



MASTERARBEIT / MASTER'S THESIS

Titel der Masterarbeit/ Title of the Master's Thesis

„Auswirkungen eines 10-wöchigen Ausdauertrainings
mit begleitender LCHF-Diät auf das Blutbild junger,
sportlicher Männer“

verfasst von / submitted by

Bianca Rogi, BSc

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

Master of Science (MSc)

Wien, 2023 / Vienna 2023

Studienkennzahl lt. Studienblatt / degree
programme code as it appears on
the student record sheet:

UA 066 826

Studienrichtung lt. Studienblatt / degree
programme as it appears on
the student record sheet:

Masterstudium Sportwissenschaft

Betreut von / Supervisor:

Univ.-Prof. Dr. Daniel König

Abstract

Einleitung: Bewegung und Ernährung stellen im Leben zwei wichtige Aspekte dar. Dass sich Ausdauertraining auf bestimmte Parameter des Blutbildes auswirkt, ist schon länger bekannt. Wie sich Parameter des Blutbildes bei einer ketogenen Diät verändern, ist noch wenig erforscht, außerdem gibt es nur sehr wenige Studien, die sich mit Ausdauertraining, einer ketogenen Diät und dem Blutbild beschäftigen. Ziel dieser Studie ist demnach neue Ergebnisse zur Frage, wie sich ein zehnwöchiges Ausdauertraining mit begleitender ketogener Diät auf die Parameter des roten und weißen Blutbildes, sowie die klinische Chemie bei jungen sportlichen Männern auswirken, zu generieren.

Methode: Diese Untersuchung fand im Rahmen einer Studie der Universität Wien statt. 33 männliche Probanden im Alter von 27,52 Jahren ($\pm 3,95$) wurden in eine Kontroll- (17) und eine Interventionsgruppe (16) eingeteilt, beide Gruppen absolvierten einen zehnwöchigen Trainingsplan, mit fünf Trainingseinheiten pro Woche. Die Interventionsgruppe ernährte sich nach einer ketogenen LCHF-Diät (Low Carb High Fat). Zu Beginn und am Ende der beiden Interventionen wurde Blut abgenommen.

Resultate: In der LCHF-Gruppe veränderten sich die absoluten Monozyten im Schnitt von 0,50 G/l ($\pm 0,14$) auf 0,43 G/l ($\pm 0,12$) nach der Intervention ($p = 0,007$) und die absoluten Lymphozyten von 2,10 G/l ($\pm 0,44$) auf 1,80 G/l ($\pm 0,43$) ($p = 0,004$). BUN (Blutharnstoff-Stickstoff) änderte sich von 15,35 mg/dl ($\pm 4,00$) auf 19,94 mg/dl ($\pm 4,31$) ($p < 0,001$), Harnstoff steigerte sich von 32,88 mg/dl ($\pm 8,49$) auf 42,41 mg/dl ($\pm 8,94$) ($p < 0,001$) und das Kreatinin stieg von 0,91 mg/dl ($\pm 0,10$) auf 0,95 mg/dl ($\pm 0,11$) ($p = 0,030$). Der Parameter Gamma-GT (Gamma-Glutamat-Transferase) reduzierte sich von 25,12 U/l ($\pm 12,31$) auf 17,18 U/l ($\pm 5,97$) ($p = 0,001$), das LDL-C (Low Density Lipoprotein-Cholesterin) erhöhte sich von 103,35 mg/dl ($\pm 27,95$) auf 112,65 mg/dl ($\pm 23,79$) ($p = 0,049$). Signifikante Unterschiede zwischen den beiden Gruppen gab es bei den Parametern Harnstoff, BUN, Gamma-GT, Cholesterin und LDL-C.

Schlussfolgerung: Diese Studie zeigt, dass sich ein zehnwöchiges Ausdauertraining mit begleitender ketogener Diät auf die Parameter des roten und weißen Blutbildes, sowie die klinische Chemie bei jungen sportlichen Männern auswirken. Signifikante Ergebnisse konnten bei den absoluten Monozyten, absoluten Lymphozyten, Kreatinin, BUN und Harnstoff, Gamma-GT und LDL-C festgestellt werden. Vor allem das LDL-C, das sich trotz Ausdauertraining durch die ketogene Diät erhöhte, stellt eine negative Entwicklung dar. Es wird angenommen, dass es bei den Parametern BUN und Harnstoff durch die erhöhte Proteinzufuhr bei der ketogenen Diät zu einem Anstieg kam. Der Abfall der absoluten Lymphozyten und Monozyten ist hingegen mehr dem Ausdauertraining zuzuschreiben.

Abstract (Englisch)

Introduction: Exercise and nutrition represent two very important aspects in life. It has been known for a long time that endurance training affects certain parameters of the blood count. Little research has been done on how parameters of the blood count change during a ketogenic diet. Furthermore, there are very few studies that deal with endurance training, a ketogenic diet and the blood count. Therefore, the aim of this study is to generate new results on the question of how ten weeks of endurance training with an accompanying ketogenic diet affect the parameters of the red and white blood count as well as the clinical chemistry in young athletic men.

Methods: This investigation took place as part of a study by the University of Vienna. A total of 33 male subjects aged 27,52 years ($\pm 3,95$) were divided into a control group (17) and an intervention group (16). Within ten weeks both groups completed a training schedule including five training units per week. The intervention group followed a ketogenic LCHF-diet (low carb high fat). Blood was drawn at the beginning and at the end of both interventions.

Results: After ten weeks the absolute monocytes in the LCHF-group changed from 0,50 G/l ($\pm 0,14$) to 0,43 G/l ($\pm 0,12$) ($p = 0,007$) and the absolute lymphocytes from 2,10 g/l ($\pm 0,44$) to 1,80 g/l ($\pm 0,43$) ($p = 0,004$) after the intervention. The intervention caused a change in BUN (blood urea nitrogen) from 15,35 mg/dl ($\pm 4,00$) to 19,94 mg/dl ($\pm 4,31$) ($p < 0,001$) and in urea from 32,88 mg/dl ($\pm 8,49$) to 42,41 mg/dl ($\pm 8,94$) ($p < 0,001$). The parameter creatinine increased from 0,91 mg/dl ($\pm 0,10$) to 0,95 mg/dl ($\pm 0,11$) ($p = 0,030$). Gamma-GT (gamma-glutamate transferase) was reduced from 25,12 U/l ($\pm 12,31$) to 17,18 U/l ($\pm 5,97$) ($p = 0,001$) and LDL-C (low density lipoprotein cholesterol) increased from 103,35 mg/dl ($\pm 27,95$) to 112,65 mg/dl ($\pm 23,79$) ($p = 0,049$). There were significant differences between the two groups in the parameters urea, BUN, gamma-GT, cholesterol and LDL-C.

Conclusion: This study shows that ten weeks of endurance training combined with a ketogenic diet affect parameters of the red and white blood count and the clinical chemistry in young athletic men. Significant results were found in absolute monocytes, absolute lymphocytes, creatinine, BUN and urea, gamma-GT and LDL-C. In particular, the increase in the parameter LDL-C, which occurred despite the endurance training as a result of the ketogenic diet, represents a negative development. It is assumed that the parameters BUN and urea increased due to the elevated protein intake in the ketogenic diet. The drop in absolute lymphocytes and monocytes, on the other hand, is more likely to be attributed to endurance training.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	8
1.1	Blutparameter.....	9
1.1.1	Rotes Blutbild.....	9
1.1.2	Weißes Blutbild	12
1.1.3	Thrombozyten	16
1.1.4	Leberwerte	17
1.1.5	Nierenwerte.....	18
1.1.6	Blutzucker	21
1.1.7	Muskelstressparameter	21
1.1.8	Cholesterin.....	24
1.2	LCHF-Diät	26
1.2.1	Ketose.....	26
1.2.2	Vorteile der LCHF-Diät	26
1.2.3	Nachteile der LCHF-Diät	27
1.3	Aktueller Forschungsstand	28
1.3.1	Ausdauertraining und Blutbild.....	28
1.3.2	LCHF-Diät und Blutbild.....	31
1.3.3	Training, LCHF-Diät und Blutbild	33
2	Forschungsfrage und Ziel der Studie.....	35
3	Methodik	36
3.1	Studienteilnehmer	36
3.1.1	Ein- und Ausschlusskriterien	36
3.2	Studienablauf	37
3.2.1	Trainingsintervention	38
3.2.2	Ernährungsintervention	40
3.2.3	Blutabnahme	40
3.3	Statistische Analyse	41

4	Ergebnisse.....	43
4.1	Demographische Daten	43
4.2	Training	44
4.3	Ernährung.....	46
4.4	Blutwerte	47
4.4.1	Unterschied der Blutparameter zwischen Pre und Post	48
4.4.2	Unterschied der Blutparameter zwischen den Gruppen	53
5	Diskussion	58
5.1	Auswirkungen auf das rote Blutbild	58
5.2	Auswirkungen auf das weiße Blutbild und Thrombozyten	59
5.3	Auswirkungen auf die Leberwerte.....	60
5.4	Auswirkungen auf die Nierenwerte	62
5.5	Auswirkungen auf den Blutzucker.....	63
5.6	Auswirkungen auf die Muskelstressparameter.....	64
5.7	Auswirkungen auf die Cholesterinwerte	65
6	Stärken und Limitationen	67
7	Zusammenfassung und Schlussfolgerung	69
	Literaturverzeichnis.....	72
	Abkürzungsverzeichnis	78
	Tabellenverzeichnis	80
	Abbildungsverzeichnis	81

Danksagung

Zu Beginn möchte ich mich bei jenen Personen bedanken, die beim Schreiben dieser Arbeit eine große Hilfe waren.

Ich bedanke mich bei Univ.-Prof. Dr. Daniel König für die Betreuung und Unterstützung der Masterarbeit. Vor allem möchte ich mich auch sehr herzlich bei Anna Moitzi, BSc Bakk. MSc MSc bedanken, die eine große Hilfe bei der Erhebung und Aufbereitung der Daten war und mich bei Fragen immer unterstützt hat.

Außerdem bedanke ich mich bei meiner Studienkollegin Apollonia Kmak, MSc für den stetigen Austausch und die Begleitung durch das gesamte Studium, das durch sie noch viel mehr Freude gemacht hat.

Zuletzt bedanke ich mich bei meiner Familie und vor allem auch bei meinem Verlobten Daniel Siegl, MSc, der mir nicht nur beim Schreiben der Arbeit große Motivation und Hilfestellung gab, sondern auch sonst im Leben eine wichtige Stütze ist.

1 Einleitung

Ernährung und Bewegung stellen im Leben zwei sehr wichtige Aspekte dar, wenn es um das Thema Gesundheit geht. Körperliche Aktivität hat viele positive Auswirkungen auf den menschlichen Körper. Dass sich Bewegung zum Beispiel günstig auf den BMI (Body-Mass-Index), die kardiorespiratorische Fitness und auch die Körperzusammensetzung auswirkt, ist schon lange bekannt (Kostrzewa-Nowak, Nowakowska, Zwierko, Rybak & Novak, 2020). Bewegung auf einer regelmäßigen Basis kann außerdem den Blutdruck verringern, die Insulinresistenz reduzieren und zur Verbesserung und Normalisierung des Lipidprofils beitragen (Kostrzewa-Nowak et al., 2015). Körperliche Aktivität hat zudem auch zahlreiche Auswirkungen auf verschiedene Parameter des Blutbildes (Kostrzewa-Nowak et al., 2020).

Nicht nur körperliche Bewegung und Sport spielen im Leben für die Gesundheit eine große Rolle, auch die Art der Ernährung hat auf den menschlichen Körper zahlreiche Auswirkungen. Die LCHF-Diät ist seit einigen Jahren sehr populär und wird unter anderem vor allem mit dem Ziel der Gewichtsreduktion herangezogen (Retterstøl, Svendsen, Narverud und Holven, 2018). Die Diät zeichnet sich durch einen sehr hohen Fettanteil und einen geringen Anteil an Kohlenhydraten aus. Je nach Literatur werden bei dieser Form der Diät nur 20 – 30 g Kohlenhydrate pro Tag (Paoli et al., 2021), 80 – 130 g pro Tag (McSwiney & Doyle, 2019) oder unter 100 g täglich (Adam-Perrot et al., 2006) zugeführt.

Diese Art der Diät bringt in bestimmten Settings einige Vorteile mit sich. So kann die reduzierte Kohlenhydrataufnahme dazu führen, dass der Nüchtern-Blutzucker sinkt, was vor allem bei Menschen mit Diabetes eine positive Auswirkung darstellt (Adam-Perrot, Clifton & Brouns, 2006). Die ketogene Diät wird außerdem genutzt, um Stoffwechselstörungen und kardiovaskuläre Erkrankungen zu behandeln (Paoli et al., 2021). Doch der geringe Anteil der Kohlenhydrate pro Tag hat zur Folge, dass viele Nahrungsmittel, wie Vollkornprodukte, gewisse Obst- und Gemüsearten nur in sehr kleinen Mengen oder gar nicht zugeführt werden dürfen. Dies führt weiters dazu, dass Ballaststoffe, Vitamine, Kalzium und Kalium, Magnesium und Eisen nicht in den ausreichenden Mengen über die Nahrung aufgenommen werden können (Adam-Perrot et al., 2006). Zu Beginn der Diät kann es außerdem zu negativen Effekten auf das Wohlbefinden kommen, bis sich der Körper an die neue Ernährung gewöhnt hat (Batch, Lamsal, Adkins, Sultan & Ramirez, 2020). Da die Art der Ernährung große Auswirkungen auf den Körper des Menschen hat ist es nachvollziehbar, dass eine Ernährungsumstellung auf eine ketogene Diät auch in Bezug auf bestimmte Parameter des Blutbildes zu Veränderungen führt.

Ernährung und Bewegung spielen also für die Gesundheit eine große Rolle. Wie sich körperliche Aktivität in Kombination mit einer ketogenen Diät auf Parameter des Blutbildes auswirken, ist bisher noch nicht besonders gut erforscht, weshalb hier noch Forschungsbedarf und großes Interesse besteht. Ziel dieser Arbeit ist demnach weitere Ergebnisse zu dieser Thematik zu liefern.

Um dem Leser beziehungsweise der Leserin ein besseres Verständnis über die verschiedenen Parameter des Blutbildes zu geben, werden im folgenden Abschnitt der Masterarbeit jene Parameter des weißen und roten Blutbildes, sowie der klinischen Chemie erläutert, die für diese Arbeit relevant sind (Kapitel 1.1). Außerdem wird die LCHF-Diät näher beschrieben (Kapitel 1.2), der aktuelle Forschungsstand dargelegt und Studien zur Thematik „Ausdauertraining und Blutbild“ (Kapitel 1.3.1), „LCHF-Diät und Blutbild“ (Kapitel 1.3.2) und „Training, LCHF-Diät und Blutbild“ (Kapitel 1.3.3) angeführt.

1.1 Blutparameter

Ein durchschnittlicher erwachsener Mensch hat einen Blutanteil von 7 – 8 % des Körpergewichtes, was einem Blutvolumen von 4 – 6 l entspricht. Blut besteht aus einem flüssigen Anteil, dem sogenannten Plasma, und den festen Blutzellen. Die Blutkörperchen werden in die Erythrozyten, Leukozyten und Thrombozyten unterteilt (Vaupel, Schaible & Mutschler, 2015). Das Plasma macht 50 – 63 % des Blutes aus, 37 – 50 % besteht aus den Blutzellen. Das Blut übernimmt im Körper des Menschen sehr wichtige Funktionen. Es dient dem Gas- und Stofftransport, der Wärmeregulation, der Regulation des pH-Wertes und der Gerinnung, sowie der Abwehr (Schünke, Schulte, Schumacher, Voll & Wesker, 2018). Die einzelnen Parameter des Blutes werden im Folgenden näher beschrieben.

1.1.1 Rotes Blutbild

Erythrozyten

Die Erythrozyten, auch als rote Blutkörperchen bezeichnet, stellen den Hauptanteil am zellulären Blut dar. Im Durchschnitt liegt die Zahl der Erythrozyten (Z_E) bei Frauen bei 4,6 Mio./ μ l Blut, während die Anzahl bei Männern 5,1 Mio./ μ l beträgt. Ein Erythrozyt hat durchschnittlich einen Durchmesser von 7,5 μ m, liegt der Durchmesser im Normbereich spricht man von Normozyten. Eine Mikrozytose bedeutet das Vorliegen einer Verringerung des Durchmessers unter 6,5 μ m, eine Makrozytose liegt vor, wenn die roten

Blutkörperchen einen Durchmesser von 8 µm übersteigen (Vaupel et al., 2015). Abbildung 1 zeigt ein Bild eines roten Blutkörperchens.

Hämatokrit – Hkt

Der Hämatokritwert stellt den Anteil des Volumens der Erythrozyten am gesamten Blutvolumen dar. Bei Frauen liegt der Hämatokritwert durchschnittlich bei 0,41, während er beim Mann mit 0,45 etwas höher liegt (Vaupel et al., 2015). Die Erythrozyten stellen den größten Anteil an den Blutzellen dar, weshalb die Bestimmung des Hämatokritwertes eine Alternative zur Messung des Hämoglobins bedeutet (Bundesministerium für Soziales, Gesundheit, Pflege und Konsumentenschutz, 2022a). Wie hoch der Hämatokritwert ist, hängt vom Plasmavolumen des Blutes und der Anzahl an Erythrozyten ab. Ausdauersportler weisen häufig etwas niedrigere Werte auf, da das regelmäßige Ausdauertraining eine Zunahme des Plasmavolumens zur Folge hat, die größer ist, als die Zunahme der Erythrozytenzahl (Schmidt, 2002).

Hämoglobin – Hb

Der rote Blutfarbstoff Hämoglobin übernimmt mit dem Transport von Sauerstoff und Kohlendioxid, sowie der Pufferung des Blutes lebenswichtige Funktionen im Körper (Vaupel et al., 2015). Da das Hämoglobin Eisen enthält, ist die Bindung von Sauerstoff in der Lunge und die Abgabe im Körpergewebe möglich. Das Hämoglobin ist größtenteils in den Erythrozyten zu finden, weshalb die Menge des Hämoglobins mit der Anzahl der roten Blutkörperchen in Zusammenhang steht (Bundesministerium für Soziales, Gesundheit, Pflege und Konsumentenschutz, 2022b).

Im Durchschnitt liegt die Hämoglobinkonzentration (cHb) im Blut bei der Frau bei 140 g/l und beim Mann bei 158 g/l (Vaupel et al., 2015). Ein regelmäßig durchgeführtes Ausdauertraining kann jedoch eine Zunahme des Hämoglobins bewirken. Zwischen der absoluten beziehungsweise relativen maximalen Sauerstoffaufnahme ($VO_2\text{max}$) und dem Hämoglobin herrscht außerdem ein hoher positiver Zusammenhang. Steigt das Hämoglobin um 1 g, führt dies zu einer Verbesserung der $VO_2\text{max}$ um ungefähr 4 ml/min. Je höher also das Hämoglobin ist, desto besser ist die $VO_2\text{max}$ und damit auch die Ausdauerleistungsfähigkeit (Prommer & Schmidt, 2009).

Mittleres Erythrozytenvolumen – MCV

Das mittlere Erythrozytenvolumen (MCV), die mittlere korpuskuläre Hb-Masse (MCH) und die mittlere korpuskuläre Hämoglobin-Konzentration (MCHC) sind errechnete Kenngrößen, die zur Beurteilung der Blutbildung dienen. Zur Errechnung von MCV wird der Hämatokritwert durch die Erythrozytenzahl geteilt, der Durchschnittswert liegt hier für beide Geschlechter bei 92 fl (Femoliter). Durch diese Kenngröße kann das Vorliegen einer Mikro- oder Makrozytose festgestellt werden (Vaupel et al., 2015).

Mittlere korpuskuläre Hb-Masse – MCH

Wird die Hämoglobinkonzentration durch die Erythrozytenzahl geteilt, wird die Kenngröße MCH ermittelt. Normwerte von MCH liegen im Mittel bei 31 pg (Pikogramm). Das entspricht 31×10^{-12} g Hämoglobin in einem einzelnen Erythrozyten. Die Größe MCH gibt Auskunft zur Beurteilung des Blutbildes und dient zur Differenzierung unterschiedlicher Anämieformen. Liegt der MCH-Wert im Normbereich spricht man von normochromen Erythrozyten. Liegt der Wert unter dem Normbereich wird dies als hypochrome und bei Werten über der Norm als hyperchrome rote Blutzellen bezeichnet (Vaupel et al., 2015).

Mittlere korpuskuläre Hämoglobin-Konzentration – MCHC

MCHC errechnet sich aus der Division der Hämoglobinkonzentration durch den Hämatokritwert. Im Mittel liegt dieser Wert sowohl für Männer als auch für Frauen bei 335 g/l (Vaupel et al., 2015). Tabelle 1 gibt einen Überblick über die Normwerte und Referenzbereiche des roten Blutbildes.



Abb. 1: Erythrozyten (Schünke et al., 2018, S. 24)

Tab. 1: Normwerte und Referenzbereiche des roten Blutbildes, der Leukozyten und Thrombozyten

Größe	Abkürzung	Einheit	Mittelwert	Referenzbereich
Hämatokritwert	Hkt	-	♀ 0,42 ♂ 0,45	♀ 0,36 – 0,45 ♂ 0,41 – 0,50
Erythrozytenkonzentration	Z _E	10 ⁶ /μl	♀ 4,6 ♂ 5,1	♀ 4,1 – 5,1 ♂ 4,5 – 5,9
Hämoglobinkonzentration	cHb	g/l	♀ 140 ♂ 158	♀ 123 – 153 ♂ 140 – 175
Mittleres Erythrozytenvolumen (Hkt/ Z _E)	MCV	fl	92	80 – 96
Mittlere Hb-Konzentration im Erythrozyten (cHb/Hkt)	MCHC	g/l	335	330 – 360
Mittlere Hb-Masse/ Erythrozyt (cHb/ Z _E)	MCH	pg	31	28 – 33
Leukozytenkonzentration	Z _L	10 ³ / μl	7	4 – 10
Thrombozytenkonzentration	Z _T	10 ³ / μl	250	140 – 360

Quelle: mod. n. Vaupel, P., Schaible, H. & Mutschler, E. (2015, S.151)

1.1.2 Weißes Blutbild

Beim weißen Blutbild werden die Leukozyten betrachtet. Leukozyten werden auch als weiße Blutkörperchen bezeichnet und aufgrund ihrer Morphologie und Funktion in die Granulozyten, Monozyten und Lymphozyten eingeteilt (Vaupel et al., 2015). Sie stellen die Zellen des Immunsystems dar (Bachl, Löllgen, Tschan, Wackerhage & Wessner, 2018). Im Vergleich zu den Erythrozyten ist die durchschnittliche Zahl der Leukozyten mit 7.000/μl Blut um ein Vielfaches geringer. Die Leukozytenkonzentration kann je nach Tageszeit und Zustand des Organismus stark schwanken, der Normbereich liegt dabei zwischen 4.000 – 10.000/μl. Zu berücksichtigen ist hierbei, dass sich nur ein geringer Anteil von ungefähr 5 % aller weißen Blutkörperchen im Blut befindet und der Großteil im Knochenmark, Geweben und Organen für spezifische Aufgaben verantwortlich ist. Durch eine spezielle Färbung der weißen Blutzellen können die Untergruppen dieser im Blutaussstrich festgestellt und anschließend im Differenzialblutbild dargestellt werden

(Vaupel et al., 2015). In den Abbildungen 2 und 3 sind die Untergruppen der weißen Blutzellen abgebildet. Tabelle 2 gibt außerdem einen Überblick über die relative und absolute Verteilung der Untergruppen der Leukozyten.

Granulozyten

Granulozyten entwickeln sich aus pluripotenten Stammzellen. Zu Beginn differenzieren sich diese zu myeloisch determinierten Stammzellen und dann zu granulopoietisch determinierten Vorläuferzellen aus. Nach weiteren Reifungsprozessen entstehen im weiteren Verlauf die drei Untergruppen der Granulozyten, die neutrophilen, basophilen und eosinophilen Granulozyten, die folgend näher beschrieben werden. Bei einer akuten Entzündung und der Abwehr von Bakterien, Viren, Würmern und Protozoen (Einzeller) kommt den Granulozyten eine essentielle Rolle zu (Vaupel et al., 2015).

Neutrophile Granulozyten

Die Zahl der neutrophilen Granulozyten liegt zwischen 2.200 – 7.700/µl. Neutrophile Granulozyten haben eine Größe von 9 – 12 µm und zeichnen sich durch ihre amöboide Beweglichkeit aus. Sie sind dazu in der Lage, Gefäßwände zu durchwandern, was auch als Diapedese bezeichnet wird. Außerdem sind sie dazu fähig, in das Bindegewebe einzudringen, auch Migration genannt. Sie sind wichtige Vertreter für die unspezifische Abwehr, da sie zur Phagozytose¹ von Fremdmaterial, Gewebetrümmern und Krankheitserregern fähig sind. Werden diese Zellen aktiviert, setzen sie Prostaglandine, Leukotriene und Sauerstoffspezies frei, die bei Entzündungsreaktionen eine Rolle spielen (Vaupel et al., 2015).

