

Speichellaktat als Biomarker des anaeroben Stoffwechsels bei körperlicher Belastung

Ein Vergleich der Laktatkonzentrationen im Speichel und Blut im Verlauf inkrementeller Belastungstests

Abschlussarbeit zur Erlangung des
Master of Science in Sportwissenschaften
Option Unterricht

eingereicht von

Nora Schaub

an der
Universität Freiburg, Schweiz
Mathematisch-Naturwissenschaftliche und Medizinische Fakultät
Abteilung Medizin
Department für Neuro- und Bewegungswissenschaften

in Zusammenarbeit mit der
Eidgenössischen Hochschule für Sport Magglingen

Referent
Dr. Silvio Lorenzetti

Betreuer
Dr. Michael Villiger

Davos, August 2024

Dank

An dieser Stelle bedanke ich mich bei allen, die mich während der Entwicklung und Erarbeitung dieser Arbeit begleitet und unterstützt haben.

Mein besonderer Dank gilt meinem Betreuer, Michael Villiger, für seine fachliche Unterstützung beim Verfassen und Fertigstellen dieser Arbeit und seine laufend verständnisvolle und positiv-unterstützende Haltung in den schwierigen Phasen. Als Betreuer hat er mich in das Team von Davos Sports & Health aufgenommen und mir die Möglichkeit gegeben, am IN-SPRING-Projekt mitzuwirken, für mich wurde das Projekt so zu einer bereichernden Erfahrung. Auch wenn ich letztlich die Daten des In-Mouth-Sensors nicht ausgewertet habe, der Aufwand hätte den Umfang meiner Masterarbeit gesprengt, habe ich dennoch zahlreiche, wertvolle Erfahrungen gesammelt: Spannende Einblicke bei den Besuchen im Labor in Schaan bei Ivoclar gewinnen, Mitwirkung an Projektmeetings und Umsetzung der Testungen des Sensors.

Ein weiterer Dank gilt meinem Referenten, Silvio Lorenzetti, der mir durch wertvolle Denkanstösse zur Seite stand und diese Arbeit begutachten wird.

Ein nächster Dank geht an meine Mutter, Ann Hagnauer, für das Korrekturlesen meiner Arbeit eine aufwendige Aufgabe, die sie während ihren Ferien übernommen hat. Ausserdem danke ich ihr für die ständige Unterstützung in allen Situationen!

Zum Schluss ein besonderer Dank an meine gute Freundin Eva Jäger und an meinen wunderbaren Mitbewohner für den moralischen Support mit allen guten Momenten, dem Kochen und Einkaufen, als dies für mich aus gesundheitlichen Gründen nicht möglich war.

Nora Schaub

Davos, 21. August 2024

Zusammenfassung

Einleitung: Der Laktatstufentest ist ein wesentlicher Test in der Leistungsdiagnostik, um die Ausdauerfähigkeit einer Person zu bestimmen. Die bisherigen Methoden zur Laktatmessung sind invasiv und basieren auf Blutproben. Speichellaktat kann hingegen nichtinvasiv gesammelt werden. In dieser Arbeit wurde untersucht, wie sich das Speichellaktat im Vergleich zum Blutlaktat während eines Laktatstufentests bei Elite- und Hobbyathlet:innen verhält. Aufgrund der Ergebnisse kann der Einsatz des Speichellaktates als anaerober Biomarker in der Leistungsdiagnostik abgeschätzt werden.

Methode: Zur Beantwortung der Forschungsfragen absolvierten 20 Proband:innen (zehn Elite- und zehn Hobbyathlet:innen) einen Laktatstufentest auf dem Fahrradergometer mit paralleler Messung der Blut- und Speichellaktat-Konzentrationen. Die Laktatmessungen an allen Messzeitpunkten, wie auch zu den nicht zeitgebundenen Parametern (Maximalwerte und aerobe und anaerobe Schwelle), wurden anschliessend auf Unterschiede und Zusammenhänge bezüglich Konzentration geprüft und statistisch ausgewertet. Die Zeitverzögerung wurde anhand der Maximalwerte und den beiden Schwellen untersucht. Zum Schluss wurde überprüft, ob sich die Speichellaktatwerte und die Zeitverzögerung der Elite- von den Hobbyathlet:innen unterschied.

Resultate: Die Speichellaktat-Konzentrationen sind signifikant tiefer als die Blutlaktat-Konzentrationen ($p < 0.05$). Weiter wurde eine zeitliche Verzögerung zwischen Blut- und Speichellaktat an den Punkten der Maximalwerte und den beiden Schwellen von etwa 9-10 Minuten festgestellt. Die einzelnen Messzeitpunkte und die drei Parameter Maximalwert, aerobe und anaerobe Schwelle korrelieren nicht ($p > 0.05$). Hingegen hängt die Leistung an den aeroben und anaeroben Schwellen im Speichel mit denen im Blut zusammen ($p < 0.001$). Zwischen Elite- und Hobbyathleten wurden keine signifikanten Unterschiede ($p > 0.05$) bei den Differenzen der Laktatkonzentrationen festgestellt.

Diskussion: Die beschriebenen Resultate zeigen, dass die Speichellaktat-Konzentrationen auf Belastung reagieren. Allerdings können aufgrund individueller Unterschiede und der Variabilität bei der gleichen Person keine einfachen Zusammenhänge der Blut- und Speichellaktat-Konzentrationen festgestellt werden, der Grund liegt an den verschiedenen Einflussfaktoren, die den Übergang des Laktats vom Blut in den Speichel beeinflussen. Dennoch lässt sich anhand des Kurvenverlaufs des Speichellaktats die Leistung an der aeroben und anaeroben

Schwelle ableiten und ist somit der Leistungsbestimmung mit Blutlaktat in der Relation sehr ähnlich. Die Ergebnisse mit der nicht signifikant unterschiedlichen Differenz zwischen Speichel- und Blutlaktat bei Elite- und Hobbyathlet:innen sind nicht aussagekräftig, da sich die beiden Gruppen in ihrer relativen Leistung zu wenig voneinander unterscheiden.

Schlussfolgerung: Die Studie bestätigt das mögliche Potenzial von Speichellaktat als Biomarker des anaeroben Stoffwechsels. Eine Fortsetzung der Forschung ist jedoch nötig, um die individuellen Unterschiede in der Speichellaktat-Konzentration und die Zeitverzögerung, die durch verschiedene Einflussfaktoren den Übergang des Laktats vom Blut in den Speichel beeinflussen, besser zu verstehen. Weitere Untersuchungen mit verbesserter Messgenauigkeit und -dichte sowie wiederholten Testungen wären dafür zielführend und nützlich.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	7
1.1 Wissenschaftlicher Hintergrund und Ausgangslage.....	8
1.2 Ziel der Arbeit	20
2 Methode.....	22
2.1 Untersuchungsdesign	22
2.2 Untersuchungsteilnehmende	22
2.3 Untersuchungsverfahren.....	24
2.4 Untersuchungsinstrumente	26
2.5 Ethik-Genehmigungen und Datenschutz.....	28
2.6 Datenauswertung.....	29
3 Resultate	33
3.1 Unterschiede der Blut- zu Speichellaktatkonzentration während eines Laktatstufentests ...	34
3.2 Zeitverzögerung vom Blut- zum Speichellaktat zwischen den Messzeitpunkten Maximalwert, aeroben und anaeroben Schwelle	44
3.3 Zusammenhang zwischen Blut- und Speichellaktat bei den einzelnen Messzeitpunkten, dem Maximalwert und der aeroben und anaeroben Schwelle.....	45
3.4 Unterschiede in Differenzen zwischen Speichel-und Blutlaktat in der Konzentration sowie Zeitverzögerung bei Elite-und Hobby-Athlet:innen	48
4 Diskussion	50
4.1 Unterschiede zwischen Blut- und Speichellaktatkonzentration während eines Laktatstufentests.....	50
4.2 Zeitverzögerung vom Blut- zum Speichellaktat zwischen den Messzeitpunkten Maximalwert, aeroben und anaeroben Schwelle	55
4.3 Zusammenhang zwischen Blut- und Speichellaktat bei allen Messzeitpunkten, dem Maximalwert, aerobe und anaerobe Schwelle.....	56
4.4 Unterschiede in Differenzen zwischen Speichel-und Blutlaktat in der Konzentration sowie Zeitverzögerung bei Elite-und Hobby-Athlet:innen	58
4.5 Reflexion.....	59
4.6 Ausblick und Limitationen.....	60
5 Schlussfolgerung	61
Literatur	63
Anhang	69

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Ein- und Ausschlusskriterien für alle Proband:innen.....	23
Tabelle 2 Anzahl Messungen zu allen Messzeitpunkten.....	33
Tabelle 3 Anthropometrische Daten der beiden Studiengruppen.....	34
Tabelle 4 Gemittelte Werte und Streuung von absoluten und normalisierten Blut- und Speichellaktatwerten und deren Verhältnis.....	37
Tabelle 5 Zeitverzögerungen (Minuten) zwischen Blut- und Speichellaktat von Maximalwert, aerobe und anaerobe Schwelle	44
Tabelle 6 Relative Leistungen der beiden Studiengruppen	49
Tabelle 7 Unterschiede in der Differenz von Blut- und Speichellaktat und Zeitverzögerung zwischen Elite- und Hobby-Athlet:innen bei nicht zeitgebundenen Parametern.....	49

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Blutlaktatleistungskurve mit der individuellen aeroben und anaeroben Schwelle und den drei Trainingszonen	12
Abbildung 2 Studienprotokoll des inkrementellen Stufentests.....	25
Abbildung 3 Median der normalisierten Blut- und Speichellaktatkonzentrationen im Zeitverlauf des Tests	39
Abbildung 4 Boxplot der normalisierten Blutlaktatkonzentrationen während des Tests aller Proband:innen.....	40
Abbildung 5 Boxplot der normalisierten Speichellaktatkonzentrationen während des Tests aller Proband:in-nen	41
Abbildung 6 Beispiele von Laktatverläufen von Proband:innen in absoluten und normalisierten Werten	43
Abbildung 7 Streudiagramm der absoluten Blut- und Speichellaktatkonzentration zu allen Messzeitpunkten.....	45
Abbildung 8 Korrelation der Leistung an der aeroben Schwelle von Blut- und Speichellaktat	47
Abbildung 9 Korrelation der Leistung an der anaeroben Schwelle von Blut- und Speichellaktat	48

1 Einleitung

Die Leistungsdiagnostik ist von zentraler Bedeutung für die Einschätzung und Entwicklung der Leistung von Athlet:innen (Güllich & Krüger, 2022). Besonders die kardiovaskuläre Ausdauer, gemeint ist die Fähigkeit des Herz-Kreislauf-Systems während körperlicher Aktivität, ist entscheidend für die Leistungsfähigkeit und auch für die Gesundheit (Faude & Donath, 2019). Die Ausdauerdiagnostik ermöglicht die Bestimmung des aktuellen Leistungsstands, die Identifizierung von Stärken und Schwächen, sowie die Prognose von Wettkampfleistungen und die Optimierung der Trainingssteuerung (Davison et al., 2009). Eine der häufigsten Methoden zur Bestimmung der aeroben Fitness eines Menschen ist der Laktatstufentest (Röcker, 2019). Mit einem Belastungstest wird die Effizienz der physiologischen Energieproduktion aufgrund der Herzfrequenz und Blutlaktatkonzentration beurteilt. Mit zunehmender Leistung muss der Körper eine angemessene Energieproduktion sicherstellen, was wiederum zu autonomen Veränderungen in der metabolischen Energieproduktion führt (Hollmann, 2001). Laktat ist ein Produkt des Glukosestoffwechsels und ein Indikator für die metabolische Belastung (Brooks, 2009). Die Veränderung der Laktatkonzentration während der steigenden Belastung liefert wichtige Informationen über die aerobe und anaerobe Schwelle, respektive über die Energiegewinnung und kann damit zur Bewertung der Ausdauerleistungsfähigkeit verwendet werden (Hollmann, 2001). Der Nachteil dieser Methode ist die invasive Anwendung, da für die Messung eine Blutprobe benötigt wird (Segura, 1996).

In der Forschung wird darum nach alternativen, nicht-invasiven Messmethoden geforscht. Einerseits folgen Versuche, das Blutlaktat durch die Haut zu messen, dieser Weg konnte jedoch noch nicht in-vivo umgesetzt werden (Budidha et al., 2020). Eine weitere Möglichkeit Laktat nicht-invasiv zu messen, bieten weitere frei zugängliche Körperflüssigkeiten. Im Schweiß ist Laktat nachweisbar, jedoch korreliert der Konzentrationsverlauf nicht mit der körperlichen Belastung, beziehungsweise mit dem Blutlaktat und kann bei tiefen Leistungsintensitäten nicht gemessen werden (Heck et al., 2022). Aktuelle Forschungen zeigen auf, dass Laktat auch im Speichel gemessen werden kann (Heck et al., 2022). Mehrere Studien bestätigen, dass sowohl Blut- als auch Speichellaktat während körperlicher Belastung erhöhte Konzentrationen im Vergleich zum Ruhezustand zeigen (Chicharro et al., 1998; Ohkuwa et al., 1995; Santos et al., 2006; Tékus et al., 2012; Yan et al., 2023). Blut- und Speichellaktat weisen jedoch bei den meisten Studien eine zeitliche Verzögerung ihrer Reaktion auf die Belastung auf (Santos et al., 2006; Yoda et al., 1998). Es besteht Uneinigkeit über die genauen Konzentrationsunterschiede zwischen Blut- und Speichellaktat (Spehar-Délèze et al., 2021).

