

Daniel Renpening

Veränderung zellulärer Inflammationsmarker während einer akuten aeroben Ausdauerbelastung

Eine experimentelle Sportinterventionsstudie

Masterarbeit

BEI GRIN MACHT SICH IHR WISSEN BEZAHLT



- Wir veröffentlichen Ihre Hausarbeit, Bachelor- und Masterarbeit
- Ihr eigenes eBook und Buch - weltweit in allen wichtigen Shops
- Verdienen Sie an jedem Verkauf

Jetzt bei www.GRIN.com hochladen
und kostenlos publizieren



Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de/> abrufbar.

Dieses Werk sowie alle darin enthaltenen einzelnen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsschutz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlanges. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen, Auswertungen durch Datenbanken und für die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronische Systeme. Alle Rechte, auch die des auszugsweisen Nachdrucks, der fotomechanischen Wiedergabe (einschließlich Mikrokopie) sowie der Auswertung durch Datenbanken oder ähnliche Einrichtungen, vorbehalten.

Impressum:

Copyright © 2023 GRIN Verlag
ISBN: 9783346998156

Dieses Buch bei GRIN:

<https://www.grin.com/document/1438479>

Daniel Renpening

Veränderung zellulärer Inflammationsmarker während einer akuten aeroben Ausdauerbelastung

Eine experimentelle Sportinterventionsstudie

GRIN - Your knowledge has value

Der GRIN Verlag publiziert seit 1998 wissenschaftliche Arbeiten von Studenten, Hochschullehrern und anderen Akademikern als eBook und gedrucktes Buch. Die Verlagswebsite www.grin.com ist die ideale Plattform zur Veröffentlichung von Hausarbeiten, Abschlussarbeiten, wissenschaftlichen Aufsätzen, Dissertationen und Fachbüchern.

Besuchen Sie uns im Internet:

<http://www.grin.com/>

<http://www.facebook.com/grincom>

http://www.twitter.com/grin_com

Technische Universität Dortmund
Fakultät Kunst- und Sportwissenschaften
Institut für Sport und Sportwissenschaft
Arbeitsbereich 1: Leistung und Gesundheit (Sportmedizin)

Masterarbeit

Veränderung zellulärer Inflammationsmarker während einer akuten aeroben Ausdauerbelastung – Eine experimentelle Sportinterventionsstudie

Anmeldedatum: 07.11.2022

Abgabefrist: 20.02.2023

Vorgelegt von: Daniel Renpening

Studiengang: Master of Education LABG 2016 HRSGe, 5. Semester

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Theoretischer Hintergrund.....	3
2.1 Das Immunsystem.....	3
2.1.1 Allgemeines	4
2.1.2 Immunzellen.....	6
2.1.3 Zelluläre Inflammationsmarker	9
2.2 Effekte körperlicher Belastung im immunologischen Kontext.....	12
2.2.1 Effekte akuter und chronischer körperlicher Belastung auf das Immunsystem	13
2.2.2 Zelluläre Inflammationsmarker NLR, PLR, SII im Kontext körperlicher Belastung	18
2.2.3 Veränderung von Immunzellpopulationen während einer körperlichen Belastung	24
3. Methodik	26
3.1 Hypothesen	27
3.2 Ein- und Ausschlusskriterien	27
3.3 Studiendesign	28
3.3.1 Intervention und Kontrolle	28
3.3.2 Baseline	32
3.4 Endpunkte	32
3.4.1 Primärer Endpunkt	33
3.4.2 Sekundärer Endpunkt.....	33
3.5 Statistische Analyse	33
4. Ergebnisse	35
4.1 Proband*innen	35
4.2 Immunologische und entzündungsbezogene Interaktionseffekte.....	36
4.2.1 Zelluläre Inflammationsmarker	36
4.2.2 Immunzellpopulationen	39
5. Diskussion.....	53
5.1 Ergebnisdiskussion	53
5.1.1 Veränderungen der zellulären Inflammationsmarker	53
5.1.2 Veränderungen der Immunzellen	56
5.2 Reflexion des Studiendesigns	61
6. Fazit und Ausblick	63
7. Literaturverzeichnis	66
8. Anhang.....	69

