

Aus dem Centrum für Muskuloskeletale Chirurgie
der Medizinischen Fakultät Charité – Universitätsmedizin Berlin

DISSERTATION

Prospektive Untersuchung zum Zusammenhang von Blutlaktat
mit Verletzungen - am Beispiel vom Hallenhockey

zur Erlangung des akademischen Grades
Doctor medicinae (Dr. med.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

Juliane Arite Boll

aus Berlin

Datum der Promotion: 10. März 2017

Meiner Familie

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	6
Tabellenverzeichnis	8
Abkürzungsverzeichnis	9
0 Zusammenfassung.....	12
0 Abstract.....	14
1 Einleitung.....	15
1.1 Blutlaktat	16
1.1.1 Theoretische Grundlagen zum Laktatstoffwechsel.....	16
1.1.2 Haupteinflussfaktoren auf die Blutlaktatkonzentration.....	18
1.1.3 Blutlaktat in der Sportmedizin.....	20
1.1.4 Erkrankung als Einflussfaktor des Blutlaktats.....	23
1.2 Verletzungen im Hockey	24
1.3 Zusammenhang von Blutlaktat mit Verletzungen	25
1.4 Resultierende Hypothesen und Zielsetzungen	26
2 Methodik	27
2.1 Studiendesign.....	27
2.2 Probanden.....	27
2.3 Versuchsaufbau	28
2.3.1 Allgemeine Darstellung des Versuchsaufbaus	28
2.3.2 Stufentest.....	29
2.3.3 Spielablauf	32
2.3.4 Laktatanalyse	33
2.3.5 Fragebogen zu Erkrankungen und Sportverletzungen	34
2.4 Zuverlässigkeit der Messergebnisse	35

2.5 Statistische Analysen	35
3 Ergebnisse.....	37
3.1 Demographische Daten.....	37
3.2 Verteilung des Blutlaktats.....	37
3.2.1 Verteilung des Blutlaktats während der Saisonspiele.....	37
3.2.2 Verteilung des Blutlaktats der Vor- und Nachuntersuchung	47
3.3 Verletzungen	49
3.4 Untersuchung der Hypothesen.....	53
3.4.1 Primärhypothese: Das Verletzungsrisiko korreliert mit höheren Blutlaktatwerten	53
3.4.2 Sekundärhypothese: (Vor-)Erkrankungen führen zu einem niedrigeren Ruheblutlaktatspiegel	56
3.4.3 Tertiärhypothese: Es gibt mehr Verletzungen in der zweiten Halbzeit und in der zweiten Saisonhälfte.....	59
3.4.3.1 In der zweiten Halbzeit gibt es mehr Verletzungen	59
3.4.3.2 In der zweiten Hälfte der Saison gibt es mehr Verletzungen	61
4 Diskussion	64
4.1 Probandenkollektiv	64
4.2 Blutlaktat	65
4.3 Hockeyverletzungen im Spiel	65
4.4 Diskussion der Hypothesen.....	67
4.4.1 Korrelation von Blutlaktat und Hockeyverletzungen	67
4.4.2 Korrelation von Erkrankungen und Ruheblutlaktat (La_{Ruhe})	69
4.4.3 Hockeyverletzungen im Zeitverlauf	70
4.5 Limitationen.....	71
4.5.1 Allgemeine Einschränkungen bei der Studiauswertung	71
4.5.2 Limitationen bei Probanden.....	72
4.5.3 Limitationen durch weitere Einflussfaktoren auf die Blutlaktatwerte	73

4.5.4 Limitationen bei Blutentnahmen	73
4.6 Schlussfolgerungen.....	74
4.7 Ausblick.....	75
5 Literaturverzeichnis	78
6 Anhang.....	83
6.1 Allgemeiner Fragebogen	83
6.2 Fragebogen zu Erkrankung und Verletzungen	83
7 Eidesstattliche Versicherung	87
8 Lebenslauf	88
9 Danksagung.....	89

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Vereinfachtes Schema der Glykolyse	17
Abbildung 2: Laktatverlaufskurve, Verhalten der Herzfrequenz und die daraus ermittelte empfohlene Trainingsherzfrequenz	21
Abbildung 3: Darstellung des Studienablaufes	29
Abbildung 4: Programmierung des Laufs Gruppe 2 beim Stufentest	30
Abbildung 5: Trainingsempfehlungen mit verschiedenen Geschwindigkeitsbereichen ..	31
Abbildung 6: Messgerät „Biosen S_line lab“ zur Laktatbestimmung	34
Abbildung 7: Verteilung der Laktatwerte für alle Spielerinnen in den acht Spielen	39
Abbildung 8: Farblegende der Spiele und Erklärung der Markierungen der Messzeitpunkte	40
Abbildung 9: Laktat-Verlaufskurve Spielerin 1	41
Abbildung 10: Laktat-Verlaufskurve Spielerin 2	41
Abbildung 11: Laktat-Verlaufskurve Spielerin 3	42
Abbildung 12: Laktat-Verlaufskurve Spielerin 4	42
Abbildung 13: Laktat-Verlaufskurve Spielerin 5	43
Abbildung 14: Laktat-Verlaufskurve Spielerin 6	43
Abbildung 15: Laktat-Verlaufskurve Spielerin 7	44
Abbildung 16: Laktat-Verlaufskurve Spielerin 8	44
Abbildung 17: Laktat-Verlaufskurve Spielerin 9	45
Abbildung 18: Laktat-Verlaufskurve Spielerin 10	45
Abbildung 19: Laktat-Verlaufskurve Spielerin 11	46
Abbildung 20: Laktat-Verlaufskurve Spielerin 12	46
Abbildung 21: Anzahl der Verletzungen während der Spiele gemäß der Halbzeit und der Spielposition	49
Abbildung 22: Spielerverletzung an Spieltagen in Prozent	50
Abbildung 23: Verletzungsart und Verletzungslokalisation	51
Abbildung 24: Laktatwerte bei verschiedenen Verletzungsarten	52
Abbildung 25: Verletzungsmechanismus	52
Abbildung 26: Laktat- und Verletzungsverteilung über die Zeit aller Spielerinnen der gesamten Saison	55
Abbildung 27: Art der Erkrankung an den Spieltagen	56
Abbildung 28: Erkrankungen an Spieltagen	57

Abbildung 29: Verletzungsverteilung während der Saison62

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Empfehlung der Trainingsgeschwindigkeit.....	32
Tabelle 2: Darstellung der demographischen Daten der gesamten Stichprobe.....	37
Tabelle 3: Mittelwerte und Standardabweichung der Laktatwerte aller Spielerinnen von allen Spielen bei der Ein- und Auswechslung	38
Tabelle 4: La_{max} und Auswertung der Stufentests der Vor- und Nachuntersuchung anhand von Lactate 2, 3, 4 und Lactate 6.....	48
Tabelle 5: Mittelwert der Laktatwerte bei Verletzung und ohne Verletzung im gleichen Spiel.....	53
Tabelle 6: p-Wert-Bestimmung nach den Methoden „Pooled“ und „Satterthwaite“	54
Tabelle 7: Pearson-Korrelations-Test für die Korrelation des Laktatwerts und der Verletzung	54
Tabelle 8: Korrelation der individuellen Ruhelaktat-Mittelwerte der „gesund“ zu „erkrankt“ gespielten Spiele anhand des Pearson-Korrelationskoeffizienten und des t-Tests	57
Tabelle 9: Korrelation der Ruhe-Laktatwerte der „gesunden“ und „kranken“ Probandinnen	58
Tabelle 10: Vierfeldertafel der Verletzungen in den Halbzeiten der acht Spiele	59
Tabelle 11: Chi ² -Test zur Vierfeldertafel in Tabelle 10.....	60
Tabelle 12: Fisher-Exakt-Test für die Korrelation von Verletzungen in den Halbzeiten zur Vierfeldertafel in Tabelle 10	60
Tabelle 13: Vierfeldertafel für die Korrelation der Eigenverletzung und der Halbzeit.....	61
Tabelle 14: Chi ² -Test zur Vierfeldertafel in Tabelle 13.....	61
Tabelle 15: Fisher-Exakt-Test zur Vierfeldertafel in Tabelle 13	61
Tabelle 16: Vierfeldertafel zur Verletzung während der jeweiligen Saisonhälften.....	62
Tabelle 17: Chi ² -Test zur Vierfeldertafel in Tabelle 16.....	62
Tabelle 18: Fisher-Exakt-Test zur Vierfeldertafel in Tabelle 16	63

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
ATP	Adenosintriphosphat
BHC	Berliner Hockey-Club e.V.
BLK	Blutlaktatkonzentration
BMI	body mass index (Körpermassenindex)
Bsp.	Beispiel
bspw.	beispielsweise
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
cm	Zentimeter
CO ₂	Kohlendioxid
DF	degrees of freedom (Freiheitsgrade)
EB	Entwicklungsbereich
et al.	et alii (und andere)
f.	folgende
Fa.	Firma
FT	Trainingsherzfrequenz
GA	Grundlagenausdauer
ggf.	gegebenenfalls
h	Stunde
H	Wasserstoff
HR	heart ratio (Herzfrequenz)
HR _{max}	maximale Herzfrequenz
H ₂ O	Wasser
HZ	Halbzeit

jn	ja/ nein
kg	Kilogramm
km	Kilometer
l	Liter
La	Laktat
La _{max}	maximale Laktatwert
La _{Ruhe}	Ruhe-Laktatwerte
LDH	Laktatdehydrogenase
m	Meter
Max	Maximalwert
Min	Minimalwert
min	Minute
ml	Milliliter
mmol	Millimol
MW	Mittelwert
n	Anzahl
NAD ⁺	Nikotinamid–Adenin-Dinukleotid, oxidierte Form
NADH	Nikotinamid–Adenin-Dinukleotid, reduzierte Form
NU	Nachuntersuchung
p	page (Seite)
PFK	Phosphofruktokinase
rel. Zt.	relative Zeit
s	Sekunde
S.	Seite
SD	Standardabweichung
TG	Taktgeber

u. a. unter anderem
v Geschwindigkeit
Verl Verletzung
VU Voruntersuchung
WKB Wettkampfbereich
z. B. zum Beispiel

0 Zusammenfassung

Einleitung: Hockey ist für die Spieler anstrengend und verletzungsgefährdend. Die körperliche Anstrengung führt unter anderem zu einer erhöhten Blutlaktatkonzentration (BLK). Diese zieht eine pH-Wert-Senkung und damit eine Herabregulation der Glykolyserate nach sich. Dadurch werden die Muskelfunktion und die Konzentrationsfähigkeit vermindert. Es kommt zu körperlicher Ermüdung und zu persönlichen Fehlentscheidungen. Auf Grundlage der zuvor abgeschlossenen Studienergebnisse wurden folgende Hypothesen aufgestellt:

- i) Das Verletzungsrisiko korreliert mit höheren Blutlaktatwerten.
- ii) (Vor-)Erkrankungen führen zu einem niedrigeren Ruheblutlaktatspiegel.
- iii) Es gibt mehr Verletzungen in der zweiten Halbzeit und in der zweiten Saisonhälfte.

Ziel der Studie war es, einen Blutlaktatanstieg mit einer möglichen erhöhten Verletzungsinzidenz zu korrelieren und daraus Verletzungspräventionen abzuleiten.

Methodik: Zwölf Hockeyspielerinnen (Alter $24,4 \pm 4,9$ Jahre, Größe $169,75 \pm 4,37$ cm, Gewicht $62,5 \pm 4,0$ kg) einer deutschen Bundesligamannschaft absolvierten während der Hallensaison 2013/14 acht Hockeyspiele sowie zwei Stufentests als Vor- und Nachuntersuchung. Sie wurden in zwei Messgruppen unterteilt: Stürmerinnen wurden in der ersten, Verteidigerinnen in der zweiten Halbzeit gemessen. Die Blutabnahmen aus dem Ohrläppchen erfolgten zu definierten Zeitpunkten: vor dem Spiel, vor jeder Ein- und nach jeder Auswechslung sowie nach dem Auslaufen. Per Fragebogen wurden Erkrankungen und Verletzungen ermittelt.

Ergebnisse: Die Blutlaktat-Mittelwerte lagen bei der Einwechslung zwischen 3 und 4 mmol/l und bei der Auswechslung zwischen 4,5 und 6,5 mmol/l. Es ereigneten sich drei Verletzungen in der ersten und sieben Verletzungen in der zweiten Halbzeit. In der ersten Spielsaison-Hälfte kam es zu drei Verletzungen, in der zweiten zu sieben Verletzungen. Die häufigsten aufgetretenen Läsionen waren Prellungen, Band- oder Muskelverletzungen. Bei sieben von acht Verletzungsarten lagen die BLK um die 6 mmol/l. Es konnte eine signifikante Korrelation einer erhöhten Blutlaktatkonzentration mit einer verstärkten Verletzungsinzidenz festgestellt werden (p -Wert = 0,017). Der Pearson-Korrelationskoeffizient zwischen Laktatwerten und Verletzung ist $r = 0,25$. Zehn Spielerinnen waren an mindestens einem und maximal drei Spieltagen erkrankt. Die

Ruhelaktatwerte erkrankter Spielerinnen mit einem p-Wert von 0,0056 sind signifikant niedriger als die Ruhelaktatwerte gesunder Spielerinnen.

Diskussion: Schlussfolgernd wird eine Messung der BLK der Spieler während der Hockeyspiele empfohlen. Eine BLK von über 6 mmol/l sollte vor dem Hintergrund der Minimierung des Verletzungsrisikos möglichst vermieden werden. Dazu wäre eine frühzeitige Auswechslung der Spieler sinnvoll und eine angemessene Spielpause sollte gewährleistet werden. Folglich könnte zukünftig mittels der BLK eine einfache Diagnostik zur Verletzungsprävention im Hallenhockey ermöglicht werden. Um die Ergebnisse und die daraus abgeleiteten Interpretationen zu stützen, sind weitergehende Untersuchungen mit einem größeren Probandenkollektiv nötig.

0 Abstract

Introduction: Hockey is tiring and includes a risk of injuries for the players. Because of physical exertion among others the blood lactate concentration (BLC) increases. Therefore the pH value drops and the glycolysis rate is down regulated. Thereby the muscle function and the concentrativeness decrease. It results in fatigue and incorrect decisions. Based on previous studies the following was hypothesized:

- i) The injury risk correlates with a higher blood lactate concentration.
- ii) Diseases result in a decreased blood lactate concentration at rest.
- iii) More injuries are in the second interval and in the second half of the season.

The aim of this study was to correlate the increase of BLC with a possible higher injury incidence, hence to develop injury prevention.

Method: Twelve female hockey players of a German national division ($24,4 \pm 4,9$ years, $169,75 \pm 4,37$ cm, $62,5 \pm 4,0$ kg) took part in eight games during the season 2013/14. They were divided into two groups: forwarders got measured in the first, defenders in the second half. The blood was taken from the earlobe at a certain time: before the game, before and after every substitution and after the game. The injuries and diseases got elicited by a questionnaire.

Results: The mean of the BLC was before substitution at around 3 to 4 mmol/l and after substitution at around 4,5 to 6,5 mmol/l. Three injuries were registered during the first and seven injuries during the second interval. In the first half of the season occurred three injuries and in the second half seven injuries. Most of the lesions were contusions, tendon or muscle injuries. At seven out of eight injury types the BLC was around 6 mmol/l. A significant correlation between a higher BLC and injury incidence was found (p-value = 0,017). The Pearson-correlation between lactate and injuries is $r = 0,25$. Ten players were sick minimum at one and maximum at three games. The BLC at rest of sick players were significantly lower than of healthy players (p-value = 0,0056).

Discussion: In conclusion it is recommended to measure the BLC during a hockey game. A BLC above 6 mmol/l should be avoided to minimize the injury risks. For that purpose an early replacement of the players and an adequate rest period is reasonable. Consequently using the BLC simple diagnostics could prevent hockey injuries. Continued research with more participants is required to support these results and the conclusions.

1 Einleitung

Citius, altius, fortius

(nach Henri Didon, latein, im deutschen Sprachgebrauch: Schneller, Höher, Weiter)

Unter diesem Motto der Olympischen Spiele, zitiert nach Henri Didon (1891) [1], werden die Hauptmerkmale des sportlichen Ehrgeizes und des heutigen Wettkampfgeistes aufgezählt. Es sollen in jedem Lebensbereich, vor allem im Sport, immer erfolgreichere Leistungen erzielt werden. Jedoch zu welchem Preis?

Mit dieser Arbeit sollen insbesondere Gefahrensituationen aufgrund des sportlichen Ehrgeizes im Hochleistungssport und dem daraus entstehenden Verletzungsrisiko minimiert werden. In dieser Studie wurde das Hallenhockey als untersuchte Sportart ausgewählt, da es bisher nur wenig erforscht ist und es viel Änderunspotential der Spielstrategie und des Regelwerkes gibt.

Feldhockey ist eine abwechslungsreiche Sportart, die auch aufgrund von den Olympischen Spielen an immer stärkerem Medieninteresse gewinnt. Damenhockey wurde erst 1980 bei den Olympischen Spielen in Moskau eingeführt, im Gegensatz zu Männerhockey, welches bereits seit Olympia 1908 in London gespielt wird [2]. Feldhockey ist eine der beliebtesten Sportarten weltweit und erfreut sich besonders unter Frauen an Beliebtheit [3-5].

Das schnelle Mannschaftsspiel wird durch den Kampf um den kleinen harten Ball charakterisiert, der Geschwindigkeiten von bis zu 150 km/h erreichen kann. Der Schläger ist eine weitere Gefahrenquelle. Hockey ist nach dem Eishockey die schnellste Mannschaftssportart [6]. Daher sind die Reaktionsfähigkeit, Handlungsschnelligkeit und Muskelkraft der Spieler im Hochleistungshockey besonders gefordert [7]. Im Vergleich zum Feldhockey ist das Hallenhockey deutlich schneller und die Spielfläche mit 44 m Länge und 22 m Breite deutlich kleiner. Beides reduziert die Reaktionsmöglichkeiten, andererseits sind Kontakte mit dem Gegenspieler häufiger und heftiger. Die athletischen und technisch-taktischen Anforderungen im Hallenhockey sind in der Hallensaison 2013/14 aufgrund von Regeländerungen deutlich gestiegen (maximal fünf anstelle von sechs Spielerinnen, das international gespielte „Hockey5“). Mit dieser Änderung durften zum ersten und bisher einzigen Mal in der Deutschen Bundesliga pro Mannschaft maximal fünf Spielerinnen auf dem Spielfeld (vier Spielerinnen und eine Torhüterin oder

fünf Feldspielerinnen) sein [8]. Mit dem schnelleren Spiel von „Hockey5“ wachsen auch die Anforderungen an die sportwissenschaftlich-sportmedizinische Beurteilung des Wettkampfprozesses im Hallenhockey, zu denen diese Arbeit einen Beitrag leistet.

1.1 Blutlaktat

1.1.1 Theoretische Grundlagen zum Laktatstoffwechsel

Um Sport treiben zu können, müssen sich die Muskeln kontrahieren können. Dafür brauchen sie Energie, welche das Adenosintriphosphat (ATP) liefert.

In unserem Körper laufen zur Energiebereitstellung gleichzeitig drei entscheidende Stoffwechselwege ab:

- a) der aerobe Weg der vollständigen Oxidation von Glukose über Pyruvat, als Azetyl-Koenzym A in den Citratsäure-Zyklus (ablaufend im Mitochondrium) eingeschleust, zu CO_2 und H_2O
- b) der anaerob-alaktizide Weg (die Myokinase-Reaktion und die Lohmann-Reaktion)
- c) der anaerob-laktazide Weg [9-11].

Der letzte der drei Prozesse ist die anaerobe Glykolyse (auch bezeichnet als: „sauerstoffunabhängige Glykolyse“ [11]), bei der Kohlenhydrate, die im Skelettmuskel überwiegend als Glykogen vorliegen, durch Aktivierung u. a. der Phosphofruktokinase (PFK) in mehreren Schritten zu Pyruvat und Laktat (das Salz der Milchsäure) aufgespalten werden (siehe Abbildung 1, S. 17). Dabei entstehen Wasserstoff-Protonen (H^+). Dieser Prozess findet im Zytoplasma statt [10].

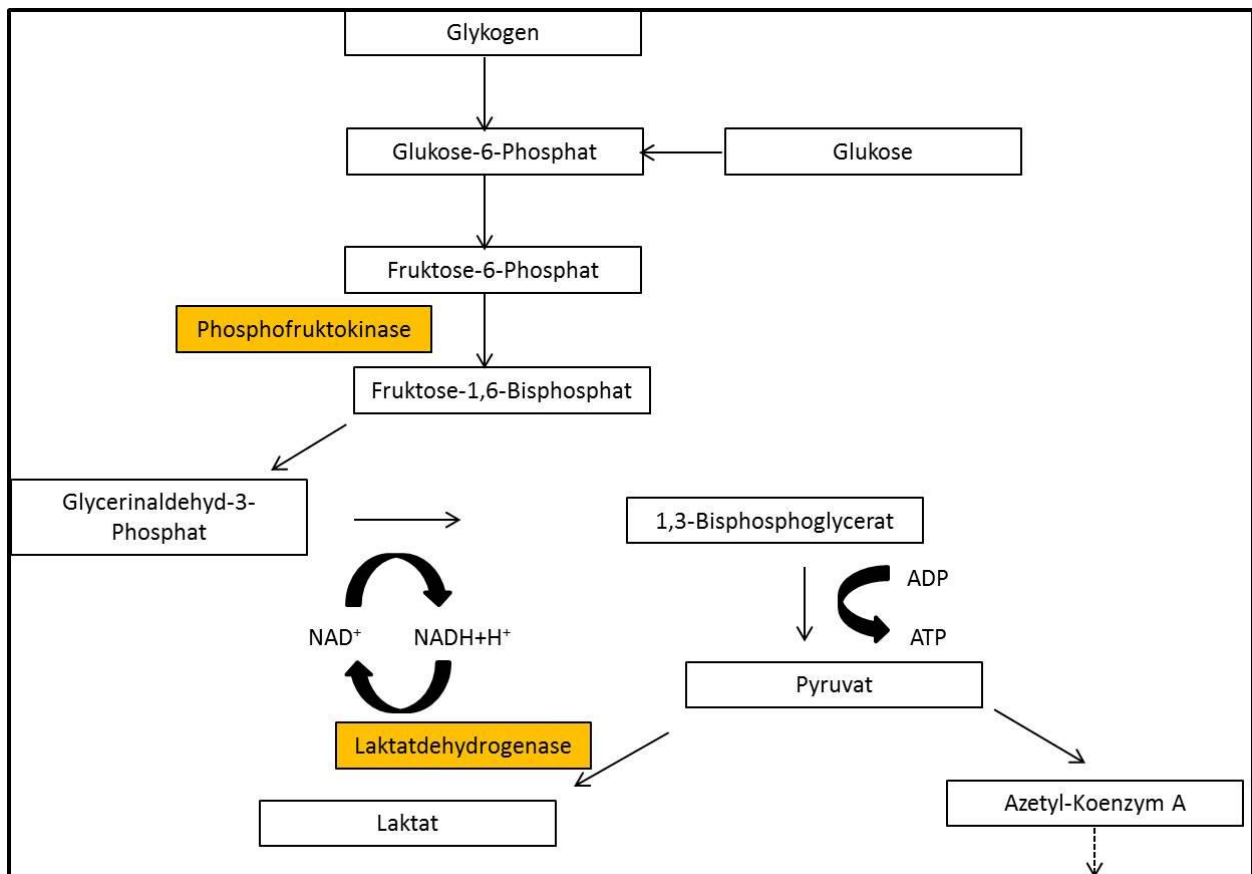


Abbildung 1: Vereinfachtes Schema der Glykolyse, angelehnt an de Marées [12]

Die Blutlaktatbestimmung ist ein direkter Indikator für den Belastungsgrad anaerober Prozesse, da Laktat das Endprodukt des glykolytischen Stoffwechsels ist [9, 13]. Da Blutlaktat nach entsprechender intramuskulärer Produktion ansteigt [14], können hieraus Rückschlüsse auf die muskulär-metabolische Beanspruchung gezogen werden.

Ursache für die Laktatproduktion sind die vermehrt anfallenden H^+ , die bei stärkerer Belastung nur mangelhaft vom Nikotinamid-Adenin-Dinukleotid (NAD^+) im aeroben System aufgenommen werden können. Als Folge würde der pH-Wert sinken, die Zelle „sauer“ werden und die Glykolyse würde vorzeitig abbrechen. Dies wird umgangen, indem ein Pyruvat vom $NADH+H^+$ je zwei H^+ aufnimmt und zu Laktat reduziert wird. Diese Reaktion wird durch die Laktatdehydrogenase (LDH) katalysiert.

Demzufolge wird ein starker pH-Wertabfall durch Pyruvat bzw. Laktat abgepuffert. Grundsätzlich laufen die aerobe wie auch die anaerobe Energiegewinnung parallel ab [9]. Ein Sauerstoffmangel ist nicht notwendigerweise die Ursache für die Laktatproduktion, sondern auch ein Ungleichgewicht der Flussraten der drei Stoffwechselwege ist denkbar (siehe Aufzählung S. 16: a-c) [10]. Bei intensiver Belastung

kommt es zu einer großen Menge an gebildetem Pyruvat, welches nur unvollständig in den Zitronensäurezyklus abfließen kann. Es kommt zu einem Anstieg des NADH/NAD-Verhältnisses. Das $\text{NADH} + \text{H}^+$ muss wieder zu NAD^+ oxidiert werden, damit die Glykolyse weiterhin ablaufen kann (siehe Abbildung 1, S. 17). Deshalb wird nun das Pyruvat/Laktat-Verhältnis in Richtung des Laktates verschoben [11]. Dadurch kommt es zu einer größeren Ansammlung von Laktat und damit zur Übersäuerung der Skelettmuskulatur in Form der Laktatazidose [9]. Früher wurde darin die Ursache des Muskelkaters gesehen, doch diese These wurde bereits widerlegt [15]. Die aktuelle Hypothese zum Muskelkater ist, dass es sich dabei sekundär um eine Autolyse von zerstörten Faserstrukturen und Ödemen handelt [15].

Das unter aeroben sowie unter anaeroben Bedingungen anfallende Laktat kann wieder zu Pyruvat umgewandelt werden und damit ebenfalls im Zitronensäurezyklus und der Atmungskette unter weiterer Energiefreisetzung zu Wasser (H_2O) und Kohlendioxid (CO_2) verstoffwechselt oder bei Energieüberschuss wieder zu Glukose (Glukoneogenese) und zu Glykogen weiterverwertet (Glykogenese) werden. Damit dient Laktat auch als „eine Art Pyruvatspeicher für den oxidativen Stoffwechsel“ [10].

Bereits ein Zwei- bis Drei-Sekunden-Sprint, wie er häufig im Hallenhockey vorkommt, wird in der Literatur als intensive Belastung definiert. Hier spielt besonders die anaerobe Glykolyse eine Rolle [14].

Da das im Muskel produzierte ansteigende Laktat während der Ruhephase zwischen der jeweiligen Kontraktion effizient mit dem Blutfluss ausgetauscht wird, ist die Blutlaktatkonzentration (BLK) ein darstellender Faktor des laktaziden-anaeroben Stoffwechsels während der Muskelarbeit [16]. Damit kann in dieser Studie das Blutlaktat sehr gut genutzt werden, um die gewünschten Korrelationen zwischen Blutlaktat und Verletzungen zu untersuchen.