Insgesamt zeigen Studien auf, dass trotz einiger Unterschiede in der Methodik und den Ergebnissen, eine Korrelation zwischen Blut- und Speichellaktat besteht (Ohkuwa et al., 1995; Oliveira et al., 2015; Santos et al., 2006; Schabmueller et al., 2006; Tékus et al., 2012; Yan et al., 2023). Diese Korrelation weist auf metabolische Prozesse während der Belastung hin und macht das Speichellaktat somit zu einem vielversprechenden Biomarker für die Beurteilung anaerober Kapazitäten (Yan et al., 2023). Es benötigt jedoch noch weitere Kenntnisse zur Quantifizierung der Konzentration von Speichellaktat während körperlichen Belastungen und deren Verhältnis zum Blutlaktat, damit Speichellaktat zukünftig auch in der Diagnostik eingesetzt werden kann.

1.1 Wissenschaftlicher Hintergrund und Ausgangslage

In diesem Kapitel wird der theoretische Rahmen der Arbeit durch die Untersuchung von Laktat im Kontext der Leistungsdiagnostik und der Ausdauer und behandelt.

1.1.1 Leistungsdiagnostik

Die Leistungsdiagnostik stellt einen wichtigen Bestandteil für die Gesamteinschätzung zur Leistung und Leistungsentwicklung von Athlet:innen dar (Güllich & Krüger, 2022). Leistungsdiagnostische Tests ermöglichen als empirische Verfahren eine quantitative Beurteilung der Leistungsfähigkeit (Joyner & Coyle, 2008). Dafür analysiert die Leistungsdiagnostik die sportmotorischen Fähigkeiten mittels unterschiedlicher Methoden, wie zum Beispiel mit leistungsphysiologischen Verfahren, Beobachtungen oder Wettkampfanalysen (Güllich & Krüger, 2022). Es ist von entscheidender Bedeutung, dass diese Tests die wissenschaftlichen Kriterien erfüllen und unter standardisierten, zuverlässigen Bedingungen durchgeführt werden (Schürch, 1987). Die Hauptgütekriterien hierbei sind Objektivität, Zuverlässigkeit und Validität (Schürch, 1987).

Sportmotorische Fähigkeiten, zu denen Ausdauer, Kraft, Schnelligkeit, Beweglichkeit und Koordination gehören, sind entscheidend für die Leistung in vielen Sportarten (Güllich & Krüger, 2022). Insbesondere spielt die Ausdauer eine zentrale Rolle, da sie die Intensität und Effizienz der Bewegungen erhöht und somit die Gesamtleistung verbessert (Güllich & Krüger, 2022). Darüber hinaus ist die Ausdauer auch im gesundheitsorientierten Training von Bedeutung (Faude & Donath, 2019). Ausdauertraining hat vielfältige, positive Auswirkungen auf verschiedene Organsysteme, unter anderem auf das Herz-Kreislauf-System, und trägt somit wesentlich zur allgemeinen Gesundheit bei (Faude & Donath, 2019). Folglich ist die Förderung der Aus-

dauerfähigkeit ein zentrales Ziel sowohl im leistungs- als auch im gesundheitsorientierten Training (Faude & Donath, 2019). Für ein effizientes Ausdauertraining ist die Ausdauerdiagnostik ein unverzichtbares Instrument (Hofmann et al., 2004).

Ausdauerdiagnostik. Ausdauer wird allgemein als die Fähigkeit definiert, Widerstand gegen Ermüdung zu leisten (Faude & Donath, 2019). Sie ermöglicht Sportler:innen, ein bestimmtes Leistungsniveau über einen längeren Zeitraum aufrechtzuerhalten, minimiert Intensitätsverluste, stabilisiert die sportliche Technik und das taktische Verhalten und ermöglicht eine schnelle Erholung nach Belastungen (Faude et al., 2009).

Die Ausdauerleistungsdiagnostik bietet Rückschlüsse und Empfehlungen zur Ausdauerfähigkeit (Hofmann et al., 2004). Es kann der aktuelle Leistungsstand erhoben werden, um Stärken und Schwächen zu identifizieren (Faude & Donath, 2019). Sie bildet die Grundlage für die Trainingssteuerung (Güllich & Krüger, 2022). Die Diagnoseparameter dienen auch der Abschätzung des Leistungspotenziales, das durch meist genetisch bedingte Schlüsselparameter, wie Hämoglobinmasse oder VO_2max beeinflusst wird (Clénin, 2019; Hegner, 2012)). Die wiederholte Diagnostik ermöglicht die Verfolgung und Beurteilung der Leistungsentwicklung (Faude & Donath, 2019). Diese Methode kann auch zur Prognose der Wettkampfleistung und zur Entwicklung von Wettkampfstrategien, insbesondere bei zyklischen Sportarten, eingesetzt werden (Schürch, 1987). Aufgrund der unterschiedlichen möglichen Mess-Parameter muss eine Messmethode zur Bestimmung der Ausdauerleistungsfähigkeit gewählt werden, die auf das Anforderungsprofil der Sportart sowie auf das Ziel der Analyse zugeschnitten ist (Schürch, 1987).

Messverfahren der Ausdauerleistungsfähigkeit. Es gibt verschiedene leistungsphysiologische Kenngrößen zur Analyse und Beurteilung der individuellen Ausdauerleistungsfähigkeit (Faude & Donath, 2019). Dazu werden die biologischen Systeme Herz, Kreislauf, Atmung, Stoffwechsel und die beanspruchte Skelettmuskulatur untersucht (Schürch, 1987). Dazu zählen Cooper-Test, Laktatstufentest, VO_2max -Test oder Kapazitätstest (Clénin, 2019).

Die Härte eines Trainings wird primär durch den Stoffwechsel und nicht vom Kreislauf bestimmt (Schürch, 1987). Das Laktat ist ein indirekter Biomarker für Rückschlüsse über die Aktivität des anaeroben Stoffwechsels und ist somit ein wichtiger Parameter für die Steuerung der Trainingsintensität, um die Grenze der sportlichen Leistungsfähigkeit zu bestimmen (Schürch, 1987).

Laktat. Laktat, oft fälschlicherweise als Synonym für Milchsäure verwendet, ist das Salz der Milchsäure (Heck et al., 2022). Es existieren davon zwei chemische Formen: D-Laktat und L-Laktat. Laktat ist ein wichtiges Stoffwechselzwischenprodukt, das sich während des Glukosestoffwechsels im Körper bildet, insbesondere unter anaeroben Bedingungen (Hashimoto & Brooks, 2008). Als Stoffwechselzwischenprodukt kann Laktat im Organismus weiterverwendet werden und dient auch als Signalmolekül für zelluläre Anpassungen (Gladden, 2004). Beispielsweise kann es den Sauerstofftransport in die beanspruchte Muskulatur durch Gefässerweiterung steigern und die muskuläre Erregbarkeit verbessern (Brooks, 2009). Darüber hinaus kann Laktat Anpassungsprozesse wie die Neubildung von Blutgefäßen oder eine optimierte oxidative Energiebereitstellung fördern und die Bildung von laktatspezifischen Transportproteinen (MCT) induzieren. Laktat besitzt mehrere Eigenschaften mit positiven Effekten, die im Sport und im Trainingsprozess von Bedeutung sind (van Hall, 2010).

1.1.2 Laktatstufentest

Eines der am häufigsten verwendeten Messverfahren zur Beurteilung der Ausdauerleistungsfähigkeit ist der Laktatstufentest mittels Blutlaktatkonzentration (Röcker, 2019). Der Laktatstufentest ist ein standardisierter Belastungstest mit einem abgestuft ansteigenden Intensitäts-Protokoll für Fahrrad- oder Laufbandergometrie (Schürch, 1987). Die Belastungszeit auf jeder Stufe variiert zwischen zwei bis sechs Minuten, wobei dreiminütige Stufen am häufigsten verwendet werden (Schürch, 1987).

Das Belastungsprotokoll beinhaltet die Bestimmung der anfänglichen Belastungsstufe sowie die Dauer und Intensität der einzelnen Stufen (Röcker, 2019). Diese Parameter, Stufendauer und -höhe, bleiben während des Tests üblicherweise konstant (Faude & Donath, 2019). Die Auswahl dieser Variablen wird durch Faktoren wie Alter, Geschlecht, Körpergrösse und das erwartete Leistungsniveau der getesteten Person beeinflusst (Röcker, 2019).

Ein wesentlicher Vorteil des Laktatstufentests liegt darin, dass er mit nur einer einzigen Testdurchführung aussagekräftige Ergebnisse liefert (Hofmann et al., 2004). Während des Tests werden nach jeder Stufe physiologische Parameter wie Laktatkonzentration, Herzfrequenz und das subjektive Belastungsempfinden erfasst (Faude et al., 2009). Diese erhobenen Daten müssen anschliessend sorgfältig analysiert und interpretiert werden, um aussagekräftige Rückschlüsse auf die Leistungsfähigkeit zu ziehen (Faude et al., 2009).

Analyse der Laktatkonzentration. Während eines inkrementellen Belastungstests zeigt sich typischerweise ein exponentieller Anstieg der Blutlaktatkonzentration (Hofmann et al., 2004).

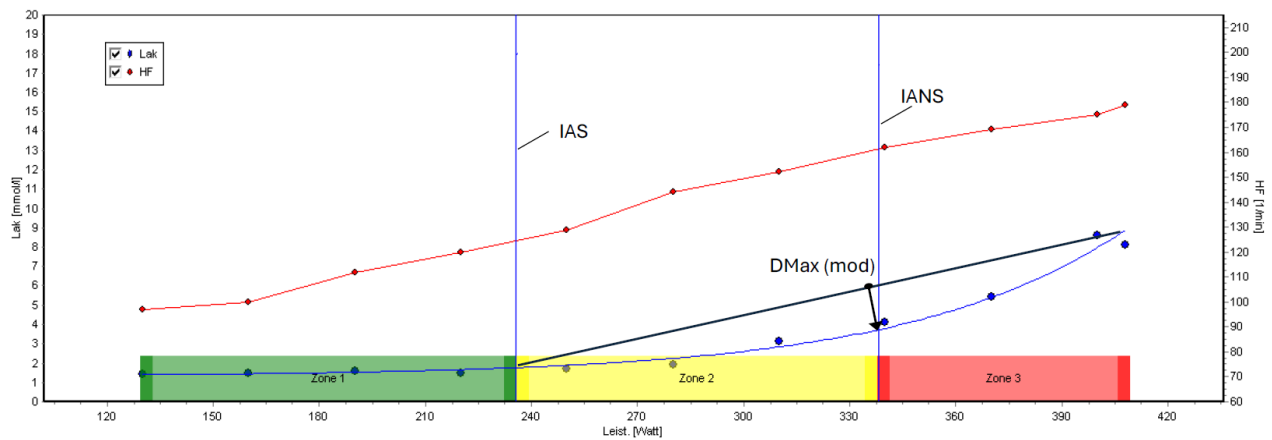
Eine Verschiebung der Laktatkurve nach rechts (niedrigere Blutlaktatwerte bei einer bestimmten Leistung) wird als Indikator für eine verbesserte Ausdauerleistung interpretiert. Umgekehrt die Linksverschiebung der Kurve (höhere Blutlaktatwerte bei derselben Leistung) weisen als Verschlechterung der Ausdauerleistung hin (Hofmann et al., 2004). Basierend auf dem Verlauf dieser Kurve werden die aerobe und anaerobe Schwelle bestimmt, die zur Festlegung von Trainingszonen herangezogen werden (Heuberger et al., 2018).

Aerobe Schwelle. Die aerobe Schwelle wird als jene Trainingsintensität definiert, bei der der Laktatspiegel im Blut über einen längeren Zeitraum konstant bleibt und nicht über den Ruhewert (Baseline) hinaus ansteigt (Faude et al., 2009). Für die Berechnung der aeroben Schwelle wird das Minimum Laktatäquivalent ermittelt, welches das Verhältnis zwischen Laktatkonzentration und der auf das Körpergewicht bezogenen Sauerstoffaufnahme darstellt (Berg et al., 1980). Da die Sauerstoffaufnahme hauptsächlich in der Spiroergometrie gemessen wird und im unteren Leistungsbereich proportional zur erbrachten Leistung ist, kann alternativ auch der Quotient aus Laktat und Leistung zur Berechnung herangezogen werden (Berg et al., 1980). Die Leistung, bei der dieses Verhältnis ein Minimum erreicht, wird als individuelle aerobe Schwelle festgelegt (Berg et al., 1980).