Abkürzungsverzeichnis:

WHO	World Health Organization
NLR	Neutrophilen/Lymphozyten Ratio
PLR	Thrombozyten/Lymphozyten Ratio
SII	Systemischer Immun-Inflammation-Index
BMI	Body Mass Index
GPAQ	Global Physical Activity Questionnaire
HIIT	High Intensity Interval Training
WBC	Leukozyten
LYM#	absolute Lymphozytenzahl
LYM%	relative Lymphozytenzahl
NEUT#	absolute neutrophile Granulozytenzahl
NEUT%	relative neutrophile Granulozytenzahl
MXD#	absolute Monozytenzahl
MXD%	relative Monozytenzahl
PLT	Thrombozyten
B-Zellen	B-Lymphozyten
T-Zellen	T-Lymphozyten
NK-Zellen	Natürliche Killerzellen
PBMCs	periphere mononukleare Blutzellen
M	Mittelwert
SD	Standardabweichung
Min	Minimum
Max	Maximum
N	Anzahl an Personen in der Gesamtstichprobe
n	Anzahl an Personen in einer Teilstichprobe
p	Wahrscheinlichkeit
dF	Anzahl der Freiheitsgrade
F	Verhältnis zwischen zwei Varianzen
o.S.	ohne Seitenangabe
Etc.	et cetera

Tabellenverzeichnis:

Tabelle 1: Verhältnis der Inflammationsmarker NLR, PLR und SII nach Geschlecht und Alter	12
Tabelle 2: Überblick über Studien zur Bewertung von NLR als Entzündungsmarker bei sportlicher Betätigung	20
Tabelle 3: Überblick über Studien zur Bewertung von PLR als Entzündungsmarker bei sportlicher Betätigung	22
Tabelle 4: Überblick über Studien zur Bewertung von SII als Entzündungsmarker bei sportlicher Betätigung	23
Tabelle 5: Zuordnung des Belastungsprotokolls und dessen zugrunde liegende Referenzwerte	30
Tabelle 6: Belastungszuwachs in Watt nach Geschlecht und Protokoll pro Minute	30
Tabelle 7: Baseline-Eigenschaften der Proband*innen	36
Tabelle 8 Analyseergebnisse der zellulären Inflammationsmarker	39
Tabelle 9 Ergebnisse des Mauchly-Tests, der ANOVA und des Bonferroni Post-Hoc-Tests der Zellpopulationen	53

Abbildungsverzeichnis:

Abbildung 1: Zelluläre Bestandteile des angeborenen und adaptiven Immunsystems (Darstellung Zimmer, 2020 nach Gleeson et al., 2013).....	5
Abbildung 2: Einfluss von regelmäßigem Sport auf ausgewählte Immunzellen in Abhängigkeit der Intensität (Darstellung von Alack et al., 2019).....	16
Abbildung 3: Absolute Zellzahlen der Lymphozytensubpopulationen vor, während und nach Belastung (Abbildung von Gabriel et al., 1992, S. 532).....	26
Abbildung 4: Veränderung des zellulären Inflammationsmarkers NLR in Abhängigkeit zum Messzeitpunkt (Eigene Darstellung)	37
Abbildung 5: Veränderung des zellulären Inflammationsmarkers PLR in Abhängigkeit zum Messzeitpunkt (Eigene Darstellung)	38
Abbildung 6: Veränderung des zellulären Inflammationsmarkers SII in Abhängigkeit zum Messzeitpunkt (Eigene Darstellung)	39
Abbildung 7: Grafische Darstellung der absoluten Leukozyten in Abhängigkeit zum Messzeitpunkt (Eigene Darstellung)	41
Abbildung 8: Graphische Darstellung der absoluten Lymphozyten in Abhängigkeit zum Messzeitpunkt (Eigene Darstellung)	43
Abbildung 9: Graphische Darstellung der relativen Lymphozyten in Abhängigkeit zum Messzeitpunkt (Eigene Darstellung)	44
Abbildung 10: Grafische Darstellung der absoluten Neutrophilen Granulozyten in Abhängigkeit zum Messzeitpunkt (Eigene Darstellung)	45
Abbildung 11: Grafische Darstellung der relativen Neutrophilen Granulozyten in Abhängigkeit zum Messzeitpunkt (Eigene Darstellung).....	46
Abbildung 12: Grafische Darstellung der absoluten Monozyten in Abhängigkeit zum Messzeitpunkt (Eigene Darstellung)	48
Abbildung 13: Grafische Darstellung der relativen Monozyten in Abhängigkeit zum Messzeitpunkt (Eigene Darstellung)	50
Abbildung 14: Grafische Darstellung der absoluten Thrombozyten in Abhängigkeit zum Messzeitpunkt (Eigene Darstellung)	52