Eosinophile Granulozyten

Eosinophile Granulozyten machen 2 – 5 % der Leukozyten aus, was einer Zahl von 80 – 450/µl Blut entspricht. Sie stellen mit 10 – 15 µm die größten Granulozyten dar und sind ebenso wie die neutrophilen Granulozyten amöboid beweglich. Sie sind zur Phagozytose von Antigen-Antikörper-Komplexen, artfremdem Eiweiß und Mikroorganismen fähig (Vaupel et al., 2015). Außerdem dienen sie der Wurmbabwehr und sind an allergischen

¹ Granulozyten und Makrophagen nehmen Fremdmaterialien in sich auf und bauen diese dann ab (Vaupel et al., 2015).

Reaktionen beteiligt (Schünke et al., 2018). Eosinophile Granulozyten unterliegen einer Tagesrhythmik. So ist deren Anzahl am Morgen geringer als in der Nacht, was durch den Anstieg der Glucocorticoidkonzentration im Blut am Morgen und dem Abfall in der Nacht hervorgerufen wird (Vaupel et al., 2015).

Basophile Granulozyten

Die Zahl der basophilen Granulozyten liegt bei unter 100/ μ l. Sie zählen mit einem Durchmesser von 8 – 11 μ m zu den kleinsten und auch anteilig an den Granulozyten zu den seltensten in der Blutbahn. Im Verlauf einer Infektion mit Bakterien geben die basophilen Granulozyten Zytokine ab und sezernieren Heparin, Histamin und Proteasen (Vaupel et al., 2015). Bei einer allergischen Reaktion wird zum Beispiel Histamin freigesetzt (Schünke et al., 2018).

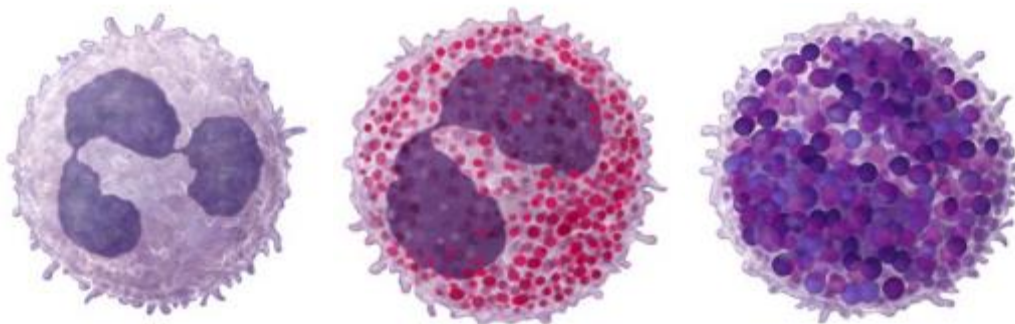


Abb. 2: Neutrophile (links), Eosinophile (mitte) und Basophile Granulozyten (rechts) (Schünke et al., 2018, S. 24-25)

Monozyten

Im Blut zirkulieren 80 – 800 Monozyten/ μ l. Die Monozyten sind mit einem Durchmesser von 12 – 20 μ m die größten Blutzellen. Sie entwickeln sich aus myeloisch determinierten Stammzellen und reifen im Knochenmark weiter zu funktionsfähigen Zellen, die anschließend in den Blutkreislauf wandern. Die Monozyten gelangen ins Gewebe und differenzieren sich dort zu Makrophagen aus. Ihre Hauptfunktion liegt in der Phagozytose und der spezifischen Abwehr (Vaupel et al., 2015).

Lymphozyten

Zahlenmäßig sind Lymphozyten im Blut mit 1.000 – 4.600/μl vertreten. Ihre Funktion liegt, wie auch bei den Monozyten, in der spezifischen Abwehr. Es gibt bei den Lymphozyten je nach Größe Untergruppen. Die kleinen B- und T-Lymphozyten haben einen Durchmesser von 7 – 10 μm, während die größeren natürlichen Killerzellen (NK-Zellen) einen Durchmesser von 11 – 16 μm aufweisen. Die Lymphozyten entwickeln sich wie alle Blutzellen aus einer pluripotenten Stammzelle im Knochenmark. Im Unterschied zu anderen Zellen, die im Knochenmark heranwachsen und sich dort ausdifferenzieren, begibt sich ein Teil der Vorläufer der T-Lymphozyten nach den ersten Reifungsprozessen im Knochenmark in den Thymus (primäre lymphatische Organe), um dort die Reifung fortzusetzen. Nach Abschluss der Reifung zuerst im Knochenmark und anschließend im Thymus, wandern die Lymphozyten zu den sekundären lymphatischen Organen, wie Milz, Tonsillen, Lymphfollikel und Lymphknoten (Vaupel et al., 2015).

Die B-Lymphozyten entwickeln sich zu Plasmazellen, deren Aufgabe in der Bildung von Antikörpern besteht. Die T-Lymphozyten hingegen sind für die spezifische, zellgebundene Immunabwehr und die NK-Zellen für die unspezifische Abwehr zuständig (Schünke et al., 2018). Nur ein geringer Anteil der Lymphozyten, nämlich weniger als 1 %, befindet sich im Blut. Der relative Anteil der Lymphozyten an den gesamten Leukozyten ist mit 25 – 45 % dennoch sehr groß (Vaupel et al., 2015).

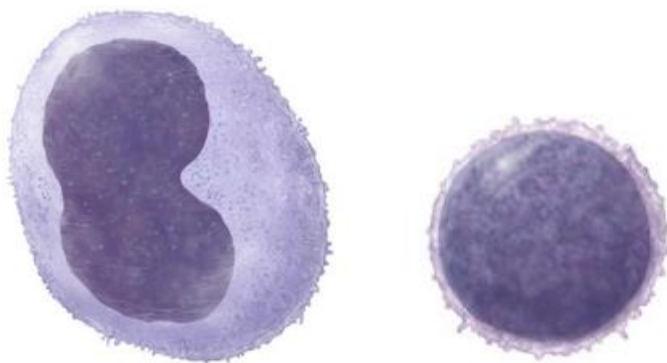


Abb. 3: Monozyt (links) und Lymphozyt (rechts) (Schünke et al., 2018, S. 25)

Tab. 2: Leukozyten - Differentialblutbild bei Erwachsenen (Referenzbereiche)

Differenzialblutbild	Relativ (%)	Anzahl/ μ l
Neutrophile Granulozyten	55 – 70	2.000 – 7.700
▪ Segmentkernige	55 – 60	1.900 – 7.000
▪ Stabkernige	4 – 5	100 – 700
Eosinophile Granulozyten	2 – 5	80 – 450
Basophile Granulozyten	≤ 1	≤ 100
Lymphozyten	25 – 45	1.000 – 4.600
Monozyten	2 – 8	80 – 800

Quelle: Vaupel, P., Schaible, H. & Mutschler, E. (2015, S.159)

1.1.3 Thrombozyten

Thrombozyten, auch als Blutplättchen bezeichnet, sind linsenförmige Scheiben, die einen Längsdurchmesser von 1,5 – 4 μ m besitzen. Insgesamt befinden sich 140.000 – 400.000 Thrombozyten/ μ l im Blut eines gesunden Menschen. Ebenso wie die Granulozyten stammen auch die Blutplättchen von myeloisch determinierten Stammzellen ab, die sich im Knochenmark durch „Abschnürung“ aus dem Zytoplasma von Knochenmarksriesenzellen entwickeln. Aufgabe der Thrombozyten, gemeinsam mit Gefäßreaktionen und plasmatischen Gerinnungsfaktoren, ist die Blutstillung, auch als Hämostase bezeichnet, die einsetzt, wenn Gefäße einen Defekt aufweisen (Vaupel et al., 2015). Für die Blutgerinnung stellen die Thrombozyten einen lebenswichtigen Bestandteil dar (Schünke et al., 2018). Auch für das Immunsystem spielen die Thrombozyten eine wichtige Rolle, indem sie Substanzen freisetzen, die zur Steigerung der Permeabilität beitragen, Komplementfaktoren aktivieren und so an der Anlockung von weißen Blutkörperchen beteiligt sind (Bachl et al., 2018). Abbildung 4 zeigt eine bildliche Darstellung der Thrombozyten.

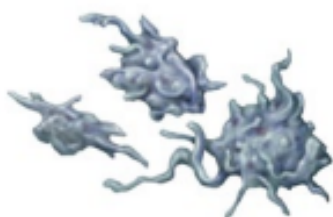


Abb. 4: Thrombozyten (Schünke et al., 2018, S. 24)

1.1.4 Leberwerte

Im Folgenden werden die Leberwerte Glutamat-Oxalacetat-Transaminase (GOT), Glutamat-Pyruvat-Transaminase (GPT) und Gamma-Glutamat-Transferase (GGT), näher erläutert. Tabelle 3 gewährt einen Überblick über die Leberwerte und deren Referenzbereiche.

Glutamat-Oxalacetat-Transaminase – GOT

Das Enzym Glutamat-Oxalacetat-Transaminase wird auch als Aspartat-Aminotransferase (AST/ASAT) bezeichnet. Es befindet sich größtenteils in der Leber, kommt aber auch in der Herz- und Skelettmuskulatur vor (Bundesministerium für Soziales, Gesundheit, Pflege und Konsumentenschutz, 2022c). Der Normbereich von GOT liegt bei Frauen unter 35 U/l (Units/Liter), bei Männern unter 50 U/l (Vaupel et al., 2015). Ist der Wert GOT im Blutbild erhöht, kann dies auf Erkrankungen im Bereich der Leber, Herz- oder Skelettmuskulatur hinweisen (Bundesministerium für Soziales, Gesundheit, Pflege und Konsumentenschutz, 2022c).

Glutamat-Pyruvat-Transaminase – GPT

Glutamat-Pyruvat-Transaminase, ebenfalls wie GOT ein Enzym, wird auch als Alanin-Aminotransferase (ALT) bezeichnet und ist vor allem in der Leber vertreten (Bundesministerium für Soziales, Gesundheit, Pflege und Konsumentenschutz, 2022d). GOT und GPT sind im menschlichen Körper dafür zuständig, dass Aminogruppen von Aminosäuren auf Ketosäuren übertragen werden (Renz, 2018). Das ist ein wichtiger Schritt bei der Energiegewinnung (Vaupel et al., 2015).

Bei Erkrankungen der Leber, liegen die beiden Werte außerhalb der Normbereiche. So geben sie Auskunft über die Diagnostik und Kontrolle des Verlaufes der Erkrankung. Die beiden Enzyme werden im Blutserum gemessen (Renz, 2018). GPT ist bereits bei geringer Schädigung der Leber erhöht, während GOT erst bei schweren Schäden ansteigt. Kommt es vorwiegend zu einer Steigerung von GOT, kann dies auch auf eine Beschädigung von Muskelzellen, wie zum Beispiel bei einem Myokardinfarkt, zurückzuführen sein. Eine Erhöhung von GPT kann außerdem durch körperliche Anstrengung entstehen (Bundesministerium für Soziales, Gesundheit, Pflege und Konsumentenschutz, 2022d). Der Referenzbereich von GPT liegt beim weiblichen Geschlecht unter 35 U/l, bei Männern unter 50 U/l (Vaupel et al., 2015).

Gamma-Glutamat-Transferase – Gamma-GT

Gamma-Glutamat-Transferase wird auch als Gamma-Glutamyl-Transferase bezeichnet. Das Enzym ist vor allem in der Leber vorhanden, kommt aber auch in den Nieren, Gallengängen, in der Bauchspeicheldrüse, in der Milz und im Darm vor. GGT gibt aber trotzdem eher Auskunft über Erkrankungen der Leber und Gallenwege, da das im Blut gemessene GGT hauptsächlich aus der Leber und den Gallenwegen stammt. Vor allem erhöht ist der Wert demnach bei Leberschädigung durch übermäßigen Alkoholkonsum und bei Störungen des Gallenflusses (Bundesministerium für Soziales, Gesundheit, Pflege und Konsumentenschutz, 2022e). Die Referenzwerte von Gamma-GT liegen bei Frauen unter 40 U/l und bei Männern unter 60 U/l (Vaupel et al., 2015).

Während erhöhte Werte bei GOT, GPT und GGT immer auf Erkrankungen oder Schädigungen hinweisen, spielen erniedrigte Werte keine Rolle (Bundesministerium für Soziales, Gesundheit, Pflege und Konsumentenschutz, 2022e).

Tab. 3: Referenzbereiche der Leberwerte

<i>Größe</i>	<i>Abkürzung</i>	<i>Referenzbereich</i>
Glutamat-Oxalacetat-Transaminase/ Aspartat-Aminotransferase	GOT/ AST/ ASAT	♀ < 35 U/l ♂ <50 U/l
Glutamat-Pyruvat-Transaminase/ Alanin-Aminotransferase	GPT/ ALT	♀ < 35 U/l ♂ <50 U/l
Gamma-Glutamat-Transferase	Gamma-GT	♀ < 40 U/l ♂ <60 U/l

Quelle: mod. n. Vaupel, P., Schaible, H. & Mutschler, E. (2015, S. 920)

1.1.5 Nierenwerte

Die Nieren übernehmen im Körper lebenswichtige Aufgaben. Sie sind zuständig für die Kontrolle des Wasser- und Elektrolythaushaltes, die Regulation des Säure-Basen-Haushaltes, den Abbau von Plasmaproteinen, die Regulation des Extrazellulärvolumens und die Ausscheidung von Stoffwechselprodukten, wie Harnstoff, Harnsäure und Kreatinin (Vaupel et al., 2015). Im weiteren Verlauf werden die Parameter Kreatinin, Harnstoff und Blutharnstoff-Stickstoff, Harnsäure und die glomeruläre Filtrationsrate näher erläutert. Tabelle 4 gibt einen näheren Überblick über die Referenzbereiche der verschiedenen Nierenwerte.

Kreatinin

Die Bildung von Kreatinin erfolgt aus Phosphokreatin im Muskel. Bevor das Kreatinin ausgeschieden wird, wird es in den Glomeruli der Nieren filtriert (Renz, 2018). Anschließend verläuft die Ausscheidung von Kreatinin weiterhin über die Nieren. Um die Funktion der Nieren zu prüfen, stellt die Bestimmung des Kreatininwertes einen wichtigen Parameter dar (Bundesministerium für Soziales, Gesundheit, Pflege und Konsumentenschutz, 2022f). Der Normbereich von Kreatinin liegt für Frauen und Männern zwischen 0,04 und 0,10 mmol/l (Vaupel et al., 2015).

Harnstoff

Die Bildung von Harnstoff als Abbauprodukt des Eiweißstoffwechsels erfolgt in der Leber. In den Glomeruli der Nieren wird der Harnstoff filtriert und größtenteils in den Tubuli rückresorbiert (Renz, 2018). Der Teil des Harnstoffes, der nicht resorbiert wird, etwa 50 %, wird mit dem Harn ausgeschieden (Vaupel et al., 2015). Harnstoff wird als Parameter zur Einschätzung des Proteinstoffwechsels und der Funktion der Nieren herangezogen. Ist die Nierenfunktion, die Nierenleistung oder die Durchblutung der Nieren gestört, kommt es zur Erhöhung des Harnstoffwertes. Bei guter Nierendurchblutung wird hingegen vermehrt Harnstoff ausgeschieden. Die Harnstoffbildungsrate ist außerdem von der Proteinaufnahme abhängig (Bundesministerium für Soziales, Gesundheit, Pflege und Konsumentenschutz, 2022g). Der Normbereich von Harnstoff liegt für beide Geschlechter zwischen 10 und 45 mg/dl (Vaupel et al., 2015).

Blutharnstoff-Stickstoff – BUN

Um den Harnstoff zu bestimmen, können unterschiedliche Methoden angewandt werden. Zum einen kann er direkt gemessen werden, zum anderen erfolgt die Messung über Blutharnstoff-Stickstoff (Blood-Urea-Nitrogen - BUN). BUN und Harnstoff können über einen Faktor ineinander umgerechnet werden. BUN in mg/dl multipliziert mit dem Faktor 2,14 ergibt den Harnstoff in mg/dl. Zur Errechnung von BUN in mg/dl wird der Harnstoff in mg/dl mit dem Faktor 0,467 multipliziert. Der Referenzbereich von BUN liegt bei Männern und Frauen zwischen 6 und 25 mg/dl (Bundesministerium für Soziales, Gesundheit, Pflege und Konsumentenschutz, 2022g).

Harnsäure

Harnsäure, auch als Urat bezeichnet, stellt das Endprodukt des Purin- bzw. Nucleoprotein-Stoffwechsels dar (Vaupel et al., 2015). Purine sind Bestandteile des Zellkerns und der Erbinformation (Bundesministerium für Soziales, Gesundheit, Pflege und Konsumentenschutz, 2022h). Harnsäure wird glomerulär gefiltert und größtenteils im Tubulus resorbiert. Nur 10 % des Urats wird über die Nieren ausgeschieden. Bei Männern liegt die Harnsäure in einem Normbereich zwischen 3,6 und 8,2 mg/dl, bei Frauen zwischen 2,3 und 6,1 mg/dl (Vaupel et al., 2015).

Glomeruläre Filtrationsrate – GFR

Zur Überprüfung der Funktionsfähigkeit der Nieren wird die Glomeruläre Filtrationsrate (GFR) herangezogen (Bundesministerium für Soziales, Gesundheit, Pflege und Konsumentenschutz, 2022i). In den Glomeruli der Nieren wird täglich eine Flüssigkeitsmenge von ungefähr 180 l gefiltert. Durch die Filtration gelangen Stoffwechselprodukte, wie Harnstoff, Kreatinin und Harnsäure in den Primärharn, während zum Beispiel Blutzellen zurückgehalten werden und somit nicht in den Harn gelangen (Vaupel et al., 2015).

Die Messung der GFR erfolgt häufig über die Kreatininwerte mittels Berechnungsformel. Die dadurch errechnete GFR stellt allerdings nur eine Schätzung dar (Bundesministerium für Soziales, Gesundheit, Pflege und Konsumentenschutz, 2022i). Die glomeruläre Filtrationsrate beider Nieren liegt beim männlichen Geschlecht im mittleren Alter bei 125 ml/min. Bei Frauen fällt der Wert mit 110 ml/min etwas geringer aus. Bezogen auf die Körperoberfläche liegt die glomeruläre Filtrationsrate für beide Geschlechter bei 110 – 120 ml/min/1,73 m² (Vaupel et al., 2015).

Tab. 4: Referenzbereiche der Nierenwerte

Größe	Abkürzung	Referenzbereich
Kreatinin	/	0,5 – 1,0 mg/dl
Harnstoff	/	10 – 45 mg/dl
Blutharnstoff-Stickstoff	BUN	6 – 25 mg/dl
Harnsäure	/	♀ 2,3 – 6,1 mg/dl
		♂ 3,6 – 8,2 mg/dl
Glomeruläre Filtrationsrate	GFR	♀ 110 ml/min
		♂ 125 ml/min

Quelle: mod. n. Vaupel, P., Schaible, H. & Mutschler, E. (2015, S.921), mod. n. Bundesministerium für Soziales, Gesundheit, Pflege und Konsumentenschutz (2022g)

1.1.6 Blutzucker

Der Normbereich des Blutzuckerspiegels liegt im nüchternen Zustand zwischen 55 und 100 mg/dl. Durch das Zuführen von Kohlenhydraten über die Nahrung und Änderung der Glucoseoxidationsrate, die vor allem durch körperliche Aktivität stark ansteigen kann, kommt es bei der Blut-Glucosekonzentration häufig zu Abweichungen von den Sollwerten. Der gesunde Körper ist aber dazu fähig diese schnell wieder auszugleichen. Die Blutzuckerkonzentration ist demnach das Ergebnis der Vorgänge im Körper, die Glucose liefern und derjenigen, die Glucose verbrauchen. Durch Hemmung beziehungsweise Aktivierung hauptsächlich hormoneller Vorgänge hält der Körper die Blut-Glucosekonzentration im Gleichgewicht (Vaupel et al., 2015). Ein stabiler Blutzuckerspiegel ist für glukoseabhängige Organe, wie das Gehirn und die roten Blutkörperchen, sehr wichtig, vor allem für das Gehirn wirkt sich ein unzureichend hoher Glukosespiegel sehr negativ aus (Bachl et al., 2018).

1.1.7 Muskelstressparameter

Folgend werden die Muskelstressparameter Creatin-Kinase (CK), Myoglobin und die Laktat-Dehydrogenase (LDH) näher erläutert. In Tabelle 5 sind die Referenzbereiche der Muskelstressparameter zum besseren Überblick dargestellt.

Creatin-Kinase – CK

Creatin-Kinase, auch als Creatinphosphokinase (CPK) bezeichnet, ist ein Enzym, das großteils in der Skelett- und Herzmuskulatur zu finden ist (Bundesministerium für Soziales, Gesundheit, Pflege und Konsumentenschutz, 2022j). Das Enzym CK ist dafür zuständig, Phosphatgruppen von Kreatinphosphat auf Adenosindiphosphat (ADP) zu übertragen. Damit wirkt es bei der Regeneration von Adenosintriphosphat (ATP) (Renz, 2018). In der Muskulatur hat CK die Aufgabe, chemische Energie für die Muskelarbeit bereitzustellen. Ist der CK-Wert erhöht, kann das ein Hinweis für eine Schädigung der Muskulatur sein, da durch die geschädigte Muskulatur CK ins Blut gelangen kann. Wo im Körper der Schaden vorliegt, kann durch den Wert jedoch nicht bestimmt werden (Bundesministerium für Soziales, Gesundheit, Pflege und Konsumentenschutz, 2022j). Der Referenzbereich von CK liegt bei Frauen unter 140 U/l, bei Männern unter 170 U/l (Vaupel et al., 2015). Anzumerken ist, dass Sportler und Sportlerinnen höhere CK-Werte aufweisen als Menschen, die sich nur sehr gering oder gar nicht sportlich betätigen (Delsmann, Stürznickel, Amling, Ueblacker & Rolvien, 2021).

Myoglobin

Myoglobin ist ein roter Muskelfarbstoff, bei dem es sich um einen Eiweißstoff handelt. Es wird in der Skelett- und Herzmuskulatur gebildet und ist für die Sauerstoffspeicherung in der Muskulatur zuständig. Der dort gespeicherte Sauerstoff dient als Reserve für sehr hohe Belastungen (Bundesministerium für Soziales, Gesundheit, Pflege und Konsumentenschutz, 2022k). Das Myoglobin ist demnach das sauerstoffbindende Eiweiß des Muskels (Delsmann et al., 2021). Kommt es zur Schädigung der Muskulatur, steigen die Myoglobinwerte im Blut schnell an (Bundesministerium für Soziales, Gesundheit, Pflege und Konsumentenschutz, 2022k).

Durch eine körperliche Aktivität werden Muskelproteine abgebaut, dies führt dazu, dass Myoglobin freigesetzt wird, das schon 30 Minuten nach der körperlichen Aktivität messbar ist. Die Myoglobinwerte können noch fünf Tage danach erhöht sein (Delsmann et al., 2021). Der Normbereich von Myoglobin liegt bei Männern und Frauen bei unter 110 µg/l (Bundesministerium für Soziales, Gesundheit, Pflege und Konsumentenschutz, 2022k).

Laktat-Dehydrogenase – LDH

Bei der Laktat-Dehydrogenase handelt es sich ebenfalls um ein Enzym, das in den Geweben des gesamten Körpers vorzufinden ist. Besonders vertreten ist es dabei in Leber und Niere, der Muskulatur und in den Erythrozyten. Werden diese Organe beziehungsweise Organsysteme geschädigt, führt das zu einer Erhöhung der LDH-Aktivität im Blut (Bundesministerium für Soziales, Gesundheit, Pflege und Konsumentenschutz, 2022l). Auch anschließend an eine körperliche Aktivität kommt es zu einem Anstieg des LDHs, der im Vergleich zum Anstieg des CK-Wertes langsamer verläuft. Nach einer längeren Belastung kann das LDH noch 14 Tage nach der Aktivität auf einem erhöhten Level sein (Delsmann et al., 2021). Ein normaler LDH-Wert liegt sowohl für Frauen als auch für Männer unter 250 U/l (Vaupel et al., 2015).