Anaerobe Schwelle. Die anaerobe Schwelle ist die höchste Belastung, bei der das Laktat-Steady-State, sprich das Gleichgewicht zwischen Laktatproduktion und -elimination, gewährleistet ist (Stegmann et al., 1981). Überschreitet man jedoch die anaerobe Schwelle, nimmt die Laktatkonzentration zu und die Trainingsintensität wird als anspruchsvoller wahrgenommen (Hollmann, 2001). Es kommt zur Ermüdung aufgrund von Metabolit-Ansammlungen (Hollmann, 2001). Das Blut wird durch den Anstieg von H^+ sauer und die Leistung kann nicht auf längere Dauer aufrechterhalten werden (Röcker, 2019). Es gibt viele unterschiedliche Konzepte zur Berechnung dieser Schwelle (Heck et al., 2022). Die Dmax-modifizierte Methode hat sich mit hoher Wiederholbarkeit und Vorhersagbarkeit auf dem Radergometer bewährt (J. Heuberger et al., 2018). Die zweite Schwelle wird mit dem grössten senkrechten Abstand zwischen der Laktatleistungskurve und der Geraden zwischen dem Punkt des minimalen Laktatäquivalentes und dem höchsten Laktatwert während der Belastung berechnet (siehe Abbildung 1) (Bishop et al., 1998).

Abbildung 1

Blutlaktatleistungskurve mit der individuellen aeroben und anaeroben Schwelle und den drei Trainingszonen



Anmerkung: Die rote Linie bildet die Herzfrequenz und die blaue den Wert des Blutlaktats ab. IAS: individuelle aerobe Schwelle, IANS: individuelle anaerobe Schwelle.

Auf diesen Schwellen basiert die Einteilung der Trainingszonen, sie dient der Quantifizierung des Trainings, die für eine optimale Trainingsgestaltung wesentlich sind (Faude et al., 2009).

Trainingszonen. Über die Laktatleistungskurve mit den beiden Laktatschwellen und der dazugehörigen Herzfrequenz werden Trainingsbereiche eingeteilt (Marées & Heck, 2006). Je nach Sportart existieren unterschiedliche Konzepte und Bezeichnungen für diese Zonen (Seiler & Kjerland, 2006). Es lassen sich drei physiologisch begründete Intensitätsbereiche bestimmen. Die Übergänge zwischen den Zonen sind fließend und nicht klar abzugrenzen, sie lassen sich aber auf primäre Prozesse zurückführen (Seiler, 2010). Diese Eigenschaften können genutzt werden, um bestimmte physiologische Systeme gezielt zu trainieren - auch wenn grosse Transfereffekte bestehen, da alle Systeme in der Regel mittrainiert werden (Tabata, 1996). Das Training in der Zone 1, das bis zur aeroben Schwelle geht, verbessert die Stoffwechselprozesse der aeroben Leistungsfähigkeit, regt den Fettstoffwechsel an, unterstützt den Abbau von Laktat und hilft somit der Regeneration. Allerdings kommt es bei einer sehr langen Trainingseinheit auch in dieser Zone zur Ermüdung (Güllich & Krüger, 2022).

Die Zone 2 befindet sich zwischen der aeroben und anaeroben Schwelle, wobei die Laktatkonzentration kontinuierlich ansteigt. In dieser Zone wird das aerobe System weiter trainiert, jedoch werden auch vermehrt Kohlenhydrate zur Energiegewinnung genutzt (Faude et al., 2009). Das Training in dieser Zone verbessert die aerobe Kapazität sowie die Fähigkeit des Körpers,

Sauerstoff zu transportieren und zu nutzen und führt schliesslich zu einer verbesserten Muskel-durchblutung und somit zu einer gesteigerten Leistungsfähigkeit (Güllich & Krüger, 2022).

Die Zone 3 liegt oberhalb der anaeroben Schwelle, die Laktatkonzentration steigt sprunghaft an. Das hochintensive Training ist eine Methode zur Verbesserung der maximalen Sauerstoffaufnahme (Joyner & Coyle, 2008). Das anerobe System wird intensiv trainiert, indem es eine Kombination aus Fett und Kohlenhydraten als Energiequellen nutzt (Joyner & Coyle, 2008). Das Training in dieser Zone verbessert die anerobe Ausdauer sowie die Fähigkeit des Körpers, bei höheren Intensitäten zu leisten (Güllich & Krüger, 2022).

1.1.3 Laktatmessungen

Die Laktatmessung ist eine lokale Abbildung des dynamischen Gleichgewichts zwischen Laktatproduktion und -elimination an verschiedenen Körperstellen (Brooks, 2007). In der Leistungsdiagnostik wird in der Regel mit kapillarem Blut gearbeitet, eine kleine (5-20 µL) Blutprobe wird dafür an der Fingerkuppe oder am Ohrläppchen entnommen (Heck et al., 2022).

Die Blutentnahme ist mit Unannehmlichkeiten wie Stress und dem potenziellen Risiko einer Infektion verbunden (Segura, 1996). Daher wurde bereits früher nach nicht-invasiven Alternativen gesucht.

Nicht-invasive Laktatmessungen. Es gab bereits Versuche, nicht-invasive Methoden zur Messung von Blutlaktat durch die Haut zu entwickeln zum Beispiel unter Verwendung optischer spektroskopischer Techniken (wie Mittelinfrarot, Nahinfrarot oder Ramanspektroskopie) (Buddha et al., 2020). Obwohl vielversprechende in-vitro-Ergebnisse erzielt wurden und anspruchsvolle Techniken zum Einsatz kamen, bringen solche Sensoren wichtige Nachteile (Anfälligkeit für Veränderungen in den Hautstruktureigenschaften und Umweltfaktoren) und erweisen sich für die In-vivo-Anwendung nicht robust genug (Faude et al., 2009).

Der Laktatgehalt ist im Schweiß tendenziell höher als im Blut und gilt nicht als verlässlicher Indikator für die Leistungsdiagnostik (Schabmueller et al., 2006). Der Hauptgrund dafür ist, dass bei geringer Belastung noch keine Schweißproduktion erfolgt und der Laktatspiegel im Schweiß bei zunehmender Belastung abnimmt, während der Laktatspiegel im Blut ansteigt (Spehar-Délèze et al., 2021). Studien haben zudem gezeigt, dass das Laktat im Schweiß aus dem Energiestoffwechsel der Schweißdrüsen stammt und somit nicht direkt mit dem Blutlaktat korreliert (Santos et al., 2006).

Biochemische und physiologische Veränderungen wurden im Bereich der menschlichen Leistungsfähigkeit durch Biomarker auch in anderen Körperflüssigkeiten wie im Speichel untersucht. Erfolgreiche Ergebnisse unterstützen die Auffassung, dass Laktat im Speichel zur Bewertung von aeroben und anaeroben Stoffwechselprozessen verwendet werden können, die hauptsächlich im Blut stattfinden (Ngamchuea et al., 2018; Oliveira et al., 2015; Schabmueller et al., 2006). Aufgrund dieser Erkenntnis wird vorgeschlagen, alternative, nicht-invasive Techniken in der anaeroben Bewertung einzusetzen, um die Beziehungen zwischen Blut und Speichel während der Erholungsphase nach submaximalen und maximalen Belastungen zu überprüfen (Oliveira et al., 2015; Santos et al., 2006).

1.1.4 Forschungsstand Blut- und Speichellaktat

Es gilt zunächst das aktuelle Wissen über die Rolle des Laktats im Energiestoffwechsel zu beleuchten, bevor der aktuelle Forschungsstand über Blut- und Speichellaktat während Belastung, sprich in der Leistungsdiagnostik, erläutert wird.

Laktat als Biomarker im Energiestoffwechsel. Der Körper muss schnell auf sich ändernde Energieanforderungen reagieren können, daher benötigt er ein gut abgestimmtes und differenziertes Energiesystem beziehungsweise Teilsysteme (Röcker, 2019). Eine Schlüsselsubstanz in diesem stoffwechselbezogenen Prozess ist das Adenosintriphosphat (ATP), das als Energieträger für Muskelkontraktionen dient und sowohl schnell als auch in grossen Mengen neu gebildet werden muss (Röcker, 2019). Die verschiedenen Wege zur Regeneration von ATP, wie die Hydrolyse von Kreatinphosphat, die Glykolyse und die oxidative Phosphorylierung (Oxidation von Abbauprodukten der Fette, Kohlenhydrate und Proteine im Citratzyklus und der Atmungskette), spielen eine zentrale Rolle im Energiestoffwechsel (Hashimoto & Brooks, 2008). Der aerobe Stoffwechsel findet in den Mitochondrien mit Sauerstoff statt, während die Hydrolyse und die Glykolyse ohne Sauerstoff im Zellplasma ablaufen und zum anaeroben Stoffwechsel gehören (Brooks, 2009; Güllich & Krüger, 2022).

Im Prozess der Glykolyse werden die Ausgangssubstrate, Glukose oder Glykogen, durch eine Reihe von enzymatischen Reaktionen zu Pyruvat abgebaut. Diese Umwandlungen erfordern keinen Sauerstoff, jedoch muss das entstandene Pyruvat sofort weiterverarbeitet werden, um einen reibungslosen Ablauf der Glykolyse zu gewährleisten. Bei geringer Belastungsintensität wird das Pyruvat hauptsächlich im oxidativen Stoffwechsel zu Kohlendioxid und Wasser umgewandelt, wobei ATP erzeugt wird. (Hofmann et al., 2004)

Während intensiver Belastung wird ATP in grossen Mengen benötigt und der oxidative Weg, der auf eine ausreichende Verfügbarkeit von Sauerstoff angewiesen ist, kann nicht schnell genug ATP liefern, um den Bedarf zu decken. Infolgedessen wird vermehrt in der anaeroben Glykolyse Pyruvat zu Laktat und einem H^+ Ion umgewandelt, um die ATP-Produktion zu maximieren, auch wenn dies weniger effizient ist als der oxidative Stoffwechselweg (Röcker, 2019). Bei intensiver körperlicher Aktivität wird mehr Laktat produziert, als der Körper abbauen kann (Hofmann et al., 2004). Dieser anaerob-laktazider Stoffwechselweg kann zwar kurzfristig mehr ATP bereitstellen, kann jedoch nicht unbegrenzt aufrechterhalten werden. Die während dieses Prozesses freigesetzten Protonen (H^+ Ionen) senken den pH-Wert des Blutes und führt zu einer Übersäuerung der Muskeln. Dies wiederum hemmt die Aktivität eines Schlüsselenzyms, die Phosphofruktokinase, und verringert somit die Rate der Glykolyse (Heck et al., 2022).

Die Effizienz der verschiedenen Stoffwechselwege zur ATP-Bildung variiert. Die anaerobe, alaktazide ATP-Bildung weist die höchste Leistungsfähigkeit auf, gefolgt von der anaeroben, laktaziden und der aeroben ATP-Bildung (Brooks, 2009). Gleichzeitig ist die Kapazität dieser Wege umgekehrt proportional zu ihrer Leistungsfähigkeit: Während die anaerobe, alaktazide ATP-Bildung schnell grosse Mengen ATP bereitstellen kann, ist ihre Kapazität begrenzt, im Gegensatz zur aeroben ATP-Bildung, die zwar langsamer ist, aber über eine grössere Kapazität verfügt (Gladden, 2004). Bei jeder Muskelarbeit werden alle ATP-Bildungswege parallel aktiviert, wobei ihr jeweiliger Beitrag von verschiedenen Faktoren, wie der Intensität der Belastung und der Verfügbarkeit von Sauerstoff, abhängt (Heck et al., 2022). Laktat wird in verschiedenen Geweben abgegeben und aufgenommen, so im Muskel, Gehirn, Herz und Fettgewebe, Niere, Leber und in weiteren. Der Skelettmuskel ist sowohl der grösste Produzent als auch der grösste Verbraucher von Laktat im Körper (Güllich & Krüger, 2022).

Für die Elimination von Laktat wird es in anderen Zellen, Organen oder weniger beanspruchten Muskeln metabolisiert (Hofmann et al., 2004). Dabei wird Laktat zusammen mit NAD^+ zu $NADH$ und Pyruvat reduziert. Diese Stoffe werden anschliessend im Mitochondrium für den Citratzyklus und die Atmungskette mit Sauerstoff zur oxidativen Phosphorylierung genutzt (Heck et al., 2022). Gute Ausdauerathlet:innen können Laktat sehr effizient zur Energiegewinnung nutzen, wodurch die begrenzten Glykogen-Reserven geschont werden und somit länger anhalten. Alternativ kann das Pyruvat durch die Gluconeogenese in Glukose umgewandelt und gespeichert werden (Brooks, 2009).

Laktat wird hauptsächlich durch aktive Mechanismen und spezifische Proteine, die als Monokarboxylat-Transporter (MCTs) bekannt sind, aus der Muskelzelle ins Blut und von dort wieder in Muskelzellen oder andere Organe transportiert (Hashimoto & Brooks, 2008). Laktat benötigt

eine gewisse Zeit, um von der Muskulatur in den Organismus zu gelangen und dort gemessen werden zu können (Heck et al., 2022).