1.1.2 Haupteinflussfaktoren auf die Blutlaktatkonzentration

Es gibt wichtige Regulationsmechanismen, welche die Glykolyse steuern. Als Haupteinflussfaktoren auf die Blutlaktatkonzentration gelten:

- a) die Phosphofruktokinase: Erst in den letzten Jahren wurde erkannt, dass eine Anhäufung von Laktat die Phosphofruktokinase (PFK) als Schlüsselenzym der

- Glykolyse herabreguliert, welche die Geschwindigkeit des Substratdurchflusses regelt. Somit wird die Glykolyse durch einen Anstieg des Laktats gehemmt [9].
- b) der pH-Wert: Während das Laktat ansteigt, nimmt auch die H^+ -Ionenkonzentration zu und es kommt zum Absinken des pH-Werts [11]. Dadurch wird die Laktatbildung im Wesentlichen durch die maximal tolerable Laktatazidose limitiert, welche individuell unterschiedlich und zu einem gewissen Grad trainierbar ist [9]. Das Absinken des pH-Wertes ist ein begrenzender Faktor der Glykolyse und führt zur Ermüdung und zu einem Leistungsabfall, ähnlich der PFK-Downregulierung [11]. Des Weiteren beeinflusst der pH-Wert den Laktattransport vom Muskel in das Blut [17].
 - c) die Shuttles: Laktat wird nicht komplett an das Blut abgegeben, sondern es wird auch innerhalb des Muskels weiterverwertet bzw. ist ein wichtiger Stoffwechselmetabolit. Als Stoffwechselmetabolit wird Laktat zwischen unterschiedlichen Zellen, Geweben und Organen mittels Shuttles (so genannter Transportproteine) befördert und dort der oxidativen Energiebereitstellung zugeführt [14, 17]. Daraus folgt, dass es zu einer gesteigerten Laktatproduktion kommen könnte, ohne dass diese im Blut messbar wäre [17].
 - d) die Ernährung und das Sporttraining: Des Weiteren kommt es bei entleertem intramuskulärem Glykogenspeicher (durch mangelhafte Ernährung oder hohe körperliche Belastung) zu einer stark beeinträchtigten Durchsatzrate der Glykolyse (siehe Abbildung 1, S. 17). Daraus resultiert eine verminderte Laktatproduktion [13, 18]. Folglich ist die Ernährung als auch das Sporttraining mit zu berücksichtigen [17]. Die Laktat- und H^+ -Transportkapazität wird ebenfalls durch Sporttraining verbessert. Damit ergibt sich, dass die niedrigeren Blutlaktatspiegel bei trainierten Probanden auf eine bessere Umverteilung (Transport- bzw. Verstoffwechslungskapazität) zurückzuführen sind [17].
 - e) Koffeineinnahme [19], Vorbelastung [20] und der Wasserhaushalt [21] des Organismus werden als weitere Einflussfaktoren angegeben. Besonders die Ruhelaktatwerte sollen von diesen Einflüssen betroffen sein [19].
 - f) äußere Einflüsse: Speziell bei Feldtests können die Wetterlage bzw. Temperaturen die Laktatproduktion beeinflussen [13]. Außerdem ist das Blutlaktat unter hypobaren-hypoxischen Bedingungen höher als auf Meereshöhe [22]. Damit

könnten die Werte, die in dieser Studie ausgewertet werden, weniger mit denen aus der Literatur vergleichbar sein.

Das gebildete Laktat kann über eine Vasodilatation, eine Reduzierung der O₂-Affinität des Blutes (Bohreffekt) und einer Erhöhung der Muskeldurchblutung auch die aerobe Energiebereitstellung verbessern [23]. Somit ist die Laktatproduktion nicht nur eine Reaktion auf Belastung, sondern sie trägt zur Regulierung der Energiebereitstellung bei [17].

Trotz der vielen Erkenntnisse über den Laktatstoffwechsel besteht für ein besseres Verständnis der weiteren physiologischen Wirkungen nach wie vor Forschungsbedarf [17, 23].

Blutlaktat ist von den verschiedenen oben genannten inneren und äußeren Einflussfaktoren abhängig. Dadurch werden die Analyse von gemessenen Blutlaktatwerten und die daraus zu ziehenden Schlussfolgerungen beeinflusst. Trotzdem kann vor dem Hintergrund des heutigen Wissensstandes gesagt werden, dass die Blutlaktatmessung zur Beurteilung der metabolisch-muskulären Belastung als Standard im Feldtest herangezogen wird. Kein anderer physiologischer Parameter reagiert bisher so sensibel auf Veränderungen der körperlichen Belastung wie das Blutlaktat.

1.1.3 Blutlaktat in der Sportmedizin

Blutlaktat wird überwiegend in der Ausdauerleistungs-Diagnostik für eine individuelle Trainingsempfehlung gemessen. Die Grundannahme dieser Diagnostik ist: Je trainierter die Sportler sind, desto mehr Pyruvat kann im Zitronensäurezyklus weiterverarbeitet werden und desto weniger Laktat häuft sich an [9].

Beim Blutlaktattest werden von den Probanden unter labortypischen Bedingungen einer Spiroergometrie bzw. im Feldtest verschiedene Leistungsstufen durchlaufen. Nach jeder Stufe wird Laktat aus dem Ohrläppchen entnommen und die Herzfrequenz (HR) aufgezeichnet.

Aus diesen Daten wird dann eine Laktatkurve abgeleitet, welche bogenförmig ansteigt [24]. Je trainierter der Proband, desto stärker verschiebt sich die Kurve nach rechts und desto flacher verläuft der Anstieg der angestrebten Trainingsherzfrequenz (FT) bzw. Trainingsgeschwindigkeit (siehe Abbildung 2) [9, 25].

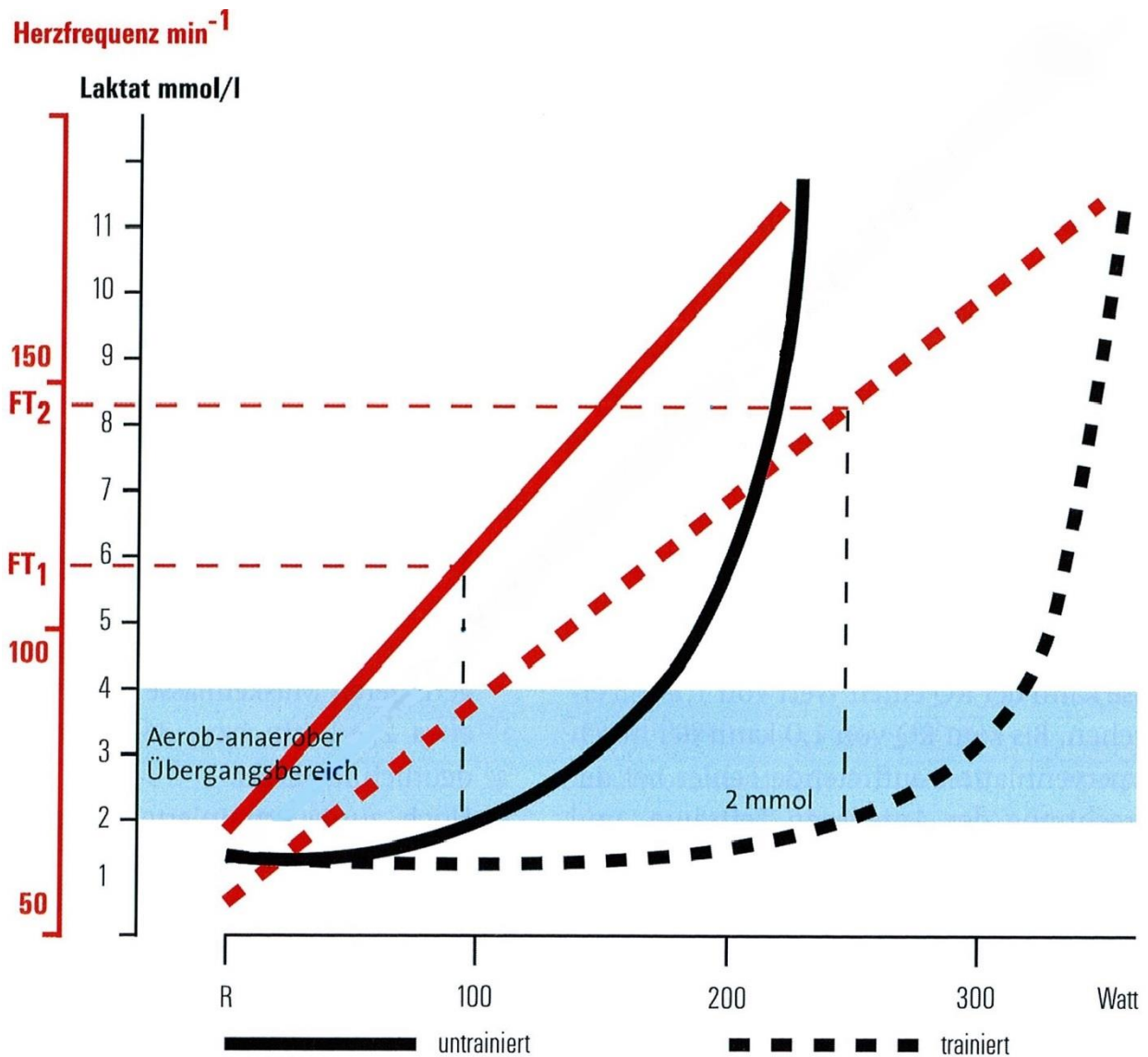


Abbildung 2: Laktatverlaufskurve, Verhalten der Herzfrequenz und die daraus ermittelte empfohlene Trainingsherzfrequenz (FT), angelehnt an Graf [9]

In der Sportmedizin wurden verschiedene Studien mit dem Parameter Blutlaktat durchgeführt, deren Ergebnisse im Folgenden erläutert werden [26-30]. So wurde herausgefunden, dass das Blutlaktat mit der Ermüdung korreliert. Je höher das Blutlaktat ist, desto stärker wird die Muskelfunktion behindert, welches sich in Form von Ermüdung zeigt [28, 29]. Diese Ermüdung wiederum resultiert in einer Verschlechterung der technischen Fähigkeiten [26, 30]. Darüber hinaus ist es möglich, dass während eines Ermüdungszustandes aufgrund schlechterer Spielentscheidungen mehr Verletzungen resultieren [27]. Auf die Korrelation des Blutlaktats mit der Ermüdung wird in dieser Studie zurückgegriffen. Jedoch weist die Interpretation dieser Korrelation eine Grenze

auf, da bekannt ist, dass die Ermüdung ein multifaktorielles Problem ist und nicht nur auf einen einzigen interpretierenden Parameter reduziert werden kann [17].

Der Blutlaktat Spiegel scheint auch eine Möglichkeit zu sein, die besten Athleten für ein Team auszuwählen: je niedriger das Blutlaktat-Level, desto leistungsfähiger der Athlet. Damit zeigten Casolino et al. (2012), dass ein Trainer seine zur Verfügung stehenden Spieler schneller auswählen kann [31].

Bei der Studie von Chelly et. al. (2011) wurde festgestellt, dass die Blutlaktatkonzentrationen am Ende der ersten Halbzeit im Handball signifikant höher als am Ende der zweiten Halbzeit sind [32]. Chelly et al. schlossen daraus, dass Handballspieler in der zweiten Hälfte des Spiels weniger Strecke zurücklegen und in weniger taktischen Vorgehen involviert sind. Eine besonders interessante Schlussfolgerung war, dass die Spieler ein intensiveres Laktat-säure-Toleranztraining benötigen, um die intramuskuläre Pufferkapazität über beide Halbzeiten zu verbessern [17, 32].

Die praktische Umsetzung der Ergebnisse dieser Studie wäre, dass Trainer eine gleich bleibende Leistung während der zweiten Halbzeit anstreben sollten, indem sie die Spieltaktik und die aerobe und anaerobe Fitness während des Trainings verbessern. Es wurde bereits die Bedeutung der H⁺-Neutralisierung zur Aufrechterhaltung der Leistung in wiederholten Kurzsprints beschrieben (siehe S. 18) [9, 33]. Jedoch ist auch das aerobe Training wichtig, um die Laktatelimination während der Erholungsphasen zu verbessern. Wenn die Sauerstoffzufuhr abbricht, würde sich Laktat anhäufen und den Spieler in seiner Hochleistung einschränken [32, 34].

Urhausen et al. (1988) haben auch eine Verbindung zwischen einem mittelhohen Laktat Spiegel von knapp 3 bis 7 mmol/l und einer verminderten Treffsicherheit beobachtet [35]. Vergleichend wurden bereits mit einer BLK von 7 bis 8 mmol/l eine sinkende technische und taktische Funktionalität im Feldhockey bzw. Tennis assoziiert [26, 36].

Davis et al. (2013) zeigten, dass nach einem Boxkampf Parallelen zwischen dem Blutlaktat Spiegel und der Intensität, Taktik und Zeitspanne des Kampfes gezogen werden kann [37].

Feldhockey ist eine Sportart, die vom Spieler ein hohes Level an aerober und anaerober Leistungsfähigkeit und Muskelkraft erfordert. Es wurde als Sportart mit vielen wiederkehrenden Sprints mit annähernd maximaler Anstrengung charakterisiert.

Dadurch hat es starke Ähnlichkeiten mit Eishockey, Basketball, Lacrosse und Rugby [38], deren Studienergebnisse in dieser Arbeit teilweise mit dem Hallenhockey verglichen werden.

Bereits 1982 wurde von Minkhoff festgestellt, dass die Messung des anaeroben Stoffwechsels die Leistung eines professionellen Hockeyspielers gut widerspiegelt [39].

1.1.4 Erkrankung als Einflussfaktor des Blutlaktats

Es gibt verschiedene Erkrankungen, die einen Einfluss auf das Blutlaktat haben können. Jedoch bezieht sich die vorliegende Studie hauptsächlich auf grippale Infekte und Infekte der oberen Atemwege. Es ist besonders wichtig den Einflussfaktor Erkrankung auf Blutlaktat zu untersuchen, weil viele Hobby- und Leistungssportler mit Infekten Sport treiben. Die Erkrankungen als Einflussfaktoren des Blutlaktats sind jedoch nur schwer in einer Studie zu messen, da nicht planbar ist, wann und in welcher Anzahl sie auftreten werden. Außerdem ist vor einer Ethikkommission schwer erklärbar, warum gerade diese erkrankten Probanden Sport treiben sollten, um das Blutlaktat untersuchen zu können. Aus diesen Gründen sind eher Studien zu spezifischen Krankheiten wie u. a. Zystische Fibrose oder Myopathien in der Literatur zu finden, die im Folgenden kurz vorgestellt werden.

In einer Studie zur Zystischen Fibrose entdeckte Fezer (2004), dass erkrankte Patienten im Vergleich zu gesunden niedrigere Blutlaktatwerte hatten [40]. Dies war überraschend, da aufgrund der eingeschränkten respiratorischen Kapazität sowohl der Atem- als auch der peripheren Muskulatur höhere Laktatwerte erwartet werden würden. Es werden die eingeschränkte anaerobe Kapazität, der schlechte Ernährungszustand und die verminderte Muskelmasse der Zystischen Fibrose-Patienten als Ursachen vermutet [40]. Auch im Zusammenhang mit Myopathien stellte sich heraus, dass bei Glykogenosen ein Laktatanstieg trotz hochintensiver Belastung ausbleibt [41]. Auch bei der McArdle-Krankheit, wobei es sich um eine Glykogenspeicherkrankheit handelt, tritt dieses Phänomen auf [42]. In den Studien wird davon ausgegangen, dass die Glykolyse aufgrund eines inadäquaten Glykogenvorrats nicht im ausreichenden Maße ablaufen kann.

Mit dem Hintergrundwissen aus Kapitel 1.1.1 ist nun zu überlegen, ob es bei erkrankten Probanden zu einer Verringerung der Laktatproduktion u. a. durch einen geringeren

Glykogenvorrat kommt oder ob die Umverteilung des Laktats bei erkrankten Probanden besser erfolgen kann als bei gesunden Probanden. Diese Fragestellung könnte in einer fortführenden Studie geklärt werden.

Mit den oben aufgezählten Erkenntnissen könnten die Ergebnisse eines Stufentests bei erkrankten Probanden bzw. bei einer (Vor-)Erkrankung unzutreffend bzw. unvergleichbar werden, da bei Erkrankungen der Laktatspiegel sinkt, bei der Laktatverlaufskurve folglich eine Rechtsverschiebung entsteht und der Proband somit als trainierter eingestuft werden würde, als er es tatsächlich wäre (vergleiche Abbildung 2, S. 17). Als Folge würde dem Sportler eine Trainingsempfehlung ausgehändigt werden, welche diesen eventuell physisch überfordern würde (vergleiche Tabelle 1, S. 32).

1.2 Verletzungen im Hockey

Hockeyverletzungen sind zahlreich und können ernsthafte Ausmaße annehmen [4, 43]. Die Verletzungsinzidenz im Hockey liegt im mittleren Bereich unter den Ballsportarten, nach Fuß-, Hand- und Basketball, jedoch vor Base-, Soft- und Volleyball [44]. Durchschnittlich erleidet eine Hockeyspielerin 0,6 Verletzungen pro Saison [45]. Dabei sind im Feldhockey ca. 25 % der Verletzungen auf den Bodenbelag zurückzuführen [45]. Diese exogene Ursache des Verletzungsrisikos ist eingrenzbare, indem eine Studie während der Hallensaison durchgeführt wird, wo der Boden eben ist [4, 6, 45].

Die gravierendsten Verletzungen werden durch den Aufprall von Ball oder Schläger auf den Spieler verursacht [4, 43]. Diese Verletzungen sind als hockeyspezifisch anzusehen. Daher sollten sie während eines Spiels untersucht werden [6, 45].

Da das Verletzungsrisiko im Spiel deutlich höher (bis zu 10-fach) als im Training liegt [5, 6, 43, 45], ist es notwendig, die Korrelationen der Verletzungen mit Blutlaktat während der Saison im Spiel zu untersuchen und nicht nur standardisierte Untersuchungen vor, beim oder nach dem Training bzw. im Labor durchzuführen [4, 46]. Hinzukommend sind die physiologischen Abläufe eines Spiels im Labor nur schwer nachahmbar [38].

Verletzungen können auch im Spielzeitverlauf betrachtet werden. In der Studie von Gabbett (2000) wurde festgestellt, dass Sportverletzungen im Rugby häufiger in der zweiten Halbzeit erfolgen [47]. Des Weiteren wurden auch mehr Verletzungen im zweiten Teil der Spielsaison beobachtet [27].

Astorino et al. (2004) zeigten, dass über die Saison die obere (10 %) wie auch die untere (14 %) Körperkraft signifikant abnehmen [48]. Dies könnte die Ursache dafür sein, dass es zu einem höheren Verletzungsrisiko kommt.

1.3 Zusammenhang von Blutlaktat mit Verletzungen

Da Hockey ein hochintensiv gespielter Sport ist, nimmt die Ermüdung kontinuierlich zu. Eine außerordentlich hohe körperliche Anstrengung behindert die korrekte Ausübung der technischen Sportfertigkeiten [49, 50]. Eine verstärkte Ermüdung zum Ende des Spiels hin [51], könnte mehr Verletzungen nach sich ziehen.

Diese verstärkte Ermüdung wurde auch schon mit einem höheren Blutlaktatwert in Zusammenhang gebracht [52]. Darüber hinaus wurde festgestellt, dass ein erhöhter Blutlaktatspiegel mit mehr Spielfehlern, ungenauerer Treffsicherheit und sich verschlechternder Körperbeherrschung verknüpft ist [49, 50, 52]. Dies könnte in einer Abnahme der kontraktiven Prozesse der Muskulatur durch höhere Blutlaktatwerte begründet liegen [26].

Durch einen Anstieg des Laktats soll es zu einer Herabsetzung der Glykolyse-Geschwindigkeit kommen. Dadurch kann weniger ATP zur Verfügung gestellt werden, wodurch weniger Leistung möglich ist [9].

Im Rugby wurden von Gabbett (2000-2005) mehrere Studien durchgeführt, um den Zusammenhang zwischen den physiologischen Parametern und der Verletzungsrate aufzuzeigen [27, 47, 53]. Dabei wurde festgestellt, dass die Verletzungsrate anstieg, während auch die Spielklasse zunahm [27].

Es ist Forschung über verschiedene Sportarten erforderlich, um Strategien zur Verminderung der Verletzungsinzidenzen zu entwickeln. Die Umsetzung und die Bewertung der Effektivität von Verletzungspräventionsstrategien sind von der Identifizierung der Verletzungsrisikofaktoren abhängig. Dazu soll diese Studie ein Beitrag vom Hockeyspiel darstellen.

In vorangegangenen Studien wurde gefordert, dass Untersuchungen durchgeführt werden müssen, um die physiologischen Eigenschaften zu identifizieren, die zu Verletzungen führen könnten [4, 43]. Die vorliegende Arbeit befasst sich mit dem Parameter Blutlaktat.

1.4 Resultierende Hypothesen und Zielsetzungen

In vorangegangenen Studien wurde bereits die Leistungsdiagnostik untersucht, um wettkampfspezifische Leistungsprognosen zu erstellen [24, 28, 39, 54]. Jedoch wurde in diesen Studien außer Acht gelassen, was tatsächlich im eigentlichen Spielverlauf geschieht.

Außerdem wurden bereits Verletzungen im Laufe eines Hockeyspiels untersucht [3, 6, 45]. Jedoch wurden in diesen Untersuchungen keine Informationen über die physiologische Belastung gegeben bzw. eine Verbindung zu Blutlaktat hergestellt. Nach den Kenntnissen der Verfasserin wurde der physiologische Einfluss des Blutlaktats gegenüber Verletzungsinzidenzen bei Hallenhockeyspielerinnen bisher noch nicht untersucht.

Auf der Grundlage der Studienergebnisse, die in den Kapiteln 1.1.3, 1.1.4, 1.2 und 1.3 vorgestellt wurden, werden folgende Hypothesen aufgestellt:

- i) Das Verletzungsrisiko korreliert mit höheren Blutlaktatwerten.
- ii) (Vor-)Erkrankungen führen zu einem niedrigeren Ruheblutlaktatspiegel.
- iii) Es gibt mehr Verletzungen in der zweiten Halbzeit und in der zweiten Saisonhälfte.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, die Verletzungen, die während einer Hockey-Hallensaison im Spielverlauf auftreten, detailliert zu analysieren, mit Laktat und Vorerkrankungen zu korrelieren und daraus den bisherigen Wissensstand zu erweitern, indem Verbesserungen der Verletzungsprävention abgeleitet werden. Das Bestreben solcher präventiven Strategien wäre es, in einer Voruntersuchung Spieler zu identifizieren, welche potenziell zu Verletzungen führende Kriterien erfüllen.

2 Methodik

2.1 Studiendesign

Die vorliegende prospektive Studie wurde bei Hockeyspielerinnen des Berliner Hockey-Club e.V. (BHC) durchgeführt. Die Untersuchungen fanden im Rahmen der Hallenhockeysaison 2013/14 der ersten Damen-Bundesliga Deutschland Ost, im Zeitraum vom 05. Dezember 2013 bis zum 12. März 2014 statt. Nach Erhebung der demographischen Daten wie u. a. Alter, Körpergewicht und Körpergröße (siehe Anhang 6.1 Allgemeiner Fragebogen, S. 83 und Abbildung 3, S. 29), führten alle Probandinnen vor und nach der Saison einen stufenförmig ansteigenden Belastungstest auf der Laufbahn im Ernst-Reuter-Stadion, Berlin durch. Dessen Hauptaspekt diente der Registrierung von Laktat bei verschiedenen Belastungsstufen, jedoch noch ohne Einfluss durch Spielaktivitäten.

Außerdem wurden die Probandinnen vor den Spielen zu (Vor-)Erkrankungen befragt. Im Spiel wurden Verletzungen registriert und regelmäßig Laktat abgenommen (siehe Anhang 6.2 Fragebogen zu Erkrankung und Verletzungen, S. 83 und Abbildung 3, S. 29).

2.2 Probanden

Die Untersuchung wurde an zwölf Hockeyspielerinnen der ersten Bundesliga durchgeführt; davon waren zwei auch Spielerinnen der Damen-Nationalmannschaft Deutschlands.

Alle Probandinnen wurden in einem Vorgespräch über den Ablauf dieser Untersuchung sowie über mögliche Risiken und Nebenwirkungen, die mit der Teilnahme an dieser Studie verbunden waren, informiert. Es wurde die Anonymität der Daten garantiert. Den Probandinnen wurde freigestellt, zu jedem Zeitpunkt dieser Studie ihre Teilnahme zurückzuziehen. Es lag bei allen Studienteilnehmerinnen die schriftliche Einverständniserklärung zur Protokollierung der Ergebnisse vor.

Bei allen Probandinnen wurden mit Hilfe eines Fragebogens (siehe Anhang 6.1, S. 83) die demographischen Daten, die Hockeytrainingszeit sowie körperliche Einschränkungen erfasst. Dadurch wurde sichergestellt, dass die Studienteilnehmer frei von chronischen

gesundheitlichen Problemen waren, welche einen Studienausschluss nach sich gezogen hätte.

Die Torhüterin wurde von der Studie ausgeschlossen, da diese ohne viel Bewegung mit deutlich mehr Verletzungen durch die Gegner, den Ball oder den Schläger eine Sonderrolle einnimmt [3, 45]. Zudem wäre eine Laktatabnahme aus dem Ohrläppchen - durch den Helm - für den Spielfluss behindernd gewesen.

Die Zustimmung der Ethikkommission der Charité – Universitätsmedizin Berlin zur Durchführung dieser Studie liegt vor (Antragsnummer: EA1/357/13).

2.3 Versuchsaufbau

2.3.1 Allgemeine Darstellung des Versuchsaufbaus

Das Studiendesign wurde an die spielerischen Gegebenheiten dahingehend angepasst, dass pro Halbzeit nur vier Spielerinnen untersucht wurden. Es wurde sichergestellt, dass die Wettkämpfe der Bundesliga durch die Studie nicht beeinflusst wurden. Mit der vom BHC überwiegend angewandten Spieltaktik sollten in der ersten Halbzeit mit den Stürmerinnen ein schnelles Spiel und viele Tore erreicht werden. In der zweiten Halbzeit sollte mehr auf die Verteidigung des eigenen Tores geachtet werden. Schlussfolgernd wurden nach dem Ausschluss der Torhüterin die aktiven Spielteilnehmerinnen in zwei Gruppen gemäß ihrer Spielposition eingeteilt. In der ersten Halbzeit wurden deshalb die Stürmerinnen und in der zweiten Halbzeit die Verteidigerinnen in die Untersuchung einbezogen.

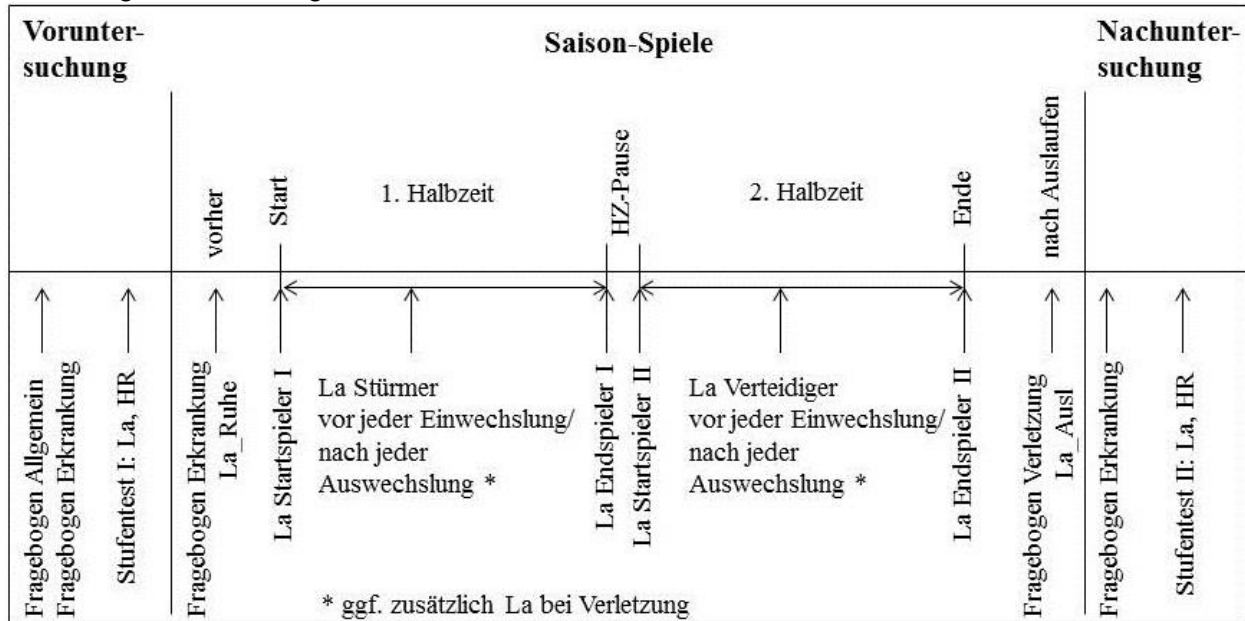
Die Spielerinnen wurden während der Hallensaison 2013/14 bei insgesamt acht Vorrundenspielen in ihrer Heimatstadt Berlin begleitet (genaue Spieldaten: 06./14./21./22. Dezember 2013 und 11./12./18./19. Januar 2014). Ausgeschlossen von der Studie wurden die auswärtigen Spiele sowie die Endspiele, da der Trainer als auch die Spielerinnen zu diesem Zeitpunkt keine Ablenkungen riskieren wollten.

Die Hallensaison wurde als Studienzeitpunkt gewählt, da somit eine Reihe exogener Faktoren ausgeschlossen werden konnten: Eine unebene Bodenbeschaffenheit und klimatische Umwelteinflüsse (z. B. Hitze oder hohe Luftfeuchtigkeit), welche im Organismus Elektrolytstörungen bewirken können [9], fielen so nicht ins Gewicht.

Die Blutlaktatkonzentration wurde aus kapillaren Blutproben aus dem Ohrläppchen zu bestimmten Zeitpunkten entnommen (siehe Abbildung 3, S. 29). Dieser Parameter wurde

als physiologischer Indikator der anaeroben Glykolyse während der körperlichen Bewegung ausgewählt.