1. Einleitung

Körperliche Aktivität in Form von sportlicher Betätigung wirkt sich positiv auf die Gesundheit aus. Das körperliche, psychische und soziale Wohlbefinden kann dadurch nachweislich gesteigert werden. Immer häufiger verweisen Studien auf effektivere Heilungsprozesse durch Sport. Auch Nebenwirkungen von herkömmlichen medikamentösen Therapien können durch körperliche Bewegung reduziert werden (Zimmer et al., 2019). Um präventiv die Entstehung von Krankheiten reduzieren zu können, müssen gewisse Mindeststandards eingehalten werden. International haben sich dahingehend die Standards der *World Health Organization* durchgesetzt. Die Empfehlung für Erwachsene lautet möglichst 150 Minuten pro Woche moderates oder 75 Minuten pro Woche intensives Ausdauertraining zu betreiben. Hinzu kommt die Empfehlung zu muskelkräftigender körperlicher Aktivität an mindestens zwei Tagen pro Woche. Darüber hinaus sollten lange Sitzphasen vermieden werden (WHO, 2010). Die positiven gesundheitlichen Effekte durch Sport kommen unter anderem durch ihre entzündungshemmende Wirkung zustande (Winker et al., 2022).

Entzündungen können eine Vielzahl von Ursachen haben, sind im Wesentlichen aber fast immer physiologische Reaktionen des menschlichen Körpers auf eine lokale Gewebeschädigung, die darauf abzielt, die Integrität des Gewebes wieder herzustellen. Entzündungen können sowohl im physiologischen Kontext, in Folge körperlicher Anstrengung, als auch im pathologischen Kontext, wie zum Beispiel bei Krankheiten, auftreten (Chazaud, 2016; Eming et al., 2017). Im alltäglichen Sprachgebrauch sind Entzündungen eher negativ konnotiert, da sie mit Rötungen, Schwellungen und Schmerzen assoziiert werden. Umso wichtiger ist es, den Kontext zu berücksichtigen, in welchem eine Entzündung auftritt. Akute Entzündungen in Folge einer mechanischen Gewebeschädigung nach muskulärer Anstrengung bilden einen vorübergehenden Zustand, der notwendige Erholungsprozesse einleitet (ebd.). Auch Entzündungen in Folge einer bakteriellen Infektion sind nicht zwangsläufig negativ, sondern kennzeichnen zunächst lediglich die Aktivierung des Immunsystems. Sobald alle Krankheitserreger vom Immunsystem bekämpft wurden, lässt die Entzündung nach. Nur wenn die reguläre Homöostase nicht wiederhergestellt werden kann, können sich chronische Entzündungen bilden, welche häufig mit medizinischen Erkrankungen wie Krebs oder Multipler Sklerose in Verbindung gebracht werden können. Es hat sich gezeigt, dass

das Risiko für die Entstehung chronischer Erkrankungen oder die Progression des Krankheitsverlaufs durch Sport deutlich reduziert werden kann (Will et al., 2015).