In Ruhe besteht zwischen trainierten Männern und Frauen und untrainierten Menschen kein Unterschied in den LDH-Konzentrationen. Vergleicht man die Konzentrationen jedoch nach einem 300-m-Sprint, fällt die LDH-Konzentration bei den Untrainierten viel höher aus. Ein guter Trainingszustand spielt demnach bei diesem Parameter eine maßgebende Rolle und ist wichtig, um Verletzungen des Muskels durch körperliche Aktivität zu verhindern (Delsmann et al., 2021).

Tab. 5: Referenzbereiche der Muskelstressparameter

<i>Größe</i>	<i>Abkürzung</i>	<i>Referenzbereich</i>
Creatin-Kinase/ Kreatin-Phosphokinase	CK/ CPK	♀ < 140 U/l ♂ < 170 U/l
Myoglobin	/	< 110 µg/l
Laktat-Dehydrogenase	LDH	< 250 U/l

Quelle: mod. n. Vaupel, P., Schaible, H. & Mutschler, E. (2015, S.920), mod. n. Bundesministerium für Soziales, Gesundheit, Pflege und Konsumentenschutz (2022k)

1.1.8 Cholesterin

Cholesterin wird nicht nur über die Nahrung aufgenommen, sondern auch im Körper, größtenteils in der Leber, gebildet. Cholesterin hat im Körper des Menschen viele Funktionen. Es gilt als Baustein für Zellmembranen und Lipoproteine und ist der Ausgangsstoff für die Bildung von Steroidhormonen, Vitamin D und von Gallensäuren. Der Transport von Cholesterin, zusammen mit anderen Fetten wie zum Beispiel Triglyceriden, erfolgt über spezielle Transportproteine, auch als Lipoproteine bezeichnet. Diese gewährleisten, dass sich keine Fetttropfen bilden, die zu einer lebensgefährlichen Situation führen würden. Zum einen gibt es die Low Density Lipoproteine (LDL), die für den Transport des Cholesterins in die verschiedenen Gewebe, in denen es benötigt wird, zuständig sind. Zum anderen gibt es die High Density Lipoproteine (HDL), die das Cholesterin in die Leber zurückbringen, wenn es nicht mehr von Nutzen ist. Über die Leber wird es anschließend mit der Gallensäure ausgeschieden (Bundesministerium für Soziales, Gesundheit, Pflege und Konsumentenschutz, 2022m). Tabelle 6 veranschaulicht die Referenzbereiche des Gesamtcholesterins, LDL-Cholesterins, HDL-Cholesterins und der Triglyzeride.

Gesamtcholesterin

Um das Gesamtcholesterin im Blut zu bestimmen, werden das HDL-C und das LDL-C mitgemessen. Ist der Wert erhöht, stellt dies einen Risikofaktor für die Verkalkung der Arterien (Atherosklerose) dar (Bundesministerium für Soziales, Gesundheit, Pflege und Konsumentenschutz, 2022m). Ein Gesamtcholesterinwert ist im Normbereich, wenn er unter 200 mg/dl liegt (Vaupel et al., 2015).

Low Density Lipoprotein-Cholesterin – LDL-C

Erhöhte Werte des LDL-C im Blut führen zu einer Steigerung des Risikos für Atherosklerose (Bundesministerium für Soziales, Gesundheit, Pflege und Konsumentenschutz, 2022m). Der Referenzbereich des LDL-Cholesterins liegt für beide Geschlechter unter 150 mg/dl (Vaupel et al., 2015).

High Density Lipoprotein-Cholesterin – HDL-C

Hohe Werte des HDL-C stellen einen Schutz vor Atherosklerose dar (Bundesministerium für Soziales, Gesundheit, Pflege und Konsumentenschutz, 2022m). HDL-C ist in der Lage Cholesterol, das in der Gefäßwand abgelagert wurde, aufzunehmen und in die Leber zurückzutransportieren, was den schützenden Effekt hervorruft. Das HDL-Cholesterin sollte bei Frauen und Männern zumindest über 55 mg/dl liegen, um in den Normalbereich zu fallen (Vaupel et al., 2015).

Triglyzeride

Triglyzeride werden auch als Neutralfette bezeichnet und stellen im Körper einen wichtigen Speicher für Energie dar. Die im Blut gemessenen Triglyzeride gelangen aus der Nahrung und dem Fettstoffwechsel dorthin. Sind die Triglyzeride gemeinsam mit dem LDL-C erhöht, stellt diese Kombination ein großes Risiko für eine Atherosklerose dar (Bundesministerium für Soziales, Gesundheit, Pflege und Konsumentenschutz, 2022n). Der Normbereich der Triglyzeride liegt für beide Geschlechter unter 150 mg/dl (Vaupel et al., 2015).

Tab. 6: Referenzbereiche des Cholesterins

<i>Größe</i>	<i>Abkürzung</i>	<i>Referenzbereich</i>
Gesamtcholesterin	/	< 200 mg/dl
Low Density Lipoprotein-Cholesterin	LDL-C	< 150 mg/dl
High Density Lipoprotein-Cholesterin	HDL-C	> 55 mg/dl
Triglyzeride	/	< 150 mg/dl

Quelle: mod. n. Vaupel, P., Schaible, H. & Mutschler, E. (2015, S.921)

1.2 LCHF-Diät

Die Abkürzung LCHF steht für „Low Carbohydrate High Fat“, was bedeutet, dass bei dieser Diät der Großteil der Energie durch Fett und nur zu einem sehr geringen Anteil durch Kohlenhydrate zugeführt wird (Burke, 2015). McSwiney & Doyle (2019) unterscheiden in ihrem Artikel die LCHF-Diät und die LCKD (Low Carbohydrate Ketogenic Diet). Die beiden Diäten sind sehr ähnlich, da in beiden der Fettanteil hoch und der Kohlenhydratanteil sehr niedrig ist. In der LCK-Diät liegt der Richtwert des Kohlenhydratanteils < 50 g pro Tag, was eine Ketose bewirkt. Die LCHF-Diät hingegen hat einen Kohlenhydratanteil von 80 – 130 g pro Tag (McSwiney & Doyle, 2019). In einer anderen Studie wird die ketogene Diät als Ernährungsform beschrieben, in der der Anteil an Kohlenhydrate auf 20 – 30 g pro Tag reduziert wird, der Fettanteil dafür erhöht wird und der Anteil an Proteinen etwas höher als bei 0,9 g pro Kilogramm Körpergewicht liegt. Bei allen Formen dieser Diät, LCHF oder LCKD, muss der Körper hauptsächlich auf Fette als Energielieferant zugreifen, da nur ein geringer Prozentsatz der Nahrungsaufnahme aus Kohlenhydraten besteht (Paoli et al., 2021).

1.2.1 Ketose

Glykogen wird im Körper mit 70 – 100 g in der Leber und mit ungefähr 400 g in der Muskulatur gespeichert. Beginnt man mit einer ketogenen Diät und nimmt nur noch eine sehr kleine Menge an Kohlenhydraten zu sich, leeren sich diese Speicher zum Großteil innerhalb von ca. 48 Stunden, um den Blutzuckerspiegel stabil zu halten. Sind die Glykogenspeicher geleert, muss der Körper die Fettverbrennung ankurbeln, um Energie zu gewinnen, da die Glukoneogenese für die Energiegewinnung nicht ausreichend ist. Die Glukoneogenese wird auch etwas gesteigert, damit genug Glukose vorhanden ist, um das zentrale Nervensystem zu versorgen. Fettsäuren können in der Leber und Muskulatur zur Energiegewinnung herangezogen werden, außerdem findet auch eine partielle Oxidation von Fettsäuren in der Leber statt, durch die Ketone entstehen. Ketone stellen dann einen wichtiger Bestandteil der Energiegewinnung dar (Adam-Perrot et al., 2006).

1.2.2 Vorteile der LCHF-Diät

Diäten mit einem geringen Anteil an Kohlenhydraten können dazu führen, dass der Nüchtern-Blutzuckerspiegel sinkt. Das ist vor allem bei Menschen mit Diabetes ein Vorteil der Diät. Diese Ernährungsform wird außerdem häufig durchgeführt, um Gewicht zu reduzieren. In Studien, in denen durch eine LCHF-Diät eine Gewichtsreduktion stattfand,

wurde aber auch oft die Kalorienzufuhr verringert. Die Gewichtsreduktion ist demnach nicht ausschließlich auf die Ernährungsform, sondern auch auf die niedrigere Aufnahme an Kalorien zurückzuführen (Adam-Perrot et al., 2006). Die ketogene Diät wird außerdem genutzt, um Stoffwechselstörungen und kardiovaskuläre Erkrankungen zu behandeln (Paoli et al., 2021) und im therapeutischen Setting bei Kindern mit arzneimittelresistenter Epilepsie, neuromuskulären und neurodegenerativen Erkrankungen eingesetzt (McSwiney & Doyle, 2019).

1.2.3 Nachteile der LCHF-Diät

Ernährt man sich nach der LCHF-Diät kann dies auch Nachteile mit sich bringen. Durch die eingeschränkte Zufuhr an Kohlenhydraten pro Tag dürfen viele Nahrungsmittel nur in sehr kleinen Mengen oder gar nicht zugeführt werden. Vor allem Früchte, gewisse Gemüsearten und Vollkornprodukte dürfen nur in einem stark reduzierten Ausmaß verzehrt werden. Das kann dazu führen, dass Ballaststoffe, Vitamine, Kalzium und Kalium, Magnesium und Eisen nicht in den ausreichenden Mengen über die Nahrung aufgenommen werden können (Adam-Perrot et al., 2006). Zu Beginn der Diät kann es des Weiteren zu negativen Auswirkungen auf das Wohlbefinden kommen. Bis der Körper sich an die neue Ernährungsform gewöhnt hat, können Symptome, wie Müdigkeit, Kopfschmerzen, Schwindel, Übelkeit und Erbrechen, aber auch Verstopfung und eine niedrige Belastungstoleranz, einige Tage bis Wochen nach Einsetzen der Diät anhalten. Diese Symptome sind unter dem Begriff Ketogrippe zusammengefasst. Zu den Langzeitfolgen einer ketogenen Diät zählen eine Fettleber, Nierensteine, Hypoproteinämie und, wie schon erwähnt ein Mangel an Vitaminen (Batch et al., 2020).

1.3 Aktueller Forschungsstand

In den folgenden Unterkapiteln wird der aktuelle Forschungsstand zu den Themenbereichen „Ausdauertraining und Blutbild“ (Kapitel 1.3.1), „LCHF-Diät und Blutbild“ (Kapitel 1.3.2) und „Training, LCHF-Diät und Blutbild“ (Kapitel 1.3.3) näher erläutert. Es wird dargelegt, wie sich Ausdauertraining oder eine LCHF-Diät, beziehungsweise Training und eine LCHF-Diät in den bisherigen Studien auf verschiedene Parameter des Blutbildes ausgewirkt haben.

1.3.1 Ausdauertraining und Blutbild

Viele positive Auswirkungen von körperlicher Bewegung auf den menschlichen Körper sind schon länger bekannt. Wie schon erwähnt werden zum Beispiel der BMI, die kardiorespiratorische Fitness und die Körperzusammensetzung im positiven Sinne beeinflusst (Kostrzewa-Nowak, 2020). Bewegung auf einer regelmäßigen Basis kann außerdem den Blutdruck verringern, die Insulinresistenz reduzieren und zur Verbesserung und Normalisierung des Lipidprofils beitragen (Kostrzewa-Nowak et al., 2015). Außerdem kommt es im Blutbild durch ein regelmäßiges mehrwöchiges Training zu mehreren Effekten auf dessen Parameter, die in diesem Kapitel näher erläutert werden.

Rotes und weißes Blutbild

In einer achtwöchigen Studie absolvierten neun junge, untrainierte Probanden und Probandinnen insgesamt 25 60-minütige Trainingseinheiten auf dem Ergometer. Nach acht Wochen wurde überprüft, welche Effekte das Training auf die Parameter des roten Blutbildes hatte. Dabei konnte eine Verringerung der Zahl der roten Blutkörperchen, der Hämoglobinkonzentration und des Hämatokritwertes festgestellt werden. Bei weiteren Werten des roten Blutbildes, wie MCV, MCH oder MCHC, waren hingegen keine signifikanten Veränderungen ersichtlich (Montero et al., 2017).

In der 12-wöchigen Studie von Kostrzewa-Nowak et al. (2015) wurden 34 weibliche Probandinnen bezüglich ihres Körpergewichtes in drei Gruppen, Untergewichtig, Normalgewicht und Übergewichtig, eingeteilt. Die Teilnehmerinnen der Studie absolvierten drei Mal in der Woche ein 30-minütiges Aerobic-Training bei 50 % der maximalen Herzfrequenz. Nach der Intervention konnte in keiner der drei Gruppen signifikante Veränderungen in Bezug auf die Parameter Hämoglobin, Hämatokrit, Erythrozyten, MCH, MCHC oder MCV festgestellt werden. Zu teils anderen Ergebnissen kamen Kostrzewa-Nowak et al. (2020) in einer weiteren Untersuchung. Hier absolvierten

sechs ehemalige männliche Fußballspieler, die in den letzten zwei Jahre inaktiv waren, vier Monate lang einen Trainingsplan. Die Trainingseinheiten, bestehend aus Zirkeltraining, Übungen auf einer 50 m Strecke und verschiedenen Läufen, führte in dieser Studie zu signifikanten Reduktionen in Bezug auf die beiden Parameter MCH und MCHC. Die anderen Werte des roten Blutbildes zeigten keine signifikanten Veränderungen durch das Training. Das weiße Blutbild betreffend ergab die Studie bei der Anzahl der weißen Blutkörperchen, der Lymphozyten, der Monozyten und auch der Granulozyten keine signifikanten Ergebnisse (Kostrzewa-Nowak et al., 2020).

Zu etwas anderen Erkenntnissen bezüglich des weißen Blutbildes im Vergleich zur Studie von Kostrzewa-Nowak et al. (2020) kam das Team um Johannsen et al. (2012) in ihrer Untersuchung. Hier führten 390 postmenopausale Frauen, die übergewichtig oder adipös waren, sechs Monate lang drei bis vier Mal pro Woche ein Training auf dem Ergometer oder auf dem Laufband durch. Sie wurden dabei in vier Gruppen mit unterschiedlichem wöchentlichem Kalorienverbrauch eingeteilt. Die erste Gruppe sollte 4 kcal (4 KKW-Gruppe), die zweite Gruppe 8 kcal (8 KKW-Gruppe) und die dritte 12 kcal pro Kilogramm Körpergewicht pro Woche (12 KKW-Gruppe) verbrauchen. Die vierte Gruppe diente als Kontrollgruppe und führte kein Training durch. Nach sechs Monaten war in den Ergebnissen eine signifikante Reduktion der Leukozytenzahl in der 12 KKW-Gruppe und der Neutrophilen in der 8 KKW- und 12 KKW-Gruppe erkennbar. Die anderen Parameter des weißen Blutbildes veränderten sich hingegen nicht (Johannsen et al., 2012).

Cholesterinwerte

Auch in Bezug auf die Parameter des Cholesterinspiegels führt Ausdauertraining zu Veränderungen. Kostrzewa-Nowak et al. (2015) beschäftigten sich in ihrer Untersuchung zusätzlich zum roten Blutbild mit dem Lipidprofil der Probandinnen und fanden heraus, dass die Intervention positive Effekte auf die Cholesterinwerte hatte. Das Totalcholesterin, LDL-C und die Triglyzeride, aber auch das HDL-C sanken dabei signifikant in der Gruppe der übergewichtigen Frauen, jedoch nicht in der Gruppe der Untergewichtigen oder der Normalgewichtigen (Kostrzewa-Nowak et al., 2015). Diese Ergebnisse decken sich größtenteils mit der Untersuchung von O'Donovan et al. (2005), in der 64 untrainierte Männer in drei Gruppen eingeteilt wurden und ein 24-wöchiges Ausdauertraining auf dem Ergometer absolvierten. Die erste Gruppe führte drei Mal pro Woche ein Training bei 60 %, die zweite Gruppe bei 80 % der maximalen Sauerstoffaufnahme durch, die dritte Gruppe diente als Kontrollgruppe. Beide Interventionsgruppen trainierten dabei so lange, bis sie 400 kcal verbraucht hatten. Das Gesamtcholesterin und das LDL-C zeigten nach

24 Wochen signifikante Reduktionen im Vergleich zur Kontrollgruppe, allerdings nur in der Gruppe, die mit höherer Intensität trainiert hatte. In der Gruppe mit moderater Intensität konnten keine signifikanten Veränderungen festgestellt werden. Kostrzewa-Nowak et al. (2020) untersuchten ebenfalls das Lipidprofil der ehemaligen Fußballerspieler, wobei keine signifikanten Auswirkungen des Trainings auf die Cholesterinwerte erhoben wurden. Damit kommen sie zu anderen Ergebnissen als O'Donovan et al. (2005) in deren Untersuchung.

In einem systematischen Review von 160 randomisiert kontrollierten Studien, die sich mit den Effekten von Training auf die kardiorespiratorische Fitness und Marker der kardiometabolischen Gesundheit befassten, zeigte sich, dass körperliches Training mit einer Reduktion der Triglyzeride und höheren Werten des HDL-C einhergehen. Signifikante Verringerungen des Totalcholesterins und LDL-C wurden außerdem bei Personen festgestellt, die an einer Erkrankung wie Typ 2 Diabetes, Bluthochdruck, Hyperlipidämie oder dem metabolischen Syndrom litten, bei der Betrachtung der gesamten Personen im systematischen Review konnten in Bezug auf das Totalcholesterin und LDL-C jedoch keine signifikanten Ergebnisse festgestellt werden (Lin et al., 2015).

Auch LeMura et al. (2000) beschäftigten sich in ihrer Untersuchung mit dem Lipidprofil. 44 gesunde, aber inaktive Frauen wurden in eine Krafttraining-Gruppe, eine Aerobic-Gruppe, eine Cross-Training-Gruppe, in der Kraft- und Ausdauertraining durchgeführt wurde, und eine Kontrollgruppe eingeteilt. Die Krafttraining-Gruppe absolvierte drei Mal pro Woche ein Training bei 60 – 70 % des Einwiederholungsmaximums. Bei jeder Einheit wurden elf Übungen mit jeweils drei Sätzen und 8 – 10 Wiederholungen durchgeführt. Die Aerobic-Gruppe führte ebenfalls drei Mal wöchentlich ein 50-minütiges Training bei 70 – 75 % der maximalen Herzfrequenz auf einem Fahrrad-Ergometer, Ruder-Ergometer oder auf dem Laufband durch. Die Cross-Training-Gruppe absolvierte zwei Krafttrainingseinheiten und zwei Ausdauerseinheiten pro Woche. Trainiert wurde 16 Wochen lang, anschließend folgte eine sechswöchige Periode, in der alle Gruppe wieder inaktiv waren. In der Kontrollgruppe, Krafttraining-Gruppe und Cross-Training-Gruppe konnten nach 16 Wochen keine signifikanten Veränderungen bei den Cholesterinwerten festgestellt werden. Eine signifikante Reduktion der Triglyzeride und ein Anstieg des HDL-C konnte jedoch in der Aerobic-Gruppe erfasst werden, diese Veränderungen verschwanden jedoch wieder nach der sechswöchigen Trainingspause (LeMura et al., 2000). Diese Ergebnisse gehen mit jenen des systematischen Reviews von Lin et al. (2015) einher.

Nierenwerte, Leberwerte und Muskelstressparameter

Kostrzewska-Nowak et al. (2020) untersuchten in ihrer Studie auch die Nierenwerte, Leberwerte und Muskelstressparameter. Regelmäßiges Training führte dabei weder bei CK, den Nierenwerten Kreatinin, Harnsäure oder Harnstoff, noch bei dem Leberwert GGT zu signifikanten Veränderungen. Bezüglich dem Muskelstressparameter LDH und den beiden Leberwerten AST und ALT gab es signifikante Anstiege nach der mehrwöchigen Trainingsintervention (Kostrzewska-Nowak et al., 2020).

Mit den Nieren- und Leberwerten beziehungsweise den Muskelstressparametern beschäftigte sich nur Kostrzewska-Nowak et al. (2020), in den anderen bisher genannten Studien wurden diese Parameter nicht untersucht. Die Auswirkungen von körperlicher Aktivität auf die Parameter entweder des weißen oder roten Blutbildes oder der klinischen Chemie werden zwar in vielen Studien thematisiert (Kostrzewska-Nowak et al., 2015; Montero et al., 2017; O'Donovan et al., 2005), selten wird aber der Blick auf alle drei Bereiche des Blutbildes gemeinsam gerichtet (Kostrzewska-Nowak et al., 2020). Da es in den angeführten Studien auch teilweise zu Differenzen in den Ergebnissen bezüglich der verschiedenen Parameter im Blutbild kommt, ist eine Studie relevant, die sich mit den Auswirkungen eines gezielten Ausdauertrainings auf das gesamte Blutbild beschäftigt.

1.3.2 LCHF-Diät und Blutbild

Wie aktuelle Studien zeigen, hat Ausdauertraining auf verschiedene Parameter des Blutbildes zahlreiche Auswirkungen. Doch nicht nur körperliche Aktivität, sondern auch die Art der Ernährung wirkt sich auf unterschiedliche Größen im Blutbild aus. Im folgenden Kapitel werden aktuelle Untersuchungen dargelegt, die sich auf die Auswirkungen der LCHF-Diät auf das Blutbild beziehen.

Rotes Blutbild und Thrombozyten

Nur ein Autorenteam beschäftigte sich mit dem roten Blutbild und einer ketogenen Ernährungsintervention. In der Studie von Urbain et al. (2017) konnte festgestellt werden, dass eine sechswöchige ketogene Ernährungsintervention bei 42 gesunden Männern und Frauen zu keinen signifikanten Veränderungen hinsichtlich der Parameter MCV, MCH, MCHC, den Erythrozyten, Hämoglobin oder Hämatokrit führte. Die Thrombozyten hingegen sanken durch die sechswöchige Intervention signifikant ab (Urbain et al., 2017).

Cholesterinwerte

Mehrere Studien beschäftigen sich mit den Auswirkungen einer ketogenen Diät auf die Cholesterinwerte. Urbain et al. (2017) untersuchten zusätzlich zum roten Blutbild auch die Cholesterinwerte der Probanden und Probandinnen. Nach der Ernährungsintervention waren signifikante Anstiege des Gesamtcholesterins und des LDL-C ersichtlich, während die Triglyzeride und das HDL-C unverändert blieben (Urbain et al., 2017). Zu ähnlichen Ergebnissen kamen auch Burén, Ericsson, Damasceno und Sjödin (2021), in dessen Studie sich durch eine vierwöchige Ernährungsintervention sowohl das Gesamtcholesterin und das LDL-C, aber auch das HDL-C und die Triglyzeride signifikant bei 24 jungen, normalgewichtigen Frauen im Vergleich zu einer Kontrollgruppe steigerten oder in der Studie von Retterstøl et al. (2018), in der es im Zuge einer dreiwöchigen ketogenen Ernährungsintervention mit 30 jungen, gesunden Männern und Frauen zum signifikanten Anstieg des Gesamtcholesterins, LDL-C und HDL-C, aber nicht der Triglyzeride kam.

In einer weiteren Studie von Dashti et al. (2007) ernährten sich 64 übergewichtige Männer und Frauen mit einem BMI (body-mass-index) $> 30 \text{ kg/m}^2$ 56 Wochen lang nach einer LCHF-Diät. Das Gesamtcholesterin, LDL-C und die Triglyzeride sanken dabei im Vergleich zum Beginn der Studie signifikant, während beim HDL-C eine signifikante Steigerung verzeichnet werden konnte. Damit unterscheiden sich die Ergebnisse maßgeblich von jenen der bisherig genannten Studien (Dashti et al., 2007). In einer anderen Studie mit 20 männlichen Probanden absolvierten zwölf Männer eine ketogene Diät, während acht Teilnehmer als Kontrollgruppe dienten und ihre bisherige Diät beibehielten. Nach sechs Wochen konnten in der ketogenen Gruppe keine Veränderungen bezüglich Gesamtcholesterin, LDL-C, HDL-C oder den Triglyzeriden festgestellt werden (Sharman et al., 2002).

Leberwerte, Nierenwerte und Glukose

Retterstøl et al., (2018) untersuchten in ihrer Studie zusätzlich zum Lipidprofil auch die Glukose, die Leberwerte und die Nierenwerte, wobei die Harnsäure und der Harnstoff im Vergleich zur Kontrollgruppe signifikant anstiegen. Keine signifikanten Unterschiede waren bezüglich der Parameter AST, ALT, Glukose oder Kreatinin ersichtlich. Auch in der Studie von Urbain et al. (2017) wurden weiters die Leberwerte, Nierenwerte und die Glukose überprüft. Durch die mehrwöchige LCHF-Diät stiegen ALT, Harnstoff und Harnsäure signifikant an, die Glukose sank dagegen signifikant. Bei den Werten Kreatinin oder AST konnten keine signifikanten Veränderungen festgestellt werden (Urbain et al., 2017). Die Ergebnisse bezüglich der Glukosewerte passen auch zu Burén et al. (2021)

und Dashti et al, (2007), in dessen Studien die Glukose signifikant gesunken ist. Bei Dashti et al. (2007) konnte durch die 56-wöchige Intervention außerdem eine signifikante Verringerung des Harnstoffs verzeichnet werden, während die Veränderungen des Kreatinins statistisch nicht relevant waren. Den Harnstoff betreffend kommt diese Studie zu anderen Ergebnissen als die bisherig genannten (Dashti et al., 2007).