Der Weg des Laktats - Vom Blut in den Speichel. Im Prinzip findet man die gleichen Bestandteile des Plasmas auch im Speichel, sie sind jedoch dann 10- bis 100-fach verdünnt (Shirtcliff, 2001). Der Weg des Laktats kann durch die Blut-Speichel-Schranke, eine Schicht von Epithelzellen, in die Speicheldrüsen diffundieren (Shannon, 1967). Dieser passive Transport ist aufgrund der kleinen Molekülgrösse von Laktat möglich (Alberts et al., 2024). Diese Schranke ist selektiv durchlässig, ihre Permeabilität kann reguliert werden (Santos et al., 2006). Der Monokarboxylat-Transporter (MCTs) kann auch bei dieser Diffusion den Transport von Laktat über Zellmembranen erleichtern und damit auch regulieren (Hashimoto & Brooks, 2008). Diese Regulationen der Blut-Speichelbarriere kann den Übertritt von Laktat in den Speichel limitieren (Shannon, 1967). Über einen weiteren Faktor schrieben Santos und Kollegen (2006), sie haben die absoluten und relativen Speichellaktatkonzentrationen untersucht und festgestellt, dass die Speichelkonzentration nicht von der Speichelviskosität abhängig ist. In den Speicheldrüsen kann ein Teil des Laktats durch Enzyme wie Lactatdehydrogenase metabolisiert werden und beeinflusst dabei die endgültige Konzentration im Speichel. Das restliche Laktat wird dann in den Speichel abgegeben, wo es schliesslich auch nachgewiesen werden kann (Chicharro et al., 1998; Jusko & Milsap, 1993).

Es gibt verschiedene Faktoren, welche die Diffusion des Laktats vom Blut in den Speichel beeinflussen (Shannon, 1967). Wichtige Systeme sind die hämodynamischen und neuroendokrinen Einflüsse und die enzymatische Aktivität, die im Zusammenspiel eine optimale Speichelproduktion und -zusammensetzung unter den gegebenen Bedingungen sicherstellen (Shannon, 1967). Diese Systeme müssen laufend auf unterschiedliche Reize wie Dehydration oder Stress, beispielsweise bei körperlich intensiver Aktivität körperlich intensive Aktivität, reagieren können (Davison et al., 2009). Das Ziel dabei ist, eine effiziente und bedarfsdeckende Produktion von Speichel zu gewährleisten, das zu einer guten Mundgesundheit, zur Neutralisierung von Säuren, zur Spülung von Nahrungsresten und zur Remineralisierung der Zähne beiträgt. Zudem enthält Speichel Enzyme wie Amylase, die den Verdauungsprozess unterstützen (Navazesh, 1993).

Blut- und Speichellaktat in der Leistungsdiagnostik. Blutlaktat, dessen Konzentration mit der Belastung durch anaerobes Training steigt, wird derzeit als der "Goldstandard" zur Bewertung der Ausdauerleistungsfähigkeit von Athlet:innen betrachtet (Billat, 1996). Analysemethoden

zur Messung der Blutlaktatkonzentration haben sich durch moderne Technologien verbessert, sie ermöglichen präzise Ergebnisse in kleinen Probenmengen. Kapillarblutentnahmen aus dem Ohrläppchen oder den Fingerkuppen sind für Tests und Training effektiv (Hofmann, 2004). Die Wahl des Analyseverfahrens, ob enzymatisch oder elektrochemisch, beeinflusst die Genauigkeit der Messung (Heck et al., 2022). Die Laktatkonzentrationen können je nach Art des untersuchten Blutes (kapillär, arteriell, venös oder Blutplasma) variieren. In der Leistungsdiagnostik werden in der Regel kapilläre Blutproben verwendet (Foxdal et al., 1990). Erfahrungswerte des «Swiss Olympic Medical Center» Magglingen zeigen gute Reliabilitätswerte mit einem typischen Messfehler von unter 0.1 mmol/L (Bundesamt für Sport BASPO, 2016). Die Interpretation sollte auf relativen Veränderungen basieren, um Fehler zu vermeiden da vor allem unterschiedliche Probenorte und -arten zu variierenden Laktatkonzentrationen führen können (Röcker, 2019). Bei kapillarer Blutentnahme zählt die Erfahrung, um Fehler zu minimieren, z.B. durch Vermeidung von Schweisskontamination (Röcker, 2019). Es ist ratsam, Messgeräte konsistent zu verwenden oder Abweichungen zu korrigieren und um zuverlässige Ergebnisse zu gewährleisten (Heck et al., 2022).

In dieser Arbeit wird der Begriff Speichel jeweils für Vollspeichel verwendet, er ist zusammengesetzt aus Drüzenspeichel, oralen Epithelzellen, Mikroorganismen, Parodontalflüssigkeit und weiteren Komponenten von Nahrung, Blut oder bakteriellen Ursprungs (Schlueter et al., 2012). Vergleiche zwischen Blut- und Speichellaktatkonzentration zeigen einheitlich während eines Laktatstufentests mit Fahrradergometrie, dass die Speichellaktatkonzentration niedriger ist wie die des Blutes (Oliveira et al., 2015; Schabmueller et al., 2006; Segura, 1996). Diese Beobachtung scheint unabhängig von der Art der Belastung zu sein - Studien mit einem 400m (Ohkuwa et al., 1995) und 3000m Lauf mit maximaler Geschwindigkeit (Ohkuwa et al., 1995; Santos et al., 2006), 30-minutige Dauertest auf dem Fahrradergometer (Semerak et al., 2005) oder bei einem Astrand-Tretmühlen-Test (Tékus et al., 2012) berichten das gleiche Ergebnis.

Allerdings sind die genauen Konzentrationsunterschiede zwischen Blut- und Speichellaktat nicht einheitlich quantifiziert. Segura (1996) berechnete, dass die Speichellaktatkonzentration 15 % der des Blutes entspricht. Bei Oliveira und Kollegen (2015) variieren die durchschnittlichen Laktatspeichelwerte zwischen 6 und 20% im Vergleich zum Blut. Die Ergebnisse von Semerák (2009) zeigen, dass die Speichellaktatkonzentration etwa ein Fünftel der Blutlaktatkonzentration beträgt und dass mit steigender Belastung die Unterschiede zwischen Blut- und Speichellaktat zunehmen. Diese Aussage deckt sich mit der von Spehar-Délèze und Kollegen (2021), dass der Konzentrationsunterschied während Belastung nicht konstant ist. Wenig Informationen gibt es noch im Vergleich unter den Proband:innen. Es wird berichtet, dass es, keine

konstanten Unterschiede gibt zwischen den verschiedenen Proband:innen während und nach der Belastung (Spehar-Délèze et al., 2021).

Für die optische Vergleichbarkeit der Speichel- und Blutlaktat Kurven wird oft die Skalierung der Konzentrationen angepasst (Schabmueller et al., 2006).

Bei den meisten Studien zu Blut- und Speichellaktat lag der Fokus auf der Überprüfung ihres Zusammenhangs. Einige Studien konnten einen positiven Zusammenhang zwischen Blut- und Speichellaktat nach einer intensiven Belastung nachweisen (Ohkuwa et al., 1995; Oliveira et al., 2015; Santos et al., 2006; Schabmueller et al., 2006; Tékus et al., 2012; Yan et al., 2023).

Eine der ersten Studien, die einen signifikanten Zusammenhang zwischen Blut- und Speichellaktat nachweisen konnte, war das Team von Ohkuwa et al. im Jahre 1995 – dies bei Maximalwerten nach einem 400m-Sprint ($r = 0.703$ ($p < 0.05$)). Durch Testwiederholungen konnten Ohkuwa und Kollegen auch eine signifikante Test-Test-Reliabilität von Speichellaktatmessungen ($r = 0.763$ ($p < 0.001$), $n = 30$) feststellen.

Ein Beispiel eines Zusammenhangs von Blut- und Speichellaktat bei Hobby-Athlet:innen während eines Laktatstufentests zeigt die Studie von Segura und Kollegen (1996). Die Proband:innen absolvierten eine stufenweise ansteigende Belastung auf einem Fahrradergometer, wobei alle drei Minuten die Belastung um 25 Watt erhöht wurde. Zur Stimulierung der Speichelproduktion wurde den Proband:innen Zitronensäure verabreicht und anschliessend der Speichel für 30 Sekunden in einem Glas-Trichter gesammelt. Die Analyse ergab, dass die Laktatkonzentrationen im kapillaren Blut und im Speichel einen ähnlichen Verlauf zeigten und sie als bisher einzige Studie sogar einen parallelen Verlauf zeigte. Eine gute Korrelation zwischen den beiden Laktatkonzentrationen wurde festgestellt ($r = 0.81$ ($p < 0.05$), $n = 9$). Es wurde beobachtet, dass Laktatkonzentrationen einen Variationskoeffizienten von 2.2 % für Proben mit sehr niedrigen Laktatkonzentrationen aufwiesen, während Proben mit moderaten Laktatkonzentrationen einen Variationskoeffizienten von 0.7 % zeigten. (Segura, 1996)

Santos et al. (2006) konnte bei 15 Elite-Ausdauerathlet:innen während eines 30km Rennens anhand von Speichellaktat die aerobe Kapazität bestimmen und eine hohe Korrelation von Blut- und Speichellaktat aufzeigen ($r = 0.772$ ($p < 0.05$)).

Tékus und ihr Team (2012) zeigen auch eine signifikante Korrelation zwischen der Blut- und Speichellaktatkonzentration nach einem Laktatstufentest auf dem Laufband. Sie untersuchten zusätzlich den Unterschied zwischen Ausdauer-Sportler:innen (mit mindestens 7.5 Stunden Training pro Woche) und Nicht-Sportler:innen. Die Laktatkonzentrationen wurden aus dem Blut der Fingerkuppen entnommen, während die Speichelproben durch Spucken ohne chemische Stimulation gesammelt wurden – einmal vor dem Test sowie 1, 4, 8, 12, 15 und 20 Minuten

nach dem Test. Ein Unterschied zwischen Männern und Frauen wurde statistisch nicht bestätigt, es wird jedoch auf die kleine Stichprobe hingewiesen. Unterschiede zwischen Ausdauersportler:innen und Nicht-Sportler:innen konnten hingegen festgestellt werden. Bei den Ausdauer-Athlet:innen waren die Korrelationen zwischen Blut- und Speichellaktat höher (Athlet:innen ($r = 0.511$ ($p < 0.001$), $n = 8$) Nicht-Sportler:innen ($r = 0.385$ ($p < 0.001$), $n = 8$)). Sie konnten zudem durch Messung des Gesamtkörperwassers und des Speichels aufzeigen, dass mit steigender Dehydration die Speichelflussrate und -sekretion langsamer wird. Das Team erklärt die Resultate der unterschiedlichen Speichelflussreaktion mit physiologische Unterschiede zwischen Sportlern und Nicht-Sportler:innen. (Tékus et al., 2012)

Die anaerobe Schwelle konnte auch schon mittels Speichelproben während inkrementeller Belastungstests ermittelt werden (Bortolini et al., 2009). Bei der Studie von Bortolini und Kollegen (2009) wurde jedoch das Gesamtprotein des ganzen Speichels (TPWS) untersucht. Die Methodik umfasste die Sammlung von Speichelproben mittels Spuckmethode und Anregung der Speichelproduktion durch das Kauen von Kaugummi während eines inkrementellen Belastungstests auf einem Fahrradergometer. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass die TPWS ein wertvolles und nicht-invasives Mittel zur Bestimmung der anaeroben Schwelle während Belastungstests bieten könnte. Für die Ermittlung der anaeroben Schwelle wurde die Dmax Methode auf die Speichel- und das Blutlaktatkonzentration angewendet und nach Korrelation überprüft, die eine hohe Korrelation ($r = 0.93$ ($p < 0.05$) $n = 13$) ergab. (Bortolini et al., 2009)

Es gibt diverse Erkenntnisse bezüglich den zeitlichen Verzögerungen in den Maximalwerten gemessen zwischen Blut und Speichellaktat. Diese reichen von keiner Differenz (Segura et al. 1996) bis zu einem Unterschied von 20 Minuten (Santos et al., 2006; Yoda et al., 1998). Die Studie Segura und Kollegen (1996) ist jedoch die einzige Studie ohne Verzögerung. Die lange Verzögerung von Yoda und Kollegen (1998) lassen sich vermutlich auf die geringe Messdichte der Laktatmessungen zurückführen. Die meisten Studien weisen eine Verzögerung von fünf bis zehn Minuten aus (Semerák, 2009). Für eine präzise Quantifizierung der beobachteten zeitlichen Verzögerungen erfordert es jedoch eine sehr enge Messpunktdichte. Dies ist besonders während der Phase nach der Belastung eines Stufentests wichtig, da das Maximum beim Speichellaktat später auftritt als beim Blutlaktat (Semerák, 2009).