Abbildung 3: Darstellung des Studienablaufes



HZ – Halbzeit, La – Blutlaktatwert, HR – Herzfrequenz, Ausl- nach dem Auslaufen

2.3.2 Stufentest

Die zwei Stufentests zur Vor- bzw. Nachuntersuchung dienten zur individuellen Einordnung der Laktatwerte während der Saison. Es wurde untersucht, ob die Laktatwerte über alle acht Spiele der Saison miteinander vergleichbar waren.

Die Athletinnen führten einen an Intensität stufenweise ansteigenden Lauftest auf einer 400-Meter-Bahn im Ernst-Reuter-Stadion durch. Die Vor- und Nachuntersuchung erfolgte immer zur gleichen Tageszeit, um diesen Einflussfaktor auszuschalten [13]. Während des Tests wurden vier Stufen von den Probandinnen durchlaufen. Mit dem vierten und letzten Durchgang wurden die Athleten zur vollständigen Erschöpfung gebracht und danach die maximale Herzfrequenz (HR_{max}) und der maximale Laktatwert (La_{max}) gemessen.

Der Ablauf des Stufentests wurde in Absprache mit dem Leistungsdiagnostiker Stefan Mücke standardisiert. Es wurden fünf Stufen durchlaufen, je Stufe drei Runden à 400 m (= 3 x 400 m = 1200 m). Die Geschwindigkeit nahm bis zur vierten Stufe zu: 1. Stufe: 2,5 m/s, 2. Stufe: 3,0 m/s, 3. Stufe: 3,5 m/s, 4. Stufe: 4,0 m/s. Die 5. Stufe mit 2,5 m/s diente zum Auslaufen, um dann das Laktat nach der Belastung zu ermitteln. Zwischen den

Stufen lag eine Pause von 60 s. Pro Lauf liefen jeweils zwei Gruppen à drei Personen. Zwischen Gruppe 1 und Gruppe 2 gab es eine Startverzögerung von 90 s.

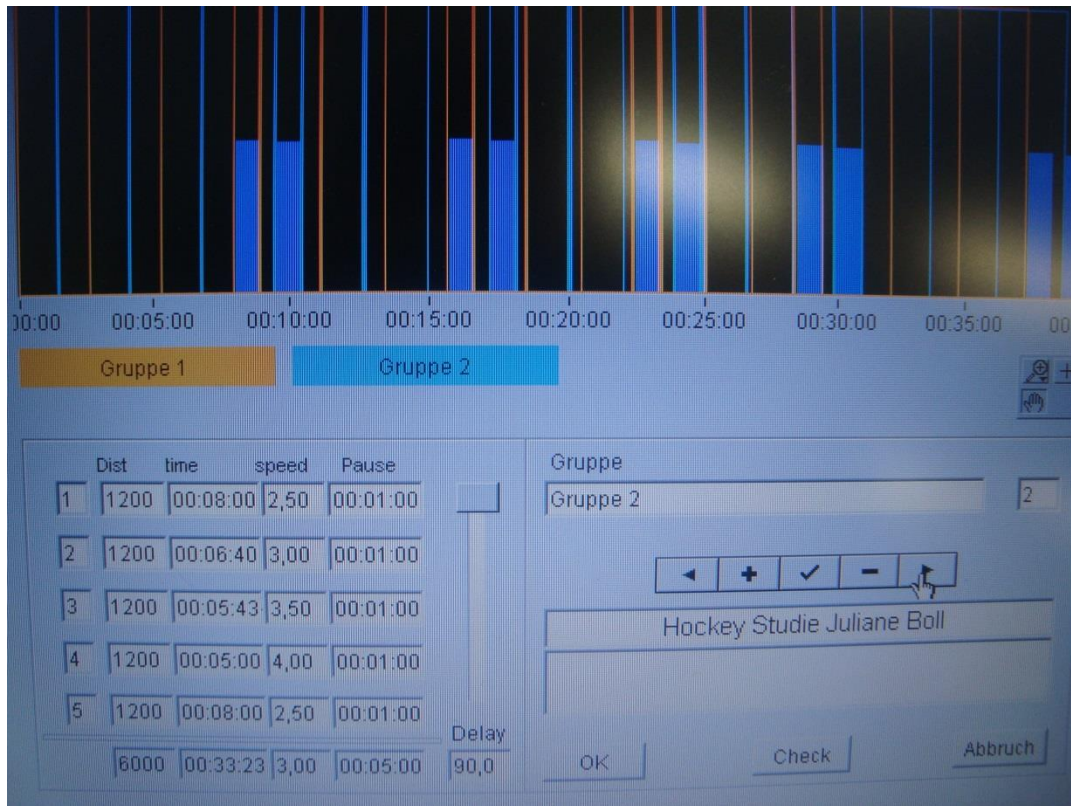


Abbildung 4: Programmierung des Laufs Gruppe 2 beim Stufentest

Die Laktatabnahme erfolgte aus dem Ohrläppchen zu folgenden Zeitpunkten des Stufentests: Zunächst erfolgte die Abnahme des Ruhelaktats vor dem Lauf und am Ende jeder Stufe während der 60 s-Pausen wurde erneut Blut abgenommen. Die Herzfrequenz wurde über eine Pulsuhr mit Pulsgurt gemessen: Der Ruhepuls wurde vor dem Lauf ermittelt und am Ende jeder Stufe während der 60 s-Pausen wurde die Herzfrequenz von der Pulsuhr abgelesen. Zwischendurch war kein Essen oder Trinken möglich und auch Bandagen waren nicht erlaubt, um die Werte nicht zu verfälschen.

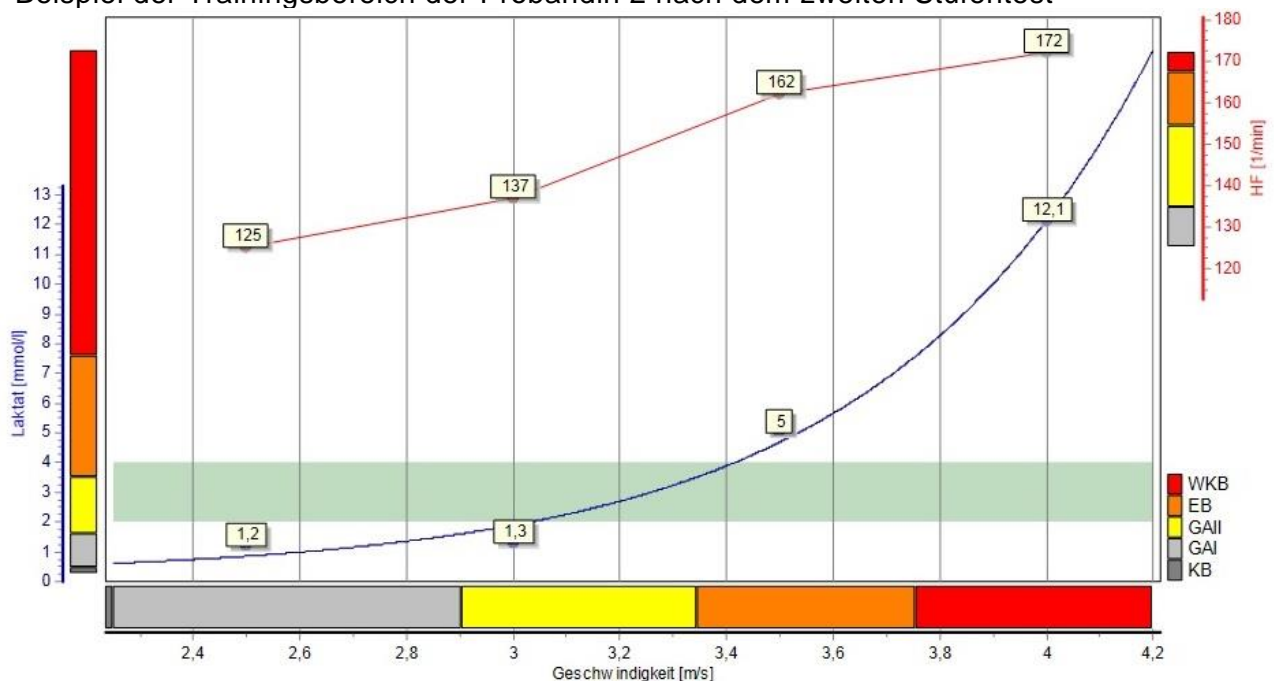
Um in jeder Stufe die entsprechende Laufgeschwindigkeit anzuzeigen, wurde ein so genanntes Pacergerät eingesetzt, welches mit Ton- und Lichtsignalen für zwei Gruppen arbeitet. Bei dem Gerät handelt es sich um die „FES – Mobile Paceranlage“: Der Computer mit dem Programm „FES PacerControl 5.0“ ist mit einem Signalgeber über eine serielle Schnittstelle (COM8 – USB Serial Port) verbunden und die Signalübertragung erfolgt per Antenne an die acht Taktgeber auf der Laufbahn. Die Aufstellung der Taktgeber auf der Laufbahn erfolgte wie folgt: Taktgeber (TG) 1: am Start,

TG 2: 50 m, TG 3: 100 m, TG 4: 150 m, TG 5: 200 m, TG 6: 250 m, TG 7: 300 m, TG 8: 350 m. Die Lichtsignale am Taktgeber wurden folgendermaßen zugeordnet: Gruppe 1: oben/grün, Gruppe 2: unten/rot.

Für die Auswertung der ermittelten Laktatwerte stand die Auswertungssoftware „SportMedNet“ des Zentrums für Sportmedizin, Berlin zur Verfügung. Dabei wurden die Laufgeschwindigkeiten zu den „Schwellen“-Werten Lactate 2 (Lac2, „aerobe Wert“), Lactate 3 (Lac3, „Übergangsbereich“), Lactate 4 (Lac4, dt. Bezeichnung als „Schwellenwert“) und Lactate 6 (Lac6, „anaerobe Wert“) nach dem Mader-Modell berechnet [12].

Die aus dem Stufentest ermittelten Blutlaktatwerte werden in der Leistungsdiagnostik herangezogen. Anhand der Blutlaktatwerte können Empfehlungen für das Training ermittelt werden. Als Beispiel für diese Leistungsdiagnostik werden im Folgenden die Werte der Probandin 2 zugrunde gelegt. In der folgenden Abbildung 5 sind für diese Probandin die einzelnen Trainingsbereiche und Laufgeschwindigkeiten anhand der Auswertung der Blutlaktatwerte aus dem zweiten Stufentest ersichtlich.

Abbildung 5: Trainingsempfehlungen mit verschiedenen Geschwindigkeitsbereichen, als Beispiel der Trainingsbereich der Probandin 2 nach dem zweiten Stufentest



KB - Kernbereich (= regeneratives Training), GA – Grundlagenausdauer (I-extensiv, II-intensiv), EB – Entwicklungsbereich, WKB – Wettkampfbereich

In der Tabelle 1, S. 32 werden für die Probandin 2 die Korrelationen zwischen Laktat und Trainingsbereichen bzw. Geschwindigkeiten in systematischer Form dargestellt.

Tabelle 1: Empfehlung der Trainingsgeschwindigkeit, hier am Bsp. der Probandin 2 nach dem zweiten Stufentest, aus Abb. 5 entstehend

Trainingsbereiche				
	v [m/s]	v [km/h]	rel. Zt. [min/km]	HR [1/min]
Lactat 2	3,03	10,91	05:30	138
Lactat 3	3,26	11,73	05:07	150
Lactat 4	3,41	12,29	04:53	158
Lactat 6	3,63	13,07	04:35	165

v – Geschwindigkeit, rel. Zt – relative Zeit, HR - Herzfrequenz

Nach diesen Ergebnissen sollte Probandin 2 nach dem zweiten Stufentest laut Lactat 2 und 3 die Ausdauer bei einer Geschwindigkeit von ca. 11 km/h und einer Herzfrequenz um die 140 Herzschläge/min trainieren. Der Sprinttrainingsbereich ist jedoch durch Lactat 6 bei ca. 13 km/h und einer maximalen Herzfrequenz von 165 Herzschlägen/min angesetzt.

2.3.3 Spielablauf

Um die Verletzungen den Saisonhälften zuteilen zu können, wurden die acht begleiteten Spiele in zwei Gruppen eingeteilt: die erste Saisonhälfte, welche aus den ersten vier Spielen (Spiel 1 - 4) bestand, erstreckte sich vom 06. Dezember 2013 bis zum 22. Dezember 2013. Die zweite Hälfte der Saison fand zwischen dem 11. Januar 2014 und dem 19. Januar 2014 (Spiel 5 - 8) statt.

Jedes Spiel wird in zwei Halbzeiten à 30 Minuten ausgetragen, unterbrochen durch eine 10-minütige Halbzeitpause (siehe Abbildung 3, S. 29). Durch Spielunterbrechungen aufgrund von Fehlern, Verletzungen oder Trainer-Auszeiten kann die Spieldauer um einige Minuten Nachspielzeit verlängert sein. Hallenhockey wird durchschnittlich bei einer mittleren bis hohen Intensität mit kurzen hochintensiven Sprints, gefolgt von niedrigintensiven Phasen gespielt. Spiele sind u. a. durch wiederholte Sprints, schnelle Wechsel der Bewegungsrichtung und eine erhebliche Anzahl an Hockbewegungen zur Ballabwehr charakterisiert, welche jeweils einen bedeutenden Beitrag zur Muskelkontraktion beisteuern.

Die Hallenhockey-Saison wird im Winter ausgetragen. In dieser Jahreszeit sind mehr grippale Infekte zu verzeichnen.

Zusätzlich wurde von der neuen Spielregelung „Hockey5“ erwartet, dass das Spiel im Vergleich zum Vorherigen einen Zuwachs an technisch-taktischen Elementen erhält. Das hat insbesondere Auswirkungen auf die Schnelligkeit des Spielablaufs und der Ballpässe, welche hoch anspruchsvolle sportliche Fertigkeiten erfordern. Bei intensiver Muskelarbeit müsste Ermüdung während des Spieles aufkommen [26, 55].

2.3.4 Laktatanalyse

Die Blutlaktatkonzentration wurde aus dem arterialisierten Kapillarblut aus dem hyperämisierten Ohrläppchen (nach einer einmaligen 10-minütigen Einwirkzeit der Finalgon®-Salbe in Vorbereitung vor dem Spiel) mit einer End-zu-End-Kunststoff-Kapillare (20 µl, Natrium heparinisiert) zu verschiedenen Zeitpunkten gewonnen (siehe Abbildung 3, S. 29). Standardisiert erfolgte die erste Blutentnahme nachdem die Spielerinnen für zehn Minuten ruhen mussten, welche zur Ermittlung des „Ruhewertes“ diente. Weitere Entnahmen erfolgten nach der Erwärmung direkt vor dem Spielbeginn (bezeichnet als „Wert der Startspielerinnen“), sowie am Ende der ersten Halbzeit, nach der Halbzeitpause vor Beginn der zweiten Halbzeit und am Ende der zweiten Halbzeit. Zur Blutabnahme wurde ca. eine Minute benötigt, das heißt innerhalb der Zeit aus der vergleichenden Literatur (bis zu drei Minuten) [32]. Außerdem wurde allen Spielerinnen zehn Minuten nach Spielende - nach dem letzten Auslaufen - noch einmal eine Probe entnommen (bezeichnet als „Wert nach Belastung“). In den beiden Halbzeiten wurde das Blutlaktat von den jeweiligen Spielerinnen bei jeder Ein- bzw. Auswechslung analysiert. Zur Blutentnahme wurden vom hyperämisierten Ohrläppchen mit einem Tupfer Schweiß und die Finalgon®-Salbe entfernt, mit einer Lanzette punktiert, der erste Tropfen verworfen und 0,02 ml Kapillarblut in einer 0,02 ml fassenden End-zu-End-Glaskapillare gewonnen. Die Probe wurde in 1 ml Kalium-EDTA und Natriumfluorid (Fa. EKF-Diagnostic) hämolysiert und direkt nach Versuchsende analysiert. Die Bestimmung der kapillären Blutlaktatwerte erfolgte nach Testende bei Raumtemperatur und wurde für eventuelle Nachkontrollen für eine Woche im Kühlschrank aufbewahrt. Analysiert wurden die Proben vom Messgerät „Biosen S_line lab“ der Firma EKF-Diagnostic. Es können maximal 42 Proben in einem Zyklus untersucht werden. Das Gerät arbeitet nach dem

enzymatisch-amperometrischen Messprinzip mittels einer Enzymmembran, einer Platinelektrode sowie dem Enzym Laktatoxidase als Katalysator. Zur Messung der Laktatkonzentration werden automatisch 200 µl Probenlösung in eine Messzelle gesaugt. Bei jeder Probandin wurde vor der Analyse das Gerät mit einer Standardlösung kalibriert und mithilfe des Kontrollserums „EasyConNorm“ überprüft.



Abbildung 6: Messgerät „Biosen S_line lab“ zur Laktatbestimmung, Firma EKF-Diagnostic. Eigene Darstellung.

Die Ergebnisse wurden nach Datum, Uhrzeit, Spielnummer, Spielposition und Laktatwert in mmol/l angegeben, wobei die Laktatergebnisse bei $\geq 0,05$ aufgerundet und $\leq 0,04$ abgerundet wurden.

2.3.5 Fragebogen zu Erkrankungen und Sportverletzungen

Die Fragebögen enthielten geschlossene und offene Fragen. Antworten zu offenen Fragen wurden anschließend in Zahlenwerte umgewandelt, um diese in der weiteren statistischen Auswertung zu analysieren [56].

Die (Vor-)Erkrankungen wurden für die hier zugrunde liegende Studie wie folgt definiert: „Ist die Spielerin zum Zeitpunkt des Spieltages erkrankt oder war sie im Laufe der letzten

sieben Tage krank gewesen?“. Im Anhang unter 6.1, S. 83 und 6.2, S. 83 sind die jeweiligen Fragebögen beigefügt.

2.4 Zuverlässigkeit der Messergebnisse

Um die Validität der Messungen zu überprüfen, wurden die Laktatmessungen durch das Messgerät „Biosen S_line lab“ der Firma EKF-Diagnostic jeweils zweimal durchgeführt und die Eingaben der Daten wurden vor der statistischen Analyse erneut geprüft.

2.5 Statistische Analysen

Die Daten der Gesamtstichprobe der Laktatwerte sowie die Daten jeder einzelnen Spielerin über die Gesamtheit der Spiele wurden mit Hilfe des Kolmogorov-Smirnow-Tests auf Normalverteilung geprüft [56]. Aufgrund der geringen Stichprobengröße ($n = 12$) erfolgte der Test auf Normalverteilung der demographischen Daten Alter, Körpergröße, Körpergewicht und BMI mit dem Shapiro-Wilk-Test für kleine Stichproben ($n < 50$) [57].

Der BMI wurde aus dem Körpergewicht und der Körpergröße: $BMI = \text{Körpergewicht [in kg]} / \text{Körpergröße [in cm]}^2$ ermittelt.

Für die deskriptive Statistik wurden die Mittelwerte und die zugehörigen Standardabweichungen berechnet, sowie die Spannweiten als Minimal- und Maximalwerte der Daten angegeben.

Der Vergleich von Mittelwerten nicht normalverteilter, unverbundener Stichproben wurden im t-Test geprüft [56].

Um die Korrelation von zwei Variablen zu ermitteln, wurde eine Regressionsanalyse durchgeführt. Daraufhin wurde berechnet, ob der Korrelationskoeffizient r nach Pearson verschieden von 0 ist [56].

Zur Prüfung der Gruppen unverbundener und kategorialer Variablen wurde der Chi²-Test angewandt. Daraufhin wurden die Variablen auch im Fisher-Exakt-Test geprüft, welcher für geringe Fallzahlen, mit einer zu erwarteten Häufigkeit von < 5 , geeigneter ist [56].

Als signifikant wurde ein p-Wert von weniger als 0,05 bewertet, um die Nullhypothese zu verwerfen.

Die statistische Datenanalyse erfolgte mit dem Programm SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) für Windows 22.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) und SAS (Statistical Analysis System) enterprise guide Version 4.3 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) für Windows.

3 Ergebnisse

3.1 Demographische Daten

Zur Charakterisierung des Probandenkollektivs sind in der nachfolgenden Tabelle 2 die demographischen Daten - die Mittelwerte, die Standardabweichungen (SD) sowie die Spannweiten der Messwerte - zusammengefasst. Im Durchschnitt lag das Alter der Probandinnen bei 24 Jahren und überspannte einen Bereich von 19 bis 32 Jahren.

Tabelle 2: Darstellung der demographischen Daten: Mittelwert \pm SD (sowie Minimal- und Maximalwert) der gesamten Stichprobe

	Probanden
	Weiblich n = 12
Alter [Jahre]	24,4 \pm 4,9 (19 – 32)
Körpergröße [cm]	169,75 \pm 4,37 (164 – 179)
Körpergewicht [kg]	62,5 \pm 4,0 (54 – 69)
BMI [kg/m²]	21,68 \pm 0,97 (20,08 – 23,23)

n- Anzahl der Probandinnen, SD – Standardabweichung, BMI: body mass index (Körpermassenindex)

Die Untersuchung des Alters, der Körpergröße, des Körpergewichts und des BMI anhand von Normalverteilungskurven für das Probandenkollektiv (n = 12) ergab, dass alle vier Parameter normal verteilt sind (Abbildungen sind nicht dargestellt).

3.2 Verteilung des Blutlaktats

3.2.1 Verteilung des Blutlaktats während der Saisonspiele

In Tabelle 3, S. 38 fällt auf, dass die Laktatwerte zur Auswechslung bei jeder Spielerin höher sind als zur Einwechslung. Im Mittel liegen die Laktatwerte bei der Einwechslung zwischen ca. 3 und 4 mmol/l und bei der Auswechslung zwischen 4,5 und 6,5 mmol/l.

Außerdem ist aus der Tabelle 3, S. 38 ersichtlich, dass in Spiel 4 und 7 im Mittelwert niedrigere Laktatwerte gemessen wurden als im Vergleich zu den anderen Spielen. Dies lässt sich auf die an diesen Spieltagen schwächeren Gegner zurückführen (Spielergebnisse, Spiel 4: 8:2; Spiel 7: 12:3). Dem stehen im Spiel 1 und 6 sehr hohe

Laktatwerte gegenüber, was u. a. damit korreliert, dass der jeweilige Gegner in diesen Spielen deutlich stärker war und die Spielerinnen eine höhere Leistung erzielen mussten (Spielergebnisse, Spiel 1: 13:5; Spiel 6: 1:5).

Tabelle 3: Mittelwerte und Standardabweichung der Laktatwerte aller Spielerinnen von allen Spielen bei der Ein- und Auswechslung in [mmol/l]

Spielerin	1 (n = 44)				2 (n = 79)				3 (n = 70)			
	Ein		Aus		Ein		Aus		Ein		Aus	
Spiel	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD
1	4,38	0,71	6,20	0,64	2,60	1,41	5,36	1,03	5,73	2,39	7,45	0,76
2	3,67	1,68	4,80	1,38	2,60	0,77	4,32	0,63	5,10	2,45	7,86	1,07
3	3,75	0,55	5,57	0,57	2,85	1,45	5,38	0,47	3,35	1,25	6,08	0,85
4	-	-	-	-	2,53	1,21	4,77	0,81	2,76	1,04	4,40	0,45
5	5,40	1,23	6,98	0,51	1,85	0,74	3,65	1,81	-	-	-	-
6	-	-	-	-	2,50	0,50	4,17	0,39	5,50	1,95	6,45	1,69
7	3,73	1,82	5,80	2,42	1,48	0,33	2,58	0,37	3,17	1,67	4,78	1,61
8	-	-	-	-	3,18	1,72	6,00	1,12	3,37	1,50	5,60	1,03
MW	4,19	1,20	5,87	1,10	2,45	1,02	4,53	0,83	4,14	1,75	6,09	1,07

Spielerin	4 (n = 61)				5 (n = 68)				6 (n = 19)			
	Ein		Aus		Ein		Aus		Ein		Aus	
Spiel	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD
1	3,23	1,62	5,60	1,02	4,48	2,88	6,83	3,56	-	-	-	-
2	2,24	0,83	4,18	0,71	3,20	1,31	4,26	0,85	-	-	-	-
3	3,00	2,27	4,98	1,80	3,48	2,01	5,70	1,39	-	-	-	-
4	1,33	0,40	3,08	1,42	3,60	2,01	4,80	2,27	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	-	-	5,47	2,81	8,15	1,00
6	2,75	0,78	4,38	0,85	4,77	2,61	8,13	0,46	-	-	-	-
7	-	-	-	-	2,45	1,83	4,63	1,93	3,15	1,90	6,25	1,82
8	2,75	0,05	5,17	0,24	2,33	0,98	3,87	1,08	-	-	-	-
MW	2,55	0,99	4,57	1,01	3,47	1,95	5,46	1,65	4,31	2,36	7,20	1,41

Spielerin	7 (n = 44)				8 (n = 46)				9 (n = 58)			
	Ein		Aus		Ein		Aus		Ein		Aus	
Spiel	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD
1	4,50	1,91	6,78	1,03	-	-	-	-	-	-	-	-
2	4,16	1,91	7,72	0,85	3,80	1,96	5,38	0,91	-	-	-	-
3	2,68	1,08	4,70	0,88	-	-	-	-	5,50	0,22	6,30	0,45
4	3,60	2,01	4,80	2,27	4,53	2,38	6,30	1,43	2,47	1,30	3,35	1,15
5	-	-	-	-	4,40	1,85	5,93	0,43	2,53	1,18	3,98	0,31
6	-	-	-	-	3,53	1,61	6,93	1,30	3,60	1,70	6,56	0,85
7	-	-	-	-	-	-	-	-	1,70	0,74	2,75	0,58
8	-	-	-	-	3,30	1,31	4,53	1,11	2,25	1,40	5,54	2,01
MW	3,74	1,73	6,00	1,26	3,91	1,82	5,81	1,04	3,01	1,09	4,75	0,89

Spielerin	10 (n = 91)				11 (n = 56)				12 (n = 35)				Gesamt (n = 671)	
Ein-/Auswechslung	Ein		Aus		Ein		Aus		Ein		Aus		Ein	Aus
Spiel	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	MW
1	3,95	2,22	7,40	1,52	6,03	2,13	7,12	2,08	-	-	-	-	4,36	6,59
2	4,98	2,02	7,67	1,19	4,60	1,53	6,98	2,12	-	-	-	-	3,82	5,91
3	5,54	2,32	7,97	1,16	-	-	-	-	-	-	-	-	3,77	5,84
4	2,63	1,50	4,85	1,44	-	-	-	-	3,63	0,19	4,50	0,41	3,01	4,54
5	3,20	1,40	5,58	0,19	5,70	3,00	8,63	0,53	3,93	1,09	6,13	0,93	4,06	6,13
6	5,52	2,24	7,63	1,09	4,35	0,15	5,13	1,11	-	-	-	-	4,07	6,17
7	5,43	3,01	6,98	1,64	3,00	1,30	3,90	1,33	4,47	1,67	6,70	1,28	3,18	4,93
8	3,58	1,01	5,92	1,04	2,85	0,15	5,47	0,87	2,35	0,93	4,80	1,45	2,88	5,21
MW	4,35	1,97	6,75	1,16	4,42	1,38	6,21	1,34	3,60	0,97	5,53	1,02	3,64	5,67

n – Anzahl der Laktatwerte, Ein – Einwechslung, Aus – Auswechslung, MW - Mittelwert, SD - Standardabweichung, '-': keine Werte, da das Spiel nicht gespielt wurde

Entscheidenden Einfluss auf die Mittelwerte der gesamten Laktatwerte haben Spielerinnen 2 und 10, da sie an allen acht gemessenen Saisonspielen teilgenommen haben.

Dem gegenüber stehen die Spielerinnen 6, 7 und 12 mit nur vier oder weniger gespielten Saisonspielen. Für sie wurden weniger Laktatwerte gemessen, welche in die Ergebnisse einfließen.

Die Laktatverteilung aller Spielerinnen während der acht Spiele ist anhand des Histogramms (Abbildung 7) für alle Laktatmessungen (n = 671) dargestellt.

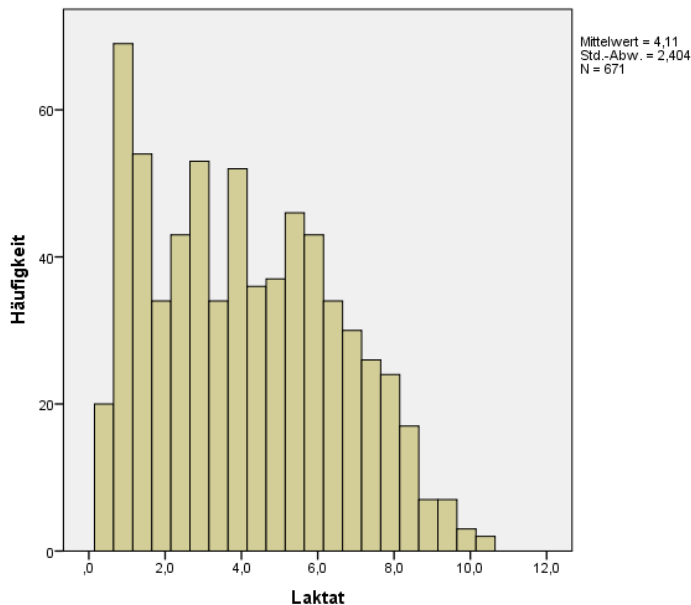


Abbildung 7: Verteilung der Laktatwerte für alle Spielerinnen in den acht Spielen

Obwohl auch die „Ruhewerte“ und Werte nach dem Auslaufen mit einfließen, ist aus der Abbildung 7 grundsätzlich ersichtlich, dass Hallenhockey in einer mittleren Intensität mit schnellen Sprints gespielt wird.