1.3.3 Training, LCHF-Diät und Blutbild

Nur drei der Studien, die in der Literaturrecherche ersichtlich wurden, beschäftigten sich mit Training, LCHF-Diät und Parametern des Blutbildes. Bei den Blutparametern wurde in den Studien das rote und weiße Blutbild, sowie Cholesterinwerte, Glukose und Leberwerte untersucht (McSwiney & Doyle, 2019; Paoli et al., 2021; Vidić et al., 2021).

Rotes und weißes Blutbild

In einer nicht-randomisierten Untersuchung von McSwiney und Doyle (2019) absolvierten 20 männliche Athleten eine 12-wöchige Ernährungs- und Trainingsintervention. Die Probanden wählten dabei selbst, ob sie eine LCK-Diät oder eine Diät mit hohem Kohlenhydratanteil (HC – high-carbohydrate) im Zuge der Studie durchführen. Das Training pro Woche bestand in beiden Gruppen aus sieben oder mehr Stunden Ausdauertraining bei 56 – 68 % der maximalen Sauerstoffaufnahme, zwei Einheiten Krafttraining, bestehend aus sechs Sätzen zu je 8 – 10 Wiederholungen bei 70 – 80 % des Einwiederholungsmaximums bei der freien Kniebeuge oder an der Beinpresse, und High Intensity Interval Training (HIIT). Das HIIT inkludierte zehn Sätze mit einminütigen Intervallen bei 70 % der Spitzenleistung (McSwiney et al., 2018). Im roten Blutbild konnte eine signifikante Verringerung von MCH und MCHC festgestellt werden, während der Hämatokritwert, Hämoglobin und die roten Blutkörperchen am Ende der Intervention keine signifikanten Unterschiede im Vergleich zum Beginn aufwiesen. Das weiße Blutbild betreffend kam es bei den weißen Blutkörperchen, Lymphozyten, Monozyten und Granulozyten zu keinen signifikanten Veränderungen (McSwiney & Doyle, 2019).

Cholesterinwerte, Glukose und Leberwerte

Vidić, Ilić, Toskić, Janković und Ugarković (2021) untersuchten 18 krafttrainierte Männer mittleren Alters, die in zwei Gruppen, in eine ketogene LCHF-Gruppe und eine nicht-ketogene LCHF-Gruppe, eingeteilt wurden. In der achtwöchigen Intervention wurde zusätzlich zur Diät mit eingeschränkter Kalorienzufuhr vier Mal pro Woche ein

Krafttraining der großen Muskelgruppen mit jeweils drei Sätzen und 6 – 12 Wiederholungen absolviert. Nach der Intervention konnten in beiden Gruppen keine signifikanten Veränderungen aller Cholesterinwerte oder der Glukosewerte festgestellt werden (Vidić et al., 2021). Anders wirkte sich eine ketogene Diät mit Krafttraining in einer achtwöchigen Studie von Paoli et al. (2021) aus. Hier nahmen 19 männliche Athleten, die zur Zeit der Studie an Bodybuilding Wettbewerben teilnahmen, teil. Die Probanden wurden entweder einer Gruppe mit ketogener Diät oder einer Gruppe mit westlicher Diät zugeordnet. Das Krafttraining wurde nicht standardisiert, jeder Proband behielt seine übliche Trainingsroutine bei. Überprüft wurde unter anderem, wie sich das Lipidprofil und die Glukose nach den acht Wochen veränderten. Das Totalcholesterin und die Triglyzeride sanken in der ketogenen Gruppe signifikant, während sich das HDL-C erhöhte. Das LDL-C erfuhr keine signifikanten Veränderungen. Bei der Glukose hingegen konnte ebenfalls eine signifikante Reduktion in der ketogenen Gruppe verzeichnet werden. In der Studie wurden zusätzlich die beiden Leberwerte AST und ALT untersucht. ALT zeigte nach der Intervention eine Reduktion im Vergleich zu davor, während der Parameter AST sich nicht veränderte (Paoli et al., 2021).

Nur sehr wenige Studien beschäftigen sich mit den Auswirkungen von Ausdauertraining und einer ketogenen Ernährungsweise auf das Blutbild und keine einzige wurde in der Recherche gefunden, die sich mit den Auswirkungen auf das rote und weiße Blutbild, sowie die klinische Chemie beschäftigt hat. Vereinzelt gibt es Studien, die sich auf Krafttraining, eine ketogene Diät und das Blutbild beziehen. Demnach besteht hier noch eine Wissenslücke, die mit dieser Arbeit bearbeitet werden soll.

2 Forschungsfrage und Ziel der Studie

Ziel dieser Masterarbeit ist es, mit einer Studie einen guten Einblick zu den Auswirkungen eines mehrwöchigen, gezielten Ausdauertrainings mit begleitender LCHF-Diät auf die Parameter des weißen und roten Blutbildes sowie der klinischen Chemie zu geben. Sowohl Ausdauertraining als auch eine LCHF-Diät haben Auswirkungen auf die Parameter des roten und weißen Blutbildes und auf die klinische Chemie, die Effekte sind aber laut aktueller Studienlage oftmals gegensätzlich und nicht ganz eindeutig. Aufgrund der teilweise unterschiedlichen Ergebnisse in der Literatur, weil sich Ausdauertraining auf die Parameter des Blutbildes anders auswirkt als eine LCHF-Diät und weil es zu den Auswirkungen eines Ausdauertrainings in Kombination mit einer LCHF-Diät noch sehr wenige Studien gibt, sind die Ergebnisse dieser Studie von großem Interesse. Ziel ist es neue Resultate zur Thematik bereitzustellen, die in Zukunft mit weiteren Studien untermauert werden können.

Im Zuge dieser Arbeit soll demnach die Forschungsfrage, wie sich ein 10-wöchiges Ausdauertraining mit begleitender LCHF-Diät auf die Parameter des roten und weißen Blutbildes und die klinische Chemie bei jungen, sportlichen Männern auswirkt, beantwortet werden. Es wird aufgrund der bestehenden Literatur davon ausgegangen, dass ein 10-wöchiges Ausdauertraining mit begleitender LCHF-Diät bei den Parametern des Cholesterinspiegels zur Reduktion des LDL-Cholesterins, der Triglyzeride und des Gesamtcholesterins und zur Erhöhung des HDL-Cholesterins führt. Außerdem bewirkt die Trainings- und Ernährungsintervention eine Veränderung bei den Nierenwerten, Leberwerten und Muskelstressparametern. Des Weiteren besteht die Hypothese, dass die Intervention Auswirkungen auf das rote Blutbild hat und beim Hämoglobin, Hämatokrit und bei der Zahl der Erythrozyten zu einer Reduktion führt.

3 Methodik

Diese Untersuchung fand im Zuge der klinischen Studie „Einfluss einer Ernährung mit unterschiedlichem glykämischen Index und Kohlenhydratgehalt auf die Substratverwendung, Energiespeicher und leistungsbezogene Parameter bei ausdauertrainierten Männern“ der Universität Wien statt. Im Folgenden wird die Methodik der Studie näher beschrieben, dabei werden ausschließlich für diese Masterarbeit relevante Untersuchungen und Tests erläutert.

3.1 Studienteilnehmer

Insgesamt 38 Probanden konnten für die Studie eingeschlossen werden. Die Zuteilung in die Interventionsgruppe (LCHF-Diät) beziehungsweise in die Kontrollgruppe (High-GI-Diät) wurde randomisiert vorgenommen. High GI steht dabei für eine Ernährung mit hohem glykämischen Index². 19 Probanden wurden der LCHF-Gruppe und 19 Personen der Kontrollgruppe zugeordnet. In der LCHF-Gruppe gab es zwei Personen, die die Studie aus Zeitgründen beziehungsweise einer COVID-19-Infektion abbrechen mussten. In der Kontrollgruppe kam es zum Abbruch der Studie von drei Probanden, zwei Personen aus Zeitgründen und eine Person aufgrund einer COVID-19-Infektion. In die Analyse wurden demnach 33 Personen, 17 in der LCHF-Gruppe und 16 in der Kontrollgruppe, aufgenommen. Den Probanden wurde zur Anonymisierung eine Nummer mit dem Kürzel GI, zum Beispiel GI12, zugeordnet. Im nächsten Unterkapitel werden die Ein- und Ausschlusskriterien näher beschrieben.

3.1.1 Ein- und Ausschlusskriterien

In die Studie wurden ausschließlich Männer im Alter zwischen 18 und 40 Jahren eingeschlossen. Personen, die hobbymäßig im Ausdauerbereich aktiv waren und an keinen akuten beziehungsweise chronischen Erkrankungen litten, wurden in das Studienkollektiv aufgenommen. Leistungssportler und Personen, die Medikamente einnahmen, welche sich auf die Messungen auswirken könnten, wurden ausgeschlossen. In Tabelle 7 wird eine Übersicht der Ein- und Ausschlusskriterien der Studie dargelegt.

² Hoher glykämischer Index bedeutet dabei, dass es zu einem schnellen Anstieg des Blutzuckers und einer schnellen Sekretion von Insulin kommt (Bachl et al., 2018).

Tab. 7: Ein- und Ausschlusskriterien

<i>Einschlusskriterien</i>	<i>Ausschlusskriterien</i>
Männliches Geschlecht	Kontraindikationen gegen körperliche Belastung entsprechend der Richtlinien des ACSM
Alter zwischen 18 und 40 Jahre	Alter unter 18 Jahren beziehungsweise über 40 Jahren
Motivation für Leistungstests und einen strukturierten Trainingsplan	Einnahme von Medikamenten, die die Messungen beeinflussen könnten oder laut WADA-Code im Training und/ oder Wettkampf verboten sind
Keine akuten oder chronischen Erkrankungen	Leistungssportler mit eigenem Trainingsplan
Hobbymäßig sportlich aktiv (circa 2x/Woche)	
Keine Erfahrung mit den Diäten der Intervention	

3.2 Studienablauf

Die Studie setzte sich aus zwei Interventionen zusammen. Zum einen gab es eine Trainingsintervention, zum anderen eine Ernährungsintervention. Die beiden Interventionen wurden über zehn Wochen, von 31. Jänner 2022 bis 10. April 2022, verfolgt. Zu Beginn der Studie wurden die Teilnehmer ärztlich untersucht, um zu überprüfen, dass keine Faktoren gegen eine Teilnahme der Probanden an der Studie sprechen. Außerdem wurden eine Anamnese und eine Spiroergometrie auf dem Laufband vorgenommen, in der Parameter des aktuellen Leistungszustandes, unter anderem die maximale Sauerstoffaufnahme, ermittelt wurden. Die maximale Sauerstoffaufnahme wurde bei der Einteilung der Gruppen berücksichtigt, um zu gewährleisten, dass ein Vergleich der Gruppen bezüglich der Leistungsfähigkeit möglich ist.

3.2.1 Trainingsintervention

Den Probanden wurde ein zehnwöchiger Trainingsplan vorgegeben, der fünf Trainingseinheiten pro Woche beinhaltete. Jeweils ein langer Lauf (Long Run) im Bereich der Grundlagenausdauer 1 (GA 1) und Grundlagenausdauer 1-2 (GA 1-2), ein Dauerlauf im Bereich der Grundlagenausdauer 1 (GA 1), ein Dauerlauf im Regenerationsbereich (REG) und zwei Intervallläufe in verschiedenen Bereichen der Grundlagenausdauer und der Wettkampfspezifischen Ausdauer (GA 1-2/ GA 2/ WSA) sollten wöchentlich absolviert werden. Die einzelnen Einheiten unterschieden sich Woche für Woche bezüglich Dauer, Intensität, Anzahl der Intervalle im Intervalltraining und teilweise auch der Methodik voneinander. Einer der beiden wöchentlichen Intervalle wurde zum Beispiel häufig nach der Methode des Fahrtenspiels vorgegeben, bei der in der Einheit mit der Geschwindigkeit gespielt wird. An zwei Tagen der Woche war kein Training vorgesehen, diese sollten der Regeneration dienen. Ein Beispiel einer Trainingswoche wird in Tabelle 8 angeführt.

Tab. 8: Beispiel einer Trainingswoche - Trainingswoche 6

<i>Trainingswoche 6</i>		
<i>Training</i>	<i>Beschreibung</i>	<i>Umfang (min)</i>
Dauerlauf	GA 1	45
Intervalle	10:00 Einlaufen 10 x (02:00 GA 2 + 01:00 Pause)	50
Dauerlauf	REG	35
Intervalle	10:00 Einlaufen 05:00 GA 2 + 02:00 Pause 10:00 GA 1-2 + 03:00 Pause 15:00 GA 1 05:00 Auslaufen	50
Long Run	GA 1 – GA 1-2	100
Gesamt		280
GA 1 = Grundlagenausdauer 1, GA 2 = Grundlagenausdauer 2, GA 1-2 = Grundlagenausdauer 1-2, REG = Regenerationsbereich		

Die Probanden sollten wöchentlich darauf achten, dass die Intervalle und die langen Läufe nicht an aufeinanderfolgenden Tagen absolviert werden. Auch zwischen den beiden Intervallläufen sollte ein Abstand von zumindest einem Tag liegen. Die beiden Dauerläufe und der lange Lauf sollten in den vorgegebenen Herzfrequenzbereichen gelaufen werden, die zwei Intervallläufe sollten in den angegebenen Tempobereichen absolviert werden. Der Trainingsumfang wurde über die zehn Wochen gesteigert, dabei fand eine 3:1 Periodisierung statt, was eine Reduzierung des Umfanges in Woche 4 und 8 zur Folge hatte. Insgesamt lag der Trainingsumfang über zehn Wochen bei 2.302 Minuten, was ungefähr 38 Stunden entspricht. Nähere Informationen zu den Umfängen pro Woche und der Dauer der einzelnen Einheiten sind Tabelle 9 zu entnehmen. Die Probanden mussten mindestens 75 % der Trainingsminuten absolvieren, da Personen, die dies nicht erfüllen konnten, von der Studienleitung aus der Studie ausgeschlossen wurden.

Tab. 9: Trainingsumfang

Woche	Trainingsbereich			
	Dauerlauf (min)	Intervalle (min)	Long Run (min)	Dauer (min)
Woche 1	70	60	60	190
Woche 2	80	75	80	235
Woche 3	90	60	100	250
Woche 4	60	55	60	175
Woche 5	70	71	90	231
Woche 6	80	100	100	280
Woche 7	90	100	110	300
Woche 8	60	65	60	185
Woche 9	90	66	75	231
Woche 10	85	65	75	225
Gesamt				2.302
min = Minuten				

Aufgezeichnet wurden die Trainingseinheiten mit einer Sportuhr (Polar Vantage M), die die Probanden im Zuge der Studie erhielten und nach Abschluss der Studie auch behalten durften. Alle Probanden hatten außerdem die Aufgabe ein Trainingstagebuch zu führen, in dem sie täglich den Ruhepuls, ihren Gesundheitszustand und die absolvierten Einheiten festhielten. Das Trainingstagebuch wurde wöchentlich kontrolliert, um einen Überblick über die Probanden zu haben. Die Herzfrequenz-Bereiche und Tempobereiche für die Trainingseinheiten wurden vor der Intervention mit einem stufenförmigen Belastungstest auf dem Laufband individuell für jeden Probanden eruiert.

3.2.2 Ernährungsintervention

Die Probanden mussten sich zehn Wochen lang nach einer bestimmten Diät ernähren, der die Teilnehmer zufällig zugeordnet wurden. Die Interventionsgruppe hatte die Aufgabe, sich an eine LCHF-Diät zu halten. Zumindest 65 % der täglichen Energiezufuhr bestand bei dieser Ernährungsform aus Fetten. Die Kohlenhydratzufuhr wurde auf maximal 50 g pro Tag beschränkt. Damit setzte sich die Energiezufuhr hauptsächlich aus Fetten und Proteinen zusammen. Die Kontrollgruppe ernährte sich nach einer High GI-Diät (hoher glykämischer Index). Dabei bestanden 55 – 60 % der Energiezufuhr aus Kohlenhydraten. 65%, also der Großteil des Kohlenhydratanteils, sollte einen hohen glykämischen Index aufweisen, was bedeutet, dass diese Art der Kohlenhydrate zu einem schnellen Anstieg des Blutzuckers führen. Eine Ernährungserhebung wurde vor und nach der Intervention und außerdem zwei Mal pro Woche während der Intervention vorgenommen.

3.2.3 Blutabnahme

Vor Beginn der Intervention (Zeitpunkt Pre) und am Ende dieser (Zeitpunkt Post) wurde eine Blutabnahme vorgenommen. Die Blutabnahme erfolgte nüchtern, nach einem Overnight-fast, venös aus der Armbeuge. Abgenommen wurden ca. 31 ml, davon wurden 15 ml zum Zweck eines Safety- und Routinelabors vor und nach der Studie verwendet. Infolgedessen wurden von einem externen Labor folgende Parameter bestimmt:

- *Rotes Blutbild:* Erythrozyten, Hämoglobin, Hämatokrit, MCV, MCH, MCHC
- *Weißes Blutbild:* Leukozyten, Segmentkernige Granulozyten, eosinophile und basophile Granulozyten, Monozyten, Lymphozyten
- *Thrombozyten*

- *Leberwerte*: GOT, GPT, Gamma-GT
- *Nierenwerte*: Kreatinin, Harnstoff, Harnsäure, Glomeruläre Filtrationsrate
- *Blutzucker*
- Muskelstressparameter: CPK, Myoglobin, LDH
- *Cholesterin*: Gesamtcholesterin, LDL-C, HDL-C, Triglyzeride

Die verbleibenden Blutproben, 8 ml EDTA (Ethyldiamintetraacetat) und 8 ml Serum, wurden aufbereitet und zum Zweck einer späteren Analyse gefroren gelagert. Insgesamt 34 Blutparameter wurden im Laborbefund bestimmt.

3.3 Statistische Analyse

Zu Beginn wurden die Daten in Excel (Microsoft® Office®, 2022, USA) zusammengetragen und anschließend in das Programm SPSS (IBM® SPSS® Statistics, Version 29, USA) importiert, um weiters die statistische Analyse durchzuführen. Alle Parameter wurden auf eine Normalverteilung geprüft. Bei Verletzung dieser wurde ein Alternativtest durchgeführt. Zu Beginn wurde eine deskriptive Statistik des Studienkollektivs gemacht, um einen Überblick zu gewährleisten. Die Werte sind mit den Mittelwerten $\pm$ Standardabweichung dargestellt. Anschließend wurde mit einem t-Test für unabhängige Stichproben beziehungsweise bei Verletzung der Normalverteilung einem Mann-Whitney-U-Test überprüft, ob es hinsichtlich der demographischen Daten Unterschiede zwischen der LCHF-Gruppe und der Kontrollgruppe gibt. Des Weiteren wurde eine deskriptive Statistik zu den Trainingsdaten durchgeführt und ein t-Test für unabhängige Stichproben beziehungsweise ein Mann-Whitney-U-Test absolviert, um Unterschiede zwischen den beiden Gruppen bezüglich der Trainingsdaten festzustellen. Die Werte sind hierbei wieder in Mittelwerten $\pm$ Standardabweichung angegeben. Die p-Werte geben an, ob ein signifikanter Unterschied hinsichtlich der wöchentlichen Trainingsminuten beziehungsweise der Gesamttrainingsminuten zwischen der LCHF-Gruppe und der Kontrollgruppe besteht. Auch die Daten zur Ernährung wurden deskriptiv mit den Mittelwerten $\pm$ Standardabweichung dargestellt. Ein t-Test für abhängige Stichproben beziehungsweise ein Wilcoxon Test wurden durchgeführt, um Unterschiede in den Nährstoffen und im Brennwert zwischen den Zeitpunkten Pre (vor der Intervention) und Post (nach der Intervention) in den beiden Gruppen festzustellen.

Die Parameter des Blutbildes wurden ebenfalls mit einer deskriptiven Statistik (Mittelwerte $\pm$ Standardabweichung) dargestellt. Ein t-Test für abhängige Stichproben beziehungsweise ein Wilcoxon Test wurden ausgeführt, um herauszufinden, ob es signifikante Unterschiede in den unterschiedlichen Parametern zwischen den beiden Zeitpunkten Pre und Post in den beiden Gruppen gibt. Anschließend wurde die Differenz der Blutparameter zwischen Pre und Post sowohl in der LCHF-Gruppe als auch in der Kontrollgruppe berechnet. Mit diesen Werten wurde ein t-Test für unabhängige Stichproben beziehungsweise ein Mann-Whitney-U-Test durchgeführt, um die Differenzen der Parameter auf signifikante Unterschiede zwischen der LCHF-Gruppe und der Kontrollgruppe zu untersuchen. Statistische Signifikanz wurde bei einem p-Wert $< 0,05$ festgelegt und in den Tabellen 10 - 14 entsprechend mit dem Zeichen „*“ markiert.

4 Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse dieser Studie dargestellt. Zu Beginn werden die demographischen Daten, die Daten zum Training und zur Ernährung statistisch dargelegt. Anschließend folgen die Ergebnisse bezüglich der Unterschiede zwischen den Zeitpunkten Pre und Post in der LCHF-Gruppe und der Kontrollgruppe, gefolgt von der Überprüfung der Unterschiede der einzelnen Blutparameter zwischen den beiden Gruppen.

4.1 Demographische Daten

Im Schnitt lag das Alter in der LCHF-Gruppe bei 27,29 Jahren ($\pm 4,52$) und in der Kontrollgruppe bei 27,75 Jahren ($\pm 3,36$). Die durchschnittliche Größe und das durchschnittliche Gewicht waren in beiden Gruppen mit 182,01 cm ($\pm 6,57$) und 79,92 kg ($\pm 7,32$) in der LCHF-Gruppe und 181,98 cm ($\pm 7,32$) und 80,83 kg ($\pm 12,10$) in der Kontrollgruppe ähnlich. Der BMI lag in der LCHF-Gruppe im Mittel bei 24,19 kg/m² ($\pm 2,20$) und bei 24,40 kg/m² ($\pm 2,95$) in der Kontrollgruppe. Tabelle 10 zeigt die demographischen Daten mit den entsprechenden p-Werten.

Tab. 10: Demographische Daten des Studienkollektivs

Variable [Einheit]	Gesamt (n = 33)	LCHF-Gruppe (n = 17)	Kontrollgruppe (n = 16)	p-Wert
Alter [Jahre]	27,52 ($\pm 3,95$)	27,29 ($\pm 4,52$)	27,75 ($\pm 3,36$)	0,746
Größe [cm]	182,0 ($\pm 6,83$)	182,01 ($\pm 6,57$)	181,98 ($\pm 7,32$)	0,992
Gewicht [kg]	80,36 ($\pm 9,78$)	79,92 ($\pm 7,32$)	80,83 ($\pm 12,10$)	0,683
BMI [kg/m ²]	24,29 ($\pm 2,55$)	24,19 ($\pm 2,20$)	24,40 ($\pm 2,95$)	0,606
Sportlich aktive Tage pro Woche [Tage]	3,24 ($\pm 1,08$)	3,15 ($\pm 1,20$)	3,34 ($\pm 0,98$)	0,610
VO ₂ peak [ml/min/kg]	55,70 ($\pm 7,60$)	54,82 ($\pm 8,42$)	56,63 ($\pm 6,76$)	0,505
Gezeigte Werte: n = Stichprobengröße, Mittelwert ($\pm$ Standardabweichung), LCHF = low carb high fat, BMI = Body-Mass-Index, VO ₂ peak = maximale Sauerstoffaufnahme, Unterschied zwischen LCHF-Gruppe und Kontrollgruppe mittels t-Test für unabhängige Stichproben bzw. Mann-Whitney-U-Test, *: p < 0,05				

Die Probanden in der LCHF-Gruppe betätigten sich an 3,15 Tagen ($\pm 1,20$) pro Woche sportlich, die Teilnehmer der Kontrollgruppe an 3,34 Tagen ($\pm 0,98$) pro Woche. Bei allen demographischen Parametern zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Gruppen.