Dieser Zusammenhang erscheint zunächst paradox, da Sport eine akute Entzündung hervorruft. Damit verbunden sind allerdings auch immunologische Prozesse, die langfristig betrachtet eine allgemeine Reduzierung von Entzündungen bewirken können, da regelmäßige sportliche Aktivität entzündungshemmende Mechanismen auslösen kann (Krüger, 2017). Schon nach einmaliger körperlicher Belastung werden Immunzellen aktiviert, darunter Leukozyten, Lymphozyten, Granulozyten, Monozyten und Thrombozyten. Viele Studien haben die belastungsinduzierte Immunzellmobilisation in unterschiedlichen Settings untersucht. Dabei wurden moderate bis hochintensive sowie Ausdauerbelastungen und Krafttraining erforscht. Fast alle sind im Prä-Post-Studiendesign konzipiert, doch nur wenige untersuchen die Kinetik während einer Belastung. Inwiefern oder ob überhaupt eine Immunzellmobilisation während einer akuten Ausdauerbelastung stattfindet, ist kaum erforscht. Dementsprechend zielt die vorliegende Arbeit auf die Klärung nachfolgender Fragen ab:

Die *primäre Fragestellung* lautet: „Inwiefern verändern sich die zellulären Inflammationsmarker NLR, PLR und SII während einer akuten aeroben Ausdauerbelastung?“

Die *sekundäre Fragestellung* lautet: „Inwiefern verändern sich die Bestandteile des zellulären Immunsystems, insbesondere Leukozyten, Lymphozyten, Monozyten, Neutrophile Granulozyten und Thrombozyten während einer akuten aeroben Ausdauerbelastung?“

Die Beantwortung dieser Fragen könnte Aufschluss über mögliche Therapiemaßnahmen bei chronischen Erkrankungen liefern und eine sinnvolle Ergänzung oder sogar Alternative zu medikamentösen Behandlungen darstellen. Die Immunantwort auf sportliche Aktivität kann Auskunft über Entzündungsprozesse im Körper geben. Mittlerweile haben sich die prognostischen zellulären Inflammationsmarker *Neutrophilen/Lymphozyten-Ratio (NLR)*, *Thrombozyten/Lymphozyten-Ratio (PLR)* sowie der *systemische Immun-Inflammations-Index (SII)* im klinischen Kontext als gängiges Diagnosemittel etabliert. Auch im Bereich der Trainingssteuerung werden sie immer häufiger genutzt, da sie mit geringem Zeitaufwand kostengünstige und präzise Ergebnisse liefern (Wahl et al., 2020).

Die Arbeit beginnt mit der Darlegung des theoretischen Hintergrunds (Kapitel 2), indem zunächst auf das menschliche Immunsystem eingegangen wird (Kapitel 2.1), bevor

Effekte körperlicher Belastung im immunologischen Kontext unter Zuhilfenahme einschlägiger Literatur erläutert werden (Kapitel 2.2). Anschließend wird die Forschungsmethodik dargestellt (Kapitel 3). Diese umfasst die Erläuterung der gewählten Hypothesen (Kapitel 3.1), Ein- und Ausschlusskriterien zur Studie (Kapitel 3.2), das Studiendesign (Kapitel 3.3), gewählte Endpunkte (3.4) und die statistische Analyse (3.5). Daran anschließend erfolgt die Ergebnisdarstellung (Kapitel 4) in Bezug auf die Proband*innen (Kapitel 4.1), sowie auf die immunologischen und entzündungsbezogenen Interaktionseffekte (Kapitel 4.2). Nach der Diskussion (Kapitel 5), die neben der Ergebnisdiskussion (Kapitel 5.1) auch eine Reflexion der Studie beinhaltet (Kapitel 5.2), folgt abschließend das Fazit mit Ausblick (Kapitel 6).