In den Abbildung 9 bis Abbildung 20 sind die Laktatverlaufskurven jeder einzelnen Spielerin über die gespielten Spiele dargestellt. In der entsprechenden Abbildung sind auch die Verletzungen und die Mittelwerte pro Spielminute über alle Spiele gekennzeichnet.

Die Legende zu den Laktatverlaufskurven der Spielerinnen während der jeweils gespielten Spiele findet sich in Abbildung 8, S. 40:

Abbildung 8: Farblegende der Spiele und Erklärung der Markierungen der Messzeitpunkte



HZ – Halbzeit, MW – Mittelwert

Bei gestrichelten Verbindungslinien zwischen zwei aufeinanderfolgenden Laktatwerten fehlt ein Zwischenwert während einer Ein- oder Auswechslung.

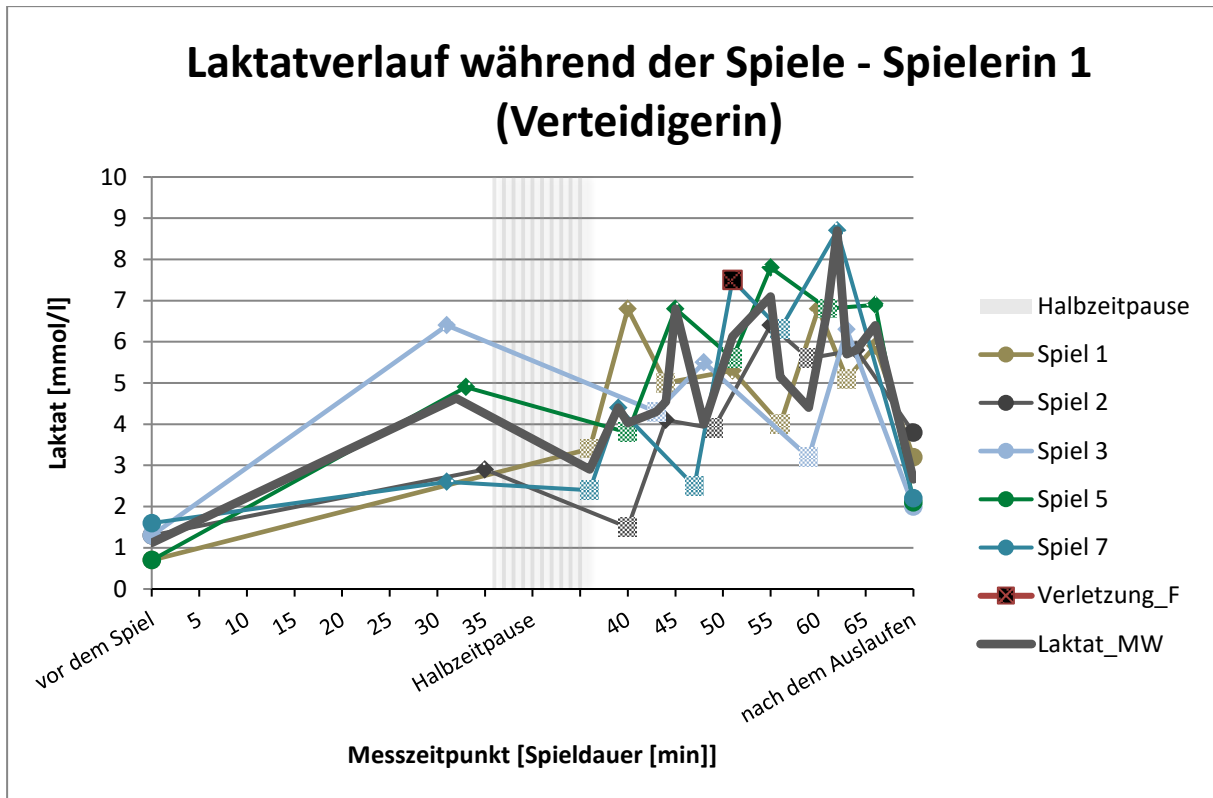


Abbildung 9: Laktat-Verlaufskurve Spielerin 1

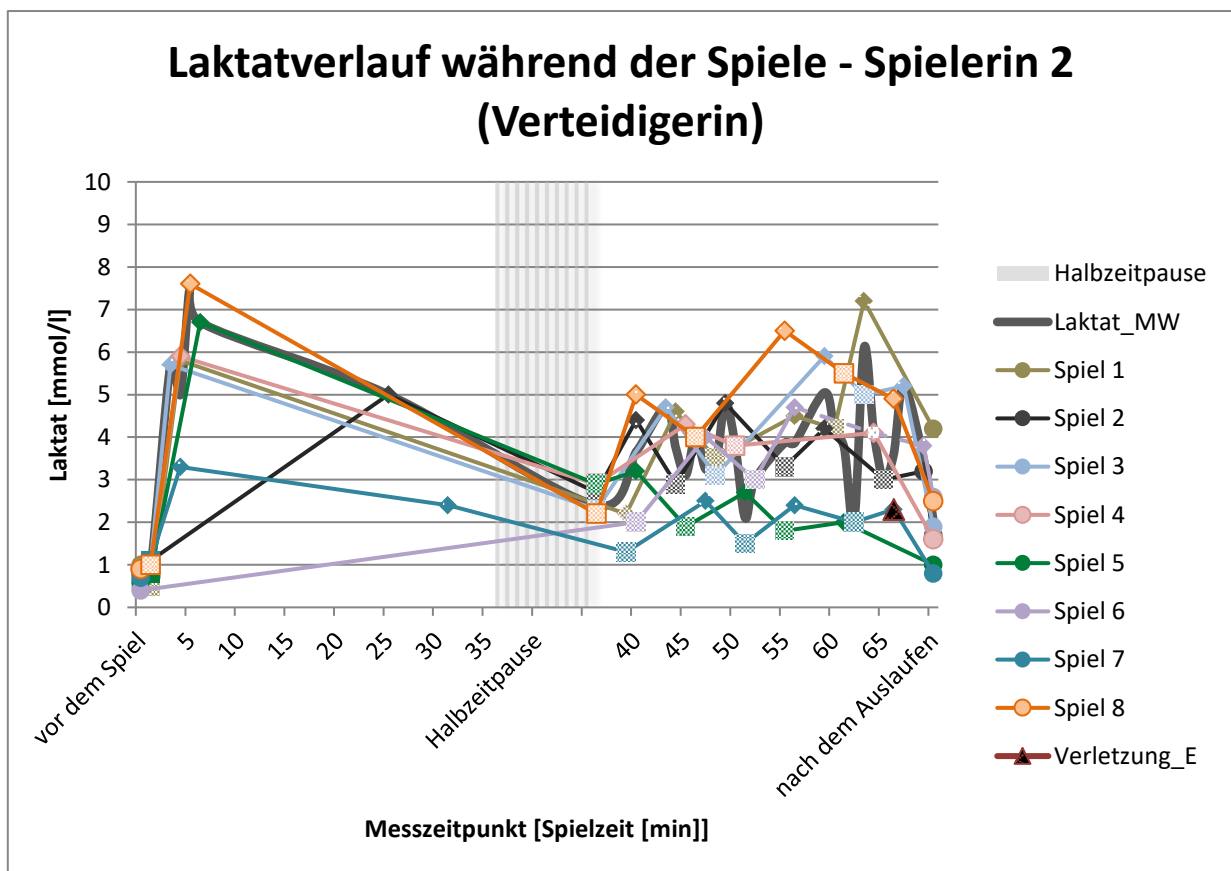


Abbildung 10: Laktat-Verlaufskurve Spielerin 2

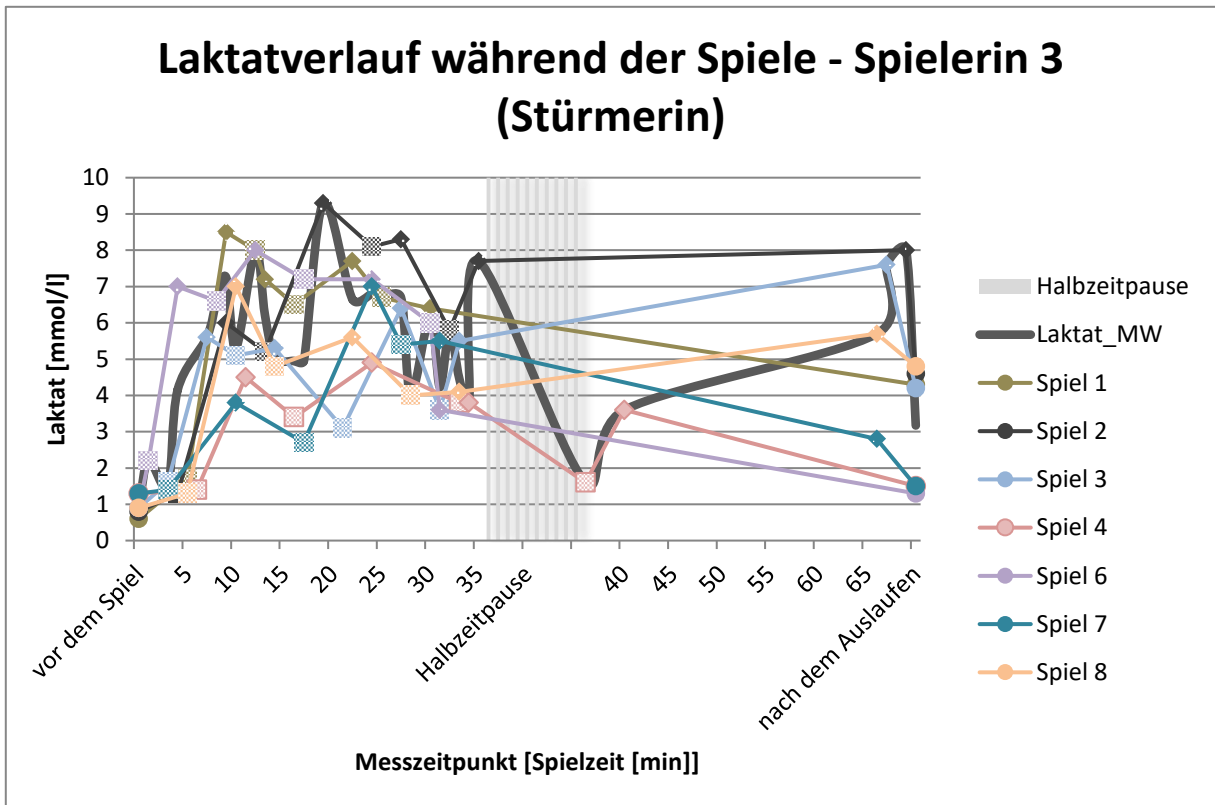


Abbildung 11: Laktat-Verlaufskurve Spielerin 3

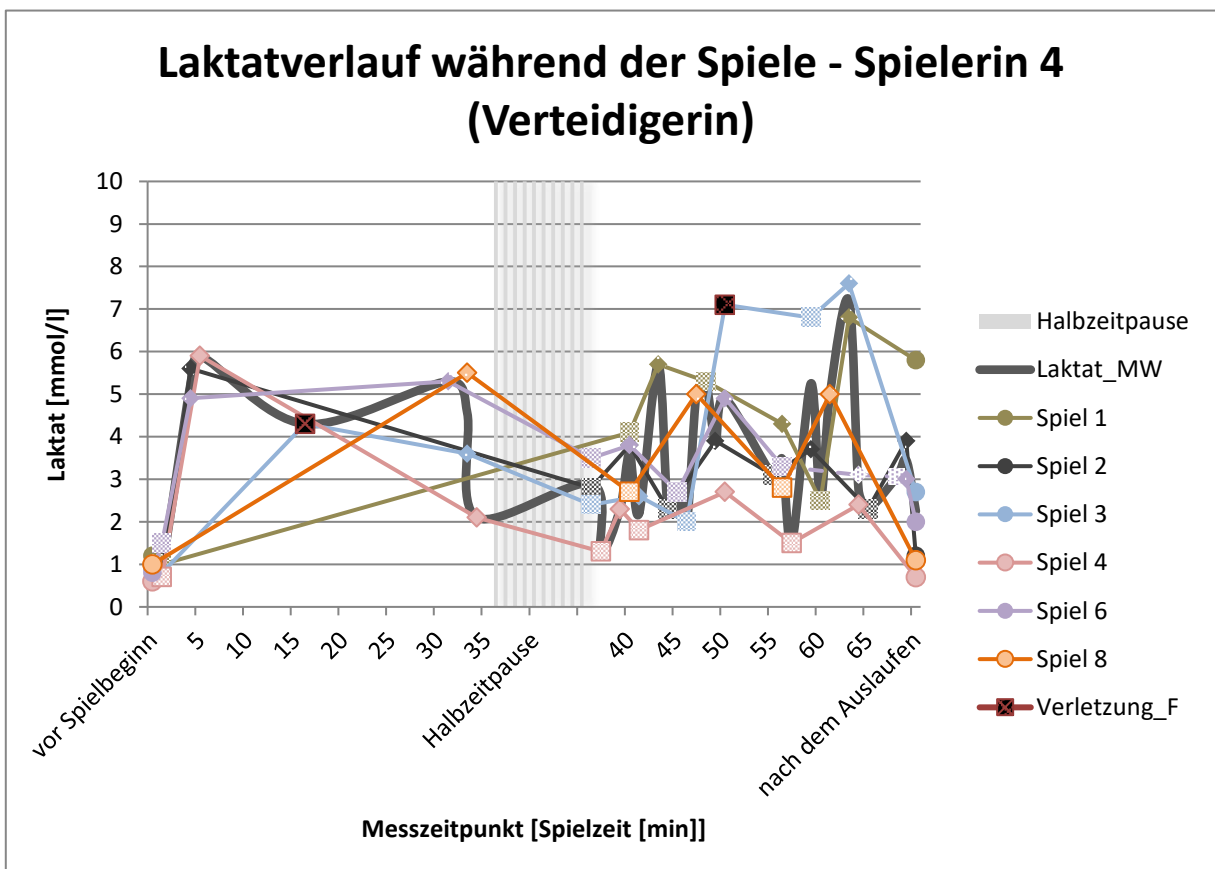


Abbildung 12: Laktat-Verlaufskurve Spielerin 4

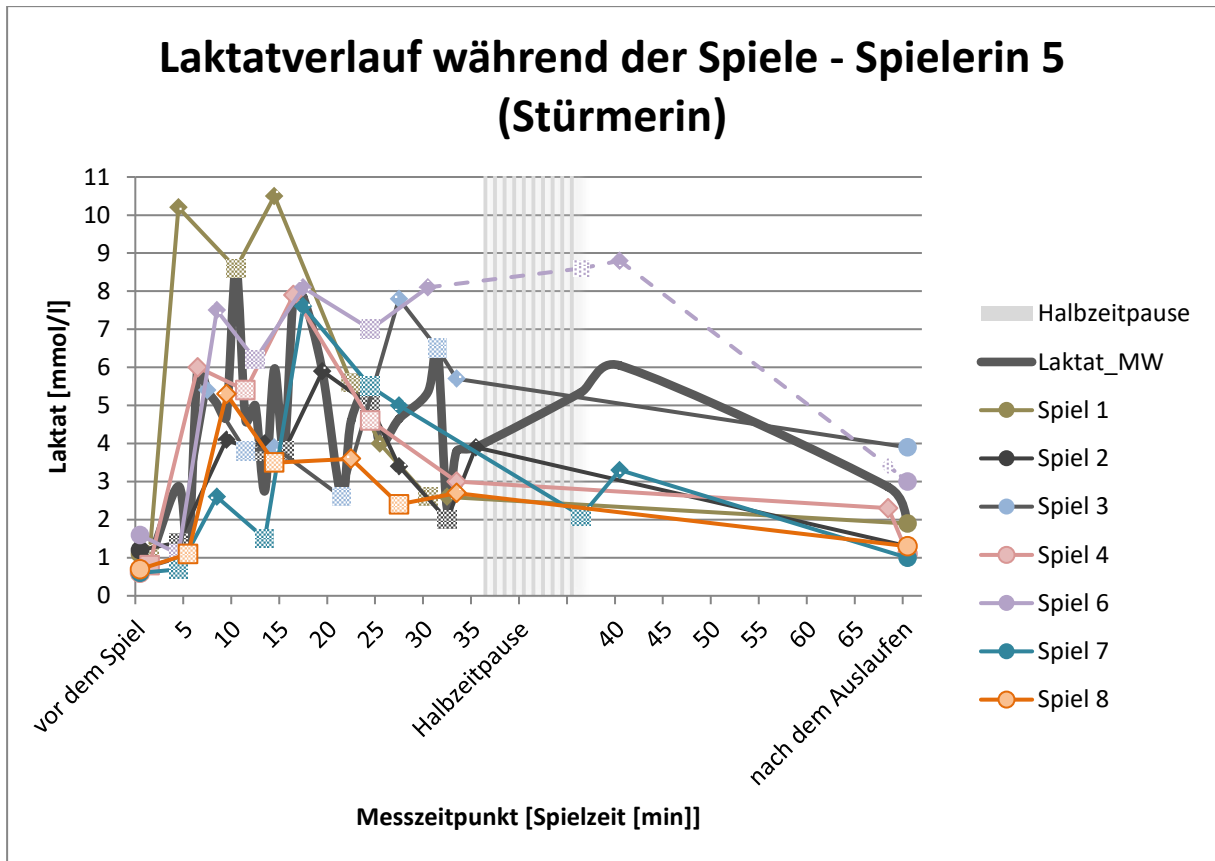


Abbildung 13: Laktat-Verlaufskurve Spielerin 5

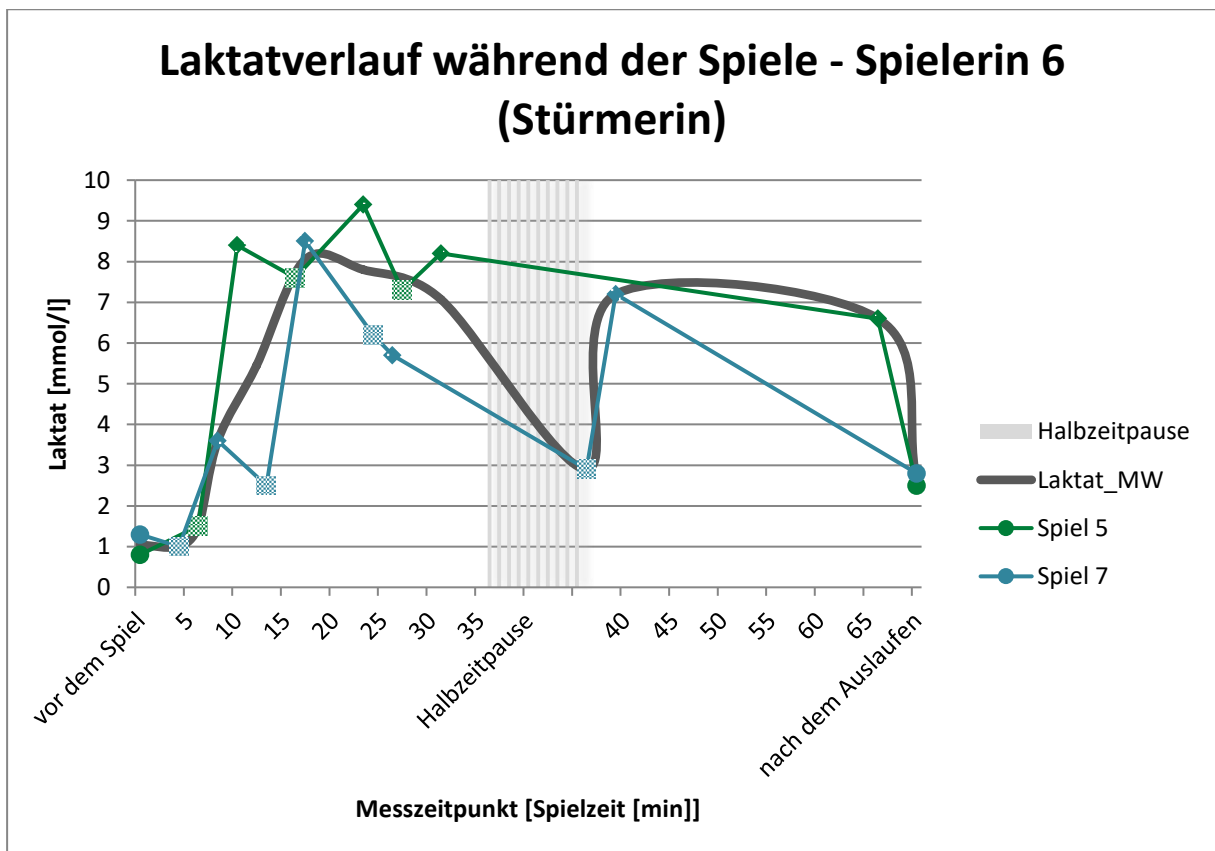


Abbildung 14: Laktat-Verlaufskurve Spielerin 6

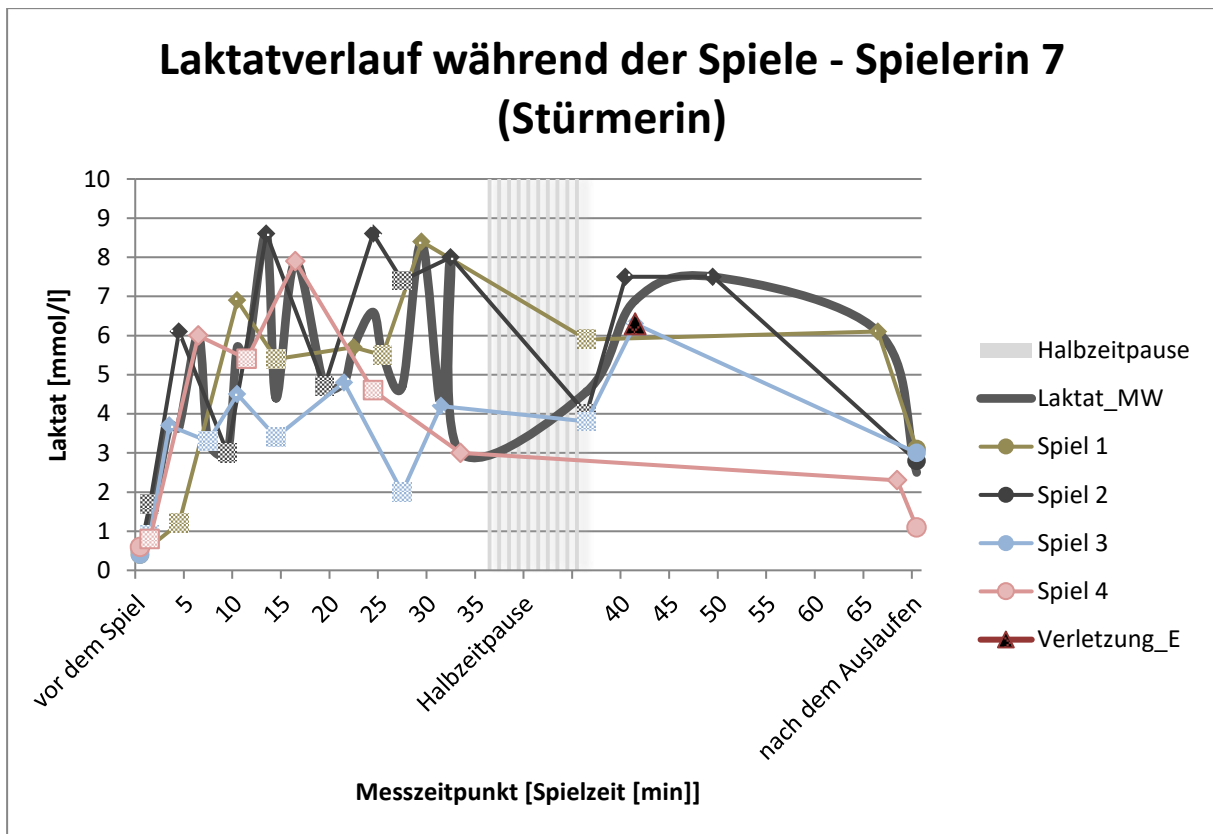


Abbildung 15: Laktat-Verlaufskurve Spielerin 7

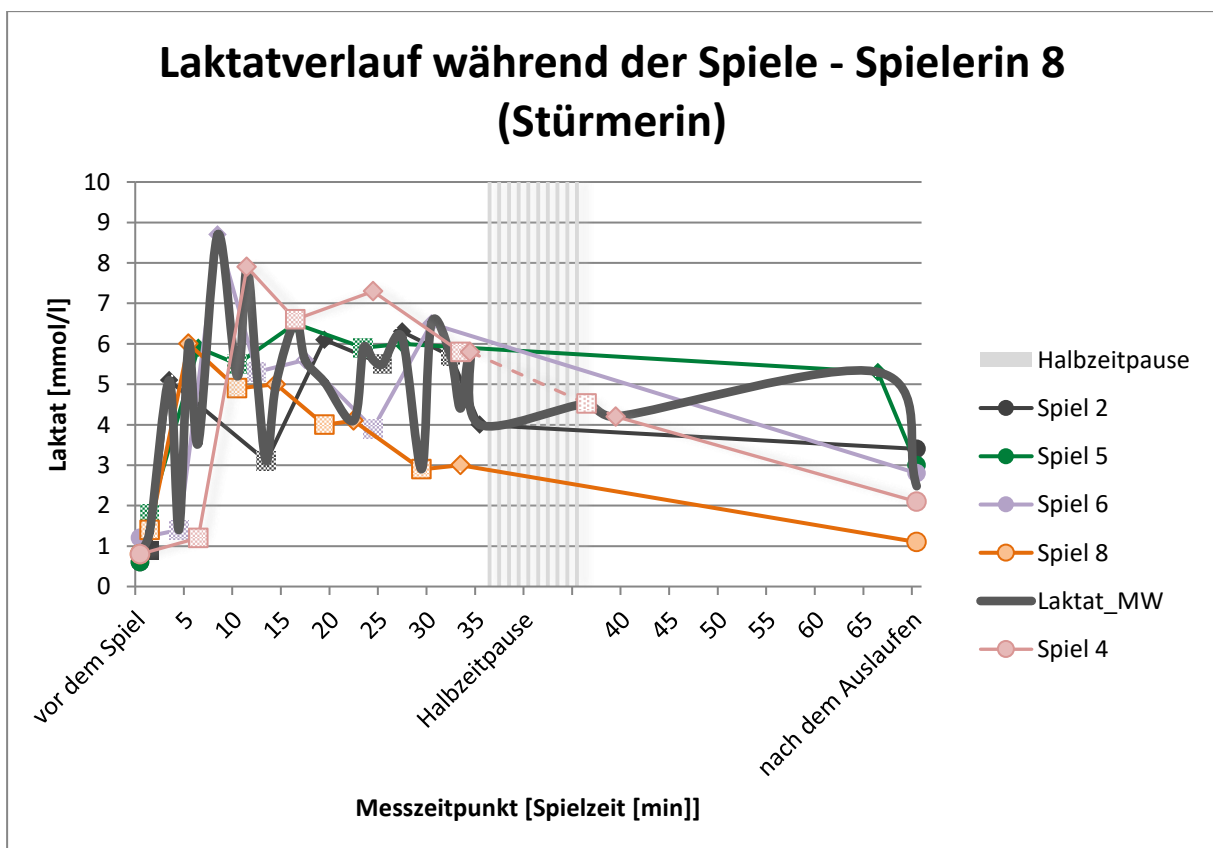


Abbildung 16: Laktat-Verlaufskurve Spielerin 8

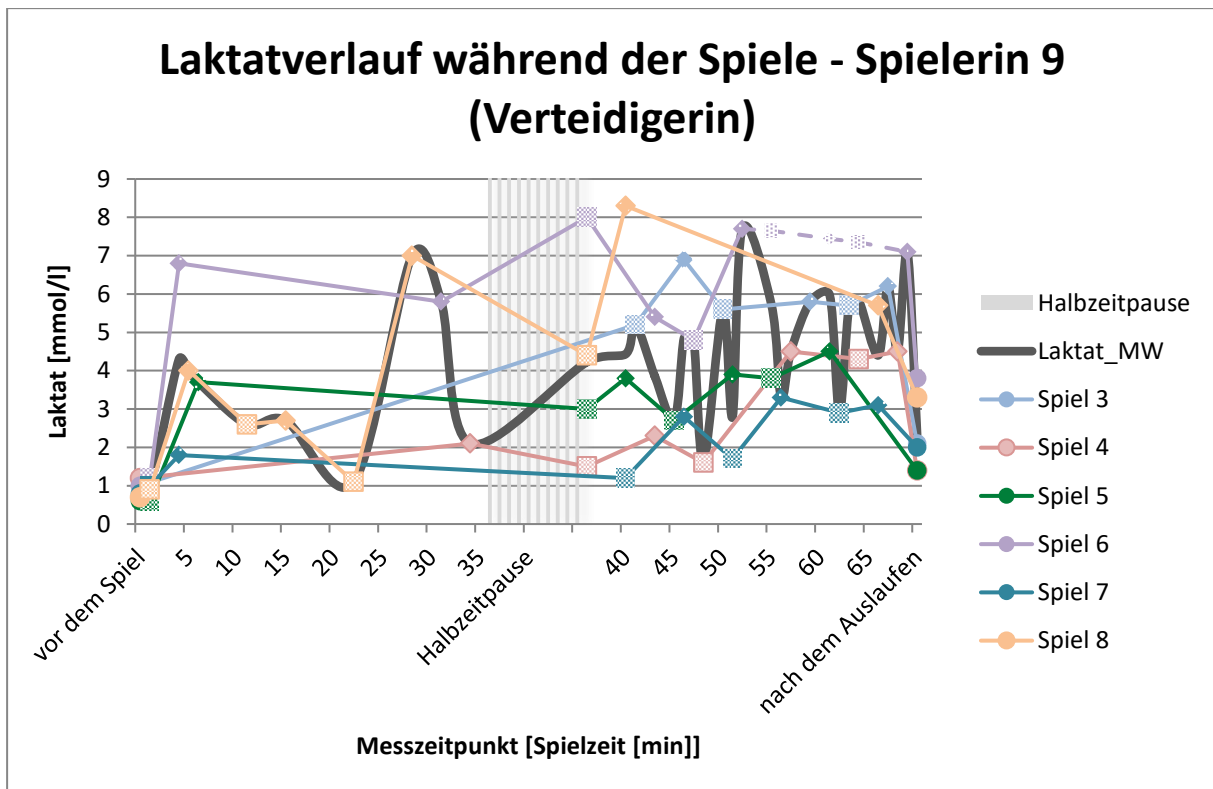


Abbildung 17: Laktat-Verlaufskurve Spielerin 9

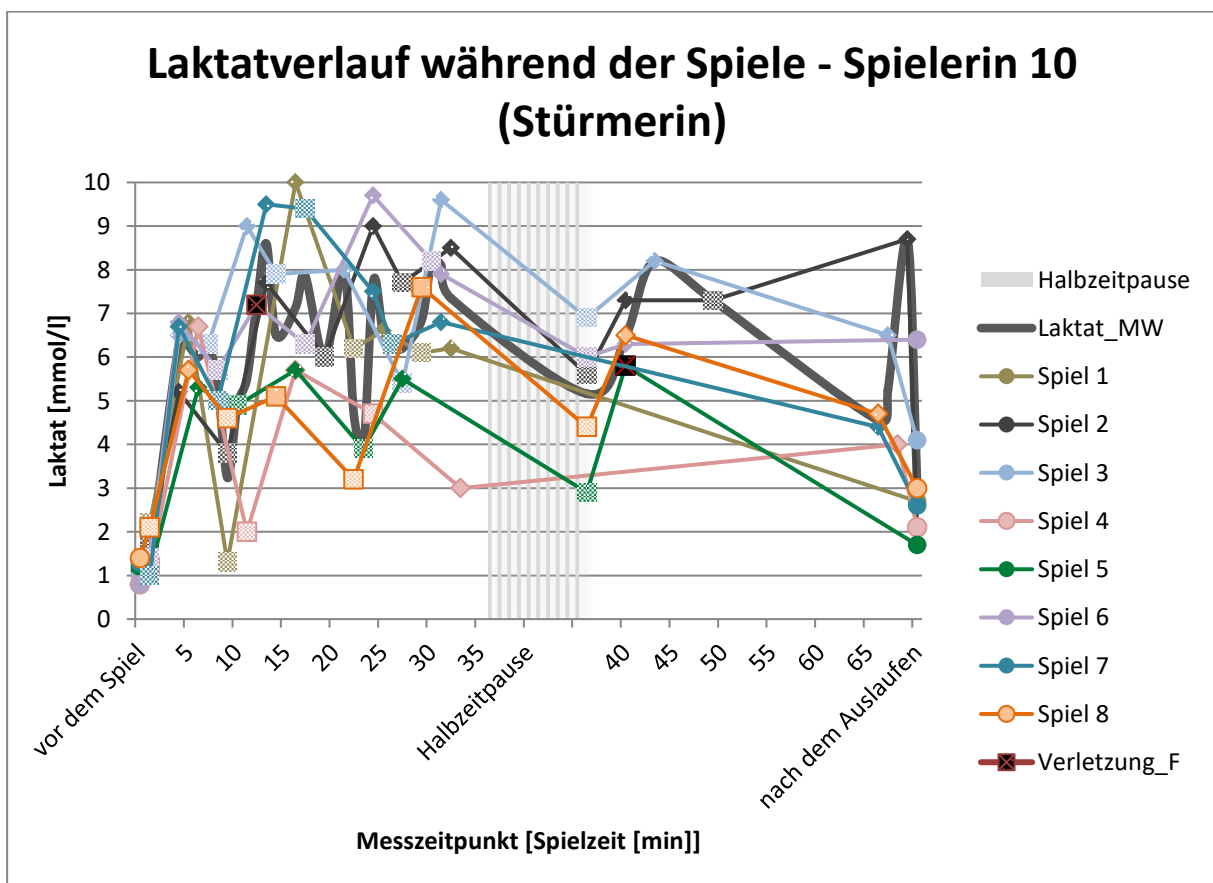


Abbildung 18: Laktat-Verlaufskurve Spielerin 10

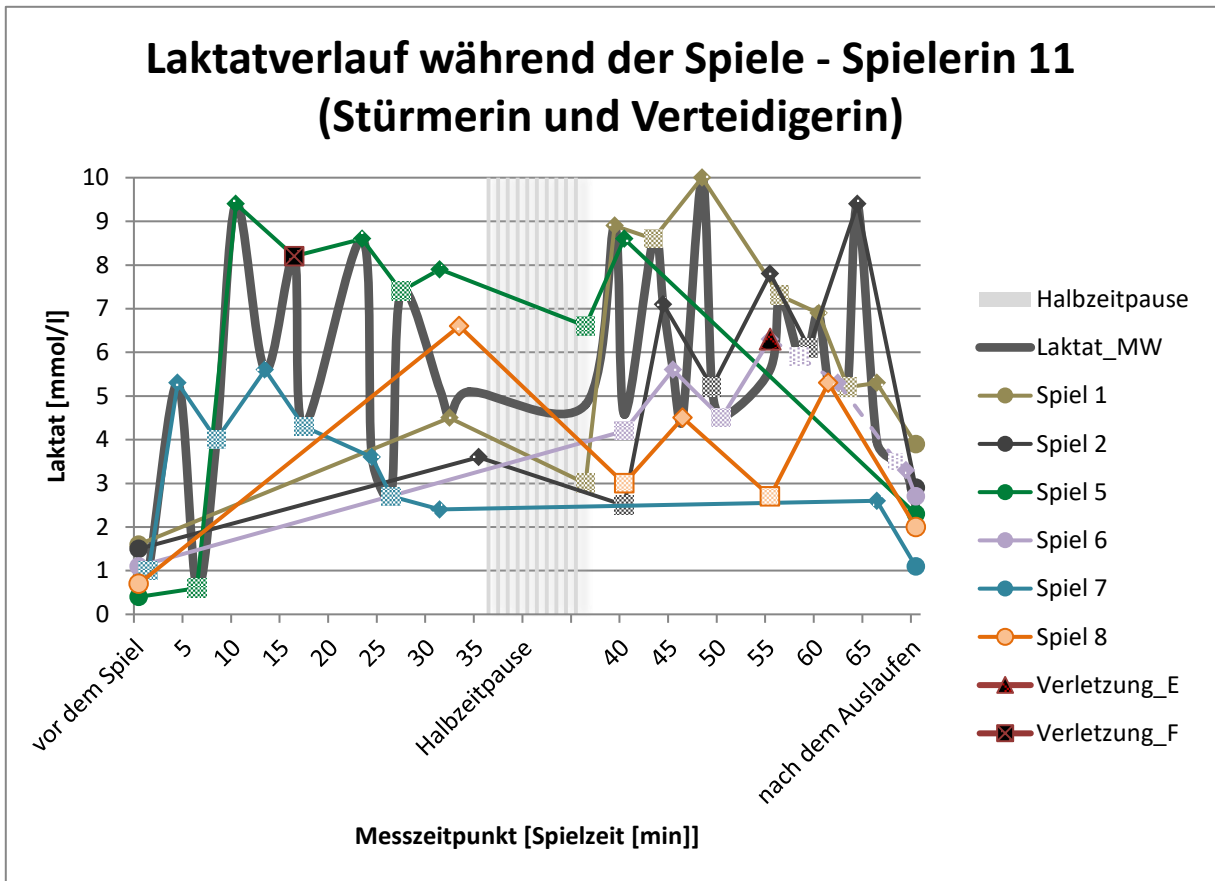


Abbildung 19: Laktat-Verlaufskurve Spielerin 11

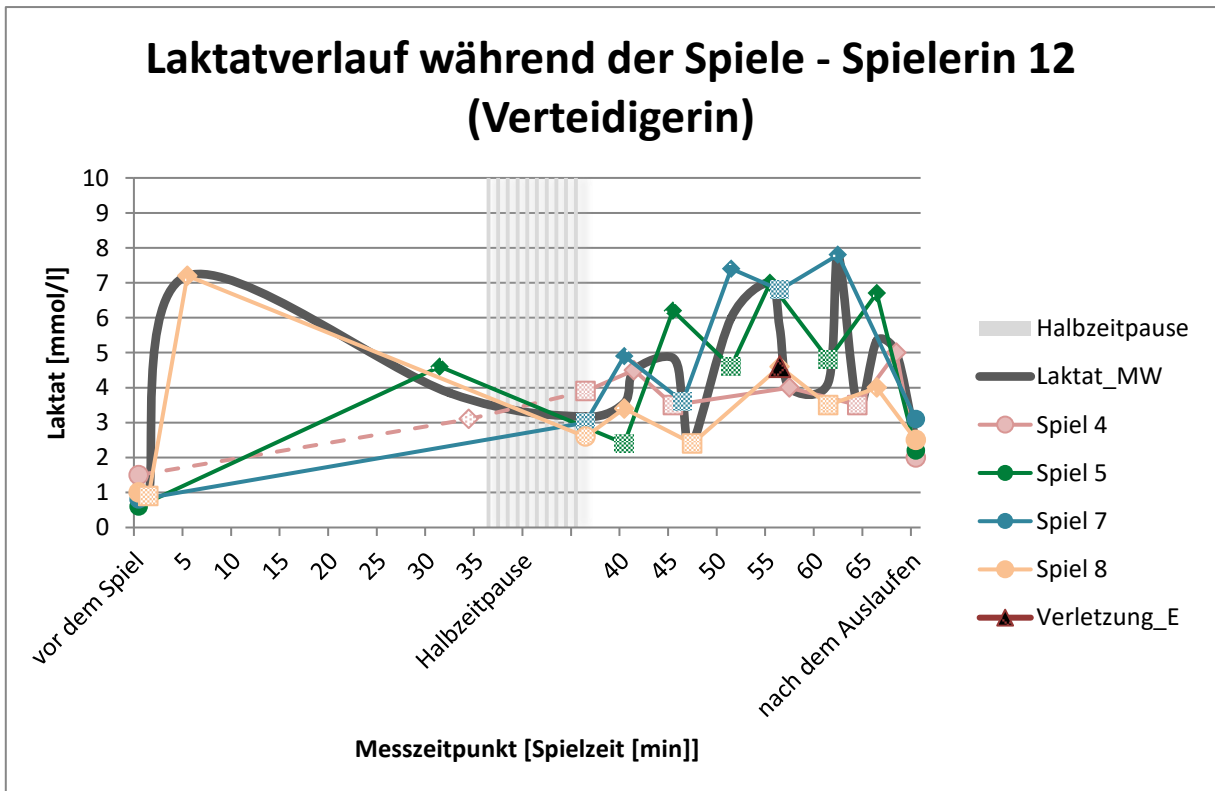


Abbildung 20: Laktat-Verlaufskurve Spielerin 12

Abbildung 9 bis Abbildung 20 veranschaulichen die Laktat-Verlaufskurven für jede einzelne Spielerin und für jedes Spiel, an welchem die Spielerin teilgenommen hat.

Aus den Laktatverlaufskurven der zwölf Spielerinnen ist erkennbar, dass alle Spielerinnen vor dem Spiel niedrige Ausgangswerte aufweisen, welche während des Spiels schnell und unterschiedlich stark ansteigen können.

Aus den Kurven der Laktat-Mittelwerte (Laktat_MW) zu jeder Spielminute ist abzulesen, dass der Laktatwert in den jeweiligen Halbzeiten variiert. Der Laktat-MW steigt in den Spielminuten auf Werte bis zu 7 mmol/l an (Extremwerte von bis zu 10 mmol/l) und sinkt dann in der Ruhephase wieder auf ca. 4 mmol/l ab (Extremwerte von unter 3 mmol/l; siehe Abbildung 26: Laktat- und Verletzungsverteilung über die Zeit aller Spielerinnen der gesamten Saison, S. 55).

Vom Ende der ersten Halbzeit bis zum Beginn der zweiten Halbzeit sinkt der Laktatwert pausenbedingt wieder etwas ab, um dann im Spiel erneut anzusteigen. Dieser Laktatanstieg in der zweiten Halbzeit ist überraschenderweise meist nicht so deutlich wie in der ersten Halbzeit. Dies könnte Rückschlüsse auf eine geringere Spielintensität der Verteidiger und Ermüdung der Spielerinnen zulassen (vergleiche Abbildung 26, S. 55).

Nach einem 10-minütigen Auslaufen am Ende des Spiels ist der Laktatwert bei allen Spielerinnen wieder eindeutig abgesunken, liegt jedoch noch deutlich über dem Ausgangswert des Ruhelaktats.

Zusätzlich sind in den Laktatverlaufskurven auch die Laktatwerte markiert, welche mit den Verletzungen einhergingen, inklusive Zuordnung zu Eigen- bzw. Fremdverletzung. Dabei ist ersichtlich, dass mehr Verletzungen in der zweiten Halbzeit als in der ersten Halbzeit zu verzeichnen waren. Außerdem sind mehr Verletzungen in der zweiten Hälfte der Saison als in der ersten Saisonhälfte messbar gewesen (siehe Kapitel 3.4.3.2 In der zweiten Hälfte der Saison gibt es mehr Verletzungen, S. 61).

3.2.2 Verteilung des Blutlaktats der Vor- und Nachuntersuchung

Die gemessenen Blutlaktatwerte während des Spiels mussten den Spielerinnen entsprechend einordbar sein. Aus diesem Grund wurden zwei Stufentests durchgeführt, einer vor und einer nach der Saison. Die Ergebnisse dieser Stufentests werden in Tabelle 4, S. 48 aufgeführt.

Tabelle 4: La_{max} in [mmol/l] und Auswertung der Stufentests der Vor-(VU) und Nachuntersuchung (NU) anhand von Lactate 2, 3, 4 und Lactate 6 in [m/s]

Spielerin	La _{max}	La _{max} ₂	Lac2	Lac2_2	Lac3	Lac3_2
1	9,7	6,4	3,12	3,35	3,34	3,62
2	7,9	12,1	3,30	3,03	3,53	3,26
3	6,5	6,1	3,49	3,35	3,69	3,60
4	8,0	8,9	2,57	2,68	2,95	2,90
5	6,3	8,7	3,08	2,92	3,26	3,15
6	5,2	-	3,16	-	3,33	-
7	-	-	-	-	-	-
8	-	3,8	-	3,30	-	3,44
9	2,5*	-	3,87*	-	4,10*	-
10	8,8	8,2	2,68	2,88	3,00	3,21
11	7,0	10,6	2,78	2,85	3,04	3,15
12	5,0*	6,3	3,46*	3,26	3,73*	3,54
MW (Min-Max)	7,43 (5,2 – 9,7)	7,9 (3,8 – 12,1)	3,16 (2,57 – 3,87)	3,07 (2,68 – 3,35)	3,42 (2,95 – 4,1)	3,32 (2,9 – 3,62)

Spielerin	Lac4	Lac4_2	Lac6	Lac6_2
1	3,49	3,78	3,72	3,97
2	3,68	3,41	3,87	3,63
3	3,81	3,77	3,97	3,99
4	3,15	3,06	3,38	3,29
5	3,36	3,34	3,50	3,66
6	3,43	-	3,56	-
7	-	-	-	-
8	-	3,52	-	3,63
9	4,24*	-	4,44*	-
10	3,18	3,44	3,39	3,75
11	3,28	3,35	3,74	3,62