4.2 Training

Die beiden Gruppen absolvierten in der zehnwöchigen Trainingsintervention im Durchschnitt ähnlich viele Trainingsminuten pro Woche und Gesamtminuten. Ein signifikanter Unterschied der Trainingsminuten zwischen den beiden Gruppen konnte dabei nur in Woche 10 festgestellt werden, in der die Interventionsgruppe 195,71 min ($\pm 50,68$) und die Kontrollgruppe 141,31 min ($\pm 75,05$) absolvierten ($p = 0,019$). Das Soll-Trainingspensum der Studie lag bei 2.302 min. Die LCHF-Gruppe erreichte im Schnitt 2.000,18 min ($\pm 353,21$) und die Kontrollgruppe 1.901,19 min ($\pm 406,49$). Tabelle 11 und Abbildung 5 geben einen Überblick über die durchschnittlich absolvierten Trainingsminuten pro Woche und die im Mittel absolvierten Gesamtminuten der Interventions- und Kontrollgruppe. Statistische Signifikanz ($p < 0,05$) ist mit einem „*“ gekennzeichnet.

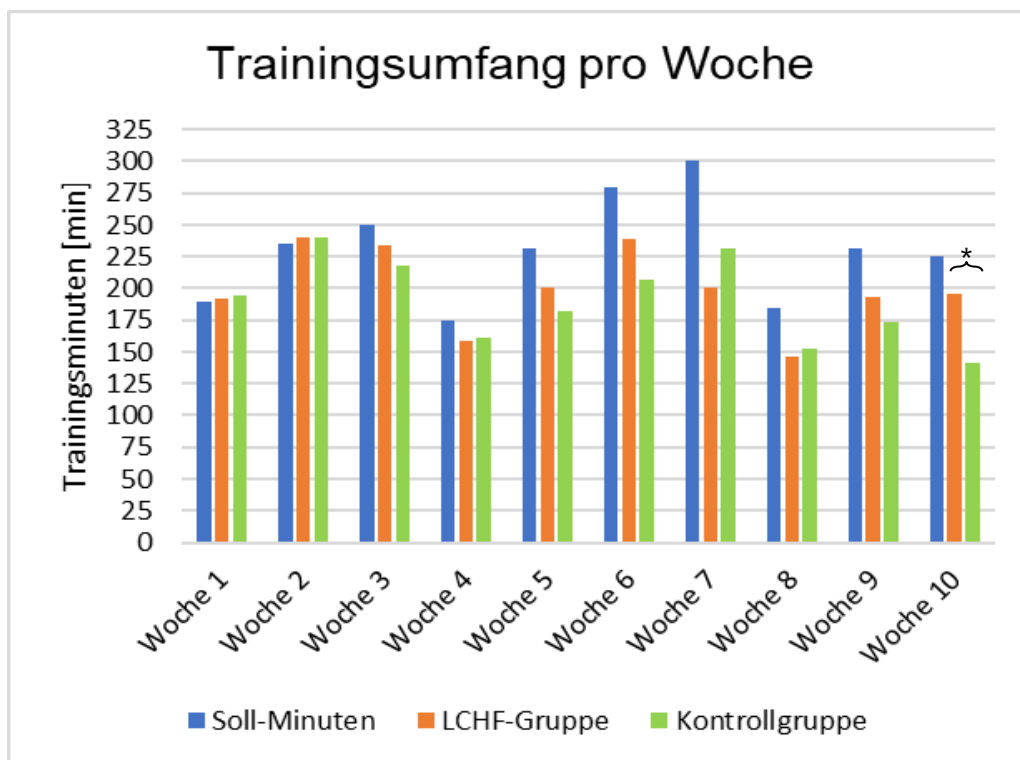


Abb. 5: Soll- und absolvierte Trainingsminuten in der LCHF-Gruppe und der Kontrollgruppe

Tab. 11: Soll-Trainingsminuten und absolvierte Trainingsminuten

		Trainingsminuten [min]			p-Wert
	Soll-Trainings- minuten [min]	Gesamt (n = 33)	LCHF-Gruppe (n = 17)	Kontrollgruppe (n = 16)	
Woche 1	190	193,21 (± 22,92)	192,41 (± 25,59)	194,06 (± 20,51)	0,840
Woche 2	235	240,27 (± 49,06)	240,53 (± 27,19)	240,00 (± 65,92)	0,873
Woche 3	250	225,97 (± 60,52)	233,47 (± 38,91)	218,00 (± 77,89)	0,763
Woche 4	175	159,91 (± 68,60)	158,82 (± 73,35)	161,06 (± 65,57)	0,873
Woche 5	231	191,39 (± 87,72)	200,06 (± 86,48)	182,19 (± 90,89)	0,488
Woche 6	280	223,27 (± 104,54)	238,35 (± 99,98)	207,25 (± 110,09)	0,345
Woche 7	300	215,70 (± 107,82)	200,76 (± 125,46)	231,56 (± 86,53)	0,901
Woche 8	185	149,24 (± 69,13)	146,71 (± 73,97)	151,94 (± 65,92)	0,958
Woche 9	231	183,88 (± 92,14)	193,35 (± 89,60)	173,81 (± 96,63)	0,736
Woche 10	225	169,33 (± 68,46)	195,71 (± 50,68)	141,31 (± 75,05)	0,019 *
Gesamt- minuten	2.302	1.952,18 (± 377,30)	2.000,18 (± 353,21)	1.901,19 (± 406,49)	0,460
Gezeigte Werte: n = Stichprobengröße, Mittelwert (± Standardabweichung), LCHF = low carb high fat, Unterschied zwischen LCHF-Gruppe und Kontrollgruppe mittels t-Test für unabhängige Stichproben bzw. Mann-Whitney-U-Test, *: p < 0,05					

4.3 Ernährung

Der Brennwert, der Anteil an Eiweiß, Kohlenhydraten und Fett wurden in dieser Studie vor und nach der Intervention bei den Probanden erfasst. Da fünf Probanden der LCHF-Gruppe vor der Intervention keine Ernährungsprotokolle abgaben, konnten bei den Pre-Werten dieser Gruppe nur zwölf Werte berücksichtigt werden. In der Kontrollgruppe zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Pre- und Post-Werten bezüglich aller Parameter. In der LCHF-Gruppe hingegen unterschieden sich die Pre- und Post-Werte beim Eiweißanteil 15,46 % ($\pm 4,14$) und 26,64 % ($\pm 4,33$) ($p < 0,001$), Kohlenhydratanteil 48,45 % ($\pm 10,81$) und 8,66 % ($\pm 2,15$) ($p < 0,001$) und Fettanteil 33,89 % ($\pm 9,98$) und 63,43 % ($\pm 6,14$) ($p < 0,001$) signifikant. Tabelle 12 stellt die Ergebnisse der Nährstoffzusammensetzung der beiden Gruppen dar, statistische Signifikanz ist mit einem „*“ kenntlich gemacht.

Tab. 12: Daten zur Nährstoffzusammensetzung

LCHF-Gruppe (n = 17)				Kontrollgruppe (n = 16)		
Variable [Einheit]	Pre-Werte (n = 12)	Post-Werte (n = 17)	p-Wert	Pre-Werte (n = 16)	Post-Werte (n = 16)	p-Wert
Brennwert [kJ]	10.804,45 ($\pm 3.700,44$)	9.420,18 ($\pm 2.498,60$)	0,388	9.222,93 ($\pm 3.393,55$)	10.239,72 ($\pm 1.875,09$)	0,273
Eiweiß [%]	15,46 ($\pm 4,14$)	26,64 ($\pm 4,33$)	<0,001 *	15,75 ($\pm 2,77$)	15,34 ($\pm 2,78$)	0,551
Kohlenhy- drate [%]	48,45 ($\pm 10,81$)	8,66 ($\pm 2,15$)	<0,001 *	49,80 ($\pm 7,92$)	49,75 ($\pm 5,19$)	0,982
Fett [%]	33,89 ($\pm 9,98$)	63,43 ($\pm 6,14$)	<0,001 *	31,92 ($\pm 7,39$)	31,05 ($\pm 4,33$)	0,708
Gezeigte Werte: n = Stichprobengröße, Mittelwert ($\pm$ Standardabweichung), LCHF = low carb high fat, Unterschied zwischen Pre und Post in der LCHF-Gruppe und Kontrollgruppe mittels t-Test für abhängige Stichproben bzw. Wilcoxon-Test, *: $p < 0,05$						

Abbildung 6 zeigt die Veränderung der prozentuellen Anteile der Nährstoffe zwischen den Zeitpunkten Pre und Post in der LCHF-Gruppe, Abbildung 7 veranschaulicht sie in der Kontrollgruppe.

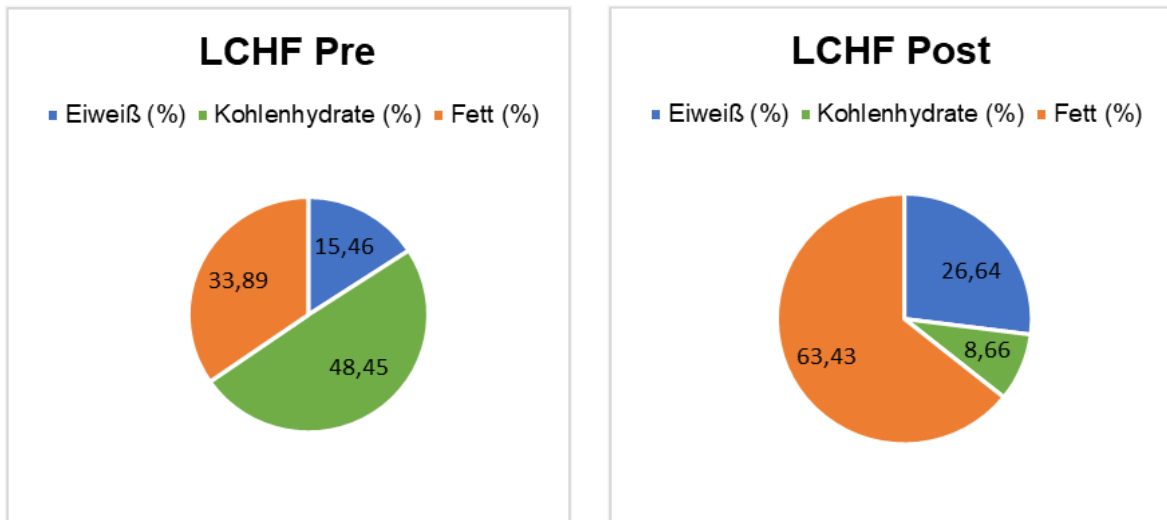


Abb. 6: Prozentuelle Pre- und Post-Werte der Nährstoffzusammensetzung in der LCHF-Gruppe (n = 12)

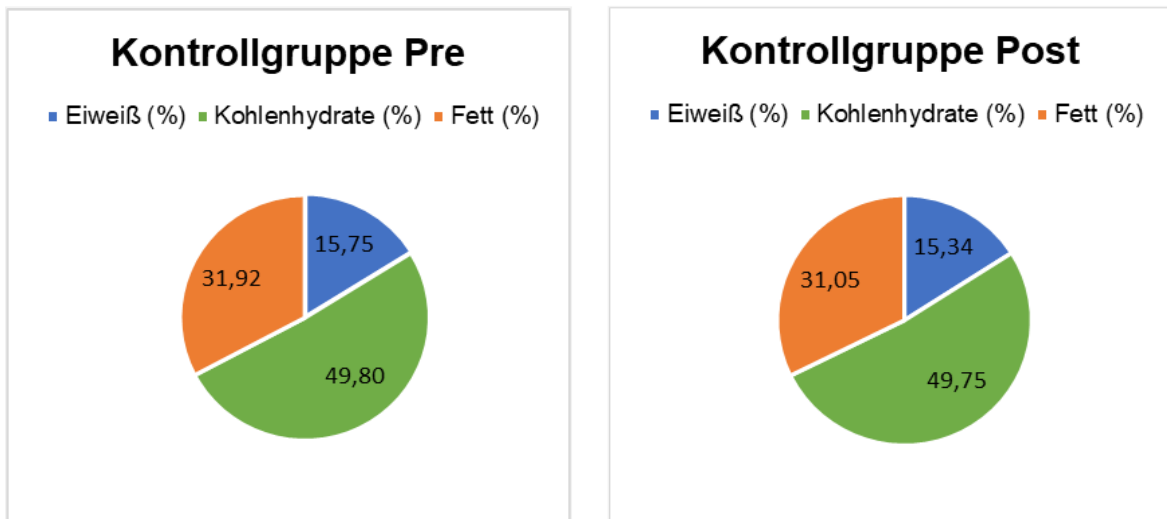


Abb. 7: Prozentuelle Pre- und Post-Werte der Nährstoffzusammensetzung in der Kontrollgruppe (n = 16)

4.4 Blutwerte

Die Werte des Blutbildes wurden in den beiden Gruppen auf Unterschiede zwischen den Zeitpunkten Pre und Post untersucht. Weiters wurde ermittelt, ob ein Unterschied der verschiedenen Blutparameter zwischen der LCHF-Gruppe und der Kontrollgruppe besteht. Statistisch signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) wurden in den Tabellen mit einem „*“ vermerkt.

4.4.1 Unterschied der Blutparameter zwischen Pre und Post

In der LCHF-Gruppe gab es zwischen Pre und Post signifikante Unterschiede bei sieben Parametern. Die absoluten Monozyten veränderten sich im Schnitt von 0,50 G/l ($\pm 0,14$) auf 0,43 G/l ($\pm 0,12$) nach der Intervention ($p = 0,007$), während sich die absoluten Lymphozyten im Mittel von 2,10 G/l ($\pm 0,44$) auf 1,80 G/l ($\pm 0,43$) reduzierten ($p = 0,004$). Auch die Parameter der Niere BUN, Harnstoff und Kreatinin unterschieden sich nach der Intervention signifikant im Vergleich zu davor. BUN änderte sich von 15,35 mg/dl ($\pm 4,00$) auf 19,94 mg/dl ($\pm 4,31$) ($p < 0,001$), Harnstoff steigerte sich von 32,88 mg/dl ($\pm 8,49$) auf 42,41 mg/dl ($\pm 8,94$) ($p < 0,001$) und Kreatinin stieg von 0,91 mg/dl ($\pm 0,10$) auf 0,95 mg/dl ($\pm 0,11$) ($p = 0,030$). Gamma-GT reduzierte sich nach der Intervention von 25,12 U/l ($\pm 12,31$) auf 17,18 U/l ($\pm 5,97$) ($p = 0,001$). Das LDL-C erhöhte sich von 103,35 mg/dl ($\pm 27,95$) vor der Intervention auf 112,65 mg/dl ($\pm 23,79$) ($p = 0,049$). Bei den nicht genannten Parametern konnten keine signifikanten Unterschiede aufgezeigt werden.

Auch in der Kontrollgruppe konnten signifikante Unterschiede nach der Intervention im Vergleich zum Zeitpunkt davor festgestellt werden. Der Hämatokrit reduzierte sich von 46,56 % ($\pm 1,63$) vor der Intervention auf 44,94 % ($\pm 1,61$) ($p = 0,013$). Die segmentkernigen Granulozyten erhöhten sich signifikant von 49,52 % ($\pm 7,20$) auf 52,31 % ($\pm 7,26$) ($p = 0,018$). Die Lymphozyten sanken von 35,73 % ($\pm 6,73$) auf 33,21 % ($\pm 6,47$) nach der Intervention ($p = 0,011$). Der Blutzucker stieg in der Kontrollgruppe von 80,44 mg/dl ($\pm 8,51$) auf 85,94 mg/dl ($\pm 5,87$) an ($p = 0,017$). Die Harnsäure veränderte sich von 5,81 mg/dl ($\pm 0,84$) auf 5,48 mg/dl ($\pm 0,75$) ($p = 0,008$). Das Cholesterin sank von 165,44 mg/dl ($\pm 34,06$) auf 148,06 mg/dl ($\pm 24,46$) ($p = 0,004$), ebenso wie das LDL-C, das sich von 87,25 mg/dl ($\pm 28,68$) auf 74,63 mg/dl ($\pm 21,80$) reduzierte ($p = 0,016$) und das HDL-C, das von 62,88 mg/dl ($\pm 12,62$) auf 58,50 mg/dl ($\pm 12,56$) sank ($p = 0,049$). Bei den anderen Blutwerten konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Zeitpunkten Pre und Post festgestellt werden. Tabelle 13 gibt einen Überblick über die gemessenen Blutparameter zu den Zeitpunkten Pre und Post, eingeteilt in die LCHF-Gruppe und die Kontrollgruppe. Ein p-Wert unter 0,05 zeigt dabei, ob ein signifikanter Unterschied zwischen Pre und Post in der LCHF-Gruppe beziehungsweise in der Kontrollgruppe besteht. In den Abbildungen 8 – 11 werden die Veränderungen der signifikanten Parameter zwischen den Zeitpunkten Pre und Post graphisch veranschaulicht.

Tab. 13: Unterschied der Blutwerte zwischen Pre und Post in der LCHF-Gruppe und der Kontrollgruppe

Blutwerte [Einheit]	LCHF-Gruppe (n = 17)			Kontrollgruppe (n = 16)		
	Pre-Werte	Post-Werte	p-Wert	Pre-Werte	Post-Werte	p-Wert
Erythrozyten [T/l]	5,11 (± 0,37)	5,12 (± 0,29)	0,864	5,16 (± 0,19)	5,01 (± 0,29)	0,099
Hämoglobin [g/dl]	15,01 (± 0,98)	15,19 (± 0,80)	0,327	15,54 (± 0,56)	15,23 (± 0,53)	0,151
Hämatokrit [%]	45,24 (± 3,13)	45,24 (± 2,36)	1,000	46,56 (± 1,63)	44,94 (± 1,61)	0,013 *
MCV [fl]	88,59 (± 3,18)	88,35 (± 2,98)	0,750	90,44 (± 3,03)	89,94 (± 3,57)	0,472
MCH [pg]	29,39 (± 1,19)	29,67 (± 1,12)	0,148	30,16 (± 0,71)	30,43 (± 1,05)	0,154
MCHC [g/dl]	33,19 (± 1,34)	33,64 (± 0,89)	0,076	33,37 (± 0,86)	33,90 (± 0,73)	0,111
Leukozyten [G/l]	5,78 (± 1,31)	5,33 (± 0,89)	0,196	5,26 (± 1,08)	5,21 (± 1,25)	0,803
Segmentk. Gra- nulozyten [%]	50,68 (± 6,53)	51,63 (± 9,87)	0,673	49,52 (± 7,20)	52,31 (± 7,26)	0,018 *
Segmentk. Gra- nulozyten Absolut [G/l]	2,95 (± 0,86)	2,79 (± 0,88)	0,528	2,61 (± 0,75)	2,74 (± 0,88)	0,306
Eosinophile [%]	3,04 (± 1,44)	5,39 (± 6,62)	0,356	3,89 (± 2,90)	4,24 (± 4,12)	0,569
Eosinophile Absolut [G/l]	0,18 (± 0,10)	0,27 (± 0,35)	0,924	0,21 (± 0,18)	0,22 (± 0,24)	0,361
Basophile [%]	0,72 (± 0,50)	0,73 (± 0,49)	0,958	0,81 (± 0,34)	0,73 (± 0,31)	0,311

<i>Blutwerte [Einheit]</i>	<i>LCHF-Gruppe (n = 17)</i>			<i>Kontrollgruppe (n = 16)</i>		
	<i>Pre-Werte</i>	<i>Post-Werte</i>	<i>p-Wert</i>	<i>Pre-Werte</i>	<i>Post-Werte</i>	<i>p-Wert</i>
Basophile Absolut [G/l]	0,04 (± 0,04)	0,04 (± 0,02)	0,430	0,04 (± 0,02)	0,04 (± 0,02)	0,147
Monozyten [%]	8,75 (± 1,45)	8,22 (± 2,27)	0,290	10,06 (± 2,00)	9,51 (± 1,98)	0,091
Monozyten Absolut [G/l]	0,50 (± 0,14)	0,43 (± 0,12)	0,007 *	0,52 (± 0,12)	0,49 (± 0,14)	0,238
Lymphozyten [%]	36,82 (± 6,06)	34,04 (± 7,60)	0,145	35,73 (± 6,73)	33,21 (± 6,47)	0,011 *
Lymphozyten Absolut [G/l]	2,10 (± 0,44)	1,80 (± 0,43)	0,004 *	1,86 (± 0,46)	1,71 (± 0,47)	0,056
Thrombozyten [G/l]	255,41 (± 54,68)	243,41 (± 54,40)	0,118	234,13 (± 37,88)	224,81 (± 51,60)	0,340
Blutzucker [mg/dl]	78,35 (± 13,16)	81,76 (± 8,14)	0,224	80,44 (± 8,51)	85,94 (± 5,87)	0,017 *
BUN [mg/dl]	15,35 (± 4,00)	19,94 (± 4,31)	< 0,001 *	14,69 (± 2,80)	15,06 (± 3,75)	0,662
Harnstoff [mg/dl]	32,88 (± 8,49)	42,41 (± 8,94)	< 0,001 *	31,25 (± 5,95)	32,06 (± 7,95)	0,666
Kreatinin [mg/dl]	0,91 (± 0,10)	0,95 (± 0,11)	0,030 *	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]	6,05 (± 0,84)	5,84 (± 0,98)	0,410	5,81 (± 0,84)	5,48 (± 0,75)	0,008 *
GOT [U/l]	28,59 (± 10,42)	36,82 (± 30,37)	0,641	29,06 (± 10,55)	27,88 (± 10,08)	0,776

<i>Blutwerte [Einheit]</i>	<i>LCHF-Gruppe (n = 17)</i>			<i>Kontrollgruppe (n = 16)</i>		
	<i>Pre-Werte</i>	<i>Post-Werte</i>	<i>p-Wert</i>	<i>Pre-Werte</i>	<i>Post-Werte</i>	<i>p-Wert</i>
GPT [U/l]	31,41 (± 19,77)	32,35 (± 16,95)	0,918	30,38 (± 21,93)	24,75 (± 9,12)	0,513
Gamma-GT [U/l]	25,12 (± 12,31)	17,18 (± 5,97)	0,001 *	19,50 (± 9,03)	18,63 (± 5,68)	0,897
LDH [U/l]	178,88 (± 26,85)	191,41 (± 64,81)	0,756	180,56 (± 17,79)	186,19 (± 24,46)	0,443
CK [U/l]	263,47 (± 191,98)	691,53 (± 1.622,09)	0,492	243,38 (± 192,47)	203,25 (± 161,99)	0,501
Myoglobin [ng/ml]	61,81 (± 33,65)	125,32 (± 296,09)	0,523	49,49 (± 14,26)	49,45 (± 26,83)	0,408
Cholesterin [mg/dl]	182,65 (± 34,70)	190,35 (± 30,37)	0,321	165,44 (± 34,06)	148,06 (± 24,46)	0,004 *
HDL-C [mg/dl]	60,35 (± 13,36)	61,71 (± 13,27)	0,692	62,88 (± 12,62)	58,50 (± 12,56)	0,049 *
LDL-C [mg/dl]	103,35 (± 27,95)	112,65 (± 23,79)	0,049 *	87,25 (± 28,68)	74,63 (± 21,80)	0,016 *
TGL [mg/dl]	90,82 (± 39,63)	80,06 (± 32,10)	0,188	76,38 (± 36,48)	74,44 (± 25,21)	0,776
Gezeigte Werte: n = Stichprobengröße, Mittelwert (± Standardabweichung), LCHF = low carb high fat, MCV = mittleres Erythrozytenvolumen, MCH = mittlere korpuskuläre Hb-Masse, MCHC = mittlere korpuskuläre Hämoglobin-Konzentration, Segmentk. Granulozyten = Segmentkernige Granulozyten, BUN = Blutharnstoff-Stickstoff, GFR = Glomeruläre Filtrationsrate, GOT = Glutamat-Oxalacetat-Transaminase, GPT = Glutamat-Pyruvat-Transaminase, Gamma-GT = Gamma-Glutamat-Transferase, LDH = Laktat-Dehydrogenase, CK = Creatin-Kinase, HDL-C = High Density Lipoprotein-Cholesterin, LDL-C = Low Density Lipoprotein-Cholesterin, TGL = Triglyzeride, Unterschied zwischen Pre und Post in der LCHF-Gruppe und Kontrollgruppe mittels t-Test für abhängige Stichproben bzw. Wilcoxon-Test, *: p < 0,05						