2. Theoretischer Hintergrund

Der Zusammenhang von Sport und Gesundheit wird bereits seit mehreren Jahrzehnten untersucht. In jüngster Zeit wird bei der Forschung zusätzlich ein besonderer Fokus auf immunologische Veränderungen durch Sportinterventionen gelegt. In einschlägiger Literatur werden immer häufiger regulatorische Wirkungen von Sport auf Entzündungsprozesse im Körper genannt (Winker et al., 2022). Nachfolgend werden das Immunsystem und die Effekte von Sport darauf näher beschrieben, um die im Körper stattfindenden und durch Sport induzierten (anti-/pro-)inflammatorischen Prozesse besser einordnen zu können. Im Kapitel 2.1.1 werden zunächst allgemeine Informationen zum Immunsystem erläutert, damit anschließend im Kapitel 2.1.2 genauer auf wesentliche Immunzellen und im Kapitel 2.1.3 auf zelluläre Inflammationsmarker eingegangen werden kann. In den Kapiteln 2.2.1 und 2.2.2 werden anschließend die Effekte einer körperlichen Belastung auf das Immunsystem und die zellulären Inflammationsmarker aufgezeigt. Abschließend werden in Kapitel 2.2.3 konkrete Veränderung von Zellpopulationen während einer körperlichen Belastung beschrieben.

2.1 Das Immunsystem

Immunzellen und lymphatisches Gewebe verteilen sich im ganzen Körper und bilden mit einer Gesamtmasse von zwei bis drei Kilogramm das Immunsystem. Innerhalb dieses Systems finden Prozesse der Zellteilung, ein Umbau von Organen durch die Ein- und Auswanderung bestimmter Zellen sowie Veränderungen durch Differenzierung statt (Schütt & Bröker, 2011). Mit der Aufklärung der Struktur von Antikörpern im

Jahre 1960 von Rodney Porter beginnt die moderne Immunologie, doch bereits Jahrhunderte früher haben Untersuchungen von beispielsweise Benjamin Jesty oder Robert Koch für medizinische Meilensteine gesorgt (ebd.). Heutzutage bildet die Immunologie ein zentrales Forschungsfeld mit verschiedenen Teildisziplinen in der Medizin. In den folgenden Kapiteln werden immunologische Strukturen und Prozesse sowie die zellulären Bestandteile näher beschrieben, um abschließend die Diagnosechancen zellulärer Inflammationsmarker aufzuzeigen.

2.1.1 Allgemeines

Neben dem Nervensystem gehört das Immunsystem zu den komplexesten Systemen des menschlichen Körpers. Durch ein Zusammenspiel von Zellen, Signalstoffen und Gewebe ist es maßgeblich dafür verantwortlich fremde Mikroorganismen zu erkennen und lebensnotwendige Abwehrmechanismen gegen Schadstoffe, Krankheitserreger und negative Zellveränderungen zu initiieren und aufrechtzuerhalten (Gleeson & Bosch, 2013). Häufig geht eine immunologische Reaktion mit einer lokalen und akuten Entzündung einher, die entweder sport- oder krankheitsinduziert sein kann (Walzik et al., 2021).

Grundlegend können zwei verschiedene Arten des Immunsystems unterschieden werden (Gleeson & Bosch, 2013). Zum einen ist das angeborene Immunsystem zu nennen, welches unspezifisch, dafür aber schnell greift. Zum anderen gibt es das adaptive Immunsystem, dass im Laufe des Lebens weiter ausgebildet wird und somit spezifisch, aber eher langsam wirkt (Schütt & Bröker, 2011). Das angeborene Immunsystem besitzt verschiedene Mechanismen, wie physische/strukturelle Barrieren, chemische Barrieren und phagozytische Zellen, um schädliche Fremdkörper, sogenannte Pathogene, abzuwehren (Gleeson & Bosch, 2013). Im direkten Vergleich wird deutlich, worin sich die beiden Systeme unterscheiden. Auch wenn die Mechanismen und Abwehreinrichtungen des angeborenen Immunsystems sofort verfügbar sind und als erste Instanz gegen Fremdkörper wirken, gewährleisten sie keinen nachhaltigen Schutz. Im Gegensatz dazu schützt das erworbene Immunsystem erst durch wiederholte Infektionen und bildet mit der Zeit eine stärkere Resistenz für den Körper aus (Schütt & Bröker, 2011). Das bedeutet, dass die Wirksamkeit des angeborenen Immunsystems mit jeder erneuten Infektion identisch bleibt, die des adaptiven Immunsystems hingegen zunimmt.