Diverse methodische Ansätze werden auch bei der Speichelprobe angewandt. Es wird berichtet, dass nichtstimulierter Speichel konsistentere Daten liefert, es jedoch länger dauert, um das erforderliche Volumen zu sammeln, während stimulierte Methoden weniger Zeit in Anspruch nehmen, dafür aber weniger konsistente Daten erzeugen (Kawanishi et al., 2019). Im Wider-

spruch stehen die Aussagen von Segura und Kollegen (1996) - sie erklärten die chemische Stimulation der Speichelsekretion als präzisere Methode. Beim Vergleich von Blut und nicht stimuliertem Speichel (Mittelwert des Speichellaktats 0.303 mmol/L; Varianzkoeffizient (CV) 2.2%), mechanisch stimuliertem Speichel (Kaugummikauen) (Mittelwert 0.696 mmol/L; CV 1.2%) sowie chemisch (mit Zitronensäure) stimuliertem Speichel (1.791 mmol/L; CV 0.7%) zeigte sich, dass die chemisch stimulierte Speichelentnahme die bessere Methode darstellt.

In den letzten Jahren haben neuere Forschungsergebnisse frühere Erkenntnisse bestätigt, die darauf hinweisen, dass die Laktatkonzentration im Speichel die Laktatkonzentration im Blut widerzuspiegeln scheint (Chicharro et al., 1998; Ohkuwa et al., 1995; Santos et al., 2006; Tékus et al., 2012; Yan et al., 2023). Ebenfalls wurde beobachtet, dass die Konzentration von Laktat im Speichel im Allgemeinen niedriger ist als die im Blut und dass die Präsenz von Laktat im Speichel im Vergleich zum Blut verzögert auftritt (Oliveira et al., 2015; Segura, 1996; Semerák, 2009). Die festgestellte Dauer dieser Verzögerung variiert jedoch kaum einer Verzögerung innerhalb von 20 Minuten (Santos et al., 2006; Yoda et al., 1998). Bei den untersuchten Gruppen handelt es sich mehrheitlich um männliche Probanden. Trotz Unterschieden bei den angewandten Methoden und gelegentlich kleineren Stichprobengrößen liefern die Ergebnisse der Forschung auf diesem Gebiet Hinweise auf eine Korrelation zwischen Speichellaktat und Blutlaktat (Yan et al., 2023).

1.2 Ziel der Arbeit

Die Messung von Speichellaktat wird einen wesentlichen Beitrag leisten können, die Invasivitätsreduktion zu fördern und dabei eine grössere Unabhängigkeit von geschultem Personal und Labor zu erreichen. Die Analyse der Laktatkinetik im Speichel kann dazu beitragen, die Trainingsqualität, -planung und -kontrolle angemessener Belastungen für vorwiegend anaerobe Übungen in verschiedenen Alters- und speziellen Bevölkerungsgruppen zu bewerten.

Um die Speichellaktat Messungen effektiv in einem herkömmlichen sportlichen, trainings oder rehabilitativen Umfeld einzusetzen, muss die Verbindung zwischen Blut- und Speichellaktat näher untersucht werden. Die vorliegende Studie zielt darauf hin, die Messungen der Laktatkonzentration im Speichel unter Belastung zu überprüfen. Dazu wird untersucht wie sich die Laktatkonzentration im Speichel im Vergleich zu der im Blut, dem Goldstand, bei Ausdauer Elite- und Hobby-Athlet:innen unter Belastung verhält.

Dafür wurden folgende vier konkrete Fragestellungen formuliert:

1. Welche Unterschiede bestehen zwischen den Speichel- und den Blutlaktat-konzentrationen hinsichtlich ihrer absoluten und normalisierten Werte bei allen Messzeitpunkten, dem Maximalwert, der aeroben wie auch der anaeroben Schwellen?
2. Wie unterscheidet sich die Zeitverzögerung vom Blut- zum Speichellaktat zwischen den Messzeitpunkten Maximalwert, aeroben und anaeroben Schwelle?
3. Welche Zusammenhänge gibt es zwischen den Blut- Speichellaktatkonzentrationen bei den einzelnen Messzeitpunkten, sowie bei den nicht zeitgebundenen Parametern Ruהלaktat, Maximalwert, aerobe und anaerobe Schwelle?
4. Welche Unterschiede bestehen zwischen Elite- und Hobbyathlet:innen in Bezug auf die Differenz der Laktatkonzentration im Blut und im Speichel sowie der Zeitverzögerung bei den Parametern Maximalwert, aerobe Schwelle und anaerobe Schwelle?

2 Methode

Dieses Kapitel beginnt mit der Darstellung des Untersuchungsdesigns und der Aufteilung der Proband:innen in systematische Gruppen. Darauf folgt eine Beschreibung der Untersuchungsverfahren, sowohl vor, während als auch nach dem Leistungstest. Weiterhin werden die verwendeten Untersuchungsinstrumente erläutert, einschliesslich der Methoden zur Erfassung von Blut- und Speichellaktat sowie anderer relevanter Hintergrundvariablen. Im Anschluss wird die Protokollierung und Verarbeitung der erhobenen Daten beschrieben. Das Kapitel schliesst mit Informationen zu den ethischen Genehmigungen, dem Datenschutz und der detaillierten Beschreibung der Datenauswertung ab, einschliesslich der statistischen Analysen zur Beantwortung der spezifischen Forschungsfragen.

2.1 Untersuchungsdesign

Bei dieser Untersuchung handelte es sich um eine Vergleichsstudie. Es absolvierten 20 Personen einen Laktatstufentest auf dem Ergometer, anschliessend wurde die Laktatkonzentration mit drei unterschiedlichen Methoden parallel gemessen. Die Daten wurden im Rahmen des Projektes INSPIRING gesammelt, die einen In-Mouth-Sensor für Speichellaktat entwickelt. Der Schwerpunkt dieser Arbeit lag bei der Untersuchung von Blutlaktat und Speichellaktat aus den gespuckten Speichelproben.

2.2 Untersuchungsteilnehmende

Es nahmen insgesamt 20 Proband:innen an der Studie teil, die in zwei systematische Gruppen aufgeteilt wurden. Eine Gruppe bestand aus Elite-Athlet:innen, während die andere aus Hobby-Athleten:innen zusammengestellt war.

Die Gruppe der Elite-Athlet:innen waren alle auf regionaler Repräsentationsebene oder höher wettbewerbsfähig und wurden mit Hilfe des Verbunds Schweizer Radsport, Swiss Cycling rekrutiert, dabei waren fünf Probandinnen und fünf Probanden aus dem Radsport. Die Hauptdisziplin war bei sechs Probanden Cross- Country, bei einem Rad Quer und bei drei Enduro. Die meisten Proband:innen fahren zusätzlich auch an Wettkämpfen oder in weiteren Disziplinen wie Rad Quer, Bahn oder Strasse.

Die Kontrollgruppe setzte sich aus fünf Frauen und fünf Männern aus der Umgebung Davos zusammen. Diese Gruppe verfügte über keine Swiss Olympic Talent Card National, Regional oder Lokal. Für alle Proband:innen galten die Ein- und Ausschlusskriterien gemäss der nachfolgenden Tabelle.

Tabelle 1*Ein- und Ausschlusskriterien für alle Proband:innen*

Einschlusskriterien	Ausschlusskriterien
Männer und Frauen zwischen 16 und 65 Jahren	Schwangere oder stillende Frauen
Gute allgemeine Gesundheit	Aktiv Raucher:innen - definiert mit einem täglichem Konsum von mindestens einer Zigarette (oder Pfeife, Zigarre oder Marihuana) für ≥ 30 Tage während drei Monaten vor dem Screening.
Fähigkeit zur Einwilligung für studienspezifische Aktivitäten/ Verfahren (siehe Einwilligungsformular)	Klinisch signifikante Begleiterkrankungen und akute oder chronisch-koexistierende Erkrankungen (z. B. Nierenversagen, Leberfunktionsstörungen, Herz-Kreislauf-Erkrankungen sowie immunologische, immungeschwächte, immunsupprimierte Zustände die in den letzten 12 Monaten vor dem Screening behandlungsbedürftig waren.
	Personen mit akuten oder chronischen parasitären, bakteriellen, Pilz- oder Virusinfektionen, die in den letzten 3 Wochen eine Hospitalisierung oder eine antimikrobielle Behandlung erforderten oder noch immer erfordern.
	Alkohol- oder Drogenmissbrauch in den letzten 12 Monaten vor dem Screening.
	Personen mit akuter Infektion oder Asthma-Verschlimmerung in den letzten vier Wochen vor dem Screening.

2.3 Untersuchungsverfahren

2.3.1 Vor dem Leistungstest

Vor dem Besuch erhielten die Proband:innen ein Informationsblatt und eine Einverständniserklärung zur Teilnahme an Studie mit den folgende Anweisungen:

- a) ab 24 Stunden vor dem Test auf mässige bis intensive körperliche Aktivität und Alkohol verzichten
- b) am Vortag und vor dem Test genügend trinken, um einer Dehydration vorzubeugen
- c) zwei Stunden vor dem Test keine Nahrung zu sich nehmen und nur Wasser trinken
- d) zwei Stunden vor dem Test die Zähne putzen

Die Proband:innen mussten beim Eintreffen vor Ort die Einverständniserklärung unterschreiben abgeben und den PAR-Q Fragebogen (Swiss Olympic, n.d.) zur Anamnese-Untersuchung ausfüllen. Vor dem Leistungstest wurden die anthropometrischen Daten, wie Körpergrösse und -gewicht, aufgenommen. Zusätzlich wurden klinische Daten erfasst, um den Trainingstand und den allgemeinen sowie sportmedizinischen Gesundheitszustand zu bestimmen. Alle Fragebögen befinden sich im Anhang. Vor Beginn des Tests wurde das Ruhelaktat im Blut gemessen und die erste Speichelprobe entnommen.

2.3.2 Leistungstest

Alle Tests wurden auf einem Monark-Ergometer (LC6 Monark AB, Vansbro, Schweden) in einem gut belüfteten Raum und einer Lufttemperatur zwischen 20-24° C und einer relativen Luftfeuchtigkeit zwischen 25% und 45% durchgeführt. Der Test wurde mit einem Aufwärmtraining während fünf Minuten mit einer Leistung je nach Leistungsniveau der Proband: innen von 70W oder 100W und einer konstanten Trittfrequenz eingeleitet. Anschliessend wurde der Stufenbelastungstest sofort gestartet.

Die Proband:innen wurden gleich zu Beginn über die Testdurchführungstechnik informiert und angewiesen, die Tests mit maximaler Anstrengung durchzuführen. Während des Trainings erhielten sie verbale Ermutigungen durch die Testleiter:innen.

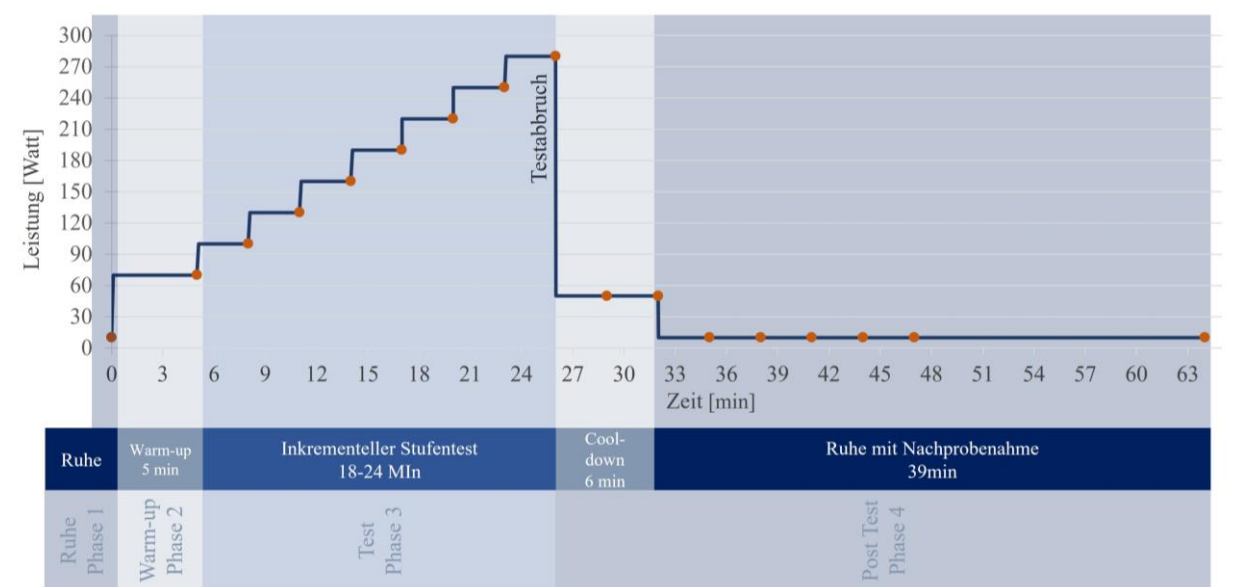
Protokoll Laktatstufentest. Der Stufenbelastungstest startete mit der Anfangsbelastung, dem Leistungsniveau entsprechend, zwischen 70 W und 130 W und wurde dann alle drei Minuten um 30W erhöht (siehe Abbildung 2). Es sollten mindestens zwei Stufen mit Baseline-Laktatwerten zu absolvieren. Die Proband:innen hielten die gleiche Trittfrequenz wie im Warm-up, den Hobby-Athlet:innen wurden um die 80 Umdrehungen pro Minute (U/min) empfohlen. Ein

Leistungstest dauerte ca. 20-35 Minuten und endete bei körperlicher Erschöpfung, respektiv wenn die Person aufhörte zu treten oder die Trittfrequenz unter 70 U/min fiel und nicht mehr erhöht werden konnte.