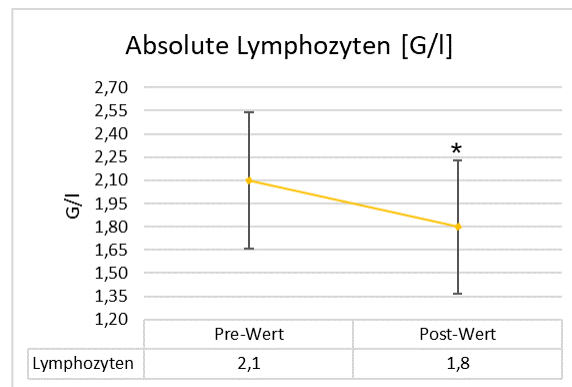
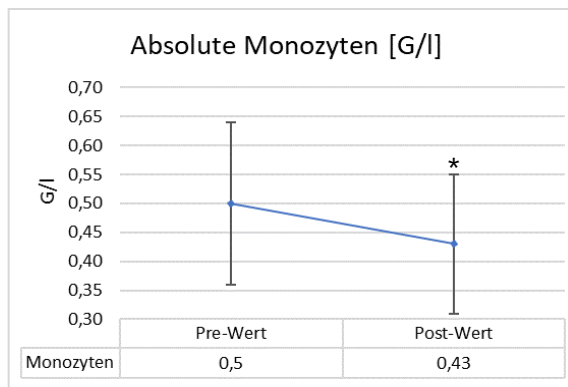


Abb. 8: Veränderung der absoluten Monozyten und der absoluten Lymphozyten von Pre zu Post in der LCHF-Gruppe

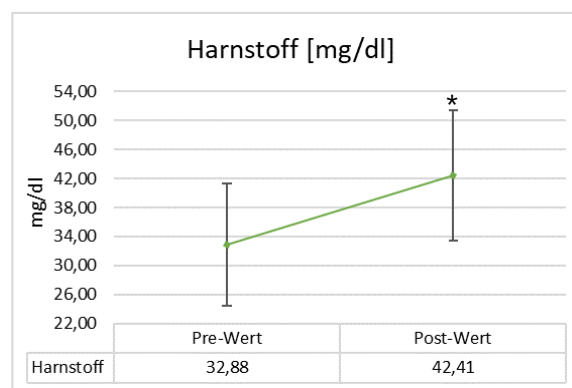
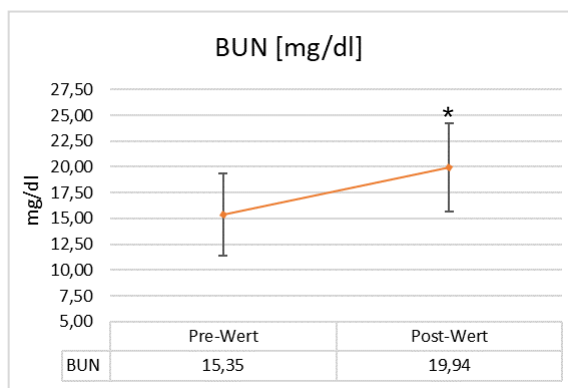


Abb. 9: Veränderung der Parameter BUN und Harnstoff von Pre zu Post in der LCHF-Gruppe

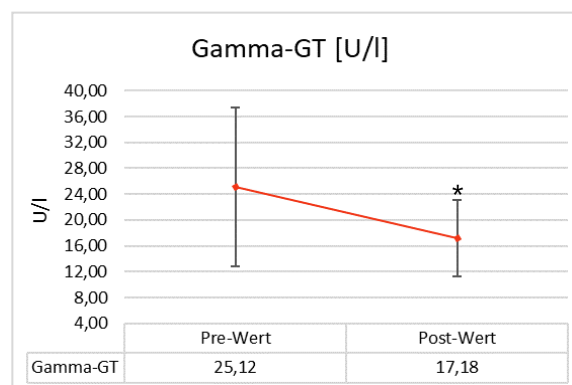
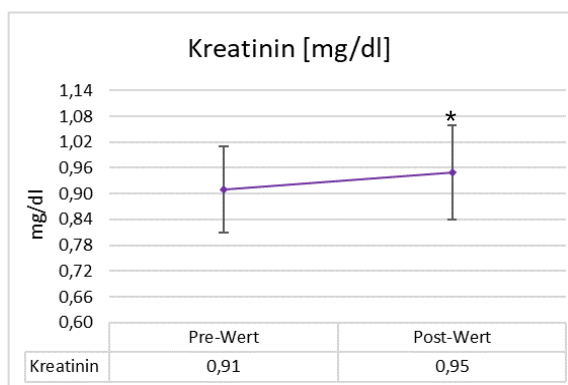


Abb. 10: Veränderung der Parameter Kreatinin und Gamma-GT von Pre zu Post in der LCHF-Gruppe

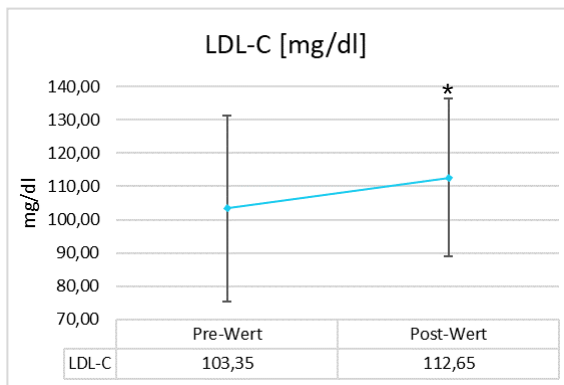


Abb. 11: Veränderung des Parameters LDL-C von Pre zu Post in der LCHF-Gruppe

4.4.2 Unterschied der Blutparameter zwischen den Gruppen

Untersucht wurden nicht nur die Unterschiede zwischen den beiden Zeitpunkten Pre und Post, sondern auch ob Unterschiede zwischen der LCHF-Gruppe und der Kontrollgruppe bestehen. Signifikante Unterschiede zwischen den beiden Gruppen konnten bei fünf der 34 Parameter festgestellt werden. Der Nierenwert BUN erhöhte sich in der LCHF-Gruppe um 4,5882 mg/dl ($\pm 4,1542$) verglichen mit einer Steigerung von 0,3750 mg/dl ($\pm 3,3640$) in der Kontrollgruppe ($p = 0,003$). Einen Unterschied zwischen den beiden Gruppen gab es außerdem beim Harnstoff, der sich in der LCHF-Gruppe von Pre zu Post um 9,5294 mg/dl ($\pm 8,7115$) erhöhte, während der Wert in der Kontrollgruppe um 0,8125 mg/dl ($\pm 7,3776$) anstieg ($p = 0,004$). Der Nierenwert Gamma-GT reduzierte sich in der LCHF-Gruppe um 7,9412 U/l ($\pm 11,9503$) im Vergleich zu 0,8750 U/l ($\pm 7,0887$) in der Kontrollgruppe ($p = 0,004$). Das Cholesterin erhöhte sich in der Interventionsgruppe um 7,7059 mg/dl ($\pm 31,0136$), während es sich in der Kontrollgruppe um 17,3750 mg/dl ($\pm 20,5228$) reduzierte ($p = 0,011$). Das LDL-C erhöhte sich in der LCHF-Gruppe um 9,2941 mg/dl ($\pm 21,1387$) und verringerte sich in der Kontrollgruppe um 12,6250 mg/dl ($\pm 18,6257$) ($p = 0,004$). Bei den anderen Blutparametern konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen der LCHF-Gruppe und der Kontrollgruppe festgestellt werden. Tabelle 14 stellt die Ergebnisse der Unterschiede zwischen der LCHF-Gruppe und der Kontrollgruppe dar, die Abbildungen 12 – 14 geben einen graphischen Überblick. Statistisch signifikante Werte wurden mit „*“ gekennzeichnet.

Tab. 14: Unterschied zwischen LCHF-Gruppe und Kontrollgruppe der Blutwerte

Blutwerte [Einheit]	LCHF-Gruppe (n = 17)	Kontrollgruppe (n = 16)	p-Wert
Erythrozyten [T/l]	0,0106 (± 0,2512)	- 0,1450 (± 0,3302)	0,136
Hämoglobin [g/dl]	0,1824 (± 0,7443)	- 0,3125 (± 0,8253)	0,080
Hämatokrit [%]	0,0000 (± 2,7839)	- 1,6250 (± 2,3058)	0,078
MCV [fl]	- 0,2353 (± 1,7511)	- 0,5000 (± 2,7080)	0,740
MCH [pg]	0,2824 (± 0,7667)	0,2750 (± 0,7326)	0,978
MCHC [g/dl]	0,4471 (± 0,9703)	0,5313 (± 1,0650)	0,814
Leukozyten [G/l]	- 0,4529 (± 1,2831)	- 0,0500 (± 0,7857)	0,289
Segmentkernige Granulozyten [%]	0,9529 (± 9,1381)	2,7875 (± 4,2207)	0,462
Segmentkernige Granulozyten Absolut [G/l]	- 0,1600 (± 1,0232)	0,1294 (± 0,4883)	0,306
Eosinophile [%]	2,3529 (± 6,8992)	0,3563 (± 2,4830)	0,709
Eosinophile Absolut [G/l]	0,0935 (± 0,3769)	0,0075 (± 0,1323)	1,000
Basophile [%]	0,0118 (± 0,2619)	- 0,0750 (± 0,2595)	0,347
Basophile Absolut [G/l]	- 0,0047 (± 0,0204)	- 0,0056 (± 0,0155)	0,885
Monozyten [%]	- 0,5353 (± 2,0168)	- 0,5437 (± 1,2022)	0,989

<i>Blutwerte [Einheit]</i>	<i>LCHF-Gruppe (n = 17)</i>	<i>Kontrollgruppe (n = 16)</i>	<i>p-Wert</i>
Monozyten Absolut [G/l]	- 0,694 (± 0,0922)	- 0,0337 (± 0,1098)	0,382
Lymphozyten [%]	- 2,7824 (± 7,4836)	- 2,5250 (± 3,4807)	0,899
Lymphozyten Absolut [G/l]	- 0,3018 (± 0,3638)	- 0,1525 (± 0,2950)	0,345
Thrombozyten [G/l]	- 12,0000 (± 29,9228)	- 9,3125 (± 37,7725)	0,363
Blutzucker [mg/dl]	3,4118 (± 11,1302)	5,5000 (± 8,1813)	0,546
BUN [mg/dl]	4,5882 (± 4,1542)	0,3750 (± 3,3640)	0,003 *
Harnstoff [mg/dl]	9,5294 (± 8,7115)	0,8125 (± 7,3776)	0,004 *
Kreatinin [mg/dl]	0,0412 (± 0,0712)	0,0062 (± 0,0574)	0,204
GFR [ml/min]	0,0000 (± 0,0000)	0,0000 (± 0,0000)	1,000
Harnsäure [mg/dl]	- 0,2059 (± 1,0034)	- 0,3313 (± 0,4301)	0,648
GOT [U/l]	8,2353 (± 32,0303)	- 1,1875 (± 14,7568)	0,581
GPT [U/l]	0,9412 (± 23,5066)	- 5,6250 (± 19,1551)	0,444
Gamma-GT [U/l]	- 7,9412 (± 11,9503)	- 0,8750 (± 7,0887)	0,004 *
LDH [U/l]	12,5294 (± 64,2662)	5,6250 (± 28,5678)	0,845

<i>Blutwerte [Einheit]</i>	<i>LCHF-Gruppe (n = 17)</i>	<i>Kontrollgruppe (n = 16)</i>	<i>p-Wert</i>
CK [U/l]	428,0588 (± 1.620,6693)	- 40,1250 (± 275,8821)	0,309
Myoglobin [ng/ml]	63,5176 (± 297,6156)	- 0,0438 (± 31,9518)	0,763
Cholesterin [mg/dl]	7,7059 (± 31,0136)	- 17,3750 (± 20,5228)	0,011 *
HDL-C [mg/dl]	1,3529 (± 13,8291)	- 4,3750 (± 8,1803)	0,157
LDL-C [mg/dl]	9,2941 (± 21,1387)	- 12,6250 (± 18,6257)	0,004 *
TGL [mg/dl]	- 10,7647 (± 32,2520)	- 1,9375 (± 34,8453)	0,457

Gezeigte Werte: n = Stichprobengröße, Mittelwert (± Standardabweichung), LCHF = low carb high fat, MCV = mittleres Erythrozytenvolumen, MCH = mittlere korpuskuläre Hb-Masse, MCHC = mittlere korpuskuläre Hämoglobin-Konzentration, BUN = Blutharnstoff-Stickstoff, GFR = Glomeruläre Filtrationsrate, GOT = Glutamat-Oxalacetat-Transaminase, GPT = Glutamat-Pyruvat-Transaminase, Gamma-GT = Gamma-Glutamat-Transferase, LDH = Laktat-Dehydrogenase, CK = Creatin-Kinase, HDL-C = High Density Lipoprotein-Cholesterin, LDL-C = Low Density Lipoprotein-Cholesterin, TGL = Triglyzeride, Unterschied der Differenz (Post – Pre) zwischen der LCHF-Gruppe und Kontrollgruppe mittels t-Test für unabhängige Stichproben bzw. Mann-Whitney-U-Test, *: p < 0,05

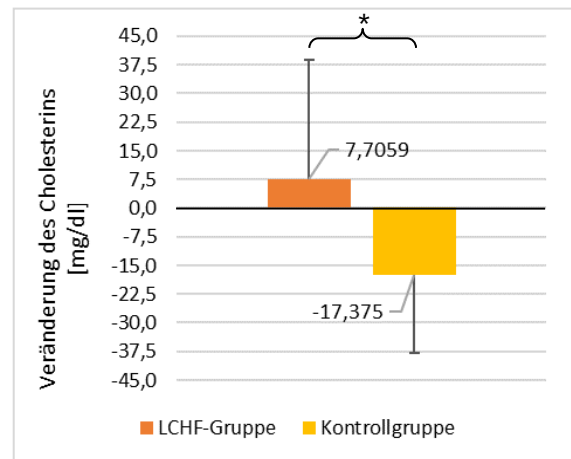
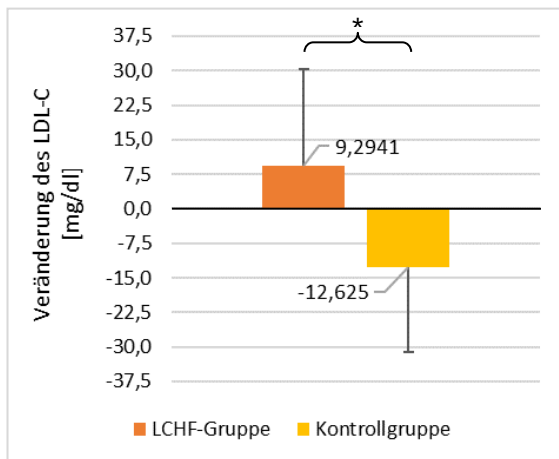


Abb. 12: Unterschied des LDL-C und des Cholesterins zwischen der LCHF-Gruppe und der Kontrollgruppe

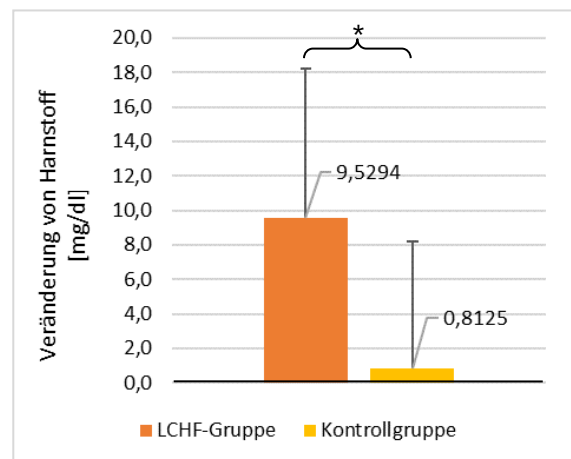
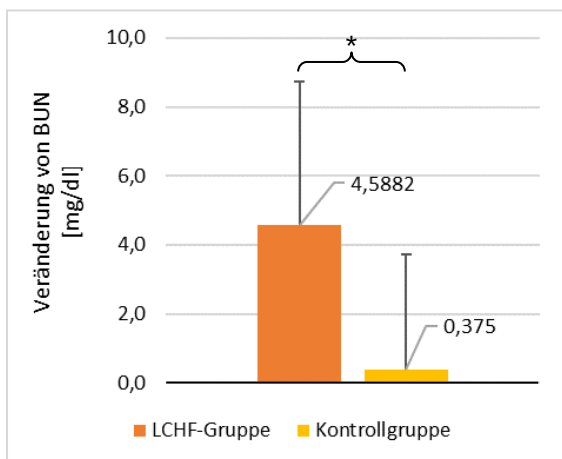


Abb. 13: Unterschied der Parameter BUN und Harnstoff zwischen der LCHF-Gruppe und der Kontrollgruppe

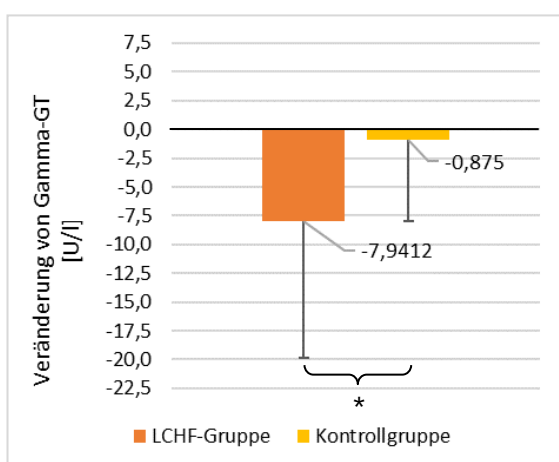


Abb. 14: Unterschied des Parameters Gamma-GT zwischen der LCHF-Gruppe und der Kontrollgruppe

5 Diskussion

Ziel der Masterarbeit ist es, im Zuge der Studie einen Einblick über die Auswirkungen eines mehrwöchigen, gezielten Ausdauertrainings mit begleitender LCHF-Diät auf die Parameter des weißen und roten Blutbildes sowie der klinischen Chemie zu geben. Die Forschungsfrage „Wie wirkt sich ein 10-wöchiges Ausdauertraining mit begleitender LCHF-Diät auf die Parameter des roten und weißen Blutbildes und der klinischen Chemie bei jungen, sportlichen Männern aus?“ soll im Zuge dieser Arbeit beantwortet werden. Da Ausdauertraining und eine LCHF-Diät teils sehr unterschiedliche Auswirkungen auf die Parameter des Blutbildes haben und weil es zu den Auswirkungen eines Ausdauertrainings in Kombination mit einer LCHF-Diät noch wenig Aufschluss gibt, ist diese Studie von großem Interesse. Im folgenden Abschnitt werden die Ergebnisse der Studie mit jenen der Literatur verglichen und ausführlich diskutiert.

5.1 Auswirkungen auf das rote Blutbild

Die Studienlage zu den Auswirkungen von Ausdauertraining auf das rote Blutbild ist nicht eindeutig. Regelmäßiges Ausdauertraining am Ergometer führte in einer Studie zur Verringerung der Erythrozytenzahl, des Hämoglobins und des Hämatokritwertes. Zu keinen signifikanten Veränderungen kam es in dieser Studie in Bezug auf die Parameter MCV, MCH oder MCHC (Montero et al., 2017). In einer anderen Studie bewirkte ein mehrwöchiges Training keine Veränderungen der Parameter des roten Blutbildes (Kostrzewa-Nowak et al., 2015). Kostrzewa-Nowak et al. (2020) verzeichneten in einer weiteren Untersuchung eine Reduktion der beiden Parameter MCH und MCHC. Bei dieser Studie ist aber anzumerken, dass die Probandenzahl mit sechs Personen sehr gering ist und die Ergebnisse kritisch betrachtet werden müssen.

Eine 12-wöchige ketogene Ernährungsintervention mit begleitendem Training führte bei männlichen Athleten zur Verringerung von MCH und MCHC, während die Parameter Hämatokrit, Hämoglobin und die roten Blutkörperchen keine signifikanten Unterschiede im Vergleich zum Beginn aufwiesen (McSwiney & Doyle, 2019). Diese Erkenntnisse sind in Einklang mit jenen von Kostrzewa-Nowak et al. (2020). Es ist wahrscheinlicher, dass die Veränderungen in den Parametern MCH und MCHC auf das absolvierte Training zurückzuführen sind als auf die Ernährungsumstellung. Keine signifikanten Ergebnisse der Parameter des roten Blutbildes durch eine LCHF-Diät ohne Training wurden bei Urbain et al. (2017) dokumentiert. Dieses Ergebnis passt zu der Annahme, dass eine LCHF-Diät auf das rote Blutbild keinen Einfluss hat, während ein Ausdauertraining zu Veränderungen führt.

In der aktuellen Studie konnte eine signifikante Reduktion nur beim Hämatokritwert in der Kontrollgruppe festgestellt werden. Damit deckt sich die aktuelle mit der Studie von Montero et al. (2017), in der der Hämatokritwert, weiters aber auch das Hämoglobin und die Zahl der Erythrozyten sanken.

Regelmäßiges Ausdauertraining führt zu einer Vermehrung der roten Blutzellen und des Blutvolumens. Die Zunahme des Plasmavolumens erfolgt allerdings schneller als die der Erythrozyten, weshalb der Hämatokrit im Zuge eines regelmäßigen Trainings sinkt (Schmidt, 2002). Da sich der Hämatokritwert nur in der Kontrollgruppe, aber nicht in der LCHF-Gruppe verändert hat, stellt sich die Frage, was die Hintergründe für diesen Sachverhalt sind. Die Interventionsgruppe und die Kontrollgruppe unterschieden sich zu Beginn der Studie weder in der VO_2peak noch in den sportlich aktiven Tagen pro Woche voneinander. In der zehnwöchigen Intervention gab es auch im wöchentlichen Trainingspensum, abgesehen von der zehnten Woche, keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Gruppen. Warum es beim Hämatokritwert nur Veränderungen in der Kontrollgruppe, aber nicht in der LCHF-Gruppe gab, ist demnach nicht ganz klar. Möglicherweise hat die ketogene Ernährung hier Auswirkungen auf den Hämatokritwert. Die Veränderungen im Hämatokritwert in der Kontrollgruppe sind jedoch auf die Trainingsintervention und nicht auf die Ernährung zurückzuführen. Anders als der Hämatokritwert veränderten sich die anderen Parameter des roten Blutbildes nicht signifikant, was sich mit den Ergebnissen von Kostrzewa-Nowak et al. (2015) deckt.

Die Hypothese, dass die Trainings- und Ernährungsintervention zu einer Reduktion des Hämoglobins und des Hämatokritwertes beziehungsweise der Erythrozytenzahl führt, kann nur zum Teil unterstützt werden, da es bezüglich des Hämatokritwertes durch die zehnwöchige Intervention zu jener Reduktion kam. Die Zahl der roten Blutkörperchen und der Parameter Hämoglobin veränderten sich jedoch nicht signifikant.

5.2 Auswirkungen auf das weiße Blutbild und Thrombozyten

In der aktuellen Studie kam es in der LCHF-Gruppe zu einer Verringerung der Monozyten im Vergleich von Pre zu Post. Die absoluten Lymphozyten reduzierten sich sowohl in dieser als auch in der Kontrollgruppe. In der Kontrollgruppe erhöhten sich außerdem die segmentkernigen Granulozyten signifikant. Keine Veränderungen gab es in Bezug auf die Leukozyten, eosinophilen und basophilen Granulozyten und die Thrombozyten. Zwischen den beiden Gruppen ergaben sich keine signifikanten Unterschiede.

Kostrzewa-Nowak et al. (2020) konnten in ihrer Studie durch ein viermonatiges Training keine signifikanten Ergebnisse in Bezug auf die Zahl der Leukozyten, der Lymphozyten,

Monozyten oder Granulozyten erzielen. Die Autoren Urbain et al. (2017) und McSwiney und Doyle (2019) stellten in ihren Studien mit mehrwöchiger Ernährungs- und Trainingsintervention bei den weißen Blutkörperchen keine Signifikanzen fest, Urbain et al. (2017) verzeichneten aber eine signifikante Reduktion in den Thrombozyten. Zu anderen Ergebnissen kam ein weiteres Forschungsteam, das sich mit den Auswirkungen von Ausdauertraining auf das Blutbild befasste. Nach sechs Monaten Training ergab sich eine signifikante Verringerung der Leukozytenzahl in der 12 KKW-Gruppe und der Neutrophilen in der 8 KKW- und 12 KKW-Gruppe (Johannsen et al., 2012).

Während und auch nach einer körperlichen Aktivität kommt es, abhängig von Dauer und Intensität der Aktivität, zu einem Anstieg der Leukozyten. Im Anschluss an die Trainingseinheit sinken die Lymphozyten und Monozyten unter das Level, das diese Zellen davor hatten. Neutrophile Granulozyten hingegen erfahren einen Anstieg, der ein paar Stunden nach der Aktivität seinen Höchststand erreicht (Rowbottom & Green, 2000). Schon nach 5 – 10 Minuten kann eine körperliche Aktivität einen Anstieg der weißen Blutkörperchen zur Folge haben. Eine besonders anstrengende Einheit kann in einer kurzen Zeitspanne sogar eine Verdoppelung der Anzahl an Leukozyten nach sich ziehen (Bachl et al., 2018).

