low-glycemic index diets as an intervention for diabetes: a systematic review and meta-analysis. *The American journal of clinical nutrition*, 110(4), 891–902. <https://doi.org/https://doi.org/10.1093/ajcn/nqz149>
- Zylka-Menhorn, V. (2021). Blutwerte verstehen: Was das Blut über die Gesundheit verrät. In (7 ed., pp. 49). Avoxa - Mediengruppe Deutscher Apotheker GmbH.

Abkürzungsverzeichnis

ACSM	American College of Sports Medicine
ALT/ ALAT	Alanin-Aminotransferase
AST/ ASAT	Aspartat-Aminotransferase
BASO	Basophile Granulozyten
BMI	Body-Mass-Index
BUN	Blutharnstoff-Stickstoff
bzw.	beziehungsweise
CET	aerobes Training
CHOL / C	Cholesterin
CK	Creatin-Kinase
CPK	Kreatinphosphokinase
EDTA	Ethylendiamintetraazetat
EOS	Eosinophile Granulozyten
Ery	Erythrozyten
fl	Femoliter (1 fl = 10 ⁻¹⁵ l)
g	Gramm
GA	Grundlagenausdauer
Gamma-GT	Gamma-Glutamat-Transferase
GFR	Glomeruläre Filtrationsrate
GI	glykämischer Index
GL	glykämische Last
G/l	Gramm pro Liter
GOT	Glutamat-Oxalacetat- Transaminase
GPT	Glutamat-Pyruvat-Transaminase
GRAN	Granulozyten
h	Stunden
HbA1c	Hämoglobin A1c, Langzeitblutzucker
Hb	Hämoglobin
HDL-C	High Density Lipoprotein-Cholesterin
HIGH-GI	hoher glykämischer Index
HIIT	High Intensity Interval Training
Hk	Hämatokrit
HOMA	homöostatisches Modell der Insulinresistenz
HRmax	maximale Herzfrequenz

IGF-1	insulinähnlicher Wachstumsfaktor
kcal	Kilokalorien
kJ	Kilojoule
KKW	Kcal pro Kilogramm pro Woche
l	Liter
LDH	Laktat-Dehydrogenase
LDL-C	Low Density Lipoprotein-Cholesterin
LEU	Leukozyten
LOW-GI	niedrig glykämischen Index
LYM	Lymphozyten
MCH	Mittlere korpuskuläre Hb-Masse
MCHC	Mittlere korpuskuläre Hämoglobin-Konzentration
MCV	Mittleres Erythrozytenvolumen
min	Minuten
mmol	Millimol
MONO	Monozyten
MYO	Myoglobin
NADH	Nicotinamidadenindinukleotid
NEU	Neutrophile Granulozyten
NK-Zellen	Natürliche Killerzellen
Non-HDL-C	Differenz aus Gesamtcholesterin und HDL-Cholesterin
pg	Pikogramm (1 pg = 0,000 000 001 mg)
pH-Wert	Potential des Wasserstoffs
QUICKI	quantitativen Insulinsensitivitätsprüfungsindex
REG	Lauf im Regenerationsbereich
SEGAB	segmentkernige Granulozyten Absolut
SEG	segmentkernige Granulozyten
STAB	Stabkernige Granulozyten
TGL	Triglyceride
THROMBO	Thrombozyten
U/l	Unit pro Liter
VO ₂ peak	Maximale Sauerstoffaufnahme
WADA	World-Anti-Doping-Agency

WSA	Wettkampfspezifische Ausdauer
µm	Mikrometer
µl	Mikroliter
VLDL-C	Very Low Density Lipoprotein-Cholesterin
z.B.	zum Beispiel

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Laborparameter rotes Blutbild	12
Tab. 2: Laborparameter weißes Blutbild	17
Tab. 3: Laborparameter Blutzucker.....	18
Tab. 4: Laborparameter der Nierenwerte.....	21
Tab. 5: Laborparameter der Leberwerte	23
Tab. 6: Laborparameter der Muskelstressparameter	24
Tab. 7: Laborparameter der Blutfette	27
Tab. 8: Ein- und Ausschlusskriterien	49
Tab. 9: Darstellung einer Trainingswoche – Beispiel: Trainingswoche 9.....	51
Tab. 10: Trainingsumfang	52
Tab. 11: Demographische Daten, VO ₂ peak und wöchentliche sportliche Aktivität des Studienkollektivs.....	56
Tab. 12: Brennwert und Zusammensetzungen der Nährstoffe	57
Tab. 13: Soll- und absolvierte Trainingsminuten	60
Tab. 14: Unterschied der Blutwerte zwischen Pre und Post in der LOW-GI-Gruppe und der Kontrollgruppe	63
Tab. 15: Unterschied der Blutwerte zwischen der LOW-GI-Gruppe und der Kontrollgruppe	69

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Untergruppen der Leukozyten (Grass, S. 26)	13
Abb. 2: Lymphozyt, Erythrozyt, Thrombozyt (Vaupel et al., S. 145)	16
Abb. 3: Prozentuelle Pre- und Post- Werte der Nährstoffzusammensetzung in der LOW-GI-Gruppe	58
Abb. 4: Prozentuelle Pre- und Post- Werte der Nährstoffzusammensetzung in der Kontrollgruppe	58
Abb. 5: Soll- und absolvierte Trainingsminuten in der LOW-GI-Gruppe und in der Kontrollgruppe	59
Abb. 6: Veränderung der Parameter BUN und Harnstoff von Pre zu Post in der LOW-GI-Gruppe	66
Abb. 7: Veränderung der Parameter Gamma-GT und Cholesterin von Pre zu Post in der LOW-GI-Gruppe	66
Abb. 8: Veränderung des Parameters LDL-Cholesterin von Pre zu Post in der LOW-GI-Gruppe	66
Abb. 9: Veränderung des Hämatokritwerts und der segmentkernigen Granulozyten von Pre zu Post in der Kontrollgruppe	67
Abb. 10: Veränderung der Lymphozyten und des Blutzuckers von Pre zu Post in der Kontrollgruppe	67
Abb. 11: Veränderung der Harnsäure und des Cholesterins von Pre zu Post in der Kontrollgruppe	67
Abb. 12: Veränderung des HDL-C und des LDL-C von Pre zu Post in der Kontrollgruppe	68
Abb. 13: Unterschied der segmentkernigen Granulozyten zwischen der LOW-GI-Gruppe und der Kontrollgruppe	71
Abb. 14: Unterschied der segmentkernigen Granulozyten Absolut zwischen der LOW-GI-Gruppe und der Kontrollgruppe	72
Abb. 15: Unterschied der Lymphozyten zwischen der LOW-GI-Gruppe und der Kontrollgruppe	72
Abb. 16: Unterschied des Gamma-GT zwischen der LOW-GI-Gruppe und der Kontrollgruppe	72