In den letzten 30 Sekunden einer Arbeitsbelastungsstufe und nach dem Testabbruch wurde gleich eine Kapillarblutprobe und möglichst zeitnah eine Speichelprobe entnommen sowie nach dem subjektiven Belastungsempfinden gefragt. Vor der Speichelprobe musste das Gesicht mit einem Papiertüchlein abgewischt werden damit die Probe nicht mit Schweiß kontaminiert wurde. Die Speichelproben wurden in einem von Polylactid freien Becher gesammelt. Jeweils eine Minute nach der Probenentnahme konnten die Proband:innen den Mund mit Trinkwasser spülen, um jegliche Rückstände zu entfernen.

Abbildung 2

Studienprotokoll des inkrementellen Stufentests



Anmerkung: Die orangefarbenen Punkte markieren die Zeitpunkte für die Blutlaktat- und Speichellaktatprobenahme. Die Phase 1 umfasst die Ruhemessung, die Phase 2 die Warm-up-Phase mit der Belastung zur Vorbereitung auf den Stufentest. In der Phase 3 sind alle Messungen während der stufenweisen ansteigenden Belastung aufgezeichnet, inklusive der Messung bei Testabbruch. Alle folgenden Messungen, ob noch mit leichter Belastung oder in Ruhe, zählen zur Post-Test Phase, in der Tabelle unter Phase 4.

2.3.3 Nach dem Leistungstest

Nach dem Testabbruch traten die Proband:innen sechs Minuten für ein Cool Down mit 50 Watt weiter und gleich anschliessend mussten sie weitere 15 Minuten auf einem Stuhl ausruhen.

Während den insgesamt 21 Minuten wurden alle drei Minuten Laktat- und Speichelproben entnommen. In dieser Zeit konnten die Proband:innen das Sportmedizinische Interview ausfüllen. In den weiteren 24 Minuten konnten die Proband:innen duschen, zum Abschluss wurde die letzte Probe entnommen.

2.4 Untersuchungsinstrumente

2.4.1 Klinische Datenerfassung

Um mögliche gesundheitliche Risiken eines Belastungstests bestmöglich ausschliessen zu können, füllen die Proband:innen vor dem Test folgende zwei Fragebögen aus (Noonan & Dean, 2000).

Sportmedizinisches Interview. Das Sportmedizinische Interview ist ein Standardverfahren in der Sportmedizin, es wurde von Swiss Olympic und der Schweizerischen Gesellschaft für Sport und Bewegungsmedizin (SGSM) entwickelt und wird häufig als Instrument zur Beurteilung der Gesundheit von Schweizer Athlet:innen verwendet. Die Bewertung umfasst den Stand der allgemeinen Gesundheit, die persönliche und familiäre Krankengeschichte, Infektionen, Allergien, Asthma, Trainingsgewohnheiten, Ernährung, Schlaf und Erholung (Swiss Olympic and the Swiss Sports & Exercise Medicine Society (SGSM), 2021).

Anamneseuntersuchung: PAR-Q. Der PAR-Q ist ein Selbstbewertungsinstrument, um die Sicherheit und die möglichen Risiken körperlicher Betätigung auf Grundlage der Gesundheitsgeschichte, aktuellen Symptome und Risikofaktoren der Proband:innen zu bestimmen. Alle Fragen sind darauf ausgelegt, potenzielle Gesundheitsrisiken im Zusammenhang mit körperlicher aufzudecken (Swiss Olympic, n.d.).

2.4.2 Hauptvariablen- die Laktatmessungen

Blutlaktat. Für die Blutentnahme wurde die Handfläche der distalen Phalanx (Fingerkuppe) mit einer Einweg-Lanzette (Safety-Lanzette, SARSTEDT, Nümbrecht Deutschland) punktiert. Mit den Blutproben (25 µL) wurde in den vorab entnommenen und mit dem Lactate Scout (Lactate Scout +3.0, EKF, Barleben, Deutschland) und Einweg «Sip-In» Sensoren das Blutlaktat gemessen.

Speichellaktat. Aus den Bechern wurde 125 µL Speichel entnommen und in ein Eppendorf-Röhrchen pipettiert, für die Deproteination 125 µL Methylpropionsäure (MPA) dazugefügt, mit dem Vortex gemischt und anschliessend bei rund -20 °C gelagert.

Für das Deprotenisieren des Speichels waren folgende Schritte nötig: a) Proben vortexen b) fünf Minuten in die gekühlte Zentrifuge bei 10000xG geben für die Pelletierung von Proteinen geben c) 200 µL Überstand entnehmen und in ein neues Eppendorf-Röhrchen überführen d) 12.5 µL Kaliumkarbonat (K_2CO_3) zur Neutralisierung der Säure hinzufügen e) fünf Minuten in die gekühlte Zentrifuge bei 10000 x G geben, um ausgefällte Salze zu entfernen f) 200 µL Überstand entnehmen und in ein neues Eppendorf-Röhrchen überführen.

Alle Speichelproben (125 µL Speichel mit 125 µL MPA) werden auf ihren Laktatgehalt mittels einer enzymatischen Methode analysiert. Für den Nachweis von Speichellaktat wurde das L-Lactate Assay Kit (Sigma Aldrich, Lactat-Assay-Kit, USA) eingesetzt.

Mit Hilfe der etablierten Fluoreszenzmethode kann der Nachweis von L-Laktat in biologischen Proben erfolgen. Die Proben wurden mit dem L-Lactate enzymatic Assay Kit (Sigma Aldrich, Lactat-Assay-Kit, USA) analysiert. Dafür wurde dem Assay Protokoll des Herstellers gefolgt: mit L-Laktat Standards, Assay Puffer, Kofaktor. Die Probenplatte wurde nach 20 Minuten bei Raumtemperatur inkubiert, dann mittels Fluoreszenz bei einer Anregungswelle von 535 nm mit dem Plate Reader (Tecan, Männedorf, Schweiz) und der Steuerungssoftware i-Control Programm (Tecan, Männedorf, Schweiz) ausgelesen.

2.4.3 Hintergrundvariablen- zur Einordnung der Laktatwerte

Herzfrequenz. Die Herzfrequenz (HR) wurde von der ersten bis zur letzten Laktatmessung mit einem Pulsgurt (Polar H7, Kempele, Finnland) kontinuierlich gemessen. Die Beanspruchung des Herzkreislaufsystems wurde damit abgebildet (Laukkanen & Virtanen, 1998).

Subjektives Belastungsempfinden. Die Borgskala wird verwendet für die wahrgenommene Anstrengung während körperlicher Aktivität. Diese beinhaltet die Einschätzung der Muskulatur-Belastung, der Atmungsarbeit oder der Bewegungsgeschwindigkeit mit einem Wertebereich von 6-20 (Dawes et al., 2005). Bei korrekter Instruktion hängt das subjektive Belastungsempfinden stark mit physiologischen Parametern wie Herzfrequenz und Laktatkonzentration zusammen (Hampson et al., 2001).

Zeit und Leistung. Ein Protokoll hielt die Zeitdauer, beziehungsweise die Anzahl durch die Proband:innen absolvierten Stufen mit der entsprechenden Leistung und den Zeitpunkt des Testabbruchs fest.

Anthropometrische Daten. Das Körpergewicht und die -grösse der Proband:innen wurde gemessen, um die Leistung in Relation mit dem Körpergewicht gebracht werden zu können.

2.4.4 Datenprotokollierung

Belastungsstufe, Blutlaktatwerte, HR und Borg wurden nach jeder Belastungsstufe und Abbruchsstufe von Hand im Testdatenblatt notiert. Blutlaktatwerte wurden vom Laktat Scout über Bluetooth mit dem Lactate Scout Data Link v1.0.1.0 importiert. Die Daten der Herzfrequenz wurden über das App Polarflow hinzugefügt. Die Zeit- und Leistungswerte folgten vom Amedtec Protokoll (ECGpro Vision 5.10.007, AMEDTEC, Aue, Deutschland) mit dem auch das Ergofahrrad gesteuert wurde. Die Daten des Speichellaktats wurden über die Steuerungssoftware i-Control (Tecan, Männedorf, Schweiz) hinzugefügt. Zusätzlich wurden Notizen in einem Protokoll festgehalten, um Abweichungen beim Testen und der Probenaufbereitung und -analyse zu vermerken (wenig Speichel, erneute Punktierung für die Blutentnahme, ect.).

2.5 Ethik-Genehmigungen und Datenschutz

Die Genehmigung für die Studien wurde von der kantonalen Ethik-Kommission (2022-02317) erteilt. Dieses Forschungsprojekt wurde gemäss dem Protokoll der Deklaration von Helsinki, den Grundsätzen der Guten Klinischen Praxis, dem Humanforschungsgesetz (HFG), der Humanforschungsverordnung (HFV) sowie weiteren örtlich relevanten Vorschriften durchgeführt. Allen Proband:innen wurde ein Informationsblatt und ein Formular zur Einverständniserklärung abgegeben. Die Studie wird darin erläutert und die nötigen Informationen bereitgestellt, damit die Proband:innen eine bewusste Entscheidung zur Teilnahme am Projekt treffen konnten. Die Einwilligungs-Dokumente wurden schliesslich von den Studienverantwortlichen eingesammelt. Die persönlichen Daten wurden anonymisiert, um den Datenschutz sicherzustellen. Die Proband:innen wurden mit ihrer Identifikationsnummer, die auf dem Fallberichtsformular und dem Fragebogen vermerkt wurde, codiert. Die Codierung wurde in einem Identifikationsdokument gespeichert und war nur für die Projektleiterin zugänglich. Bei Widerruf der Einwilligung durch eine teilnehmende Person wurden die Daten zur fortgesetzten Verwendung anonymisiert.

2.6 Datenauswertung

Für die Datenauswertung wurden die Programme Microsoft Office Excel (Microsoft Excel 2017, Microsoft Corporation, Redmond, USA) und das Statistikprogramm SPSS (IBM Statistics, 29.0.2.0, Armonk, USA) eingesetzt.

Die Daten aus dem Lactate Scout (Blutlaktat mMol/L), dem App Polarflow (Herzfrequenz in bpm), dem Platerreader (Speichellaktatkonzentration in μM) und dem Amedtec Protokoll (Leistung in Watt und Zeit in Sekunden) wurden im Format csv heruntergeladen und in einem Excel-Dokument (Microsoft Excel 2017, Microsoft Corporation, Redmond, USA) zusammengetragen. Die Daten zu Alter und Geschlecht, zum wöchentlichen Trainingsumfang und zur subjektiv empfundenen Erschöpfung (Borg) wurden aus den Fragebögen und dem Testprotokoll entnommen und von Hand in den Datensatz eingesetzt.

Die Fragebögen wurden nicht weiterbearbeitet, sie dienten der allgemeinen, anfänglichen gesundheitlichen Abklärung, einer besseren nachvollziehbaren Einordnung der Ergebnisse und als Kontrolle bei der Einteilung in die entsprechende Proband:innengruppe.

Alle Daten wurden auf Vollständigkeit und Ausreisser überprüft. Die im Protokoll vermerkten Daten der Fehlmessungen wurden in SPSS durch den Wert -200 (ungültiger Wert) ersetzt. Die fehlenden Daten wurden in SPSS MIT -100 vermerkt.

2.6.1 Datenanalyse

Folgende Fragestellungen wurden statistisch überprüft:

Fragestellung 1. Welche Unterschiede bestehen zwischen den Speichel- von den Blutlaktatkonzentrationen hinsichtlich ihrer absoluten und normalisierten Werte bei allen Messzeitpunkten, dem Maximalwert, der aeroben wie auch der anaeroben Schwellen?

Die Verteilung der Blut- und Speichellaktatwerte der 20 Proband:innen wurde mittels Shapiro-Wilk-Test mit einem Signifikanzniveau von $p < 0.05$ überprüft.

Zur grundlegenden Information über die Speichellaktatkonzentrationen wurden in diesem ersten Schritt die deskriptiven Statistiken für alle Messzeitpunkte, den Maximalwert, aerobe und anaerobe Schwelle aufgelistet.

Die in der Einleitung beschriebenen Methoden wurden für die aerobe und anaerobe Schwelle verwendet. Für die aerobe Schwelle wurde das minimale Laktatäquivalent berechnet.