Das adaptive Immunsystem bildet entsprechend des Infektionsverlaufs gezielt eine

Immunabwehr gegen spezifische Antigene aus. Ermöglicht wird dies durch eine selektive Bestimmung von Oberflächenstrukturen, die eine klonale Vermehrung spezieller Zellen hervorruft. Nach erfolgreicher Bekämpfung der Pathogene entwickeln sich Gedächtniszellen, die eine zukünftige Immunität gewährleisten (Behrends et al., 2021). Grundlegend wird dabei zwischen humoraler und zellulärer Immunantwort unterschieden. Unabhängig der Art des Immunsystems ist die Entstehung aller hämatopoetischen Zellen auf Knochenmarkstammzellen zurückzuführen, auf dessen Basis lymphoide, myeloide und erythroide Vorläuferzellen entstehen (Gleeson & Bosch, 2013)

Während die zellulären Anteile feste Bestandteile des Blutes ausbilden, setzen sich humorale Anteile der Immunabwehr aus nicht zellulären Anteilen des Immunsystems, wie beispielsweise im Blutserum gelöste Stoffe, zusammen (ebd.). Die Ausbildung antigenspezifischer Antikörper ist mit die wichtigste Aufgabe der humoralen Immunabwehr (Tomar & De, 2014).

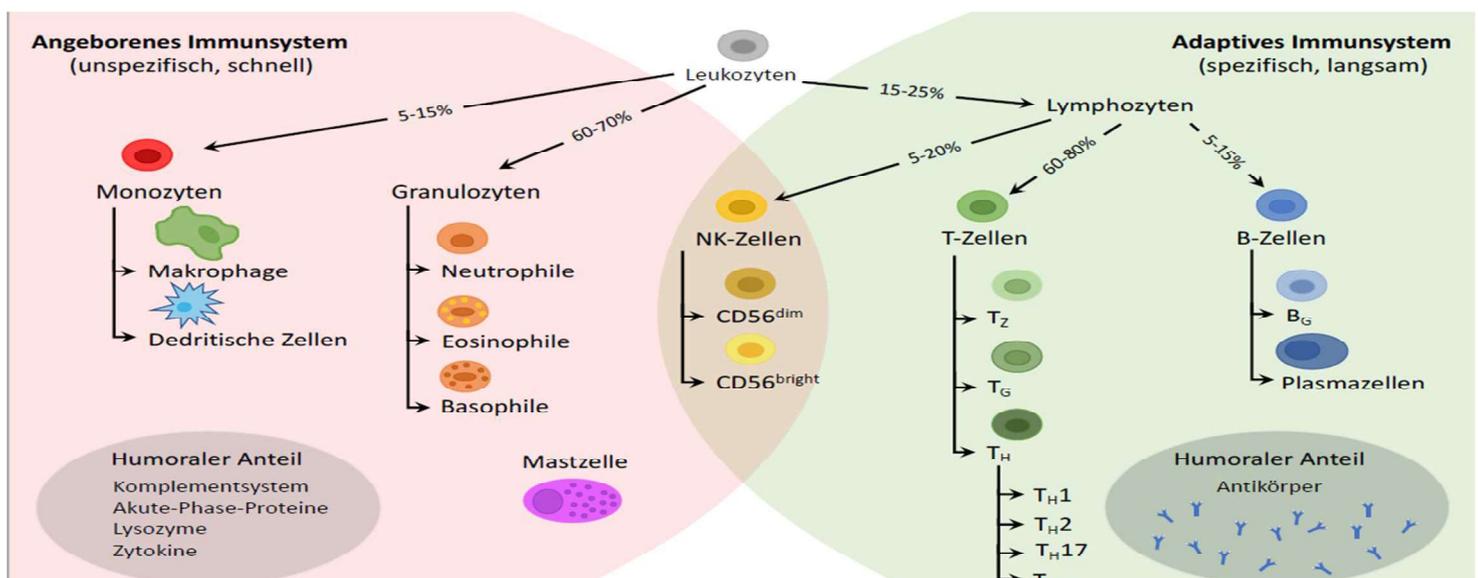


Abbildung 1: Zelluläre Bestandteile des angeborenen und adaptiven Immunsystems (Darstellung Zimmer, 2020 nach Gleeson et al., 2013)