12	3,89*	3,72	4,09*	3,97
MW (Min-Max)	3,57 (3,15 – 4,24)	3,49 (3,06 – 3,78)	3,79 (3,38 – 4,44)	3,72 (3,29 – 3,99)

La_{max} – maximale Blutlaktatwert der VU, La_{max2} – maximale Blutlaktatwert der NU, Lac2 – Lactate 2 der VU, Lac2_2 – Lactate 2 der NU, Lac3 – Lactate 3 der VU, Lac3_2 – Lactate 3 der NU, Lac4 – Lactate 4 der VU, Lac4_2 – Lactate 4 der NU, Lac6 – Lactate 6 der VU, Lac6_2 – Lactate 6 der NU, MW – Mittelwert, Min – Minimalwert, Max – Maximalwert

* Werte aus dem Stufentest der Untersuchung der Nationalspielerinnen, nicht während dieser Studie gemessen

Der maximal gemessene Blutlaktatwert nach der „Ausbelastungsstufe“ im Stufentest wird in Tabelle 4 unter La_{max} pro Spielerin für die Voruntersuchung (La_{max}) und die Nachuntersuchung (La_{max2}) zusammengefasst. Es ist ersichtlich, dass während der Voruntersuchung (VU) der La_{max} bei allen untersuchten Spielerinnen unter 10 mmol/l geblieben ist. Bei der Nachuntersuchung (NU) lagen nur die Spielerinnen 2 und 11 mit Werten von 10,6 mmol/l und 12,1 mmol/l oberhalb dieses Betrages von 10 mmol/l.

Die Mittelwerte der La_{max} der VU und der NU liegen mit 7,43 mmol/l und 7,9 mmol/l sehr nah beieinander. Daraus kann geschlossen werden, dass die Spielerinnen sowohl bei der VU als auch bei der NU ähnlich trainiert waren und zu ähnlichen Zeitpunkten voll ausbelastet waren.

Durch das Training und die Wettkampfphasen während der Hallensaison 2013/14 ist die Laufgeschwindigkeit bei Lac4 im Mittelwert um 0,08 m/s abgesunken. Dies zeigt, dass die Spielerinnen im Schnitt über die Saison ihr Leistungsniveau aufrecht erhalten haben. Jedoch besteht eine leichte Tendenz zur Verschlechterung. Allerdings muss diesbezüglich einschränkend angemerkt werden, dass sich das Leistungsgefälle (Parameter: Spannweite der Max - Min) in der Mannschaft verkleinerte (Lac4 Max - Min: 1,09 m/s zu Lac4_2 Max - Min: 0,72 m/s). Drei Spielerinnen verbesserten sich zum Messzeitpunkt der Nachuntersuchung (Spielerinnen 1, 10 und 11) und fünf Spielerinnen verschlechterten sich (Spielerinnen 2, 3, 4, 5 und 12).

Aufgrund der nur geringfügigen Veränderung des Leistungsniveaus der Vor- zur Nachuntersuchung sind die Laktatwerte über die ganze Saison vergleichbar und werden demnach in dieser Studie gleichgesetzt.

3.3 Verletzungen

Es wurden während der acht Saisonspiele insgesamt zehn Verletzungen bei den zwölf Spielerinnen registriert. Das sind durchschnittlich 0,83 Verletzungen pro Spielerin.

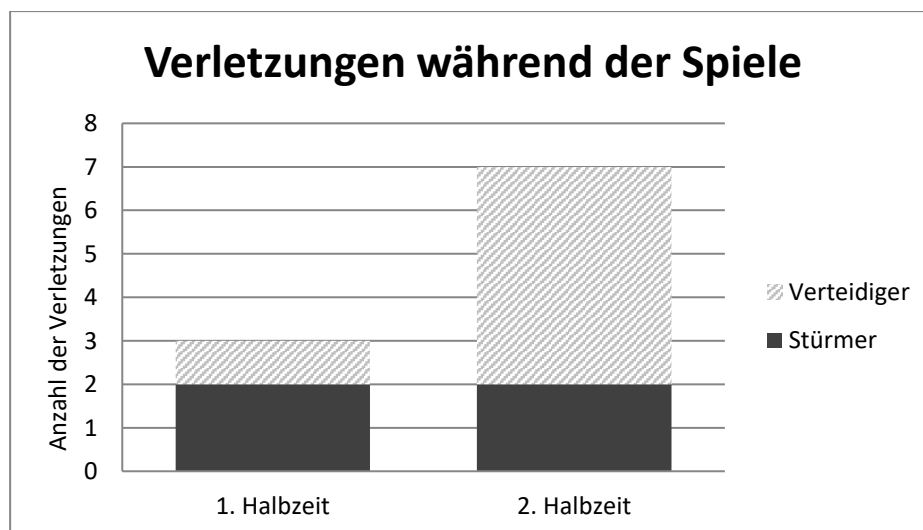


Abbildung 21: Anzahl der Verletzungen während der Spiele gemäß der Halbzeit und der Spielposition

Es ereigneten sich drei Verletzungen in der ersten und sieben Verletzungen in der zweiten Halbzeit (siehe Abbildung 21). Hinzukommend ist in Abbildung 21 erkennbar, dass nur 40 % der Verletzungen auf Stürmerinnen und die übrigen 60 % auf Verteidigerinnen entfielen. Demnach scheint die Spielhalbezeit einen Einfluss auf das Verletzungsrisiko zu haben, welcher im Kapitel 3.4.3.1, S. 59 näher analysiert wird.

Während der acht gemessenen Spieltage haben sich insgesamt sechs Spielerinnen an jeweils einem Spieltag verletzt und eine Spielerin hat sich an zwei verschiedenen Spieltagen verletzt. Die Schwere der Verletzungen wurde anhand von Ausfallzeiten gemessen. Diese lagen beim Auswechsel der Spielerinnen für maximal 10 Minuten. Ein Ausfall für weitere Spiele oder für die restliche Saison konnte nicht verzeichnet werden. Fünf Spielerinnen sind in der Hallensaison 2013/14 ohne Verletzungen geblieben (siehe Abbildung 22, S. 50).



Abbildung 22: Spielerverletzung an Spieltagen in Prozent

Die Art und die Lokalisation der erlittenen Verletzungen sind graphisch in Abbildung 23 dargestellt.

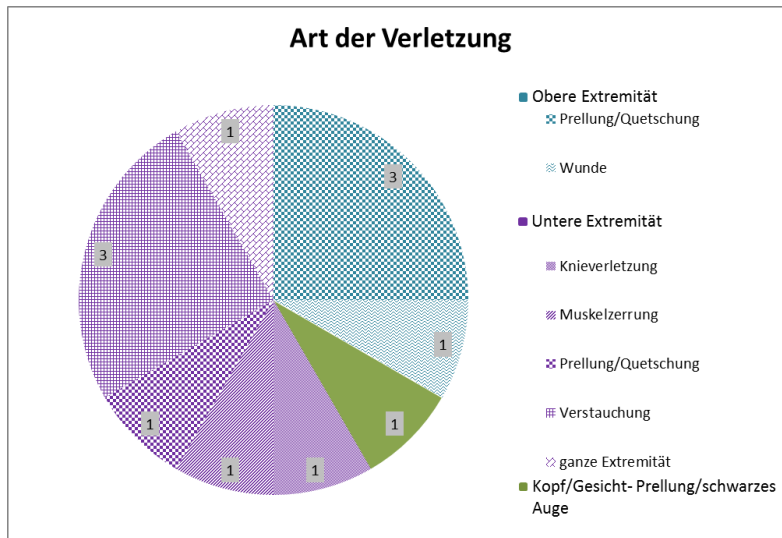


Abbildung 23: Verletzungsart und Verletzungslokalisation

Aus der Abbildung 23 wird ersichtlich, dass es sich bei neun von zwölf Läsionen (75 %) um Prellungen, Band- und Meniskusläsionen oder Muskelverletzungen handelt. Überwiegend ist die untere Extremität von Verletzungen betroffen (58,3 %), am häufigsten kam es zu Verstauchungen (drei Verletzungen). Auf die obere Extremität entfallen 33,3 % der Verletzungen. Überwiegend handelt es sich um Läsionen von Hand und Fingern durch Quetschungen zwischen dem eigenen Schläger und dem Ball. Diese Schäden gelten als typische Hockeyverletzungen. Am Kopf traten 8,33 % der Verletzungen auf.

Zu der jeweiligen Verletzungsart wurden die entsprechenden Mittelwerte der Blutlaktatkonzentration ermittelt und in der Abbildung 24 dargestellt.

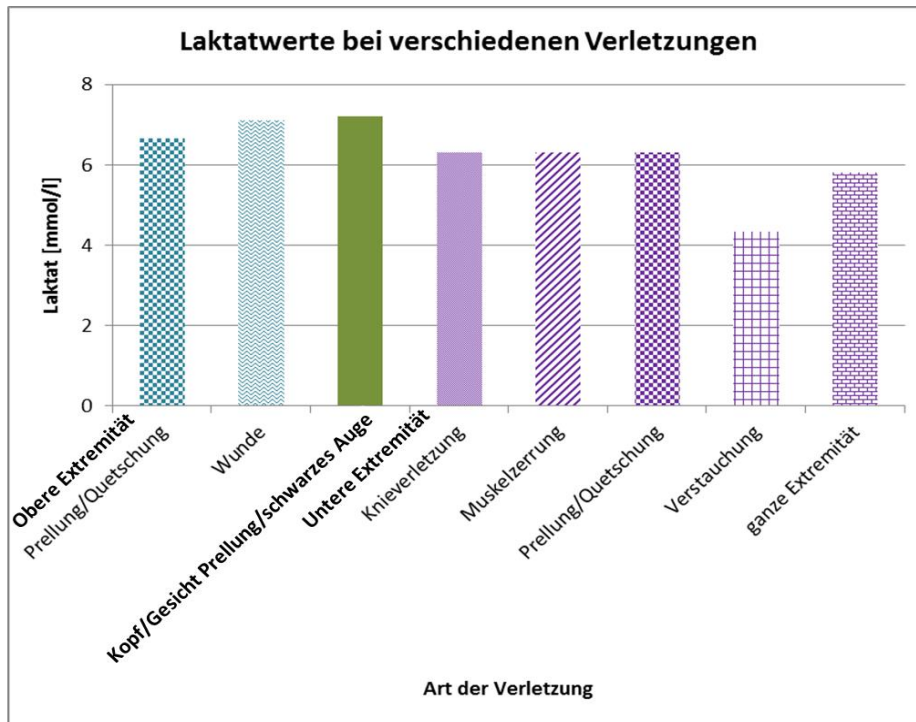


Abbildung 24: Laktatwerte bei verschiedenen Verletzungsarten

In Abbildung 24 ist erkennbar, dass die Laktatwerte bei sieben von acht Verletzungsarten um die 6 mmol/l liegen. Nur bei der Verletzungsart „Verstauchung der unteren Extremität“ lag der Laktatwert von 4,4 mmol/l deutlich unter diesem Wert.

Die Verletzungsmechanismen sind in der Abbildung 25 schematisch dargestellt.