Für die Berechnung des Laktatäquivalent gilt:

$$\text{Laktatäquivalent} = \frac{\text{Laktat}}{\text{Leistung}}$$

Dabei wurde für jeden Punkt der Regressionsgeraden der Quotient aus dem gemessenen Laktatwert und der entsprechenden Leistung ermittelt. Der Punkt, bei welcher dieser Quotient ein Minimum erreicht, wird dann als individuelle aerobe Schwelle gesetzt. (Hofmann et al., 1994)
Die anaerobe Schwelle wurde mit der Modifizierten Dmax-Methode berechnet (Bishop et al., 1998):

$$d_{\max} = \max \left(\frac{mW_i - L_i + b}{\sqrt{m^2 + 1}} \right) \text{ mit } m = \frac{L_2 - L_1}{W_2 - W_1} \text{ und } b = L_1 - mW_1$$

Hier bei beschreibt L die Laktatkonzentration in mmol/L, W die Leistung in Watt, m die Steigung der Verbindungslinie zwischen dem minimalen Laktatäquivalent und dem höchsten Laktatwert während Belastung und b ist der Platzhalter für den y – Achsenabschnitt.

Berechnet wurden jeweils der Mittelwert und die Standardabweichung der Laktatkonzentrationen. Aufgrund der kleinen Stichprobe wurden die Daten mit Median und Interquartilsabstand aufgelistet, da sie weniger anfällig für Ausreisser sind, wie der Mittelwert und die Standardabweichung (Wilcox, 2012).

Um die absoluten Werte in normalisierte Werte umzuwandeln, wurde die Min-Max-Skalierung angewandt. Bei dieser Skalierung werden die Werte in das Intervall zwischen 0 und 1 transformiert. Der absolute Mindestwert wird dabei der 0 zugeordnet, und die Maximalwerte werden auf 1 abgebildet.

$$z = \frac{x - \min(x)}{[\max(x) - \min(x)]}$$

Um die absoluten sowie normalisierten Konzentrationsunterschiede zwischen Blut- und Speichellaktat statistisch zu überprüfen, wurde der Wilcoxon-Test angewendet (Signifikanzniveau von $p < 0.05$). Dieser nicht-parametrische Test prüft Unterschiede zwischen verbundenen Stichproben (Herrmann, 1984). Der Z-Wert (z) gibt Auskunft über die Stärke und Richtung des Effekts: Je höher der Z-Wert, desto grösser und wahrscheinlicher ist der Unterschied zwischen

den beiden Konzentrationen. Ein positiver Z-Wert zeigt an, dass die Werte des Blutlaktats tendenziell höher sind als in der des Speichellaktats. Ein negativer Z-Wert zeigt hingegen, das Gegenteil (Herrmann, 1984).

Fragestellung 2. Wie unterscheidet sich die Zeitverzögerung vom Blut- zum Speichellaktat zwischen den Messzeitpunkten Maximalwert, aeroben und anaeroben Schwelle?

Um die Zeitverzögerung zu untersuchen, wurden die individuellen Zeitverzögerungen zwischen Blut- und Speichellaktat des Maximalwerts sowie der aeroben und anaeroben Schwellen berechnet. Es wurde jeweils die Dauer des Blutlaktats von der des Speichellaktats abgezogen, da laut Literatur das Speichellaktat später als das Blutlaktat erwartet wird. Dafür mussten die einzelnen Zeitpunkte bestimmt werden. Die Zeit des Maximalwerts konnte direkt aus dem Datensatz abgelesen werden. Die Zeiten für die aerobe und anaerobe Schwelle wurden mithilfe einer Interpolation auf der Grundlage der bekannten Laktatkonzentration bestimmt. Diese Verzögerungen werden anschliessend mit statistischen Grössen wie Mittelwert, Standardabweichung, Median und Interquartilsabstand dargestellt. Um die Unterschiede dieser drei Parameter (Maximalwert, aerobe Schwelle und anaerobe Schwelle) gleichzeitig zu überprüfen, wird der Friedman-Test mit einem Signifikanzniveau von $p < 0.05$ angewandt (Friedman, 1937). Der Friedman-Test ist ein nicht-parametrischer Test, der Unterschiede der Rangfolgen über mehrere verbundenen Gruppen hinweg untersucht. Der Chi-Quadrat-Wert (χ^2) gibt an, ob die Werte der Gruppen nahe beieinander liegen. Ein niedriger χ^2 -Wert, also ein Wert nahe null, zeigt, dass die Werte der Gruppen sehr ähnlich sind (Friedman, 1937).

Fragestellung 3. Welche Zusammenhänge gibt es zwischen den Blut- Speichellaktatkonzentrationen bei den einzelnen Messzeitpunkten, sowie bei den nicht zeitgebundenen Parametern Ruhelaktat, Maximalwert, aerobe und anaerobe Schwelle?

Der Zusammenhang der oben genannten Parameter bei den Blut- und Speichellaktat-Konzentrationswerten wird mit der Rangkorrelationsanalyse nach Spearman untersucht (Hensel, 2008). Um den gefundenen Zusammenhang r_s zu beurteilen, wurde die Berechnung der Effektstärken nach Cohen zur Unterstützung eingesetzt. Laut (Cohen, 1992) entspricht $r_s \geq 0.10$ einem schwachen, $r_s \geq 0.30$ einem mittleren und $r_s \geq 0.50$ einem starken Zusammenhang.

Aufgrund der Laktatkonzentrationen können anhand der Laktat-Leistungskurve die Leistungen an den Schwellen herausgelesen werden. Diese Werte, jeweils aus Blut- und Speichellaktat

abgeleitet, wurden einander gegenübergestellt, um den Zusammenhang zu überprüfen. Dies geschah ebenfalls mit der Rangkorrelationsanalyse nach Spearman (r_s) (Signifikanzniveau $p < 0.05$) (Hensel, 2008).

Eine einfache lineare Regressionsanalyse wurde aufgrund der visuellen Überprüfung mit einem Streu-Diagramm und den Werten aus der Rangkorrelationsanalyse ergänzt, um zu überprüfen, ob mit der Leistung an der Schwelle des Speichellaktats, die Leistung des Blutlaktats vorhergesagt werden kann konnte, um dies schliesslich in einer Gleichung auszudrücken.

Die Signifikanz des Regressionsmodells wurde anhand des F-Tests überprüft und das Signifikanzniveau auf $p < 0.05$ angesetzt. Der Korrelationskoeffizient R und das korrigierte Bestimmtheitsmass R^2 wurden ebenfalls berechnet, um die Güte der Anpassung des Modells zu bewerten. Die Interpretation des Korrelationskoeffizienten R gibt Aufschluss über die Stärke und Richtung der linearen Beziehung zwischen den beiden Variablen. Ein korrigiertes R^2 nahe 1 deutet auf eine gute Anpassung des Modells hin und zeigt, wie viel Varianz in der abhängigen Variable durch das Modell erklärt wird. Anschliessend wurden die Regressionskoeffizienten ($\beta_0 + \beta_1$) auch nach Signifikanz mit dem t-Test geprüft ($p < 0.05$) und bei Signifikanten eine die Regressionsgrade nachfolgende Formel erstellt: (Hastie et al., 2009)

$$\text{Leistung Schwelle Blutlaktat} = \beta_0 + \beta_1 \cdot \text{Leistung Schwelle Speichellaktat} + \varepsilon_i$$

β_0, β_1 = Regressionskoeffizienten; Dabei steht β_0 für den Achsenabschnitt (Konstante) und β_1 für positive oder negative Steigung, je nach Vorzeichen. ε_i Fehlerterm der Proband:in i

Fragestellung 4. Welche Unterschiede bestehen zwischen Elite- und Hobbyathlet:innen in Bezug auf die Differenz der Laktatkonzentration im Blut und im Speichel sowie der Zeitverzögerung bei den Parametern Maximalwert, aerobe Schwelle und anaerobe Schwelle?

In einem ersten Schritt wird jeweils die Differenz zwischen Blut- und Speichellaktatkonzentration berechnet. Anschliessend werden die Differenzen zwischen den Gruppen mit dem Mann-Whitney-U-Test auf Unterschied überprüft. Ein kleiner U-Wert deutet darauf hin, dass die Überlappung zwischen den Gruppen gering ist, das wiederum auf Unterschiede zwischen den Gruppen hinweist (MacFarland & Yates, 2016). Das Signifikanz-Niveau wurde bei $p < 0.05$ angesetzt. Da die Stichproben jeweils nur bei 20 Personen vorgenommen wurden, wurde die exakte Signifikanz berechnet.

3 Resultate

In diesem Kapitel werden die gemessenen Daten und die durch statistische Testverfahren erstellten Resultate tabellarisch und grafisch aufgezeigt. Zu Beginn werden die anthropometrischen Werte und Trainingsumfänge der Stichproben statistisch beleuchtet. Abschliessend folgen die ausführlichen Analysen der einzelnen Fragestellungen. Dieses Vorgehen ermöglicht eine umfassende Darstellung und Analyse der gewonnenen Daten, um mögliche Unterschiede und Zusammenhänge zwischen den Laktatwerten im Blut und im Speichel sowie zwischen Elite- und Hobbyathlet:innen zu identifizieren.

Es nahmen insgesamt 20 Athlet:innen mit zehn Männern und zehn Frauen an der Studie teil. Folgende anthropometrische Daten beschreiben die Proband:innen im Mittel: 24.4 Jahren (± 5.6 J) alt, 64.9 kg (± 9.6 kg) schwer, 171.4 cm (± 8.3 cm) gross. Sie betreiben im Schnitt 8.3 Stunden (± 5.1 h) Ausdauertraining und trainieren total 10.4 Stunden pro Woche (± 5.8 h).

Alle Proband:innen erreichten während des Tests mit einer Dauer von 24.2 ± 4.7 Minuten eine Leistung von minimal 204 W bis maximal 408 W ($301.7 \text{ W} \pm 70.1 \text{ W}$) und eine maximale oder höchste Herzfrequenz von $191 \text{ bpm} \pm 8.8 \text{ bpm}$. Die tiefst gemessene maximale Herzfrequenz lag bei 178 bpm und die höchste bei 209 bpm. An der aeroben Schwelle wurden im Mittel $148.4 \text{ W} (\pm 40.0 \text{ W})$ bei einer Herzfrequenz von $143.1 \text{ bpm} (\pm 13.9 \text{ bpm})$ erreicht, dies entspricht bei Einbezug des Körpergewichts eine relative Leistung von $2.3 \text{ W/kg} (\pm 0.5 \text{ W/kg})$. An der anaeroben Schwelle (ermittelt durch Blutlaktat) mit der Dmax modifizierten Methode betrug die Leistung $242.2 \text{ W} (\pm 57.2 \text{ W})$ mit $175.7 \text{ bpm} (\pm 11.4 \text{ bpm})$ und einer relativen Leistung von $3.7 \text{ W/kg} (\pm 0.7 \text{ W/kg})$. Alle Athlet:innen absolvierten mindestens fünf Stufen, vier Athlet:innen erreichten die Stufe zehn (siehe Tabelle 2). Alle beendeten den Test aufgrund körperlicher Erschöpfung. Es kam zu keinen medizinischen oder weiteren subjektiven Abbruchgründen.

Tabelle 2

Anzahl Messungen zu allen Messzeitpunkten

Messzeitpunkt	Ruhe Phase 1	Warm-up Phase 2	Test Phase 3						Post-Test Phase 4
			Stufe 5	Stufe 6	Stufe 7	Stufe 8	Stufe 9	Stufe 10	
N	20	20	20	18	12	10	5	4	20

Anmerkung: Aufgrund der unterschiedlichen Testdauer, gibt es während der Test Phase 3 nicht zu allen Messzeitpunkten die gleiche Anzahl Datenpunkte. Alle Proband:innen absolvierten mindestens fünf Stufen.

Die getesteten Proband:innen wurden in zwei Gruppen eingeteilt. Ihre anthropometrischen Daten und Trainingsumfänge werden in der Tabelle 3 gegenübergestellt. Die Gruppe der Elite-Athlet:innen unterschied sich signifikant von der Gruppe Hobby-Athlet:innen in Bezug auf das Trainingsvolumen der Ausdauer, wie auch auf das gesamte Trainingsvolumen. In den Parametern Alter, Gewicht und Grösse gab es keine signifikanten Unterschiede. Die Leistungsparameter werden in Kapitel 3.4 untersucht.