Wie Abbildung 1 zu entnehmen ist, bilden Leukozyten, neben dem humoralen Anteil, den Hauptbestandteil des Immunsystems aus (Gleeson & Bosch, 2013). Maximal ein Viertel der Leukozyten bilden Lymphozyten des adaptiven Immunsystems aus. Diese bilden wiederum NK-Zellen, T-Zellen und B-Zellen aus, wobei die T-Zellen mit bis zu 80% den größten Anteil haben. Allerdings bildet der Großteil der bestehenden Leukozyten, Granulozyten und Monozyten des angeborenen Immunsystems aus (ebd.).

2.1.2 Immunzellen

Nachfolgend werden das Vorkommen, der Aufbau und die Funktionen der für die Arbeit relevanten Immunzellen aufgezeigt. Abwehrzellen entstehen in den primären lymphatischen Organen wie dem Knochenmark oder dem Thymus. Das Knochenmark ist ein schwammartiges Gewebe im Inneren der Knochen, während der Thymus ein drüsenähnliches Organ ist, welches sich über dem Herzen hinter dem Brustbein befindet (Schütt & Bröker, 2011). Nach der Reifung gelangen sie über Blut-, Lymphbahnen oder Schleimhäute in die sekundären lymphatischen Organe wie Lymphknoten, Milz und das mukosale lymphatische System (Putz et al., 2017; Schütt & Bröker, 2011).

Es wird ersichtlich, dass Immunzellen nicht nur an einen Ort im Körper gebunden sind, sondern dorthin wandern, wo sie benötigt werden. So werden beispielsweise Abwehrzellen und Antigene aus dem Blutgefäßsystem in die Lymphknoten transportiert und mit Hilfe des Blutdrucks und ausgeschwemmten Plasmas über das Lymphgefäßsystem vom Blut wieder absorbiert. Je höher die Belastung durch Krankheitserreger ist, desto stärker ist auch die aktive Abwehrreaktion, was sich durch eine Schwellung der Lymphknoten zeigt (ebd.). Die Milz erfüllt eine Vielzahl von Aufgaben bei der Immunregulation. Zum einen werden von dort aus Abwehrzellen über das Blut in die umliegenden Organe befördert und gleichzeitig in der Milz ankommende Erreger herausgefiltert. Außerdem werden in ihr alte Erythrozyten und Thrombozyten abgebaut. Sowohl in den Lymphknoten als auch in der Milz sind zwei wesentliche Areale zu erkennen, die B- und T-Zellen enthalten. Über die Hälfte aller Immunzellen befinden sich im mukosalen lymphatischen System, also den Schleimhautoberflächen im Magen-Darm-Trakt, Mund, Nase oder Lunge (ebd.).

Wie bereits erwähnt stellen *Leukozyten* eine Oberkategorie dar. Sie werden auch weiße Blutkörperchen genannt und sind von den Erythrozyten, den roten Blutkörperchen, abzugrenzen. Hauptaufgabe der Leukozyten ist die Abwehr von Krankheitserregern. Im Schnitt besitzt ein gesunder Mensch zwischen 4.000 und 10.000 Leukozyten pro Mikroliter im Blut. Eine deutliche Abweichung nach oben wird Leukozytose genannt und kann meistens durch eine akute Infektion oder entzündliche Erkrankung begründet werden. Doch auch eine Leukopenie, eine verminderte Leukozytenzahl, kann Folge einer Infektion sein, da eine Umverteilung der weißen Blutkörperchen aus dem Blut heraus, in das Körpergewebe hinein, erfolgt (Behrends et al., 2021; Schaenzler & Bieger, 2020). Spezielle Wachstumsfaktoren sorgen für die Reifung von *Granulozyten*,