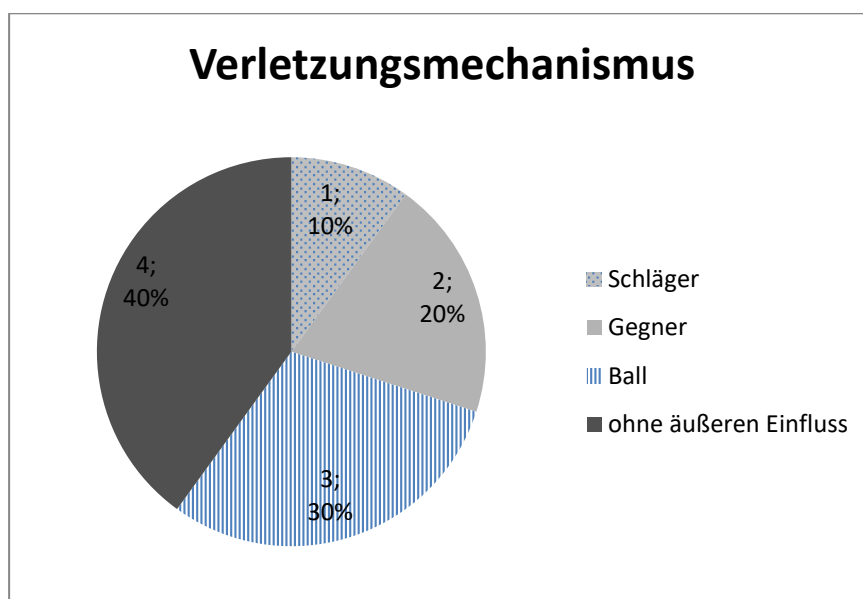


Abbildung 25: Verletzungsmechanismus

Die Verletzungen durch Schläger, Gegner und Ball (insgesamt 60 % aller Verletzungen) wurden als überwiegend beim Gegner liegende Gründe (bezeichnet als „Fremdverschuldung“) eingestuft. Die Verletzungen durch Ball (30 %) oder Schläger (10 %) können als hockeyspezifisch eingeordnet werden. 40 % der Verletzungen geschehen ohne äußere Einflüsse und sind auf bei der Sportlerin selbst liegende Gründe zurückzuführen (bezeichnet als „Eigenverschuldung“).

3.4 Untersuchung der Hypothesen

3.4.1 Primärhypothese: Das Verletzungsrisiko korreliert mit höheren Blutlaktatwerten

Sieben Spielerinnen (1, 2, 4, 7, 10, 11 und 12) erlitten während der acht gemessenen Saisonspiele insgesamt zehn Verletzungen (Spielerinnen 4, 10 und 11 hatten je zwei Verletzungen).

Es wurden alle Laktatwerte aus den Spielen untersucht, bei denen Verletzungen entstanden sind (n=90), um diese miteinander zu korrelieren. Dazu wurden in der nachfolgenden Tabelle 5 die Laktat-Mittelwerte der jeweiligen Spielergruppe mit Verletzungen und ohne Verletzungen im gleichen Spiel gegenübergestellt.

Tabelle 5: Mittelwert der Laktatwerte bei Verletzung und ohne Verletzung im gleichen Spiel

Verl_jn	Methode	MW	95% KI MW		SD	95% KI SD	
0		3.9538	3.3919	4.5156	2.5249	2.1851	2.9906
1		5.9600	4.6874	7.2326	1.7790	1.2237	3.2478
Diff (1-2)	Pooled	-2.0063	-3.6453	-0.3672	2.4590	2.1432	2.8848
Diff (1-2)	Satterthwaite	-2.0063	-3.3562	-0.6563			

Verl_jn – Verletzung ja/nein, 0 – keine Verletzung, 1 – Verletzung eingetreten, Diff – Differenz, MW – Mittelwert, 95% KI MW – 95% Konfidenzintervall des MW, SD – Standardabweichung, 95% KI SD – 95% Konfidenzintervall der Standardabweichung

Ohne Verletzung liegt der Laktatwert durchschnittlich bei 3,95 mmol/l (95%-Konfidenzintervall liegt bei 3,39 – 4,52; SD 2,52). Bei Verletzung liegt der Laktatwert durchschnittlich bei 5,96 mmol/l (4,69 – 7,23; SD 1,78).

Das 95%-Konfidenzintervall des Mittelwertes ist immer ungleich 0. Deshalb ist eine Beurteilung der Differenz der Blutlaktatwerte zwischen den beiden Gruppen „verletzt“ und „unverletzt“ möglich.

Tabelle 6: p-Wert-Bestimmung nach den Methoden „Pooled“ und „Satterthwaite“

Method	Varianz	DF	t-Wert	Pr > t
Pooled	Equal	88	-2.43	0.0170
Satterthwaite	Unequal	14.002	-3.19	0.0066

DF – Freiheitsgrade, „Pr > |t|“ – entspricht p-Wert

Bei der Methode „Pooled“ werden gleiche Varianzen und bei der Methode „Satterthwaite“ ungleiche Varianzen angenommen. Es wurde ein F-Test durchgeführt, um die Gleichheit der Varianzen der beiden Vergleichsgruppen zu überprüfen. Dieser ergab kein signifikantes Testergebnis mit einem p-Wert > 0,05 (hier nicht dargestellt). Also sind die Varianzen gleich und die Angaben der Methode „Pooled“ wurden als Testergebnis für den t-Test verwendet.

Die t-Verteilung der Methode „Pooled“ weist eine Verteilung mit vielen Freiheitsgraden auf (DF = 88, siehe Tabelle 6). Das ein Wert der Stichprobe größer des t-Wertes von |2,43 mmol/l| liegt, ist mit einer Wahrscheinlichkeit von < 5% sehr gering. Der ermittelte p-Wert von 0,017 (<0,05) ist signifikant, sodass die beiden Variablen Laktatwerte und Verletzungen die gleiche Streuung aufweisen. Daher konnte mit diesen aus der „Pooled“-Methode ermittelten Werten der Pearson-Korrelations-Test durchgeführt werden (siehe Tabelle 7).

Tabelle 7: Pearson-Korrelations-Test für die Korrelation des Laktatwerts und der Verletzung

Pearson-Korrelationskoeffizient r, n = 90 Prob > r unter H0: Rho=0	
	Verletzung_jn
Laktat	r = 0.25100 p-Wert = 0.0170

n – Anzahl der Laktatwerte, „Prob > |r|“ - p-Wert, „H0: Rho=0“ – Nullhypothese, Verletzung_jn – Verletzung ja/ nein

Der Pearson-Korrelationskoeffizient zwischen den Laktatwerten und einer Verletzung ist r=0,25. Damit wird ausgedrückt, dass ein gleichsinniger Zusammenhang zwischen den Laktatwerten und einer Verletzung besteht. Folglich müssten beim Ansteigen des Laktatwertes auch die Verletzungen ansteigen.

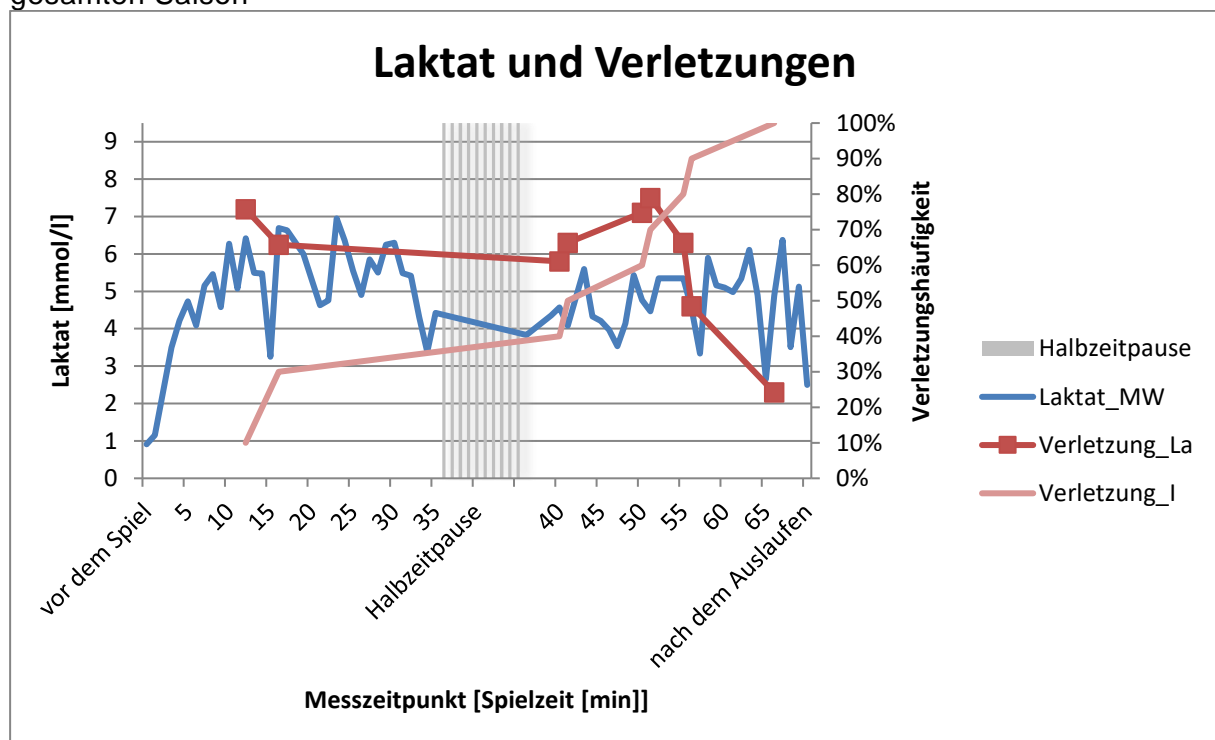
Der p-Wert mit p= 0,017 ist signifikant (p<0,05). Dies bedeutet, dass sich die Laktatwerte der beiden Spielergruppen („verletzt“ und „unverletzt“) signifikant unterscheiden. Damit

wird die Nullhypothese, dass der Blutlaktatwert nicht mit Verletzungen korreliert, verworfen.

Die Primärhypothese, dass das Verletzungsrisiko mit einem höheren Blutlaktatwert korreliert, wird durch diese Studie unterstützt.

Wenn die Laktat-Mittelwerte aller Spiele über den Spielverlauf mit der Verletzungsverteilung verknüpft werden, ergibt sich folgendes Bild (siehe Abbildung 26):

Abbildung 26: Laktat- und Verletzungsverteilung über die Zeit aller Spielerinnen der gesamten Saison



MW- Mittelwert, Verletzung_La – Laktatwert der jeweiligen Verletzung, Verletzung_I – Summe der Verletzungen

Aus den Laktat-Werten der hier zugrunde liegenden Studie wurde mit Hilfe einer ROC-Analyse ersichtlich, dass ein Laktatwert von 6,3 mmol/l zu 67 % die Verletzungsfälle indiziert (die ROC-Analyse ist nicht dargestellt). Jedoch ist es nicht möglich einen bestimmten Laktatwert festzulegen, der die Gruppe der Verletzungen umfassend charakterisiert, da sich die Bereiche der Laktatwerte mit und ohne Verletzungen überschneiden. Dies könnte in einer Folgestudie genauer analysiert werden.

3.4.2 Sekundärhypothese: (Vor-)Erkrankungen führen zu einem niedrigeren Ruheblutlaktatspiegel

Um die Sekundärhypothese zu beweisen, wurde die Korrelation zwischen Blutlaktatwerten von gesunden und erkrankten Spielerinnen untersucht. Dazu wurden die zwölf Spielerinnen während der acht Spiele auch nach (Vor-)Erkrankungen (siehe Definition, S. 34) zum Zeitpunkt der Spiele befragt (siehe Anhang 6.2 Fragebogen zu Erkrankung und Verletzungen, S. 83). Die Erkrankungen wurden in drei Hauptgruppen unterteilt (siehe Abbildung 27):

- a) Infekt der oberen Atemwege
- b) grippaler Infekt
- c) Sonstiges

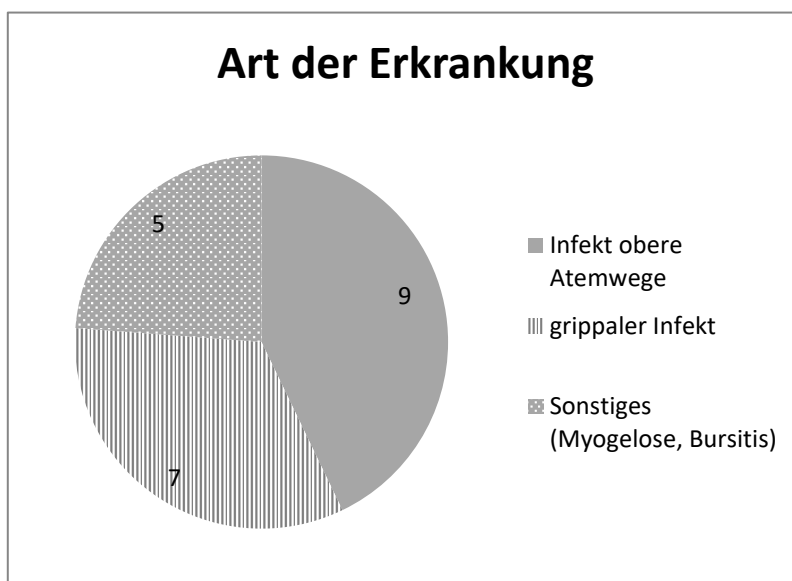


Abbildung 27: Art der Erkrankung an den Spieltagen

Nur zwei Spielerinnen waren an keinem Spieltag erkrankt (Spielerinnen 1 und 5). (Vor-)Erkrankungen hatten die übrigen zehn Spielerinnen an mindestens einem und maximal drei Spieltagen (siehe Abbildung 28, S. 57). Vier Spielerinnen waren an einem Spieltag krank (Spielerinnen 2, 6, 9 und 12), zwei Spielerinnen waren an zwei Spieltagen erkrankt (Spielerinnen 7 und 8) und weitere vier Spielerinnen waren an drei von den gemessenen Spieltagen erkrankt (Spielerinnen 3, 4, 10 und 11).

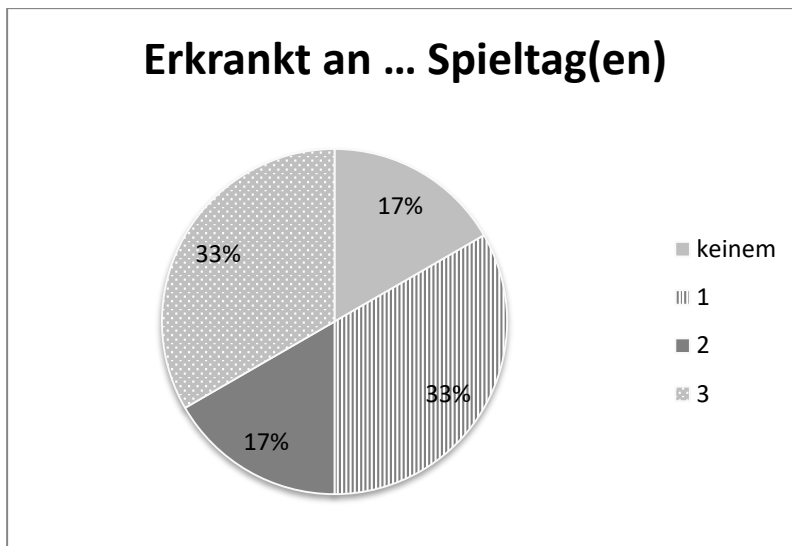


Abbildung 28: Erkrankungen an Spieltagen (n = 12)

Eine Korrelation der Erkrankung mit niedrigeren Blutlaktatspiegeln wurde in dieser Studie anhand der Ruhe-Laktatwerte (L_{Ruhe}) durchgeführt, da diese weniger durch andere Faktoren, wie u. a. die Spielleistung, beeinflusst werden.

Um die Korrelation einer (Vor-)Erkrankung an einem Spieltag zu den Ruhe-Laktatwerten zu ermitteln, wurden die Ruhelaktatwerte der verschiedenen Spiele in zwei verschiedene Gruppen eingeteilt: a) in Ruhelaktatwerte an gesund gespielten Spieltagen und b) Ruhelaktatwerte an krank gespielten Spieltagen (siehe Tabelle 9, S. 58). Hier konnten nur solche Spielerinnen eingeordnet werden, die auch beide Merkmale „gesund“ und „erkrankt“ an mindestens einem Spieltag aufwiesen. In Tabelle 8, S. 57 sind die Ruhelaktat-Mittelwerte und deren Korrelationen zwischen gesund und erkrankt für die jeweiligen Spielerinnen aufgelistet. Die Spielerinnen 1 und 5 sind hier nicht aufgeführt, da sie an keinen Spieltagen erkrankt angetreten sind.

Tabelle 8: Korrelation der individuellen Ruhelaktat-Mittelwerte der „gesund“ zu „erkrankt“ gespielten Spiele anhand des Pearson-Korrelationskoeffizienten und des t-Tests

Spielerin	Ruhelaktat „gesund“	Ruhelaktat „erkrankt“	Pearson-Korrelation	p-Wert des t-Tests
2*	0,77	0,4	-0,62	0,1017
3	0,98	0,93	-0,09	0,8536
4	1,00	0,70	-0,70	0,1210
6*	0,80	1,30	1	-
7	0,50	0,45	-0,30	0,6985
8	0,93	0,60	-0,75	0,1296
9*	0,94	0,60	-0,62	0,1866
10	1,16	1,07	-0,20	0,6377
11	1,40	0,60	-0,91	0,0119
12*	1,10	0,60	-0,65	0,3527
gesamt	0,958	0,725		

*in Laktat „gesund“/Laktat „erkrankt“ weniger als 2 Werte, MW – Mittelwert

In dieser Tabelle 8 ist ersichtlich, dass die Ruhe-Laktatwerte gesunder Spielerinnen grundsätzlich höher als die Ruhelaktatwerte kranker Spielerinnen sind. Insgesamt trifft dies bei neun Probandinnen zu (Spielerinnen 2, 3, 4, 7, 8, 9, 10, 11 und 12). Nur bei Spielerin 6 ist der Ruhe-Laktatwert mit Erkrankung höher als der Laktatwert während eines gesund gespielten Matches. Dabei ist einschränkend zu berücksichtigen, dass Spielerin 6 nur jeweils ein Spiel gesund und ein Spiel erkrankt bestritten hat. Damit können Extremwerte bei Spielerin 6 stärker ins Gewicht fallen und die Aussagekraft dieser Werte reduziert sein. Der Extremfall des Pearson-Korrelationskoeffizient von $r=1$ ergibt sich durch einen funktionalen Zusammenhang, der durch eine lineare Gleichung beschrieben werden kann.

Das negative Vorzeichen des Pearson-Korrelationskoeffizienten steht für einen gegensinnigen Zusammenhang. Dadurch wird ausgedrückt, dass je höher ein Ruhelaktatwert „gesunder“ Spielerinnen ist, desto niedriger wäre ein entsprechender Ruhelaktatwert „erkrankter“ Spielerinnen.

Bei Spielerin 11 ist der Unterschied zwischen den La_{Ruhe} im gesunden bzw. erkrankten Zustand mit einem p-Wert von 0,0119 im t-Test signifikant. Dies bedeutet, wenn ausschließlich die Werte von Spielerin 11 betrachtet werden, dass die La_{Ruhe} -Werte im erkrankten Zustand signifikant niedriger sind als die La_{Ruhe} -Werte im gesunden Zustand. Die Aussagekraft der Korrelation der einzelnen Spielerinnen ist aufgrund der wenigen Werte noch gering. Daher wurden die Ruhe-Laktatmittelwerte aller Probandinnen zusammengefasst, um eine Gesamtkorrelation und eine höhere Aussagekraft des t-Tests zu erzielen (siehe Tabelle 9, S. 58).

Tabelle 9: Korrelation der Ruhe-Laktatwerte der „gesunden“ und „kranken“ Probandinnen

	Ruhelaktat (MW \pm SD)	Min - Max	Pearson-Korrelation	p-Wert des t-Tests
erkrankt	0,75 \pm 0,30	0,4 – 1,4	-0,33	0,0056
gesund	0,98 \pm 0,31	0,6 – 1,6		

MW – Mittelwert, SD – Standardabweichung, Min – Minimum, Max – Maximum

Bei der Korrelation in Tabelle 9 wurden die Ruhe-Laktatwerte der erkrankten sowie auch der gesunden Probandinnen über alle Spiele miteinander in Beziehung gesetzt. Spielerin 1 und 5, welche alle Spiele gesund bestritten haben, sind nur in der Spielergruppe „gesund“ mit ausgewertet worden. Alle anderen Spielerinnen wurden sowohl der Spielergruppe „gesund“ als auch „erkrankt“ zugeordnet.

Aus diesen Daten ergibt sich ein negativer Pearson-Korrelationskoeffizient von $r = -0,33$ (siehe Tabelle 9), der aufzeigt, dass die Ruhelaktatwerte in einem gegensinnigen Zusammenhang stehen. Daraus folgt, dass, wenn der Ruhelaktatwert für gesunde Probandinnen steigt, er für erkrankte Probandinnen sinken müsste.

Aus Tabelle 9 wird weiterhin ersichtlich, dass die Ruhelaktatwerte erkrankter Spielerinnen mit einem p-Wert von 0,0056 signifikant niedriger als die Ruhelaktatwerte gesunder Spielerinnen sind. Mit einem signifikanten p-Wert von 0,0056 ($<0,05$) wird die Nullhypothese, dass Erkrankungen zu keinem veränderten Blutlaktatspiegel führen, abgelehnt. *Die vorliegende Sekundärhypothese, dass Erkrankungen zu einem niedrigeren Ruheblutlaktatspiegel führen, wird unterstützt.*

3.4.3 Tertiärhypothese: Es gibt mehr Verletzungen in der zweiten Halbzeit und in der zweiten Saisonhälfte

3.4.3.1 In der zweiten Halbzeit gibt es mehr Verletzungen

Insgesamt haben sich die Spielerinnen in der Hallensaison 2013/14 zehn Verletzungen in acht Saisonspielen zugezogen. Davon wurden sieben Verletzungen (in den Spielen 3, 5, 6, 7 und 8) in der zweiten und drei Verletzungen (in den Spielen 3, 5 und 6) in der ersten Halbzeit registriert (siehe Abbildung 21, S. 49). Somit ergab diese Studie, dass mehr Verletzungen in der zweiten Halbzeit (70 %) als in der ersten Halbzeit (30 %) auftraten.

Wenn die eingetretenen Verletzungen in den jeweiligen Halbzeiten gegenüber gestellt werden, ergibt sich folgendes Bild:

Tabelle 10: Vierfeldertafel der Verletzungen in den Halbzeiten der acht Spiele

Halbzeit	Verletzung_jn		Total
	0	1	
1	5	3	8
2	3	7	10
Total	8	10	18

Frequenz – absolute Häufigkeit, Verl_jn – Verletzung ja/ nein (0 – nein, 1 – ja)

Im Anschluss wird mit Hilfe der Vierfeldertafel der Chi²-Test ausgeführt.

Tabelle 11: Chi²-Test zur Vierfeldertafel in Tabelle 10

Statistik	DF	Value	Prob
Chi-Square	1	1.9013	0.1679

DF – Freiheitsgrade, Value - Testgröße (Summe der X²-Anteile), Prob – entspricht p-Wert

Aus dem Chi²-Vierfelder-Test ist ersichtlich (siehe Tabelle 10 und Tabelle 11), dass die Testgröße von der Summe der X²-Anteile = 1,9 kleiner als das Quantil der Chi²-Verteilung für den Freiheitsgrad $f=1$ ist ($X^2_{0,95}=3,841$). Der p-Wert ist mit 0,17 ($> 0,05$) nicht signifikant.

Daher wurde der Fisher-Exakt-Test herangezogen, welcher für kleine Stichproben, mit einer zu erwarteten Häufigkeit von < 5 , geeigneter ist (siehe Tabelle 12).

Tabelle 12: Fisher-Exakt-Test für die Korrelation von Verletzungen in den Halbzeiten zur Vierfeldertafel in Tabelle 10

Fisher's Exact Test	
Table Probability (P)	0.1536
Zweiseitiger p-Wert	0.3416

Table Probability (P) - Tabellenwahrscheinlichkeit

Jedoch ergibt sich auch aus dem Fisher-Exakt-Test ein größerer p-Wert von 0,3416 als der für die Signifikanz notwendigen p-Wert ($<0,05$). Daher ist in dieser Studie statistisch kein signifikanter Unterschied zwischen erster und zweiter Halbzeit belegbar, wenn alle Verletzungen (Fremd- und Eigenverletzungen) mit einbezogen werden. Trotzdem ist die Tendenz vorhanden, dass mehr Verletzungen in der zweiten als in der ersten Halbzeit auftreten (siehe Abbildung 21, S. 49). *Die Sekundärhypothese, dass es in der zweiten Halbzeit zu mehr Verletzungen kommt, kann mit dieser Studie jedoch nicht statistisch unterstützt werden.*

In dieser Studie wurde auch in „Eigen- und Fremdverletzungen“ (siehe Abbildung 25: Verletzungsmechanismus, S. 52) unterschieden. Dabei wurde ermittelt, welche Verletzungen in welcher Halbzeit auftraten. In der ersten Halbzeit konnten keine Eigenverletzungen, jedoch in der zweiten Halbzeit vier Eigenverletzungen verzeichnet werden.

Auch hierfür wurde noch einmal eine Kreuztabelle erstellt und der Chi²-Test und der Fisher-Exakt-Test durchgeführt (siehe Tabelle 13, Tabelle 14 und Tabelle 15).

Tabelle 13: Vierfeldertafel für die Korrelation der Eigenverletzung und der Halbzeit

Halbzeit	Verletzung_jn		Total
	0	1	
Frequenz			
1	8	0	8
2	4	4	8
Total	12	4	16

Frequenz – absolute Häufigkeit , Verletzung_jn – Verletzung ja/ nein (0 – nein, 1 – ja)

Tabelle 14: Chi²-Test zur Vierfeldertafel in Tabelle 13

Statistik	DF	Value	Prob
Chi-Square	1	5.3333	0.0209

DF – Freiheitsgrade, Value - Testgröße (Summe der X²-Anteile), Prob – entspricht p-Wert

Der Chi²-Test deutet mit einem p-Wert von 0,0209 ($p < 0,05$) auf einen signifikanten Unterschied zwischen den Eigenverletzungen zu den Halbzeiten hin.

Daraufhin wurde wegen der geringen Fallzahl noch der Fisher-Exakt-Test durchgeführt.

Tabelle 15: Fisher-Exakt-Test zur Vierfeldertafel in Tabelle 13

Fisher's Exact Test	
Zellen (1,1) Frequenz (F)	8
Zweiseitiger p-Wert Pr ≤ P	0.0769

Zellen (1,1) Frequenz (F) – absolute Häufigkeit in Zelle 1

Der Fisher-Exakt-Test, welcher wegen der geringen Fallzahl valider ist, weist mit einem Wert von $p = 0,0769$ jedoch nur noch grenzwertig eine statistische Signifikanz auf.

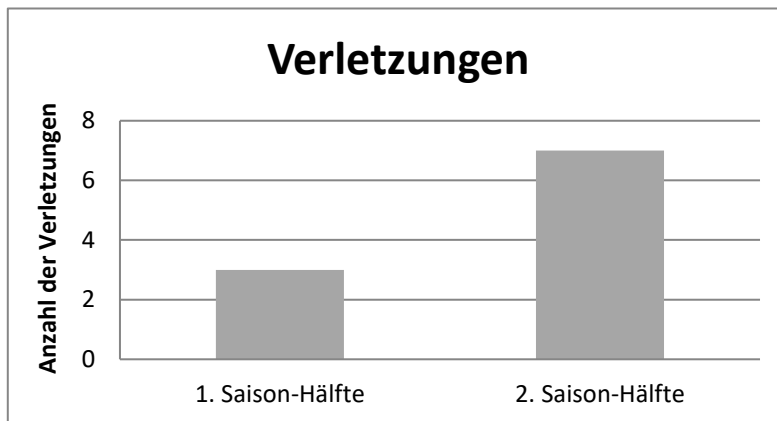
Auf diese Ergebnisse gestützt kann geschlussfolgert werden, dass die Eigenverletzungen gehäuft in der zweiten Halbzeit auftreten. Doch um dies statistisch signifikant zu belegen, müsste eine weitere Studie mit einer größeren Fallzahl durchgeführt werden.

3.4.3.2 In der zweiten Hälfte der Saison gibt es mehr Verletzungen

In der ersten Hälfte der Spielsaison kam es zu drei Verletzungen (in den Spielen 1 – 4). In der zweiten Hälfte der Saison wurden sieben Verletzungen (in den Spielen 5 - 8) registriert.

Es liegen somit mehr Verletzungen in der zweiten Hälfte der Spielsaison vor (siehe Abbildung 29).

Abbildung 29: Verletzungsverteilung während der Saison



1. Saison-Hälfte: 06. - 22.12.2013 (Spiel 1 – 4), 2. Saison-Hälfte: 11. - 19.01.2014 (Spiel 5 – 8)

In der ersten Saisonhälfte traten die drei Verletzungen alle im Spiel 3 auf. Die anderen drei Spiele (Spiel 1, 2 und 4) sind ohne Verletzungen ausgeführt worden.

In der zweiten Saisonhälfte sind sieben Verletzungen aufgetreten, wobei in den Spielen 5, 6 und 7 jeweils zwei Verletzungen registriert worden sind und in Spiel 8 nur eine. Diese Beobachtungen sind in der Vierfeldertafel in Tabelle 16 zusammengefasst.

Tabelle 16: Vierfeldertafel zur Verletzung während der jeweiligen Saisonhälften

Saison-Hälfte	Verletzung				Total
	0	1	2	3	
1	3	0	0	1	4
2	0	1	3	0	4
Total	3	1	3	1	8

Frequenz – absolute Häufigkeit, 0 – keine Verletzung, 1 – eine Verletzung, 2 – zwei Verletzungen, 3 – drei Verletzungen während der 1. bzw. 2. Saison-Hälfte

Anhand der Vierfeldertafel wird nun der Chi²-Test durchgeführt. Die Ergebnisse dazu sind in Tabelle 17 aufgelistet.