In der LCHF-Gruppe kam es zu einer Reduktion der Monozyten und der absoluten Lymphozyten. Eine mögliche Erklärung dafür ist, dass die Probanden am Tag vor der Blutabnahme eine Trainingseinheit absolvierten, die zu dieser Immunantwort führte. In der Kontrollgruppe kam es zum Anstieg der segmentkernigen Granulozyten, die zu den Neutrophilen zählen, und einer Verringerung der absoluten Lymphozyten. Auch das würde zu den oben genannten Tatsachen passen, dass durch körperliche Aktivität eine Immunantwort entsteht.

5.3 Auswirkungen auf die Leberwerte

In der aktuellen Studie reduzierte sich das Gamma-GT in der LCHF-Gruppe signifikant. Es gab außerdem einen signifikanten Unterschied des Parameters Gamma-GT zwischen der LCHF-Gruppe und der Kontrollgruppe. Bei den Leberwerten AST und ALT kam es durch die Ernährungs- und Trainingsintervention zu keinen signifikanten Veränderungen zwischen Pre und Post beziehungsweise zwischen den Gruppen.

Im Vergleich zur aktuellen Untersuchung konnten die Autoren Retterstøl et al. (2018) in ihrer Studie durch eine dreiwöchige LCHF-Diät keine signifikanten Ergebnisse bei den Parametern AST, ALT oder Gamma-GT feststellen. Im Zuge der sechswöchigen ketogenen Ernährungsintervention in einer weiteren Untersuchung stieg nur der

Parameter ALT an, während die anderen Leberwerte keine signifikanten Veränderungen aufwiesen (Urbain et al., 2017). Zu etwas anderen Ergebnissen führte die Trainingsintervention bei Kostrzewa-Nowak et al. (2020). Durch das regelmäßige Training kam es zu signifikanten Anstiegen der beiden Leberwerte AST und ALT, während der Parameter Gamma-GT unverändert blieb. Damit kommen die Autoren der bisher genannten Studien zu sehr unterschiedlichen Ergebnissen und auch zu anderen Resultaten als diese aktuelle Studie.

AST kommt neben der Leber vor allem auch in der Skelettmuskulatur vor und kann deshalb auch als Marker für Muskelschädigungen herangezogen werden. Der Wert AST ist bei Kostrzewa-Nowak et al. (2020) vermutlich erhöht, da die Probanden in den Jahren vor der Studie einen inaktiven Lebensstil führten. Das ungewohnte Training könnte demnach geringe Schädigungen der Muskulatur zur Folge gehabt haben, was den Anstieg des Wertes AST erklären würde.

ALT und Gamma-GT hingegen sind vorwiegend in der Leber vertreten, weshalb erhöhte Werte für eine Schädigung der Leber sprechen würden. In dieser Studie konnten keine von den Normwerten abweichende Werte festgestellt werden, weshalb eine Schädigung der Leber beziehungsweise der Muskulatur auszuschließen ist. Eine Reduktion des Wertes Gamma-GT in der aktuellen Studie spielt außerdem keine Rolle, da sich der Wert nach wie vor im Normalbereich befindet und nur erhöhte Werte auf Erkrankungen schließen lassen. Retterstøl et al. (2018) kommen hierbei zu ähnlichen Ergebnissen. Urbain et al. (2017) und Kostrzewa-Nowak et al. (2020) erfassten in ihren Ergebnissen eine Erhöhung des Wertes ALT, da sich auch hier die Werte im Normalbereich befanden, kann auch dort eine Leberschädigung durch die Ernährungsintervention ausgeschlossen werden.

Die aktuelle Studie ist die einzige Untersuchung, die sich mit den Auswirkungen von Training und ketogener Ernährung auf die Leberwerte beschäftigt, der Vergleich mit den genannten Studien, die sich entweder mit einer Trainings- oder einer Ernährungsintervention befassten, stellt sich demnach als besonders schwierig heraus. Weitere Studien die sich auf beides, Training und Ernährung, beziehen wären hier noch wichtig, um Aufschluss über mögliche Wechselwirkungen von Ausdauertraining und einer ketogenen Diät auf die Leberwerte zu geben.

5.4 Auswirkungen auf die Nierenwerte

In der aktuellen Studie kam es nach der zehnwöchigen Trainings- und Ernährungsintervention in der LCHF-Gruppe zu signifikanten Anstiegen der Parameter BUN, Harnstoff und Kreatinin, während sich die Harnsäure und die GFR nicht signifikant veränderte. Ein signifikanter Unterschied zwischen der LCHF-Gruppe und der Kontrollgruppe konnte nur bei dem Parameter Harnstoff verzeichnet werden.

Eine mehrwöchige Ernährungsintervention verursachte in zwei Studien signifikante Zunahmen der Werte Harnstoff und Harnsäure, der Parameter Kreatinin blieb dabei unverändert (Retterstøl et al., 2018 & Urbain et al., 2017). Eine Verringerung des Harnstoffes und keine Veränderung des Kreatinins verzeichnete eine weitere Studie, in der die übergewichtigen Probanden und Probandinnen eine 56-wöchige Ernährungsintervention absolvierten (Dashti et al., 2007). Dieses Ergebnis unterscheidet sich von den beiden oben genannten.

Harnstoff ist ein Abbauprodukt des Proteinstoffwechsels. Der Anstieg von BUN und Harnstoff ist deshalb damit zu erklären, dass in der LCHF-Gruppe im Vergleich zu vorher nicht nur der Anteil an Fett gesteigert wurde, sondern auch der Proteinanteil von 15,46 % auf 26,64 % angehoben wurde. Die erhöhte Proteinzufuhr führte demnach dazu, dass auch mehr Harnstoff gebildet wurde. Passend dazu gab es einen signifikanten Unterschied zwischen der Interventions- und Kontrollgruppe, was nochmals in Einklang mit der eben genannten Annahme steht. Retterstøl et al. (2018) und Urbain et al. (2017) kamen in Bezug auf den Harnstoff auf ähnliche Ergebnisse, was ebenso an dem hohen Eiweißanteil der Nahrungsaufnahme liegen dürfte. Dass sich der Harnstoff in der Studie von Dashti et al. (2007) reduzierte könnte daran liegen, dass hier das Studienkollektiv aus übergewichtigen Personen bestand, während die Probanden und Probandinnen in dieser aktuellen Studie und in denen von Retterstøl et al. (2018) und Urbain et al. (2017) gesund und im Schnitt normalgewichtig waren. Möglicherweise spielt das Gewicht in Bezug auf den Harnstoff eine zentrale Rolle.

Das Kreatinin erfuhr im Zuge der beiden Interventionen in der LCHF-Gruppe zwar einen Anstieg, der Parameter befand sich aber trotzdem noch im Normbereich. In den anderen Studien, die sich auch mit dem Kreatinin befassten, konnten keine signifikanten Änderungen festgestellt werden (Dashti et al., 2007; Kostrzewa-Nowak et al., 2020; Retterstøl et al., 2018 & Urbain et al., 2017). Die Bestimmung des Wertes Kreatinin spielt allgemein eine wichtige Rolle bei der Überprüfung der Funktion der Nieren, da sich der Parameter Kreatinin in der aktuellen Studie bei den Probanden immer im Referenzbereich

befand, kann angenommen werden, dass hier keine Schädigung der Niere durch die Ernährungs- oder Trainingsintervention bestand.

Regelmäßiges Ausdauertraining führte in der Studie von Kostrzewa-Nowak et al. (2020) bei den Werten Kreatinin, Harnstoff und Harnsäure zu keinen signifikanten Veränderungen. Diese Ergebnisse stehen in Kontrast mit der aktuellen Studie. Da die Studie von Kostrzewa-Nowak et al. (2020) nur eine Trainingsintervention und keine Ernährungsintervention beinhaltete, und in den Studien mit Ernährungsintervention Veränderungen in den Nierenwerten festgestellt werden konnten, ist davon auszugehen, dass die Veränderungen der Parameter in der aktuellen Studie auf die ketogene Diät und weniger auf das Training zurückzuführen sind. Trotz der Annahme, dass die Ergebnisse der ketogenen Ernährungsweise und nicht dem Ausdauertraining zuzuschreiben sind, gibt es keine Studie, die beide Interventionen gemeinsam beinhaltete, weshalb ein Vergleich mit den genannten Studien ein Problem darstellt. Auch in Bezug auf die Nierenwerte wären weitere Untersuchungen interessant, die sich mit den Folgen einer LCHF-Diät und regelmäßigem Training beschäftigen.

5.5 Auswirkungen auf den Blutzucker

In der aktuellen Studie konnte in der LCHF-Gruppe keine Veränderung des Blutzuckers festgestellt werden. In der Kontrollgruppe hingegen kam es zu einem signifikanten Anstieg. Es gab keine signifikanten Unterschiede zwischen der LCHF-Gruppe und der Kontrollgruppe. In der Kontrollgruppe veränderte sich der prozentuelle Anteil der Kohlenhydrate von 49,80 % auf 49,75 %, der Anstieg im Blutzucker kann dadurch nicht erklärt werden. Die Veränderung im Blutzucker könnte aber daran liegen, dass sich die Gruppe nach einer kohlenhydratreichen Diät mit hohem glykämischen Index ernährt hat und sich möglicherweise die Art der Kohlenhydrate mehr Richtung hohen glykämischen Index verschoben hat.

Retterstøl et al. (2018) untersuchten neben anderen Parametern auch die Glukose, bei der jedoch keine signifikante Veränderung durch die Ernährungsintervention festgestellt werden konnte. Diese Ergebnisse sind im Einklang mit der aktuellen Studie. Anders wirkte sich die LCHF-Diät in drei weiteren Studien aus, in denen die Glukosewerte signifikant sanken (Burén et al., 2021; Dashti et al., 2007 & Urbain et al., 2017). Die Erkenntnisse der aktuellen Studie stehen somit in Kontrast zu jenen von Burén et al. (2021), Dashti et al. (2007) und Urban et al. (2017). Der wissenschaftliche Stand bezüglich der Auswirkungen von Ausdauertraining und einer ketogenen Diät auf die Blutglukosekonzentration ist

demnach noch nicht ganz eindeutig, eine ketogene Diät dürfte aber, wie in den drei oben genannten Studien beschrieben, dazu führen, dass der Blutzuckerspiegel sinkt.

5.6 Auswirkungen auf die Muskelstressparameter

Auch in Bezug auf die Muskelstressparameter ergeben sich durch körperliches Training und eine ketogene Diät Veränderungen. Regelmäßiges Ausdauertraining über mehrere Wochen bewirkte in einer Untersuchung signifikante Steigerungen des Wertes LDH. Der Parameter CK blieb dabei unverändert (Kostrzewa-Nowak et al., 2020). Die Muskelstressparameter LDH, CK und Myoglobin können unter anderem Auskunft über eine Schädigung der Muskulatur geben, die zum Beispiel bei sehr intensivem Training auftreten kann.

In dieser Studie wurden keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Parameter CK, LDH und Myoglobin zwischen den Zeitpunkten Pre und Post, beziehungsweise keine Unterschiede zwischen den beiden Gruppen festgestellt, weshalb anzunehmen ist, dass zum Zeitpunkt der Blutabnahme keine Schädigung der Muskulatur vorlag, die auf das Training zurückzuführen wäre. Der signifikante Anstieg des Wertes LDH in der Studie von Kostrzewa-Nowak et al. (2020) weicht von den Ergebnissen der aktuellen Studie ab. Dies könnte, wie schon in Kapitel 5.3 erwähnt, damit zusammenhängen, dass die Probanden bei Kostrzewa-Nowak et al. (2020) in den zwei Jahren vor der Studie einen inaktiven Lebensstil führten und das Training aufgrund der wenig trainierten Muskulatur geringe Schädigungen dieser zur Folge hatte. In der aktuellen Studie hingegen waren die Probanden bereits vor der Studie physisch sehr aktiv, was die Unterschiede in den Ergebnissen erklären könnte. Auch wenn die Veränderungen der Muskelstressparameter eher auf das Training und nicht auf die ketogene Diät zurückzuführen ist, beschäftigten sich nur Kostrzewa-Nowak et al. (2020) mit ihrer Trainingsintervention mit diesen Parametern. Es gab keine Studie, die sich mit den Folgen einer ketogenen Diät und Ausdauertraining befasste, weshalb auch hier der Vergleich mit der Studie von Kostrzewa-Nowak et al. (2020) schwierig ist.

Die Hypothese, dass die Trainings- und Ernährungsintervention eine Veränderung bei den Nierenwerten, Leberwerten und Muskelstressparametern bewirkt, kann teilweise unterstützt werden. Die Nierenwerten BUN, Harnstoff und Kreatinin sind durch die beiden Interventionen signifikant gestiegen, bei den Leberwerten konnte eine Reduktion des Wertes Gamma-GT festgestellt werden. Bei den Muskelstressparametern wurden allerdings keine signifikanten Veränderungen verzeichnet.

5.7 Auswirkungen auf die Cholesterinwerte

Die Auswirkungen von Ausdauertraining und einer LCHF-Diät auf die Cholesterinwerte sind in der Literatur nicht eindeutig. In der Studie von Kostrzewa-Nowak et al. (2015) führte ein regelmäßiges Ausdauertraining in der Gruppe der übergewichtigen Frauen zu einer Reduzierung des Totalcholesterins, LDL-C, der Triglyzeride und des HDL-C. In einer weiteren Studie, in der untrainierte Männer über 24 Wochen ein Ausdauertraining mit unterschiedlichen Intensitäten absolvierten, verringerte sich in der Gruppe mit hoher Intensität das Gesamtcholesterin und das LDL-C signifikant (O'Donovan et al., 2005). Ausdauertraining hat demnach positive Auswirkungen auf das Lipidprofil, da das LDL-C, das mit einem erhöhten Risiko mit Atherosklerose einhergeht, durch regelmäßige körperliche Aktivität sinkt und damit auch das Erkrankungsrisiko verringert wird.

Eine LCHF-Diät hat gerade auf die Werte des Cholesterins konträre Auswirkungen im Vergleich zum Ausdauertraining. Eine sechswöchige Ernährungsintervention bei gesunden Männern und Frauen führte zu signifikanten Anstiegen des Gesamtcholesterins und des LDL-C (Urbain et al., 2017). Retterstøl et al. (2018) und Burén et al. (2021) konnten in ihrer dreiwöchigen beziehungsweise vierwöchigen Studie Steigerungen im Gesamtcholesterin, LDL-C und HDL-C verzeichnen. Bei Burén et al. (2021) stiegen zusätzlich zu diesen Parametern auch die Triglyzeride an. In diesen Studien führt die ketogene Diät durch den Anstieg im LDL-C und des Gesamtcholesterins zu einer Verschlechterung des Lipidprofils und damit zu einem Anstieg des Risikos, an Atherosklerose zu erkranken.

Zu anderen Ergebnissen kam das Team um Dashti et al. (2007) in deren 56-wöchigen Ernährungsintervention mit übergewichtigen Männern und Frauen. Das Gesamtcholesterin, LDL-C und die Triglyzeride sanken im Vergleich zum Beginn der Studie, während das HDL-C signifikant anstieg. Damit unterscheiden sich diese Ergebnisse maßgeblich von Urbain et al. (2017), Retterstøl et al. (2018) und Burén et al. (2021). Die Ernährungsintervention führt hier zu einer Verbesserung aller Parameter des Lipidprofils. Höhere Werte im HDL-C haben einen schützenden Effekt und verringern das Risiko der Verkalkung der Blutgefäße. Der Unterschied in den Ergebnissen könnte daran liegen, dass in den Studien von Urbain et al. (2017), Burén et al. (2021) und Retterstøl et al. (2018) gesunde und normalgewichtige Probanden und Probandinnen teilnahmen, während Dashti et al. (2007) ein übergewichtiges Studienkollektiv untersuchte. Zu keinen signifikanten Ergebnissen in Bezug auf das Gesamtcholesterin, LDL-C, HDL-C und die Triglyzeride kamen Vidić et al. (2021) in der achtwöchigen Intervention mit eingeschränkter Kalorienzufuhr und begleitendem Krafttraining oder bei Sharman et al. (2002), in dessen sechswöchiger Studie mit ketogener Ernährungsintervention.

In der aktuellen Studie stieg das LDL-C in der LCHF-Gruppe nach der Intervention im Vergleich zu davor signifikant an, während es sich in der Kontrollgruppe verringerte. Diese Ergebnisse decken sich mit jenen von Urbain et al. (2017), Burén et al. (2021) und Retterstøl et al. (2018). Dieser Anstieg im LDL-C liegt vermutlich an der ketogenen Diät, da hier der Fettanteil von 33,89 % auf 63,43 % erhöht wurde. Ausdauertraining verringerte in den Studien von Kostrzewa-Nowak et al. (2015) und O'Donovan et al. (2005) das LDL-C. Diese Ergebnisse decken sich mit jenen der Kontrollgruppe, in der das LDL-C ebenfalls verringert werden konnte und so der Verkalkung der Gefäße entgegenwirkt. Es ist also anzunehmen, dass sich das LDL-C durch regelmäßiges Ausdauertraining verringert, während es durch eine ketogene Diät ansteigt. Anscheinend ist der Effekt der LCHF-Diät größer als jener des Ausdauertrainings, da es in dieser Studie zu Erhöhungen im LDL-C in der LCHF-Gruppe kam und damit auch das Risiko für eine Atherosklerose ansteigt.

Im Gesamtcholesterin gab es signifikante Unterschiede zwischen der LCHF-Gruppe und der Kontrollgruppe. In der LCHF-Gruppe kam es dabei zu Anstiegen im Gesamtcholesterin, während es sich in der Kontrollgruppe reduzierte. Ein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen konnte außerdem im LDL-C festgestellt werden. Der Unterschied zwischen den Gruppen hat seinen Ursprung im Anstieg des LDL-C in der LCHF-Gruppe, da durch diesen Anstieg auch zwangsläufig das Gesamtcholesterin ansteigt. In der Kontrollgruppe sanken HDL-C und das Gesamtcholesterin im Vergleich zu davor, während es in der LCHF-Gruppe keine signifikanten Veränderungen gab. Das Gesamtcholesterin fiel in der Kontrollgruppe dabei geringer aus, da sich das HDL-C reduzierte.

Die Annahme, dass ein 10-wöchiges Ausdauertraining mit begleitender LCHF-Diät bei den Parametern des Cholesterinspiegels zur Senkung des LDL-Cholesterins, der Triglyzeride und des Gesamtcholesterins und zur Erhöhung des HDL-Cholesterins führt, wird somit widerlegt. In der Interventionsgruppe bewirkte das Ausdauertraining und die LCHF-Diät einen signifikanten Anstieg im LDL-C. Im HDL-C, den Triglyzeriden und Gesamtcholesterin konnten im Vergleich zum Zeitpunkt vor der Intervention keine signifikanten Veränderungen festgestellt werden.

6 Stärken und Limitationen

An dieser Studie waren 33 Probanden beteiligt, 17 Teilnehmer waren der LCHF-Gruppe und 16 Probanden der Kontrollgruppe zugeteilt. Insgesamt ist dies eine recht geringe Probandenzahl. Eine größere Anzahl an Teilnehmern würde die Aussagekraft der Ergebnisse dieser Studie noch weiter unterstützen. Im Vergleich zu den Studien aus der Literaturrecherche ist die Teilnehmeranzahl dieser Studie mit 33 Probanden aber relativ hoch, da die Anzahl der Probanden und Probandinnen in den anderen Untersuchungen oftmals geringer ausfiel. Da in dieser Studie nur Männer untersucht wurden, wäre es interessant, wie sich eine Ernährungs- und Trainingsintervention auf weibliche Probandinnen auswirken würde, beziehungsweise ob hier Unterschiede zu den Ergebnissen der männlichen Probanden bestehen.

Einen positiven Aspekt der aktuellen Studie stellte die Dauer der beiden Interventionen dar. Eine Länge von zehn Wochen war gut gewählt, da es in dieser Zeit sowohl durch Ausdauertraining als auch die Ernährungsumstellung bereits zu Veränderungen kommt. Bei einer kürzeren Dauer der Studie wären vielleicht mögliche Effekte der beiden Interventionen noch nicht zum Vorschein gekommen. Die lange Interventionszeit ist außerdem sowohl für die Probanden als auch das Studienteam mit einem großen Aufwand verbunden. Trotzdem haben beinahe alle Probanden bis zum Ende der Studie durchgehalten und die Trainings- und Ernährungsintervention abgeschlossen, was nicht nur für die Teilnehmer der Studie, sondern auch für das Studienteam einen großen Erfolg bedeutet.

Bei der Literaturrecherche wurden nur sehr wenige Studien gesichtet, die sich mit den Auswirkungen von Training in Kombination mit einer ketogenen Ernährungsintervention auf Parameter des Blutbildes befassen. Keine einzige Studie wurde außerdem gefunden, die die Auswirkungen von Ausdauertraining und einer ketogenen Diät auf alle Parameter des roten und weißen Blutbildes und auf die klinische Chemie erforschte. Die Ergebnisse der aktuellen Studie konnten demnach zu einem großen Teil nur mit Untersuchungen verglichen werden, die sich entweder auf die Auswirkungen von Ausdauertraining oder einer ketogenen Diät auf die Blutparameter bezogen. Dadurch stellt sich die Frage, wie gut die Ergebnisse dieser Studie mit jenen der Literaturrecherche vergleichbar sind und wie aussagekräftig eben dieser Vergleich wirklich ist. Auch hier ist es nötig noch weitere Studien, die beides untersuchen, durchzuführen, um die Ergebnisse dieser Arbeit zu untermauern.

Der Vergleich stellte sich außerdem als schwierig heraus, da die Studienkollektive in den Studien aus der Literaturrecherche sehr unterschiedlich waren. In einigen Studien wurden

sowohl Männer als auch Frauen untersucht, während sich andere Studien nur mit einem Geschlecht befassten. Des Weiteren unterschieden sich die Teilnehmer und Teilnehmerinnen in den Studien bezüglich ihres Gewichtes. Einige Untersuchungen beschäftigten sich mit übergewichtigen oder adipösen Personen, während andere Studien normalgewichtige Probanden und Probandinnen heranzogen. Sehr interessant wäre in diesem Zusammenhang eine Studie, die sich mit dem Unterschied zwischen einem übergewichtigen und normalgewichtigen Studienkollektiv beschäftigt, da in unterschiedlichen Studien oft gegensätzliche Ergebnisse erzielt wurden und ein großer Unterschied zwischen diesen Studien das Gewicht der Probanden und Probandinnen darstellte.

Nicht nur im Gewicht, sondern auch in Bezug auf den Trainingszustand, die Art und die Intensität des Trainings bestanden zwischen den Studien große Unterschiede. In den meisten Studien war das Kollektiv untrainiert, einige Untersuchungen befassten sich jedoch auch mit trainierten Personen. In Hinblick auf die Art des Trainings führten die unterschiedlichen Studienteams mit ihren Probanden und Probandinnen auch sehr unterschiedliche Sportarten durch. Unter die verschiedenen Sportarten fielen Aerobic Training, Radfahren auf dem Ergometer, Training auf dem Ruderergometer, Lauftraining und Gehen auf dem Laufband. Die Intensität des Trainings in den Untersuchungen variierte außerdem sehr stark, weshalb den Trainingszustand, die Trainingsart und -intensität betreffend ein Vergleich mit der aktuellen Studie kritisch betrachtet werden muss.

Positiv an der aktuellen Studie ist, dass durch die Einschlusskriterien die Eigenschaften der Probanden sehr homogen waren, was dazu führte, dass auch das Studienkollektiv sehr einheitlich ausfiel. In Bezug auf Alter, Größe, Gewicht, BMI, Trainingszustand vor der Studie und VO_2 peak unterschieden sich beide Gruppen nur sehr wenig, signifikante Unterschiede wurden dabei nicht festgestellt. Somit ist der Vergleich zwischen der LCHF-Gruppe und Kontrollgruppe sehr aussagekräftig und die Ergebnisse lassen sich auch sehr gut auf Personen, die ähnliche Eigenschaften wie die Probanden dieser Studie aufweisen, umlegen.

7 Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Regelmäßiges Ausdauertraining beziehungsweise eine ketogene Diät bewirken in Bezug auf das rote und weiße Blutbild, sowie die klinische Chemie verschiedene Veränderungen. Oft verändern sich die Blutparameter in der Literatur dabei in unterschiedliche Richtungen, wenn entweder eine Trainings- oder eine Ernährungsintervention durchgeführt wird. Doch auch zwischen den Studien aus der Literaturrecherche, die ähnliche Sachverhalte untersuchten, gab es oftmals konträre Ergebnisse. Diese Studie beschäftigt sich mit den Auswirkungen von regelmäßigem Ausdauertraining in Zusammenhang mit einer ketogenen Ernährungsweise auf junge, sportliche Männer und liefert so neue Ergebnisse zu der noch etwas unklaren Thematik. Da es vor allem noch sehr wenige Studien gibt, die sich mit beiden Interventionen beschäftigen, ist diese Arbeit von großem Interesse.