Tabelle 17: Chi²-Test zur Vierfeldertafel in Tabelle 16

Statistik	DF	Value	Prob
Chi-Square	3	8.0000	0.0460

DF – Freiheitsgrade, Value - Testgröße (Summe der X²-Anteile), Prob – entspricht p-Wert

Aus dem Chi²-Vierfelder-Test ist ersichtlich, dass die Testgröße von der Summe der X²-Anteile = 8,0 größer als das Quantil der Chi²-Verteilung für den Freiheitsgrad $f=3$ ist ($X^2_{0,95}=7,815$). Der p-Wert des Chi²-Test mit $p = 0,046$ ist signifikant ($p < 0,05$). Damit zeigt

der Chi²-Test einen signifikanten Unterschied der Verletzungen während der ersten zur zweiten Saison-Hälfte auf.

Aufgrund der geringen Fallzahl wurde im Anschluss noch der Fisher-Exakt-Test zur Vierfeldertafel in Tabelle 16 durchgeführt (siehe Tabelle 18).

Tabelle 18: Fisher-Exakt-Test zur Vierfeldertafel in Tabelle 16

Fisher's Exact Test	
Table Probability (P)	0.0143
Pr <= P	0.0571

Table Probability (P) – Tabellenwahrscheinlichkeit, Pr <= P – entspricht p-Wert

Der Fisher-Exakt-Test ist mit einem p-Wert von $p = 0,0571$ jedoch nur noch grenzwertig signifikant. Daraus ist ersichtlich, dass ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Saisonhälften und der Anzahl der Verletzungen besteht. Daher kann die Nullhypothese, dass sich die Saisonhälften nicht in der Verletzungsinzidenz unterscheiden, verworfen werden. *Die Tertiärhypothese, dass es zu mehr Verletzungen in der zweiten gegenüber der ersten Saisonhälfte kommt, wird statistisch unterstützt.*

4 Diskussion

Der Schwerpunkt dieser Studie lag in der Untersuchung des Blutlaktatwertes im Zusammenhang mit Verletzungsinzidenzen im Hallenhockey während einer Spielsituation. Die Untersuchung erfolgte zu vorgegebenen Zeitpunkten im Spielverlauf und wurde nach den verschiedenen Spielpositionen unterteilt (siehe Abbildung 3, S. 29). Viele Studien beschäftigten sich ausschließlich mit den entstehenden Verletzungen im Hockey [3, 5, 6, 43, 45] bzw. andere Studien mit einer Korrelation von Blutlaktat und Ermüdung [26, 28]. Jedoch ist sowohl für die Spieler als auch für den Trainer eine Prävention von Verletzungen nötig, um diese verringern zu können. Damit könnten die Spieler während der Spielsaison leistungsfähiger am Training und an den Spielen teilnehmen.

Die Ergebnisse zeigten, dass ein höherer Blutlaktatwert mit einer erhöhten Verletzungsinzidenz korreliert und dass es zu mehr Verletzungen in der zweiten Saisonhälfte kommt. Aus dieser bisher erstmaligen Untersuchung des Zusammenhangs von Blutlaktat mit Verletzungen kann geschlossen werden, dass eine Prävention von Verletzungen möglich wäre, indem die Spieler einen Blutlaktatwert von mehr als 6 mmol/l vermeiden würden.

4.1 Probandenkollektiv

Das Probandenkollektiv stellt keine randomisierte Gruppe dar, da ausschließlich ein Team untersucht worden ist. Im Vergleich zu entsprechenden Studien in der gesichteten Literatur zu Hockey ist das in dieser Arbeit beobachtete Kollektiv aufgrund seiner Größe ($n = 12$) und den ausschließlich weiblichen Probanden jedoch repräsentativ. Bei der Literaturrecherche zum Hockey finden sich weitere Studien zu Hockeyspielerinnen [3, 5, 6, 38, 43, 48, 58-60], deren Ergebnisse mit der vorliegenden Studie verglichen werden können. Jedoch unterscheiden sich oft sowohl die Wettkampf-Ligen als auch der Altersdurchschnitt. Dies sollte bei einem Vergleich in Betracht gezogen werden, da die Laktatbildung in unterschiedlichen Altersgruppen anders ausgeprägt ist [13]. Die Probandenanzahl von 7 bis 18 Probanden wurde auch in vergleichbaren Studien der Sportmedizin gefunden (7[30], 8[61], 8[20], 9[62], 10[28], 11[42], 11[35], 12[22], 12[19],

13[48], 14[16], 14[50], 14[38], 15[63], 16[37], 16[55], 16[24], 17[54], 18[32], 18[26], 18[29]).

Außerdem sind die demographischen Daten Alter, Größe und Gewicht normal verteilt, was die Ergebnisse der in der Studie einbezogenen Probandinnen sehr gut vergleichbar macht.

4.2 Blutlaktat

In dieser Studie wurden Ruhelaktatwerte im Blut zwischen 0,4 mmol/l bis 1,6 mmol/l (mit einem MW von 0,91 mmol/l, Ergebnisse nicht dargestellt) registriert. Diese Werte werden auch in der Literatur wiedergefunden, bei denen 0,4-1,8 mmol/l als Ruhelaktatwerte im Blut für normale gesunde Individuen festgesetzt werden [9, 12]. Es wurde bereits erforscht, dass trainierte Individuen einen niedrigeren Ruhelaktatwert haben [9, 13]. Übertragen auf diese Studie bedeutet dies, dass die Probandinnen mit einem minimalen Ruhelaktatwert von 0,4 mmol/l gut trainiert sind. Auch der Mittelwert von 0,91 mmol/l ist identisch mit dem erfassten Mittel des Ruhelaktatwertes von Neumann und Schüler [13]. Der erfasste Maximalwert des Blutlaktats während einer Spielsituation lag bei 10,5 mmol/l nach einer Auswechslung. Im Vergleich dazu lagen alle Laktatwerte der letzten Stufe der Voruntersuchung bei <10 mmol/l (maximal wurde Laktat im Blut in der Voruntersuchung von 9,4 mmol/l gemessen). In der Nachuntersuchung im Stufentest überschritten nur zwei Spielerinnen diese 10,5 mmol/l in der letzten Stufe des Stufentests, der so genannten „Auslastungsstufe“ [13]. Die beiden gemessenen L_{max} lagen hier bei 10,6 mmol/l bzw. bei 12,1 mmol/l. Dies zeigt an, dass die Spielerinnen auch während der Spielsituation ihre körperliche Auslastung erreicht haben.

Im Mittel lagen die Laktatwerte während der Ein- und Auswechslung bei ca. 3 bis 6 mmol/l. Diese Angabe deckt sich auch mit der Literatur von H. Liesen im Feldhockey, bei der im Schnitt ein Laktatwert von 4 bis 8 mmol/l erfasst wurde [36].

4.3 Hockeyverletzungen im Spiel

Insgesamt wurden zehn Verletzungen registriert, das sind durchschnittlich 0,83 Verletzungen pro Spielerin. Im Vergleich sind das ca. 25 % mehr Verletzungen als noch vor 20 Jahren registriert worden sind [45]. Vermutlich liegt dieser Prozentsatz sogar

noch höher, da in der Studie von Eggers-Ströder et al. (1994) die Verletzungen sowohl im Training als auch im Spiel registriert worden sind. In der vorliegenden Studie wurde sich hingegen nur auf die Verletzungen im Spiel konzentriert. Die erhöhte Verletzungsrate könnte im Wesentlichen in der zunehmenden Schnelligkeit des Spiels begründet sein, wodurch die Spieler stärker gefährdet werden [3, 64]. Dieser Anstieg ist nicht in Einklang mit der Studie von Dick et al. (2007) zu bringen, welche ein Absinken der Verletzungen im Spiel von der Saison 1988/89 bis zu der Saison 2003/04 beobachtete. Probanden der Untersuchung von Dick et al. (2007) waren College-Athletinnen, was die abweichende Entwicklung der Verletzungen zu dem hier untersuchten Bundesliga-Spitzensport erklären könnte, da mit ansteigendem Spiel-Niveau auch die Verletzungen ansteigen [5]. Außerdem analysierte Dick et al., dass bei Regelveränderungen mit resultierender Erhöhung der Spielgeschwindigkeit, mehr Verletzungen beobachtet werden [5]. Eine solche Regelveränderung lag mit der Einführung von „Hockey5“ in der Hallensaison 2013/14 vor [8].

In der vorliegenden Studie wurden mehr (75 %) Prellungen, Band- und Meniskusläsionen oder Muskelverletzungen aufgezeichnet als in vergleichbaren Studien, wie u. a. bei Eggers-Ströder et al. mit nur 50 % solcher Verletzungen [4, 45]. Übereinstimmend ist jedoch, dass diese Verletzungen die am häufigsten registrierten Verletzungen sind [45]. Die abweichenden Studienergebnisse könnten entstanden sein, da sich die Spielerinnen durch die Schnelligkeit während eines Spiels und der Interaktion mit dem Gegner eher Prellungen, Band- und Meniskusläsionen oder Muskelverletzungen zuziehen als dies im Training der Fall wäre.

Allgemein stehen bei Sportunfällen Verletzungen der unteren Extremität an erster Stelle [43]. Die Angaben liegen zwischen 47 % und 63 % [3, 6, 44, 45], womit die 58,3 % aus dieser Studie sehr gut übereinstimmen. Auch die 33,3 % der Läsionen an der oberen Extremität als zweit-stärkster vertretener Verletzungsbereich sowie ein Anteil von 8,33 % der Läsionen am Kopf sind in der Literatur wiederzufinden [5, 6, 43, 45]. Im Vergleich zu anderen Sportarten wie Eishockey oder Lacrosse ist Feld- bzw. Hallenhockey die einzige Sportart, die das Tragen von Handschuhen nicht vorschreibt. Es wurde herausgefunden, dass es im Feldhockey ein signifikant höheres Risiko für Handverletzungen gibt [65]. Demnach könnten Handschuhe protektiv auch im Feld- bzw. Hallenhockey getragen werden, um solchen Verletzungen vorzubeugen.

Der Verletzungsmechanismus mit 40 % Verletzungen ohne äußere Einflüsse, 40 % hockeyspezifischen Verletzungen (Ball oder Schläger) und 20 % durch den Gegner verursachte Verletzungen deckt sich mit den in der Literatur gefundenen Angaben [4, 6, 45, 66].

In der vorliegenden Studie ist eine höhere Verletzungsinzidenz bei Verteidigern als bei Stürmern zu finden, ähnlich wie bei Dick et al. (2007) [5].

Aus diesen Angaben ist zu entnehmen, dass aufgrund der gesteigerten Verletzungsrate im Spiel mehr Wert auf Prävention gelegt werden sollte. Dabei sollte besonders die Spielposition der Verteidiger berücksichtigt werden. So könnte das Regelwerk in die Richtung geändert werden, dass das Spiel etwas verlangsamt wird und die Spieler mehr Zeit haben, sich auf verschiedene Spielsituationen vorzubereiten. Eine solche Veränderung wäre durch die Wiedereinführung von 6 Spielerinnen je Mannschaft gegeben.

Außerdem könnte den Spielern das Tragen von gepolsterten Handschuhen vorgeschrieben werden, um vor allem Quetschwunden an den Fingern und Händen beim Abstoppen des Balls bzw. beim Verteidigen der eigenen Spielhälfte zu verhindern.

Zum besseren Vergleichen der Studien wurde eine Umrechnung der Verletzungen in Prozente vorgenommen, welche bei dem kleinen Probandenkollektiv als differenziert bewertet werden könnte. Daher wäre es anzustreben die hier dargestellten Ergebnisse in einem größeren Probandenkollektiv zu bestätigen.

4.4 Diskussion der Hypothesen

4.4.1 Korrelation von Blutlaktat und Hockeyverletzungen

Der maximal erreichte Laktatwert bei dem Stufentest der Vor- bzw. Nachuntersuchung wird als Kriterium der körperlichen Ausbelastung der untersuchten Probandinnen genutzt. Dieser Ausbelastungswert liegt bei ca. 8 mmol/l bzw. bei Hochleistungs-sportlern bei niedrigeren Werten [13]. Im Vergleich lagen die Mittelwerte der VU und der NU mit 7,43 mmol/l und 7,9 mmol/l sehr nah an diesem Ausbelastungsbereich, besonders für Hochleistungssportler (siehe Tabelle 4, S. 48). Daraus kann die Schlussfolgerung gezogen werden, dass Werte um die 8 mmol/l im Spiel eine körperliche Ausbelastung für den Spieler bedeuten.

Fremdverletzungen werden durch die Einwirkung von Gegenspielern verursacht. In der Literatur wurde bereits beschrieben, dass Spieler mit mittelhohen Laktatwerten von knapp 3 bis 7 mmol/l eine geringere Leistungsfähigkeit (verminderte Treffsicherheit) aufweisen [35]. Um zu ermitteln, ob es einen Zusammenhang zwischen den Blutlaktatwerten der Gegenspieler als Ursache dieser Verletzung (ggf. durch verminderte Treffsicherheit) gibt, sind weiterführende Studien notwendig.

Durch den Laktatanstieg bzw. den pH-Wert-Abfall [11] könnte es durch den neurogenen Einfluss, wie u.a. das Fehlen energieliefernder Glykolyse für das Gehirn wie auch für die Muskulatur [11], zu einer verminderten Konzentrationsfähigkeit und damit verbunden zu mehr persönlichen Fehlern und zu einer erhöhten Verletzungsinzidenz führen [36]. Auch ein Anstieg der H⁺-Ionen behindert die Muskelkontraktion indirekt durch die Abschwächung der Adenosintriphosphat (ATP) – Regenerierung oder direkt [26]. In der zugrundeliegenden Studie wurde die These statistisch unterstützt, dass je höher der Blutlaktat Spiegel ist, desto höher ist die Verletzungsinzidenz. Dies könnte auf eine Ermüdungserscheinung zurückzuführen sein [11]. Als weiteren Einflussfaktor der Muskelkontraktion und damit der Verletzungsinzidenz muss auch eine Elektrolytveränderung mit Kalziummangel genannt werden [67].

Ein besonderes Augenmerk soll in diesem Zusammenhang auf Spielerin 2, Spiel 7 gelenkt werden (siehe Abbildung 10, S. 41), welche in der zweiten Halbzeit eine Verletzung bei einem Laktatwert von 2,3 mmol/l erlitt. Dies ist ein sehr niedriger Laktatwert im Zusammenhang mit einer Verletzung. Wenn nun das gesamte Spiel 7 betrachtet wird, so wird entdeckt, dass die Spielerin 2 in diesem Spiel durchgängig niedrige Laktatwerte aufwies. Daher könnte diskutiert werden, dass aufgrund der Ernährung eventuell die Glykogenspeicher leerer waren und es zu keinem so hohen Laktatwert kommen konnte, welcher normalerweise eher zu einer Verletzung führen würde. Dies wäre eine weitere mögliche Hypothese und könnte in weiterführenden Untersuchungen näher analysiert werden.

Aus den Laktat-Werten der hier zugrunde liegenden Studie wurde analysiert, dass ein Laktatwert um 6,3 mmol/l zu 67 % die Verletzungsfälle indiziert. Die Angaben eines Laktatbereichs um die 6 mmol/l finden sich auch in der Literatur [26, 35, 36]. Dieser Wert könnte starker Ermüdungserscheinungen der Spielerinnen entsprechen, durch welche es zu einer sinkenden technischen Funktionalität im Spiel gekommen sein könnte. Dadurch könnte es im Hallenhockey zu einer höheren Verletzungsinzidenz kommen.

Aus den vorliegenden Ergebnissen ist den Hockeyspielerinnen der Bundesliga zu empfehlen, dass diese eine Blutlaktatkonzentration von über 6 mmol/l im Training und auch wenn möglich im Spiel vermeiden sollten, um der Gefahr einer Verletzung weniger ausgesetzt zu sein und somit ein durchgängig gutes technisches Training und Spiel absolvieren zu können. Schlussfolgernd könnte ein vorzeitiges Auswechselln der Spieler dem Ansteigen des Laktatwertes und damit der Verletzungsinzidenz vorbeugen, welches in hierauf aufbauenden Studien geprüft werden sollte.

4.4.2 Korrelation von Erkrankungen und Ruheblutlaktat (La_{Ruhe})

Es wurde in der vorangegangenen Literaturrecherche bisher keine Studie zur Untersuchung der Ruhelaktatwerte im Blut im Zusammenhang mit Erkrankungen gefunden. Daher wurde dieser Zusammenhang in der vorliegenden Studie untersucht. Es wurde festgestellt, dass der MW- La_{Ruhe} im Blut der neun erkrankten Spielerinnen nur bei Spielerin 11 signifikant (p-Wert von 0,012) niedriger war als der MW- La_{Ruhe} im gesunden Zustand. Ergänzend wurde ermittelt, dass bei acht der neun erkrankten Spielerinnen die MW- La_{Ruhe} geringer als die Werte bei gesunden Probandinnen waren. Die Korrelation der MW- La_{Ruhe} zwischen der Gruppe „erkrankt“ und „gesund“ fiel somit mit einem p-Wert von 0,0056 im t-Test signifikant aus. Der La_{Ruhe} -Wert ist im Blut im erkrankten Zustand signifikant niedriger als im gesunden Zustand. Diese Art des Blutlaktatspiegelabfalls könnte Ausdruck einer verminderten Leistungsfähigkeit der Probanden und daraus resultierend eine verminderte körperliche Aktivität sein.

Hinsichtlich der Erkrankungen wäre auch zu diskutieren, inwieweit der Stress während der Saison ein erhöhtes Potenzial für Krankheiten darstellt und an eine niedrige Fitness mit niedrigeren Laktatwerten gekoppelt ist. Eine Verringerung der körperlichen Aktivität unter psychologischem Stress wurde bereits nachgewiesen [68].

In folgenden Studien sollte die noch offen gebliebene Frage geklärt werden, wie stark der Faktor „Erkrankung“ den Blutlaktatwert insgesamt verändert und damit die Ergebnisse eines Stufentests bzw. der gesamten Sportdiagnostik mit dem Parameter Laktat unzutreffend bzw. unvergleichbar werden. Denn wenn bei Erkrankung der Laktatspiegel sinkt, dann würde der Sportler im Ergometrie-Test als leistungsfähiger angesehen werden, als er tatsächlich wäre (siehe Abbildung 2, S. 21) [9]. Aus der Abbildung kann entnommen werden, dass je niedriger der Laktatspiegel eines Sportlers ist, desto höhere

Trainingsleistung wird für den Sportler angenommen und eine höhere Trainingsziel-Herzfrequenz angesetzt. Als Folge daraus könnte einem erkrankten Spieler eine Trainingsempfehlung ausgegeben werden, die diesen überfordert.

In weiterführenden Studien sollte daher untersucht werden, wie lange ein Sportler genesen sein sollte, damit sein Gesundheitszustand den Blutlaktatspiegel nicht mehr beeinflusst. Fraglich ist, ob eine Ethikkommission eine solche Untersuchung zulässt. Die Frage, wie lange ein Proband gesund sein muss, bevor dessen Sportleistung anhand von Blutlaktatwerten getestet werden kann, ohne durch den Gesundheitszustand beeinflusst zu werden, bleibt daher offen.

4.4.3 Hockeyverletzungen im Zeitverlauf

In diesem Kapitel liegt der Fokus auf Hockeyverletzungen im Zeitverlauf während eines Spiels bzw. während der Saison. Bei der zugrundeliegenden Studie wurden mehr Verletzungen in der zweiten Halbzeit gegenüber der ersten Halbzeit aufgezeichnet. Dies führt jedoch nicht zu einem statistisch signifikanten p-Wert, es wurde nur eine Tendenz deutlich. Auch im Rugby, welches ähnliche Spielmuster wie das Hockey aufweist [38], traten mehr Verletzungen in der zweiten Spielhälfte auf. Nach Gabbett et al. (2000) liegt dies in der Ermüdung oder in der durch Ermüdung beeinträchtigten Technik begründet [47].

Diese Vermutung wird auch durch weitere Studien unterstützt [51]. Die Ermüdung kommt u. a. durch zu kurze, aktiv gespielte Erholungspausen von ca. 20 s zwischen zwei Sprintphasen zustande. Daraufhin kommt es zu einer absinkenden Spielleistung [38], die mehr Verletzungen in der zweiten Spielhälfte zur Folge haben könnte.

In einer späteren Studie wurde festgestellt, dass es bei vergleichsweise professionelleren Spielern im Rugby zu weniger Verletzungen in der zweiten Hälfte kam [27]. Daraus schlussfolgerte Gabbett et al. (2005), dass die Wichtigkeit der aeroben Fitness als Vorbeugung der durch Ermüdung entstehenden Verletzungen in der zweiten Hälfte herausgestellt werden kann [27]. Daher sollten die Spieler, um Verletzungen in der zweiten Halbzeitphase als auch in der zweiten Saisonhälfte vorzubeugen, über die ganze Saison ausreichend Krafttraining und Ausdauerkonditionierung durch den Trainer erhalten. Durch diese Trainingseinheiten, könnten die Defizite der Spieler zur zweiten Hälfte der Saison bzw. in der zweiten Halbzeit ausgeglichen werden.

Übereinstimmend mit den Verletzungen im Rugby-Spiel und im Hockey-Spiel aus der vorliegenden Arbeit wird auch gefunden, dass in der zweiten Hälfte der Saison mehr Verletzungen zu verzeichnen sind [27]. Die über die Saison abfallende Körperkraft könnte eine Erklärung für die höhere Verletzungsinzidenz im zweiten Teil der Saison sein [48]. Um dies zu verhindern, wäre ein über die Saison durchgängig starkes Krafttraining der Muskulatur anzuraten, um einer Verminderung der Muskelkraft vorzubeugen. Dabei sollte jedoch auch beachtet werden, dass es zu keiner Überbelastung bzw. zu starker Ermüdung kommt, denn ansonsten wäre das Verletzungsrisiko wieder erhöht [24].

Eine mögliche Erklärung für die erhöhte Verletzungsinzidenz in der zweiten Saisonhälfte ist auch, dass es zu kumulierten Mikrotraumen und/ oder Restermüdung durch zu kurze Erholungsphasen zwischen den einzelnen Spielen kam [47]. Außerdem könnte die stärkere Verletzungsrate auf eine höhere Spielintensität zurückzuführen sein, je näher die Finalspiele rückten [53].

Die Laufgeschwindigkeit bzw. die Spielintensität wurden in dieser Studie nicht berücksichtigt. Um diese Ergebnisse weiterführend zu überprüfen, sollten in einer nachfolgenden Arbeit sowohl die Trainings- als auch die Spielintensität mit dokumentiert werden, um die Ergebnisse besser interpretieren zu können.

4.5 Limitationen

4.5.1 Allgemeine Einschränkungen bei der Studiauswertung

Auch wenn diese Studie einen Zusammenhang zwischen der Blutlaktatkonzentration und dem Verletzungsrisiko in der Spielsituation aufzeigt, so sind doch einige Limitationen bei der Bewertung der Ergebnisse zu beachten.

Die bisherigen Studienergebnisse sind schwer zu vergleichen, da sehr viele verschiedene Studiendesigns angewandt wurden. So werden männliche als auch weibliche Studienprobanden beschrieben, welche ein unterschiedliches Produktionsverhalten von Laktat haben [62, 69]. Es gibt Tests, welche standardisiert unter Laborbedingungen durchgeführt wurden [39, 48]. Diese stehen der in der vorliegenden Studie genutzten Methodik der Felduntersuchung gegenüber, welche im Spiel durchgeführt wurde. Darüber hinaus gab es auch retrospektive Studien, welche ausschließlich Auswertungen einer bereits vorhandenen Datenbank über Hockeyverletzungen beinhalten [3-6, 44, 45]. Außerdem ist ein Vergleich von

unterschiedlichen Sportarten durch verschiedene Bewegungsabläufe, Spielintensitäten, Spieldauer und Einsätzen nur bedingt möglich. Darüber hinaus wurden in anderen Studien Freizeitsportler untersucht, bei denen es zu einer abweichenden Laktatproduktion kommt als bei Bundesliga-Spielern [9, 25, 46] (siehe Abbildung 2, S. 21).

Darüber hinaus ist es im Spitzensport nicht möglich, das Verletzungsrisiko nur an einem einzigen Parameter festzumachen. Weitere Einflussfaktoren, die das Verletzungsrisiko beeinflussen, sind z. B. die Aggressivität der Gegner oder die Bodenbeschaffenheit [45]. Dennoch kann mit dem Blutlaktatwert, einem sehr wichtigen Indikator, begonnen werden, um in Zukunft die Zusammenhänge der Komplexität der Spielabläufe besser verstehen zu können.

4.5.2 Limitationen bei Probanden

Die genannten Korrelationskoeffizienten sind aufgrund der kleinen Stichprobe ($n = 12$) mit Bedacht zu interpretieren, da Extremwerte die Korrelation stark beeinflussen können. Hier ist die Untersuchung weiterer unabhängiger Kollektive unbedingt erforderlich.

Wie im Kapitel 1.1.2, S. 18 erläutert, beeinflussen mehrere Faktoren die Blutlaktatkonzentration. Wenn z. B. aufgrund einer veränderten Ernährung das Muskelglykogendepot entleert ist, so würde es zu einer geringeren Laktatbildung kommen (siehe Abbildung 1, S. 17) [12, 13]. Dies könnte fälschlicherweise als Leistungsverbesserung angesehen werden, da sich eine rechtsverschobene Laktat-Leistungskurve ergeben würde (siehe Abbildung 2, S. 21) [9]. Daraus ist abzuleiten, dass unter optimalen Studienbedingungen die Ernährung im Vorfeld der Untersuchungen standardisiert (z. B. reich an Kohlenhydraten) werden sollte.

Intensive Trainingseinheiten am Vortag können auch eine Teilentleerung des Muskelglykogendepots mit Beeinflussung der Laktatproduktion am Spieltag nach sich ziehen [13, 17]. Am Tag vor den Untersuchungen sollte daher möglichst kein Training durchgeführt werden. Wenn dies nötig ist, dann müsste das Training auch standardisiert für alle Spieler gleich sein.

Deshalb wäre die Dokumentation der Ernährungs- und Trainingsbedingungen (Trainingsinhalte und -beteiligung) über den gesamten Untersuchungszeitraum sinnvoll. Diese Faktoren, die einen Einfluss auf die Muskelprozesse und damit auf die

Blutlaktatkonzentration haben, wurden in dieser Studie jedoch nicht gesondert berücksichtigt.

Da in der vorliegenden Studie die Probanden ausschließlich weiblich waren, könnte eine weiterführende Studie in der männlichen Hockeyliga stattfinden. Dadurch dass es im Männerhockey häufiger zu Verletzungen kommen soll [4, 43, 44], würden die erzielten Ergebnisse (insbesondere die Korrelation zwischen Verletzungen und Blutlaktat) die vorliegende Studie sehr gut ergänzen.

4.5.3 Limitationen durch weitere Einflussfaktoren auf die Blutlaktatwerte

Wesentliche Einflussfaktoren, wie u. a. die Stärke des Gegners, psychische Belastungen im Wettkampf oder die Spielfähigkeit bleiben in dieser Studie unberücksichtigt, da sich diese einer Standardisierung mittels Befragung oder reiner Beobachtung entziehen. In einer nachfolgenden Studie sollten diese Faktoren mit einbezogen werden.

4.5.4 Limitationen bei Blutentnahmen

Die Blutentnahmen erfolgten nach strengem Protokoll (siehe Abbildung 3, S. 29). Jedoch wurden die Blutabnahmen in Spiel 6 in der zweiten HZ von der 20. bis zur 29. Spielminute durch den Trainer zur besseren Konzentration der Spielerinnen auf den Spielsieg unterbrochen (siehe Fehlwerte in Abb. 10, 12, 17 und 19, S. 41 ff). In dieser Zeit kam es bei Spielerin 11 zu einer Eigenverletzung; für diese Spielerin wurde die Laktatmessung erlaubt. Außerdem wurden dreimal aufgrund eines zu kurzen Zeitabstandes vor dem Einwechseln keine Blutabnahmen durchgeführt (siehe Abb. 13, 16 und 20, S. 43 ff.). In dieser Zeit wurde jedoch keine Verletzung verzeichnet.

Ähnlich der Herzfrequenz, unterliegt die Blutlaktatkonzentration einer tageszeitlichen Schwankung [13]. Daher sollten die Untersuchungen zur gleichen Uhrzeit absolviert werden. Dies wurde in der Planung der Vor- und Nachuntersuchung berücksichtigt. Allerdings war der Spielplan der Bundesligaspiele festgelegt und es wurden Spiele vormittags, nachmittags bzw. abends ausgetragen. Aufgrund der Verletzungsinzidenz von zehn Verletzungen wurde auf eine Korrelation zu verschiedenen Tageszeiten verzichtet. Dieser Faktor könnte jedoch bei einer größer angelegten Studie mit mehr untersuchten Spielen und Verletzungen ergänzend analysiert werden.