Bei einer LCHF-Diät, also „Low Carbohydrate High Fat“, wird der Großteil der Energie durch Fett und nur zu einem sehr geringen Anteil durch Kohlenhydrate zugeführt (Burke, 2015). Diese Art der Ernährung wird häufig zur Behandlung von gewissen Erkrankungen, wie Stoffwechselstörungen, kardiovaskuläre Krankheiten, Epilepsie, neuromuskulären und neurodegenerativen Erkrankungen oder Diabetes mellitus, eingesetzt (Adam-Perrot et al., 2006; Paoli et al., 2021; McSwiney & Doyle, 2019). Positiv ist außerdem, dass die ketogene Diät aufgrund des geringen Anteils an Kohlenhydraten zu einer Verbesserung des Nüchtern-Blutzuckerspiegels beitragen kann, was vor allem bei Menschen mit Diabetes einen Vorteil dieser Diät darstellt. Diese Ernährungsform wird außerdem häufig durchgeführt, um Gewicht zu reduzieren. Nachteil der Diät ist aber, dass es zu einer eingeschränkten Aufnahme von Ballaststoffen, Vitaminen, Kalzium und Kalium, Magnesium und Eisen kommen kann (Adam-Perrot et al., 2006). Ein negativer Effekt der Diät kann sich außerdem zu Beginn der Diät zeigen, da die Ernährungsumstellung oft zu einem reduzierten Wohlbefinden und damit zur sogenannten „Ketogrippe“ führt. Zu möglichen Langzeitfolgen zählen des Weiteren eine Fettleber, Nierensteine, Hypoproteinämie und Vitaminmangel (Batch et al., 2020).

Die Trainings- und ketogene Ernährungsintervention waren in dieser zehnwöchigen Studie in Hinblick auf die Blutparameter mit Veränderungen verbunden. Signifikante Unterschiede in der LCHF-Gruppe zwischen den Zeitpunkten Pre und Post konnten bei den absoluten Monozyten, den absoluten Lymphozyten, BUN, Harnstoff und Kreatinin, Gamma-GT und LDL-C festgestellt werden. Die absoluten Monozyten, absoluten Lymphozyten und das Gamma-GT reduzierten sich, während sich die Parameter BUN, Harnstoff, Kreatinin und LDL-C erhöhten. Signifikante Unterschiede zwischen der LCHF-

Gruppe und der Kontrollgruppe konnten bei den Parametern BUN, Harnstoff, Gamma-GT, Cholesterin und LDL-C erfasst werden.

Die Studienlage ist vor allem in Bezug auf die Parameter des roten Blutbildes noch sehr inhomogen, da es in den unterschiedlichen Untersuchungen zu sehr abweichenden Ergebnissen kommt. In dieser Studie konnten in der LCHF-Gruppe in Bezug auf die Parameter des roten Blutbildes keine signifikanten Änderungen festgestellt werden. Die Hypothese, dass die Trainings- und Ernährungsintervention zu einer Reduktion des Hämoglobins und des Hämatokritwertes beziehungsweise der Erythrozytenzahl führt, wurde widerlegt. Der Hämatokritwert reduzierte sich ausschließlich in der Kontrollgruppe, aber nicht in der LCHF-Gruppe und auch die Zahl der roten Blutkörperchen, der Parameter Hämoglobin und die weiteren Parameter des roten Blutbildes veränderten sich nicht signifikant. Es wird aber angenommen, dass Veränderungen im roten Blutbild auf ein regelmäßiges Training und weniger auf eine bestimmte Ernährungsart zurückzuführen sind.

In Hinblick auf das weiße Blutbild zeigte Ausdauertraining beziehungsweise eine ketogene Ernährungsintervention oftmals keine Auswirkungen auf dessen Parameter. In dieser aktuellen Studie kam es zur Reduktion der Monozyten und absoluten Lymphozyten in der LCHF-Gruppe und zu einem Anstieg der segmentkernigen Granulozyten und einer Verringerung der absoluten Lymphozyten in der Kontrollgruppe. Eine mögliche Erklärung für diese Veränderungen im weißen Blutbild ist, dass die Probanden am Tag vor der Blutabnahme eine Trainingseinheit absolvierten und durch diese körperliche Aktivität eine Reaktion des Immunsystems ausgelöst wurde. Da es in beiden Gruppen zu den Veränderungen kam, ist davon auszugehen, dass das Ausdauertraining und nicht die ketogene Ernährung dafür verantwortlich sind.

Sehr interessant waren die Ergebnisse der Cholesterinwerte, vor allem aber die Veränderung des LDL-C. Entgegen der Annahme, dass sich durch die Trainingsintervention und trotz der ketogenen Ernährung mit sehr hohem Fettanteil das LDL-C verringern sollte, hat es sich in der LCHF-Gruppe erhöht. In den zehn Wochen der beiden Interventionen erhöhte sich das LDL-C von 103,35 mg/dl auf 112,65 mg/dl, was einer Steigerung von 9 % entspricht. Da mit steigendem LDL-C auch das Risiko an einer Atherosklerose zu erkranken ansteigt, stellt sich die Frage, ob eine ketogene Diät bei gesunden Personen wohlmöglich mehr Nachteile als Vorteile mit sich bringt.

Als sehr aufschlussreich stellten sich auch die beiden Parameter Harnstoff und BUN heraus, die nach der Intervention im Vergleich zu davor signifikant anstiegen. Die Veränderungen im Harnstoff und BUN sind vermutlich dem erhöhten Proteinanteil der

ketogenen Ernährung zuzuschreiben. Diese Annahme wird auch von Studien aus der Literaturrecherche unterstützt, in denen eine ketogene Ernährungsintervention durchgeführt wurde und das Studienkollektiv normalgewichtig und gesund war. Anders wirkte sich die ketogene Diät hingegen bei einem übergewichtigen Studienkollektiv aus, weshalb die Annahme besteht, dass das Gewicht in Hinblick auf den Harnstoff eine Rolle spielen könnte. Ausdauertraining hatte in den Studien der Literaturrecherche keine Auswirkungen auf die Nierenwerte, weshalb nochmals zu betonen ist, dass die Veränderungen vermutlich ernährungsbedingt sind. Es gibt keine Studie, die sich mit den Auswirkungen von Ausdauertraining und einer ketogenen Diät auf die Nierenwerte beschäftigt, weshalb weitere Studien zu dieser Thematik interessant wären, um mögliche Wechselwirkungen einer LCHF-Diät und Ausdauertraining in Bezug auf die Nierenwerte ersichtlich zu machen.

Zusammenfassend hat ein Ausdauertraining in Kombination mit einer ketogenen Diät Auswirkungen auf verschiedene Parameter des roten und weißen Blutbildes und auf die klinische Chemie. Außerdem lässt sich sagen, dass noch ein Mangel an Studien besteht, die sich mit Ausdauertraining, einer ketogenen Diät und dem Blutbild beschäftigen. Weitere Untersuchungen wären interessant, die sich diesem Thema annehmen, um bessere Vergleiche anstellen zu können und die Ergebnisse dieser Studie noch weiter zu untermauern. Außerdem ist es wichtig herauszufinden, ob es durch eine ketogene Diät negative gesundheitliche Folgen gibt, die positiven Auswirkungen eines regelmäßigen Ausdauertrainings entgegenwirken.

Literaturverzeichnis

- Adam-Perrot, A., Clifton, P., & Brouns, F. (2006). Low-carbohydrate diets: Nutritional and physiological aspects. *Obesity Reviews*, 7(1), 49–58.
<https://doi.org/10.1111/j.1467-789X.2006.00222.x>
- Bachl, N., Löllgen, H., Tschan, H., Wackerhage, H., & Wessner, B. (Hrsg.). (2018). *Molekulare Sport- und Leistungsphysiologie: Molekulare, zellbiologische und genetische Aspekte der körperlichen Leistungsfähigkeit*. Springer.
- Batch, J. T., Lamsal, S. P., Adkins, M., Sultan, S., & Ramirez, M. N. (2020). Advantages and Disadvantages of the Ketogenic Diet: A Review Article. *Cureus*.
<https://doi.org/10.7759/cureus.9639>
- Bundesministerium für Soziales, Gesundheit, Pflege und Konsumentenschutz (Hrsg.). (2022a, Mai 31). Hämatokrit. Zugriff am 02. Jänner 2023 unter <https://www.gesundheit.gv.at/labor/laborwerte/blutbild/haematokrit-hkt.html>
- Bundesministerium für Soziales, Gesundheit, Pflege und Konsumentenschutz (Hrsg.). (2022b, Mai 31). Hämoglobin. Zugriff am 02. Jänner 2023 unter <https://www.gesundheit.gv.at/lexikon/H/haemoglobin.html>
- Bundesministerium für Soziales, Gesundheit, Pflege und Konsumentenschutz (Hrsg.). (2022c, Mai 31). GOT. Zugriff am 12. Jänner 2023 unter <https://www.gesundheit.gv.at/labor/laborwerte/organe-stoffwechsel/got.html>
- Bundesministerium für Soziales, Gesundheit, Pflege und Konsumentenschutz (Hrsg.). (2022d, Mai 31). GPT. Zugriff am 12. Jänner 2023 unter <https://www.gesundheit.gv.at/labor/laborwerte/organe-stoffwechsel/leber-02-alat2-hk.html>
- Bundesministerium für Soziales, Gesundheit, Pflege und Konsumentenschutz (Hrsg.). (2022e, Mai 31). GGT. Zugriff am 12. Jänner 2023 unter <https://www.gesundheit.gv.at/labor/laborwerte/organe-stoffwechsel/gamma-gt.html>

Bundesministerium für Soziales, Gesundheit, Pflege und Konsumentenschutz (Hrsg.).
(2022f, Mai 31). Kreatinin. Zugriff am 09. Jänner 2023 unter
<https://www.gesundheit.gv.at/labor/laborwerte/niere-harn/kreatinin.html>

Bundesministerium für Soziales, Gesundheit, Pflege und Konsumentenschutz (Hrsg.).
(2022g, Mai 31). Harnstoff. Zugriff am 09. Jänner 2023 unter
<https://www.gesundheit.gv.at/labor/laborwerte/organe-stoffwechsel/harnstoff-stickstoff-bun.html>

Bundesministerium für Soziales, Gesundheit, Pflege und Konsumentenschutz (Hrsg.).
(2022h, Mai 31). Harnsäure. Zugriff am 09. Jänner 2023 unter
<https://www.gesundheit.gv.at/labor/laborwerte/organe-stoffwechsel/eiweissstoffwechsel-ernaehrung-05-hs1-hk.html>

Bundesministerium für Soziales, Gesundheit, Pflege und Konsumentenschutz (Hrsg.).
(2022i, Mai 31). Glomeruläre Filtrationsrate. Zugriff am 11. Jänner 2023 unter
<https://www.gesundheit.gv.at/labor/laborwerte/niere-harn/glomerulaere-filtrationsrate.html>

Bundesministerium für Soziales, Gesundheit, Pflege und Konsumentenschutz (Hrsg.).
(2022j, Mai 31). Creatin-Kinase. Zugriff am 13. Jänner 2023 unter
<https://www.gesundheit.gv.at/labor/laborwerte/organe-stoffwechsel/herz-01-ck2-hk.html>

Bundesministerium für Soziales, Gesundheit, Pflege und Konsumentenschutz (Hrsg.).
(2022k, Mai 31). Myoglobin. Zugriff am 13. Jänner 2023 unter
<https://www.gesundheit.gv.at/labor/laborwerte/organe-stoffwechsel/myoglobin.html>

Bundesministerium für Soziales, Gesundheit, Pflege und Konsumentenschutz (Hrsg.).
(2022l, Mai 31). Laktat-Dehydrogenase. Zugriff am 13. Jänner 2023 unter
<https://www.gesundheit.gv.at/labor/laborwerte/organe-stoffwechsel/ldh.html>

Bundesministerium für Soziales, Gesundheit, Pflege und Konsumentenschutz (Hrsg.).
(2022m, Mai 31). Cholesterin. Zugriff am 13. Jänner 2023 unter

<https://www.gesundheit.gv.at/labor/laborwerte/organe-stoffwechsel/fettstoffwechsel-02-chol1-hk.html>

Bundesministerium für Soziales, Gesundheit, Pflege und Konsumentenschutz (Hrsg.). (2022n, Mai 31). Triglyzeride. Zugriff am 13. Jänner 2023 unter <https://www.gesundheit.gv.at/labor/laborwerte/organe-stoffwechsel/fettstoffwechsel-01-trig2-hk.html>

Burén, J., Ericsson, M., Damasceno, N., & Sjödin, A. (2021). A Ketogenic Low-Carbohydrate High-Fat Diet Increases LDL Cholesterol in Healthy, Young, Normal-Weight Women: A Randomized Controlled Feeding Trial. *Nutrients*, 13(3), 814. <https://doi.org/10.3390/nu13030814>

Burke, L. M. (2015). Re-Examining High-Fat Diets for Sports Performance: Did We Call the 'Nail in the Coffin' Too Soon? *Sports Medicine*, 45(S1), 33–49. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0393-9>

Dashti, H. M., Mathew, T. C., Khadada, M., Al-Mousawi, M., Talib, H., Asfar, S. K., Behbahani, A. I., & Al-Zaid, N. S. (2007). Beneficial effects of ketogenic diet in obese diabetic subjects. *Molecular and Cellular Biochemistry*, 302(1–2), 249–256. <https://doi.org/10.1007/s11010-007-9448-z>

Delsmann, M. M., Stürznickel, J., Amling, M., Uebliacker, P., & Rolvien, T. (2021). Muskuloskelettale Labordiagnostik im Leistungssport. *Der Orthopäde*, 50(9), 700–712. <https://doi.org/10.1007/s00132-021-04072-1>

Johannsen, N. M., Swift, D. L., Johnson, W. D., Dixit, V. D., Earnest, C. P., Blair, S. N., & Church, T. S. (2012). Effect of Different Doses of Aerobic Exercise on Total White Blood Cell (WBC) and WBC Subfraction Number in Postmenopausal Women: Results from DREW. *PLoS ONE*, 7(2), e31319. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0031319>

Kostrzewa-Nowak, D., Nowak, R., Jastrzębski, Z., Zarębska, A., Bichowska, M., Drobnik-Kozakiewicz, I., Radzimiński, Ł., Leońska-Duniec, A., Ficek, K., & Cięszczyk, P. (2015). Effect of 12-week-long aerobic training programme on body composition,

- aerobic capacity, complete blood count and blood lipid profile among young women. *Biochemia Medica*, 103–113. <https://doi.org/10.11613/BM.2015.013>
- 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/10.3390/ijerph17020578>
- LeMura, L. M., Von Duvillard, S. P., Andreacci, J., Klebez, J. M., Chelland, S. A., & Russo, J. (2000). Lipid and lipoprotein profiles, cardiovascular fitness, body composition, and diet during and after resistance, aerobic and combination training in young women. *European Journal of Applied Physiology*, 82(5–6), 451–458. <https://doi.org/10.1007/s004210000234>
- Lin, X., Zhang, X., Guo, J., Roberts, C. K., McKenzie, S., Wu, W., 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. *Journal of the American Heart Association*, 4(7), e002014. <https://doi.org/10.1161/JAHA.115.002014>
- McSwiney, F. T., & Doyle, L. (2019). Low-Carbohydrate Ketogenic Diets in Male Endurance Athletes Demonstrate Different Micronutrient Contents and Changes in Corpuscular Haemoglobin over 12 Weeks. *Sports*, 7(9), 201. <https://doi.org/10.3390/sports7090201>
- McSwiney, F. T., Wardrop, B., Hyde, P. N., Lafountain, R. A., Volek, J. S., & Doyle, L. (2018). Keto-adaptation enhances exercise performance and body composition responses to training in endurance athletes. *Metabolism*, 81, 25–34. <https://doi.org/10.1016/j.metabol.2017.10.010>
- 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/10.1152/ajpregu.00012.2017>
- O'Donovan, G., Owen, A., Bird, S. R., Kearney, E. M., Nevill, A. M., Jones, D. W., & Woolf-May, K. (2005). Changes in cardiorespiratory fitness and coronary heart disease risk factors following 24 wk of moderate- or high-intensity exercise of equal energy cost. *Journal of Applied Physiology*, 98(5), 1619–1625.
<https://doi.org/10.1152/japplphysiol.01310.2004>
- Paoli, A., Cenci, L., Pompei, P., Sahin, N., Bianco, A., Neri, M., Caprio, M., & Moro, T. (2021). Effects of Two Months of Very Low Carbohydrate Ketogenic Diet on Body Composition, Muscle Strength, Muscle Area, and Blood Parameters in Competitive Natural Body Builders. *Nutrients*, 13(2), 374. <https://doi.org/10.3390/nu13020374>
- Prommer, N., & Schmidt, W. (2009). Hämoglobinmenge und Sport. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 60 (9), 293–294.
- Renz, H. (Hrsg.). (2018). *Praktische Labordiagnostik: Lehrbuch zur Laboratoriumsmedizin, klinischen Chemie und Hämatologie* (3. Aufl.). De Gruyter.
- Retterstøl, K., Svendsen, M., Narverud, I., & Holven, K. B. (2018). Effect of low carbohydrate high fat diet on LDL cholesterol and gene expression in normal-weight, young adults: A randomized controlled study. *Atherosclerosis*, 279, 52–61.
<https://doi.org/10.1016/j.atherosclerosis.2018.10.013>
- Rowbottom, D. G., & Green, K. J. (2000). Acute exercise effects on the immune system: *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 32(Supplement), S396–S405.
<https://doi.org/10.1097/00005768-200007001-00004>
- Schmidt, W. (2002). Hämatokrit. Standards der Sportmedizin. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 53 (11), 325–326.
- Schünke, M., Schulte, E., Schumacher, U., Voll, M., & Wesker, K. (2018). *Prometheus. Innere Organe. LernAtlas der Anatomie* (5. Aufl.). Georg Thieme Verlag.
- Sharman, M. J., Kraemer, W. J., Love, D. M., Avery, N. G., Gómez, A. L., Scheett, T. P., & Volek, J. S. (2002). A Ketogenic Diet Favorably Affects Serum Biomarkers for

- Cardiovascular Disease in Normal-Weight Men. *The Journal of Nutrition*, 132(7), 1879–1885. <https://doi.org/10.1093/jn/132.7.1879>
- Urbain, P., Strom, L., Morawski, L., Wehrle, A., Deibert, P., & Bertz, H. (2017). Impact of a 6-week non-energy-restricted ketogenic diet on physical fitness, body composition and biochemical parameters in healthy adults. *Nutrition & Metabolism*, 14(1), 17. <https://doi.org/10.1186/s12986-017-0175-5>
- Vaupel, P., Schaible, H., & Mutschler, E. (2015). *Anatomie, Physiologie, Pathophysiologie des Menschen* (7. Aufl.). Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH.
- Vidić, V., Ilić, V., Toskić, L., Janković, N., & Ugarković, D. (2021). Effects of calorie restricted low carbohydrate high fat ketogenic vs. Non-ketogenic diet on strength, body-composition, hormonal and lipid profile in trained middle-aged men. *Clinical Nutrition*, 40(4), 1495–1502. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2021.02.028>

Abkürzungsverzeichnis

ACSM	American College of Sports Medicine
ADP	Adenosindiphosphat
ALT	Alanin-Aminotransferase
AST/ ASAT	Aspartat-Aminotransferase
ATP	Adenosintriphosphat
BMI	Body-Mass-Index
BUN	Blutharnstoff-Stickstoff
cHb	Hämoglobinkonzentration
CK	Creatin-Kinase
CPK	Kreatinphosphokinase
EDTA	Ethylendiamintetraazetat
fl	Femoliter (1 fl = 10 ⁻¹⁵ l)
G/l	Gramm pro Liter
GA	Grundlagenausdauer
Gamma-GT	<i>Gamma-Glutamat-Transferase</i>
GFR	<i>Glomeruläre Filtrationsrate</i>
GOT	<i>Glutamat-Oxalacetat-Transaminase</i>
GPT	<i>Glutamat-Pyruvat-Transaminase</i>
Hb	Hämoglobin
HC	High-carbohydrate
HDL-C	High density Lipoprotein-Cholesterin
High GI	Hoher glykämischer Index
HIIT	High Intensity Interval Training
Hkt	Hämatokrit
Kcal	Kilokaloriens

kJ	Kilojoule
KKW	Kcal pro Kilogramm pro Woche
LCHF	Low carb high fat
LDH	Laktat-Dehydrogenase
LDL-C	Low density Lipoprotein-Cholesterin
MCH	Mittlere korpuskuläre Hb-Masse
MCHC	Mittlere korpuskuläre Hämoglobin-Konzentration
MCV	Mittleres Erythrozytenvolumen
mmol	Millimol
NK-Zellen	Natürliche Killerzellen
pg	Pikogramm (1 pg = 0,000 000 001 mg)
REG	Regeneration
U/l	Unit pro Liter
VO ₂ peak	Maximale Sauerstoffaufnahme
WADA	World Anti-Doping Agency
WSA	Wettkampfspezifische Ausdauer
µm	Mikrometer
µl	Mikroliter
Z _E	Erythrozytenzahl
Z _L	Leukozytenzahl
Z _T	Thrombozytenzahl

Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 1: Normwerte und Referenzbereiche des roten Blutbildes, der Leukozyten und Thrombozyten</i>	<i>12</i>
<i>Tabelle 2: Leukozyten - Differentialblutbild bei Erwachsenen (Referenzbereiche)</i>	<i>16</i>
<i>Tabelle 3: Referenzbereiche der Leberwerte</i>	<i>18</i>
<i>Tabelle 4: Referenzbereiche der Nierenwerte</i>	<i>21</i>
<i>Tabelle 5: Referenzbereiche der Muskelstressparameter</i>	<i>23</i>
<i>Tabelle 6: Referenzbereiche des Cholesterins</i>	<i>25</i>
<i>Tabelle 7: Ein- und Ausschlusskriterien</i>	<i>37</i>
<i>Tabelle 8: Beispiel einer Trainingswoche - Trainingswoche 6</i>	<i>38</i>
<i>Tabelle 9: Trainingsumfang</i>	<i>39</i>
<i>Tabelle 10: Demographische Daten des Studienkollektivs</i>	<i>43</i>
<i>Tabelle 11: Soll-Trainingsminuten und absolvierte Trainingsminuten</i>	<i>45</i>
<i>Tabelle 12: Daten zur Nährstoffzusammensetzung</i>	<i>46</i>
<i>Tabelle 13: Unterschied der Blutwerte zwischen Pre und Post in der LCHF-Gruppe und der Kontrollgruppe</i>	<i>49</i>
<i>Tabelle 14: Unterschied zwischen LCHF-Gruppe und Kontrollgruppe der Blutwerte</i>	<i>54</i>

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Erythrozyten (Schünke et al., 2018, S. 24)	11
Abbildung 2: Neutrophile (links), Eosinophile (mitte) und Basophile Granulozyten (rechts) (Schünke et al., 2018, S. 24-25)	14
Abbildung 3: Monozyt (links) und Lymphozyt (rechts) (Schünke et al., 2018, S. 25)	15
Abbildung 4: Thrombozyten (Schünke et al., 2018, S. 24)	16
Abbildung 5: Soll- und absolvierte Trainingsminuten in der LCHF-Gruppe und der Kontrollgruppe	44
Abbildung 6: Prozentuelle Pre- und Post-Werte der Nährstoffzusammensetzung in der LCHF-Gruppe (n = 12)	47
Abbildung 7: Prozentuelle Pre- und Post-Werte der Nährstoffzusammensetzung in der Kontrollgruppe (n = 16)	47
Abbildung 8: Veränderung der absoluten Monozyten und der absoluten Lymphozyten von Pre zu Post in der LCHF-Gruppe	52
Abbildung 9: Veränderung der Parameter BUN und Harnstoff von Pre zu Post in der LCHF-Gruppe	52
Abbildung 10: Veränderung der Parameter Kreatinin und Gamma-GT von Pre zu Post in der LCHF-Gruppe	52
Abbildung 11: Veränderung des Parameters LDL-C von Pre zu Post in der LCHF-Gruppe	53
Abbildung 12: Unterschied des LDL-C und des Cholesterins zwischen der LCHF-Gruppe und der Kontrollgruppe	57
Abbildung 13: Unterschied der Parameter BUN und Harnstoff zwischen der LCHF-Gruppe und der Kontrollgruppe	57
Abbildung 14: Unterschied des Parameters Gamma-GT zwischen der LCHF-Gruppe und der Kontrollgruppe	57