In dieser Studie wurde nur das aus dem Muskel ins Blut abgegebene Laktat untersucht. Dies schließt die Laktatkonzentrationen nicht mit ein, die im Muskel verbleiben und dort weiterverarbeitet werden, die von anderen Organen (u. a. Herz, Leber, Gehirn) bereits aufgenommen wurden sowie die über einen Shuttle bereits abtransportiert wurden [11, 25]. Um dies ergänzend zu berücksichtigen und eine etwas genauere Laktatbestimmung zu machen, wären Muskelbiopsien zu entnehmen. Durch die hohe Anzahl der Muskelbiopsien wären ein Ethikvotum und eine erfolgreiche Probanden-rekrutierung schwer umsetzbar. Die Laktatabnahmen könnten hinsichtlich ihrer Gewichtung, zeitlichen Abfolge und Anzahl unter diesen Umständen in zukünftigen Studien weiter optimiert werden.

4.6 Schlussfolgerungen

In dieser Studie wurde der Zusammenhang von Blutlaktat mit Verletzungen während der Spielsituation untersucht. Diese Untersuchung war wichtig, da eine Prävention der Verletzungen zur Vermeidung einer immer stärkeren Gefährdung der Spieler sinnvoll ist. Daher wurde der Parameter Blutlaktat unter diesem Aspekt analysiert. Die Ergebnisse dieser Studie weisen das Blutlaktat als Indikator für das Verletzungsrisiko aus.

Die vorliegende Studie ist für Trainer und Sportärzte hilfreich, die generellen und individuellen Effekte des Blutlaktats auf die Ermüdung, die Spieltechnik, die Verletzungen und damit die Veränderungen der Spielqualität während der Saison besser bewerten und daraus Rückschlüsse ziehen zu können. Außerdem wird die Frage aufgeworfen, welche in kommenden Studien betrachtet werden sollte: Sind die Leistungstests, wie der auf Blutlaktat basierende Stufentest, bezogen auf die Ausdauerleistung weniger aussagefähig, da der Faktor „Erkrankung“ bisher zu wenig berücksichtigt wird?

Um Verletzungen im Hockey vorzubeugen, muss die weitere Vorgehensweise eine bessere Ausbildung der Spieler, Trainer, Sportärzte wie auch der Verbandsvorsitzenden einschließen, welche eine Regelveränderung der Spielteilnahme durch u. a. sportärztliche Voruntersuchungen und sportspezifische Schutzkleidung berücksichtigen sollten.

Sportmediziner sollten unterstützt werden, Faktoren zu untersuchen, welche zum fortschreitenden Qualitätsverlust der Leistung während eines Spiels beitragen. Es scheint, dass die leistungsorientierte Fähigkeit einer Mannschaft gestärkt werden könnte,

wenn die Leistung bis zu den letzten Spielminuten durch die Kombination von alternativen Spieltaktiken und einer Verbesserung der aeroben und anaeroben Fitness stetig gehalten bzw. gesteigert wird. Die optimale Herangehensweise wäre vermutlich die professionelle Konditionierung durch periodische hoch-intensive Ausdauerleistung, ein individuelles Training der einzelnen SpielerInnen anhand der Laktatmessungen sowie die Vermeidung unnötiger schneller Bewegungen in der Anfangsphase des Spieles, damit zum Ende des Spieles hin noch genug Reserven vorhanden sind.

Wenn diese verschiedenen Ansätze von den Spielern und Trainern beachtet werden, könnten Verletzungen reduziert und die Leistungen eines jeden Spielers ohne erhöhtes Risiko mit „olympischem Ehrgeiz“ ausgespielt werden.

4.7 Ausblick

Beim Hallenhockey finden meist leichte Verletzungen statt [4, 5, 43]. Trotzdem sind Überlegungen zur Prävention und ein daran angepasster Trainings- und Spielplan grundsätzlich sinnvoll, welche aus den vorliegenden Untersuchungen ableitbar sind:

- a) In Stichproben wäre eine Laktatmessung vor bzw. während des Spiels durch Sportärzte oder die Spieler selbst für präventive Maßnahmen gegen Verletzungen anzuraten. Dazu ist auch die Verwendung eines transportablen Laktatmessgerätes für Selbstkontrollen der Laktatkonzentrationen während der Belastungen zu empfehlen. Ein dauerhafter Laktatspiegel oberhalb von 6 mmol/l sollte vermieden werden, ggf. durch vorzeitige Auswechslung im Spiel.
- b) Durch das Tragen von Schutzkleidung wie u. a. gepolsterte Handschuhe könnten Finger- und Handverletzungen der Feldspieler verringert werden.
- c) Die Trainer sollten ein besonderes Augenmerk auf die Erlernung der Körperbeherrschung und das Risikobewusstsein legen: Da statistisch die Verteidiger ein höheres Risiko als Stürmer haben, eine Verletzung zu erleiden, könnten Verteidiger andere Trainingsempfehlungen als Stürmer erhalten (siehe Abbildung 21, S. 49).
- d) Die Spielerinnen sollten vor ihren Wettkämpfen den Fragebogen zu Erkrankungen beantworten (siehe Anhang 6.2, S. 83). Gegebenenfalls wäre eine weiterführende sportärztliche Untersuchung vor dem Spiel anzuraten, um zu untersuchen, ob die Spieler physisch in einer wettkampfbereiten Verfassung sind.

- e) Eine vollständige Rehabilitation wäre notwendig, bevor die Spieler zum Spieleinsatz zurückkehren, damit etwaigen Muskelanrissen und Verletzungsakkumulationen vorgebeugt werden kann.
- f) Eine ausreichend lange Spielpause zwischen den Spieleinsätzen während eines Spiels sollte vom Trainer gegeben werden, damit sich die Spieler regenerieren können. Dazu sollten immer genug Spieler auf der Bank sein, damit diese rotierend eingesetzt werden können. Ein Trainer sollte also zu jedem Spiel mehr Spieler als minimal notwendig einplanen.
- g) Ein präziseres Training wie z. B. durchgängiges Training der Muskelkraft und Ausdauerkonditionierung wäre nötig, damit die Defizite der Spieler zur zweiten Hälfte der Saison bzw. in der zweiten Halbzeit ausgleichen werden können. In der zweiten Halbzeit könnte ein Trainer ausgeruhtere Spieler, welche in der ersten Halbzeit weniger gespielt haben, von der Bank einsetzen. Dadurch könnten Verletzungen in diesen Phasen minimiert werden. Auch eine präzisere Spieltaktik sollte im Training erlernt werden, wobei die Spieler darauf achten, dass sie ihre Körperkraft über das ganze Spiel gut einteilen und damit ihre Leistung über beide Spiel-Halbzeiten besser aufrechterhalten können.
- h) Ferner sollte geklärt werden, wie stark der Faktor (Vor-)Erkrankung den Blutlaktatwert verändert und damit die Ergebnisse des Stufentests unzutreffend bzw. unvergleichbar werden lässt. In nachfolgenden Studien sollte untersucht werden, wie lange ein Sportler bereits gesund sein muss, um in der Sportmedizin die zu empfehlende Sportleistung anhand der Blutlaktatwerte berechnen zu können. Erst dann können genaue Trainingsempfehlungen für die Sportler erstellt werden. Für eine hierzu fortführende Studie wäre eine Erlaubnis von der Ethikkommission erforderlich, dass „kranke“ Probanden Sport ausüben dürfen. Daher müsste eine ähnliche Konstellation wie diese gefunden werden, in der die Probanden von sich heraus „krank“ Sport treiben. Solch eine Situation ist jedoch für eine fortführende Studie schlecht planbar.

Bereits im Rugby wurde festgestellt, dass die Verletzungsrate ansteigt, sobald das Niveau des Spiels zunimmt [27]. Eine weiterführende Frage wäre daher: Kann diese Annahme auch auf das Hockey-Spiel übertragen werden? Zusätzliche Untersuchungen zu Verletzungen in anderen Hockey-Spielniveaus wären für die Beantwortung sinnvoll.

Für weiterführende Studien ist anzuraten, dass als Referenzparameter zusätzlich zum Blutlaktat auch die Herzfrequenz, das Training, die Ernährung, die Geschwindigkeit und die Laufristanzen (eventuell per Videoanalyse) untersucht werden.

Eine Untersuchung der Laktatwerte vor und während des Spiels erscheint anhand der Ergebnisse dieser Studie sinnvoll, um Aussagen über das Verletzungsrisiko machen zu können. Jedoch sollte dies in einer fortführenden Studie weiter untersucht werden.

Für ein vollständiges Verständnis des Zusammenhangs von Blutlaktat mit Verletzungen wären Studien zu dieser Thematik aus den verschiedenen Bereichen des Sports anzuraten. So müssten die verschiedenen Interessenbereiche der Sportler, der Trainer, der Manager, der Sportmediziner, der Physiotherapeuten gemeinsam berücksichtigt werden, um eine fachrichtungsübergreifende Studie durchzuführen und daraus im Wettkampf umsetzbare Empfehlungen abzuleiten.

5 Literaturverzeichnis

1. Müller N, *Die olympische Devise "citius, altius, fortius" und ihr Urheber Henri Didon*. 2008, Mainz: Johannes Gutenberg-Universität Mainz.
2. Kaiser R, *Olympia Almanach - von Athen 1896 bis Sydney 2000*. 2000, Kassel: Agon Sportverlag.
3. Murtaugh K, *Injury patterns among female field hockey players*. Med Sci Sports Exerc, 2001. 33(2): p. 201-7.
4. Sherker S, Cassell E, *A Review of Field Hockey Injuries and Countermeasures for Prevention*. 2002, Melbourne: M.U.A.R. Center. (143): p. 1-90.
5. Dick R, Hootman JM, Agel J, Vela L, Marshall SW, Messina R, *Descriptive epidemiology of collegiate women's field hockey injuries: National Collegiate Athletic Association Injury Surveillance System, 1988-1989 through 2002-2003*. J Athl Train, 2007. 42(2): p. 211-20.
6. Hermann VB, Eggers-Ströder G, Steiner D, *Hallenhockey: Verletzungen und Prävention*. Sportverletzung Sportschaden : Organ der Gesellschaft für Orthopädisch-Traumatologische Sportmedizin, 1991. 5(2): p. 85-9.
7. Rinne MB, Miilunpalo SI, Heinonen AO, *Evaluation of required motor abilities in commonly practiced exercise modes and potential training effects among adults*. J Phys Act Health, 2007. 4(2): p. 203-14.
8. Deutscher Hockeybund e.V., *Regeln für Hallenhockey 2013*. 2013, Sindelfingen: Sportverlag Sindelfingen. p. 1-78.
9. Graf C, *Lehrbuch Sportmedizin*. 2011, Köln: Deutscher Ärzte-Verlag.
10. Müller-Wohlfahrt H-W, Ueblacker P, Hänsel L, *Muskelverletzungen im Sport*. 2014, Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
11. Myers J, Ashley E, *A Perspective on Exercise, Lactate, and the Anaerobic Threshold*. Chest, 1997. 111: p. 787 - 795.
12. de Marées H, *Sportphysiologie*. 2004, Köln: Sport und Buch Strauß.
13. Neumann G, Schüler K-P, *Sportmedizinische Funktionsdiagnostik*. 1994, Leipzig: Johann Ambrosius Barth Verlagsgesellschaft.
14. Spencer M, Bishop D, Dawson B, Goodman C, *Physiological and Metabolic Responses of Repeated-Sprint Activities Specific to Field-Based Team Sports*. Sports Medicine, 2005. 35(12): p. 1025 - 1044.
15. Böning D, *Muskelkater*. Deutsches Ärzteblatt, 2002. 99(6): p. A372-A377.

16. Del Percio C, Babiloni C, Infarinato F, Marzano N, Iacoboni M, Lizio R, Aschieri P, Ce E, Rampichini S, Fano G, Veicsteinas A, Eusebi F, *Effects of tiredness on visuo-spatial attention processes in elite karate athletes and non-athletes*. Arch Ital Biol, 2009. 147(1-2): p. 1-10.
17. Wahl P, Bloch W, Mester J, *Moderne Betrachtungsweisen des Laktats: Laktat ein überschätztes und zugleich unterschätztes Molekül*. Schweizerische Zeitschrift für Sportmedizin und Sporttraumatologie, 2009. 57(3): p. 100-107.
18. Weineck J, *Optimales Training*, ed. 15. 2007, Balingen: Spitta Verlag GmbH & Co. KG.
19. Pfitzinger P, Freedson PS, *The reliability of lactate measurements during exercise*. Int J Sports Med, 1998. 19(5): p. 349-57.
20. Hughson RL, Weisiger KH, Swanson GD, *Blood lactate concentration increases as a continuous function in progressive exercise*. J Appl Physiol (1985), 1987. 62(5): p. 1975-81.
21. Armstrong LE, Costill DL, Fink WJ, *Influence of diuretic-induced dehydration on competitive running performance*. Med Sci Sports Exerc, 1985. 17(4): p. 456-61.
22. Koistinen P, Takala T, Martikkala V, Leppaluoto J, *Aerobic fitness influences the response of maximal oxygen uptake and lactate threshold in acute hypobaric hypoxia*. Int J Sports Med, 1995. 16(2): p. 78-81.
23. Maassen N, Böning D, *Physiologische "Nebenwirkungen" der Milchsäure*. Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin, 2008. 12: p. 292-96.
24. Durocher JJ, Leetun DT, Carter JR, *Sport-specific assessment of lactate threshold and aerobic capacity throughout a collegiate hockey season*. Appl Physiol Nutr Metab, 2008. 33(6): p. 1165-71.
25. MacRae HS, Dennis SC, Bosch AN, Noakes TD, *Effects of training on lactate production and removal during progressive exercise in humans*. J Appl Physiol (1985), 1992. 72(5): p. 1649-56.
26. Davey PR, Thorpe RD, Williams C, *Fatigue decreases skilled tennis performance*. J Sports Sci, 2002. 20(4): p. 311-8.
27. Gabbett TJ, *Science of rugby league football: A review*. Journal of Sports Sciences, 2005. 23(9): p. 961-976.
28. Aujouannet YA, Bonifazi M, Hintzy F, Vuillerme N, Rouard AH, *Effects of a high-intensity swim test on kinematic parameters in high-level athletes*. Appl Physiol Nutr Metab, 2006. 31(2): p. 150-8.
29. Fleury M, Bard C, *[Metabolic fatigue and the performance of visual tasks]*. Can J Sport Sci, 1990. 15(1): p. 43-50.

30. Komar J, Lepretre PM, Albery M, Vantorre J, Fernandes RJ, Hellard P, Chollet D, Seifert L, *Effect of increasing energy cost on arm coordination in elite sprint swimmers*. Hum Mov Sci, 2012. 31(3): p. 620-9.
31. Casolino E, Cortis C, Lupo C, Chiodo S, Minganti C, Capranica L, *Physiological versus psychological evaluation in taekwondo elite athletes*. Int J Sports Physiol Perform, 2012. 7(4): p. 322-31.
32. Chelly MS, Hermassi S, Aouadi R, Khalifa R, Van den Tillaar R, Chamari K, Shephard RJ, *Match analysis of elite adolescent team handball players*. J Strength Cond Res, 2011. 25(9): p. 2410-7.
33. Bishop D, Edge J, Goodman C, *Muscle buffer capacity and aerobic fitness are associated with repeated-sprint ability in women*. Eur J Appl Physiol, 2004. 92(4-5): p. 540-7.
34. Balsom PD, Gaitanos GC, Ekblom B, Sjodin B, *Reduced oxygen availability during high intensity intermittent exercise impairs performance*. Acta Physiol Scand, 1994. 152(3): p. 279-85.
35. Urhausen A, Kullmer T, Schillo C, Kindermann W, *Leistungsdiagnostik im Tennis*. Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin, 1988. 39(9): p. 340-346.
36. Liesen H, *Schnelligkeitsausdauer im Fußball aus sportmedizinischer Sicht*. Fußballtraining, 1983. 1983(5): p. 27-31.
37. Davis P, Wittekind A, Beneke R, *Amateur boxing: activity profile of winners and losers*. Int J Sports Physiol Perform, 2013. 8(1): p. 84-91.
38. Spencer M, Lawrence S, Rechichi C, Bishop D, Dawson B, Goodman C, *Time-motion analysis of elite field hockey, with special reference to repeated-sprint activity*. J Sports Sci, 2004. 22(9): p. 843-50.
39. Minkoff J, *Evaluating parameters of a professional hockey team*. Am J Sports Med, 1982. 10(5): p. 285-92.
40. Fezer MC, *Das Blutlaktat während Muskelarbeit bei Patienten mit Zystischer Fibrose*. Institut für Sportmedizin der Charité - Universitätsmedizin Berlin Campus Benjamin Franklin, 2004, Berlin: Charité - Universitätsmedizin Berlin.
41. Dehnert C, Bärtsch P, *Diagnostik metabolischer Myopathien*. Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin, 2005. 56(6): p. 179 - 180.
42. Godfrey RJ, Whyte GP, Buckley J, Quinlivan R, *The role of lactate in the exercise-induced human growth hormone response: evidence from McArdle disease*. Br J Sports Med, 2009. 43(7): p. 521-5.
43. Murtaugh K, *Field hockey injuries*. Curr Sports Med Rep, 2009. 8(5): p. 267-72.

44. Junge A, Langevoort G, Pipe A, Peytavin A, Wong F, Mountjoy M, Beltrami G, Terrell R, Holzgraefe M, Charles R, Dvorak J, *Injuries in team sport tournaments during the 2004 Olympic Games*. Am J Sports Med, 2006. 34(4): p. 565-76.
45. Eggers-Ströder G, Hermann B, *Verletzungen im Feldhockey*. Sportverletzung Sportschaden : Organ der Gesellschaft für Orthopädisch-Traumatologische Sportmedizin, 1994. 8(2): p. 93-7.
46. Chapman DW, Newton MJ, McGuigan MR, *Efficacy of interval-based training on conditioning of amateur field hockey players*. J Strength Cond Res, 2009. 23(3): p. 712-7.
47. Gabbett TJ, *Incidence, site, and nature of injuries in amateur rugby league over three consecutive seasons*. Br J Sports Med, 2000. 34(2): p. 98-103.
48. Astorino TA, Tam PA, Rietschel JC, Johnson SM, Freedman TP, *Changes in physical fitness parameters during a competitive field hockey season*. J Strength Cond Res, 2004. 18(4): p. 850-4.
49. Heckhausen H, Strang H, *Efficiency under record performance demands: exertion control--an individual difference variable?* J Pers Soc Psychol, 1988. 55(3): p. 489-98.
50. Royal KA, Farrow D, Mujika I, Halson SL, Pyne D, Abernethy B, *The effects of fatigue on decision making and shooting skill performance in water polo players*. J Sports Sci, 2006. 24(8): p. 807-15.
51. Mohr M, Krstrup P, Bangsbo J, *Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue*. J Sports Sci, 2003. 21(7): p. 519-28.
52. Dellal A, Hill-Haas S, Lago-Penas C, Chamari K, *Small-sided games in soccer: amateur vs. professional players' physiological responses, physical, and technical activities*. J Strength Cond Res, 2011. 25(9): p. 2371-81.
53. Gabbett TJ, *Incidence of injury in semi-professional rugby league players*. Br J Sports Med, 2003. 37(1): p. 36-43; discussion 43-4.
54. Kerr RM, Spinks W, Leicht AS, Sinclair W, *Predictors of 1000-m outrigger canoeing performance*. Int J Sports Med, 2008. 29(8): p. 675-8.
55. Magalhaes J, Inacio M, Oliveira E, Ribeiro JC, Ascensao A, *Physiological and neuromuscular impact of beach-volleyball with reference to fatigue and recovery*. J Sports Med Phys Fitness, 2011. 51(1): p. 66-73.
56. Weiß C, *Basiswissen Medizinische Statistik*. 4. überarbeitete Auflage ed. 2007, Heidelberg: Springer Medizin Verlag.
57. Augustin D, *SPSS für Windows*. IBM SPSS STATISTICS 20 für Windows. 2012, Berlin: Charité - Universitätsmedizin Berlin.

58. Jones MT, Matthews TD, Murray M, Van Raalte J, Jensen BE, *Psychological correlates of performance in female athletes during a 12-week off-season strength and conditioning program*. J Strength Cond Res, 2010. 24(3): p. 619-28.
59. Wilson K, Snyder Miller G, Game A, Quinney A, Bell G, *The development and reliability of a repeated anaerobic cycling test in female ice hockey players*. J Strength Cond Res, 2010. 24(2): p. 580-4.
60. Haydt R, Pheasant S, Lawrence K, *The Incidence of Low Back Pain in NCAA Division III Female Field Hockey Players*. The International Journal of Sports Physical Therapy, 2012. 7(3): p. 296 - 305.
61. Stagno KM, Thatcher R, van Someren KA, *A modified TRIMP to quantify the in-season training load of team sport players*. J Sports Sci, 2007. 25(6): p. 629-34.
62. Jacobs I, Bar-Or O, Karlsson J, Dotan R, Tesch P, Kaiser P, Inbar O, *Changes in muscle metabolites in females with 30-s exhaustive exercise*. Med Sci Sports Exerc, 1982. 14(6): p. 457-60.
63. Russell M, Benton D, Kingsley M, *The effects of fatigue on soccer skills performed during a soccer match simulation*. Int J Sports Physiol Perform, 2011. 6(2): p. 221-33.
64. Tully MA, *Will the new field hockey rules lead to more injuries?* Br J Sports Med, 2003. 37(4): p. 373.
65. Bowers AL, Baldwin KD, Sennett BJ, *Athletic hand injuries in intercollegiate field hockey players*. Med Sci Sports Exerc, 2008. 40(12): p. 2022-6.
66. Groh H, Groh P, *Sportverletzung und Sportschäden*. 1975, Köln: Deutscher Ärzte Verlag.
67. Huppelsberg J, Walter K, *Kurzlehrbuch Physiologie*. 2 ed. 2005, Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
68. Olive LS, Telford RM, Byrne DG, Abhayaratna WP, Telford RD *Psychological distress leads to reduced physical activity and fitness in children: the Australian longitudinal LOOK study*. J Behav Med, 2016. p.: 12. DOI: 10.1007/s10865-016-9723-0.
69. Jacobs I, Tesch PA, Bar-Or O, Karlsson J, Dotan R, *Lactate in human skeletal muscle after 10 and 30 s of supramaximal exercise*. J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol, 1983. 55(2): p. 365-7.

6 Anhang

6.1 Allgemeiner Fragebogen

- 1.) Studienteilnehmernummer:
- 2.) Datum:
- 3.) Geburtsdatum:
- 4.) Größe (in cm):
- 5.) Gewicht (in kg):
- 6.) Wie lange trainieren Sie schon im Berliner Hockey Club (Angabe in Monaten)?
- 7.) An wie vielen Bundesligasaisons nahmen Sie schon teil?
- 8.) Wie gut schätzen Sie Ihren persönlichen Trainingszustand ein?
Von 0 = ganz schlecht bis 10 = sehr gut
- 9.) Haben Sie Vorerkrankungen oder körperliche Einschränkungen? Benennen und erklären Sie diese bitte detailliert.

6.2 Fragebogen zu Erkrankung und Verletzungen

- 1.) Studienteilnehmernummer:
- 2.) Datum:
- 3.) Hatten Sie in der letzten Woche:

		Zutreffendes bitte markieren
1	Erkältung (Hals-/Ohrenschmerzen)?	
2	Fieber?	
3	Gliederschmerzen?	
4	Grippe?	
5	Sonstiges:	

- 4.) gesamte Spieleinsatz (in min):
- 5.) Verletzung an diesem Spieltag: ja nein

5.1.) Wenn Verletzung, dann:

5.1.1) Spielzeitpunkt(e) zur Zeit der Verletzung (in min, 1./2.HZ?):

5.1.2) Wo am Körper und welcher Art (bei mehreren Verletzungen bitte mit 1., 2., 3. markieren)?

			Zutreffendes bitte markieren
1	Kopf/ Gesicht		
1.1		Prellung/ schwarzes Auge	
1.2		Wunde	
1.3		Gehirnerschütterung	
1.4		Gebrochene Nase	
1.5		Luxation	
1.6		Ganzer Kopf/ ganzes Gesicht	
2	Obere Extremität		
2.1		Fraktur	
2.2		Bänderriss/ -anriss	
2.3		Luxation	
2.4		Prellung/ Quetschung	
2.5		Wunde	
2.6		Ganze obere Extremität	
3	Rumpf		
3.1		Fraktur	

3.2		Muskelzerrung	
3.3		Ganzer Rumpf	
4	Untere Extremität		
4.1		Verstauchung	
4.2		Muskelzerrung	
4.3		Knieverletzung	
4.4		Fraktur	
4.5		Prellung/ Quetschung	
4.6		Wunde	
4.7		Ganze Untere Extremität	
5	Sonstiges:		

5.2.1) Grund (bei mehreren Verletzungen bitte mit 1., 2., 3. markieren)?

		Zutreffendes bitte markieren
1	Schläger	
2	Mitspieler	
3	Umgebung	
4	Ball	
5	Ohne Berührung	
6	Sonstiges:	

5.2.2) War(en) die Verletzung(en) eigenverschuldet?

Verletzung	ja	nein
------------	----	------

1.		
2.		
3.		
4.		

6.) War medizinische Versorgung notwendig? ja nein

6.1.) Wenn ja:

6.2.) Welcher Art?

7.) Verletzung(en) beeinträchtigt(en) weiteren Spielverlauf oder weitere Trainingseinheiten?

		Zutreffendes bitte markieren
1	Keine Beeinträchtigung	
2	Aussetzen für bestimmte Spielzeit (bitte mit Angabe in min):	
3	Abbruch des Spiels	
4	Abbruch des Trainings	
5	Sonstiges:	

7 Eidesstattliche Versicherung

„Ich, Juliane Arite Boll, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: „Prospektive Untersuchung zum Zusammenhang von Blutlaktat mit Verletzungen - am Beispiel vom Hallenhockey“ selbstständig und ohne nicht offengelegte Hilfe Dritter verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel genutzt habe.

Alle Stellen, die wörtlich oder dem Sinne nach auf Publikationen oder Vorträgen anderer Autoren beruhen, sind als solche in korrekter Zitierung (siehe „Uniform Requirements for Manuscripts (URM)“ des ICMJE -www.icmje.org) kenntlich gemacht. Die Abschnitte zu Methodik (insbesondere praktische Arbeiten, Laborbestimmungen, statistische Aufarbeitung) und Resultaten (insbesondere Abbildungen, Graphiken und Tabellen) entsprechen den URM (s.o) und werden von mir verantwortet.

Meine Anteile an etwaigen Publikationen zu dieser Dissertation entsprechen denen, die in der untenstehenden gemeinsamen Erklärung mit dem/der Betreuer/in, angegeben sind. Sämtliche Publikationen, die aus dieser Dissertation hervorgegangen sind und bei denen ich Autor bin, entsprechen den URM (s.o) und werden von mir verantwortet.

Die Bedeutung dieser eidesstattlichen Versicherung und die strafrechtlichen Folgen einer unwahren eidesstattlichen Versicherung (§156,161 des Strafgesetzbuches) sind mir bekannt und bewusst.“

Berlin, den 16. März 2016

Datum

Unterschrift

8 Lebenslauf

Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.

9 Danksagung

Allen Spielerinnen der ersten Bundesliga der Damen des Berliner Hockey-Club e.V., deren geduldige Trainer und den Physiotherapeuten gilt mein besonderer Dank.

Besonders bei Dr. Safi Khalil und Priv.-Doz. Dr. Holger Mellerowicz möchte ich mich für die Ermöglichung dieser Studie und die persönliche Betreuung bedanken. Dr. Bernd Preininger für die Geduld und die vielen strukturellen Hilfestellungen, Dr. Folker Boldt für das Material und die Ermöglichung der Nutzung des Labors und der Messgeräte für den Stufentest, Dr. Jürgen Erasmus und Jana Förster für die statistische Beratung, Prof. Dr. Perka für die finanzielle Unterstützung, Stefan Mücke, Susanne Toebs, MTAs Fr. Schmidt und Fr. Steinke für die bereitwilligen Erklärungen der Laktatmessung und des Stufentest-Programms möchte ich meinen Dank aussprechen.

Bei meinem Bruder Alexander Boll, Ferdinand Faerber, Lam Duong, Nicole Lampaglia, Oda Hedemann, Robert Müller und Sarah Slowik möchte ich mich für die Unterstützung bei den Spielen herzlich bedanken.

Ein besonderer Dank an meinen Vater, Marian Boll, für all den zugesprochenen Mut und die gemeinsamen Stunden.

Abschließend noch einen großen Dank an Alper Memiş, Arite Scholwin-Boll, Benjamin Starke, Christian Scholwin, Dana Geist, Franziska Boll, Sabrina Ehlers, Sonja Mareck und Sophia Boll.