Tabelle 3

Anthropometrische Daten der beiden Studiengruppen

	Elite-Athlet:innen			Hobby-Athlet:innen			Gesamte Stichprobe
Proband:innen	Weiblich (n = 5)	Männlich (n = 5)	Elite total (n = 10)	Weiblich (n = 5)	Männlich (n = 5)	Hobby total (n = 10)	Total (n = 20)
Alter (Jahre)	20.2 ± 5.0	23.4 ± 8.0	21.8 ± 6.5	26.6 ± 3.1	27.4 ± 3.0	27.0 ± 2.9	24.4 ± 5.6
Gewicht (kg)	57.1 ± 7.4	70.3 ± 7.8	63.7 ± 9.8	59.5 ± 5.7	72.8 ± 8.7	66.2 ± 9.8	64.9 ± 9.6
Grösse (cm)	162.1 ± 2.7	178.0 ± 5.8	170.1 ± 9.4	168.7 ± 7.5	176.9 ± 4.8	172.8 ± 7.3	171.4 ± 8.3
Ausdauer (h/ Woche)	10.0 ± 2.0	13.2 ± 5.9	11.6 ± 4.5*	4.7 ± 3.1	6.5 ± 3.0	5.0 ± 3.3*	5.1 ± 8.3
Training Total (h/ Woche)	12.5 ± 1.6	15.6 ± 6.2	14.1 ± 4.6*	6.3 ± 5.0	7.3 ± 2.6	6.8 ± 4.6*	5.8 ± 10.4

Anmerkung: Daten sind Mittelwerte ± SEM (Standardabweichung). Daten mit * weisen einen signifikanten Unterschied zwischen Elite- und Hobby-Athlet:innen auf mit dem Mann-Whitney-U-Test auf ($p < 0.05$).

Bei den Laktatwerten wurden die Werte ausgeschlossen, bei denen eine Fehlmessung vorlag, die durch Auffälligkeiten im Protokoll nachvollziehbar waren – so wie Nachstechen oder Zeitverzögerung bei fehlendem Blutfluss. Fehlende Daten betrafen die Herzfrequenz der letzten Messung (8. Post-Test Phase Messung) bei allen Proband:innen, da der Herzfrequenzgurt beim Duschen abgezogen wurde.

3.1 Unterschiede der Blut- zu Speichellaktatkonzentration während eines Laktatstufentests

Es werden alle Messzeitpunkte sowie die Parameter Maximalwert der Laktatkonzentration, aerobe- und anaerobe Schwelle auf statistische Unterschiede in absoluten und normalisierten Werten untersucht. Für den Überblick über die diversen Laktatmessungen wird zuerst der Datensatz deskriptiv beschrieben und grafisch dargestellt. Dabei werden die absoluten Blut- und Speichellaktatkonzentrationswerte im Verlauf des Laktatstufentests beschrieben. In der Tabelle

4 werden Daten zu allen Messpunkten mit deren Streuung präsentiert aufgezeigt sowie das Verhältnis zwischen den Blut- und Speichellkonzentrationen ersichtlich. Auch die normalisierten Daten sind aufgelistet, im zweiten Teil des Unterkapitels wird darauf eingegangen. Auf diese Weise kann für Blut- und Speichellaktat die gleiche Skala verwendet werden und der Laktatverlauf der gemittelten Werte und deren Streuung kann einfacher dargestellt werden. Anschließend wird noch der Fokus auf einzelne Proband:innen gesetzt, um die Variation der verschiedenen Verläufe aufzuzeigen.

Die Überprüfung aller Messzeitpunkte mit dem Shapiro-Wilk-Test ($p < 0.05$) ergab beim Speichellaktat eine nichtparametrische Verteilung und bei denen des Bluts nur wenige mit einer parametrischen Verteilung.

In der ersten Phase, der Ruhemessung, starteten die Laktatwerte niedrig. Die gemittelten Blutlaktatwerte (Md 1.4 mmol/L, IQR 0.5 mmol/L) waren hier am niedrigsten des gesamten Testverlaufs. Im Speichel lag der Median bei 0.7 mmol/L (IQR 0.5 mmol/L). Die Blutkonzentration war hier doppelt so hoch wie die des Speichels. Dies ist die kleinste Differenz in den absoluten Werten der beiden Mediane im gesamten Test (siehe Tabelle 4).

In der Aufwärmphase (Phase 2) stieg das Blutlaktat leicht an (Md 1.6 mmol/L, IQR 0.6 mmol/L). Die Speichellaktatkonzentration sank deutlich. Es kam fast zu einer Halbierung des Medians von 0.7 mmol/L auf 0.38 mmol/L (IQR 0.24 mmol/L). Somit veränderte sich auch das Verhältnis zwischen Blut- und Speichellaktat, wobei die Konzentration von Blutlaktat um 4.2-mal höher war.

Zu Beginn der Testphase sank die Speichellaktatkonzentration auf den tiefsten Wert des gesamten Testverlaufs (1. Messung Test Phase: Md 0.31 mmol/L, IQR 0.16 mmol/L). Im Zuge der zunehmenden Belastung im Test zeigten sowohl Blutlaktat als auch Speichellaktat einen stetigen Anstieg der Laktatkonzentration. Dabei stieg das Speichellaktat jedoch weniger stark und langsamer an als das Blutlaktat. Die Differenz des Verhältnisses von Blut- und Speichellaktat wurde auch zunehmend grösser und erreichte mit einer 13.5-mal höheren Konzentration des Bluts seinen Höchstwert bei der 6. Messung der Test Phase. Die maximale Laktatkonzentration des Medians von Blutlaktat wurde bei der letzten Messung während der Test Phase erreicht.

Während die Blutlaktatkonzentration bereits von Anfang an der Post-Test-Phase wieder sank (Md 2.35 mmol/L, IQR 1.50 mmol/L), stieg die Speichellaktatkonzentration weiterhin an und erreichte ihre höchste Konzentration bei der fünften Post-Test-Messung, 15 Minuten nach Testabbruch (Md 1.74 mmol/L, IQR 1.46 mmol/L). Jedoch lag der Median von 1.74 mmol/L nur 0.02 und 0.03 mmol/L über den Medianen der dritten (9 Minuten, Md 1.72 mmol/L, IQR 1.45

mmol/L) und vierten (12 Minuten, Md 1.71 mmol/L, IQR 2.19 mmol/L) Messung der Post-Test Phase. Die Speichellaktatkonzentration wies bei der letzten Messung, 45 Minuten nach Testabbruch ($0.46 \text{ mmol/L} \pm 0.33 \text{ mmol/L}$), eine niedrigere Laktatkonzentration auf als bei der Ruhemessung (Md 0.7 mmol/L, IQR 0.5 mmol/L). Bei der letzten Messung war die Blutlaktatkonzentration gegenüber der des Speichels 5.6-mal höher.

Der Maximalwert war ein markanter Punkt in beiden Laktatkonzentrationsverläufen und diente als Anhaltspunkt, um den Verlauf zu beschreiben. Die maximale Konzentration, gemessen während des gesamten Tests, lag beim Blutlaktat (Md 13.17 mmol/L (IQR 3.8 mmol/L)) signifikant höher im Vergleich zum Speichellaktat (Md 2.37 mmol/L (IQR 1.8 mmol/L)). Dies entsprach einer 6.1 mal höheren Konzentration des Blut- im Vergleich zum Speichellaktat.

An der aeroben Schwelle wurde das kleinste Verhältnis mit 1.86 aufgezeichnet (Blut: Md 2.15 mmol/L (IQR 0.7 mmol/L) und Speichel mit: Md 0.30 mmol/L (IQR 0.14 mmol/L)).

Für die anaeroben Schwelle wurde, wie oben bereits beschrieben, die modifizierte Methode verwendet und dabei die Laktatkonzentration bei Abbruch des Testes verwendet. Aufgrund der Zeitverzögerung (siehe Kapitel 3.2) musste für die Berechnungen im Speichel auf die maximale Laktatkonzentration während dem ganzen Test, anstatt der während Belastung, zurückgegriffen werden. Der Median der anaeroben Schwelle liegt im Blut bei 5.35 mmol/L (IQR 1.0 mmol/L) und beim Speichel bei 1.17 mmol/L (IQR 1.04 mmol/L). Hier wächst das Verhältnis auf 4.14 an.

Mit dem Wilcoxon Test unterscheiden sich die absoluten Blut- und Speichellaktatkonzentrationen signifikant zu allen Messzeitpunkten ($p < 0.05$), ausser bei der letzten Messung während Belastung. Bei dieser Messung ist die Stichprobe bei vier Probanden jedoch sehr klein. Auch bei den Parametern Maximalwert, aerobe und anaerobe Schwelle unterscheiden sich alle drei Laktatkonzentrationen signifikant mit $p < 0.001$ ($z = 3.920$). Es liegt hier ein stark positiver Effekt vor, im Mittel befindet sich eine höhere Konzentration im Blut als im Speichel. Die Ergebnisse bei allen drei Schwellen weisen somit auf einen konsistenten Unterschied zwischen den Blut- und Speichel-Laktatmessungen hin.

Tabelle 4

Gemittelte Werte und Streuung von absoluten und normalisierten Blut- und Speichellaktatwerten und deren Verhältnis

				Blutlaktat						Speichellaktat						Verhältnis BL/SL			
				Absolute Werte in mmol/L				Normalisierte W.		Absolute Werte in mmol/L				Normalisierte W.		Absolute Werte			
Messzeitpunkt		t	N	M	SD	Md	IQR	M	Md	IQR	M	SD	Md	IQR	M	Md	IQR	M	Md
1 Ruhe	R	0	20	1.44	0.34	1.45	.50	.01	.00	.02	0.75	0.30	.70	.50	.23	.18	.22	2.2	2.0
2 Warm-up	WU	3	20	1.82	0.56	1.60	.60	.03	.02	.05	0.44	0.24	.38	.24	.07	.04	.06	4.7	4.2
3 Test	T1	6	19	1.89	0.58	1.80	.60	.05	.03	.06	0.42	0.35	.32	.16	.05	.03	.08	5.8	5.3
	T2	9	20	2.23	0.79	2.20	.70	.07	.07	.08	0.47	0.56	.33	.14	.06	.03	.05	6.5	6.4
	T3	12	20	2.79	1.22	2.45	1.20	.11	.11	.11	0.50	0.55	.37	.15	.09	.05	.12	7.7	7.1
	T4	15	20	4.07	2.20	3.30	2.20	.22	.17	.14	0.57	0.54	.39	.26	.10	.07	.09	10.1	8.7
	T5	18	20	6.18	3.67	5.30	5.40	.39	.33	.43	0.63	0.49	.51	.54	.16	.08	.29	15.9	13.0
	T6	21	18	8.24	4.49	7.25	8.90	.58	.60	.73	0.88	0.61	.65	1.13	.21	.17	.26	14.2	13.5
	T7	24	12	8.53	3.80	7.80	6.60	.69	.56	.55	0.82	0.47	.64	.44	.29	.17	.44	11.5	13.3
	T8	27	10	10.27	3.73	9.80	4.40	.76	.69	.40	1.10	0.78	.89	1.13	.25	.18	.22	14.3	9.6
	T9	30	5	12.44	3.23	12.60	5.30	.92	.92	.15	1.37	1.19	.99	1.63	.33	.31	.48	14.9	8.4
	T10	33	4	12.33	2.98	13.05	5.40	.95	1.00	.14	1.81	0.73	1.56	1.28	.31	.29	.22	7.7	7.2
4 Post-Test	PT1	3	20	12.37	2.13	12.56	3.30	.91	.93	.09	1.47	0.68	1.35	.92	.54	.52	.44	10.2	8.3
	PT2	6	20	11.03	2.56	11.05	3.00	.80	.83	.12	1.58	0.86	1.36	.86	.62	.71	.49	8.3	7.1
	PT3	9	20	9.52	2.52	9.20	4.10	.67	.68	.15	2.30	1.88	1.72	1.45	.75	.78	.31	6.5	5.0
	PT4	12	20	8.60	2.41	8.25	3.60	.57	.59	.10	2.65	2.44	1.71	2.19	.74	.78	.42	5.0	4.3
	PT5	15	20	7.37	2.09	7.10	2.60	.50	.50	.12	2.38	2.52	1.74	1.46	.66	.68	.39	5.5	4.4
	PT6	18	20	6.80	2.14	6.80	3.30	.45	.43	.21	1.96	1.82	1.30	1.82	.57	.57	.44	5.6	5.3
	PT7	21	20	6.18	2.38	5.95	3.60	.40	.39	.22	1.56	1.37	1.05	1.39	.43	.43	.30	6.5	4.9
	PT8	45	20	2.60	1.01	2.35	1.50	.11	.97	.09	0.56	0.10	.46	.33	.11	.08	.08	6.4	5.6

Anmerkung. Abkürzungen: M= Mittelwert, SD = Standardabweichung, Md = Median, IQR = Interquartilrange

				Blutlaktat							Speichellaktat							Verhältnis BL/SL	
				Absolute Werte in mmol/L				Normalisierte W.			Absolute Werte in mmol/L				Normalisierte W.			Absolute Werte	
Messzeitpunkt	t	N		M	SD	Md	IQR	M	Md	IQR	M	SD	Md	IQR	M	Md	IQR	M	Md
Maximum	Max	-	20	13.17	2.60	13.1	3.8	1	1	0	3.04	2.37	2.3	1.8	1	1	0	6.1	6.1
Aerobe Schwelle	AS	-	20	2.18	0.58	2.15	0.7	0.07	0.06	0.04	0.41	0.37	0.30	0.14	0.04	0.1	0.05	1.77	1.65
Anaerobe Schwelle	ANS	-	20	5.54	1.13	5.35	1.0	0.35	0.34	0.06	1.59	1.25	1.17	1.04	0.48	0.33	0.06	3.98	4.14

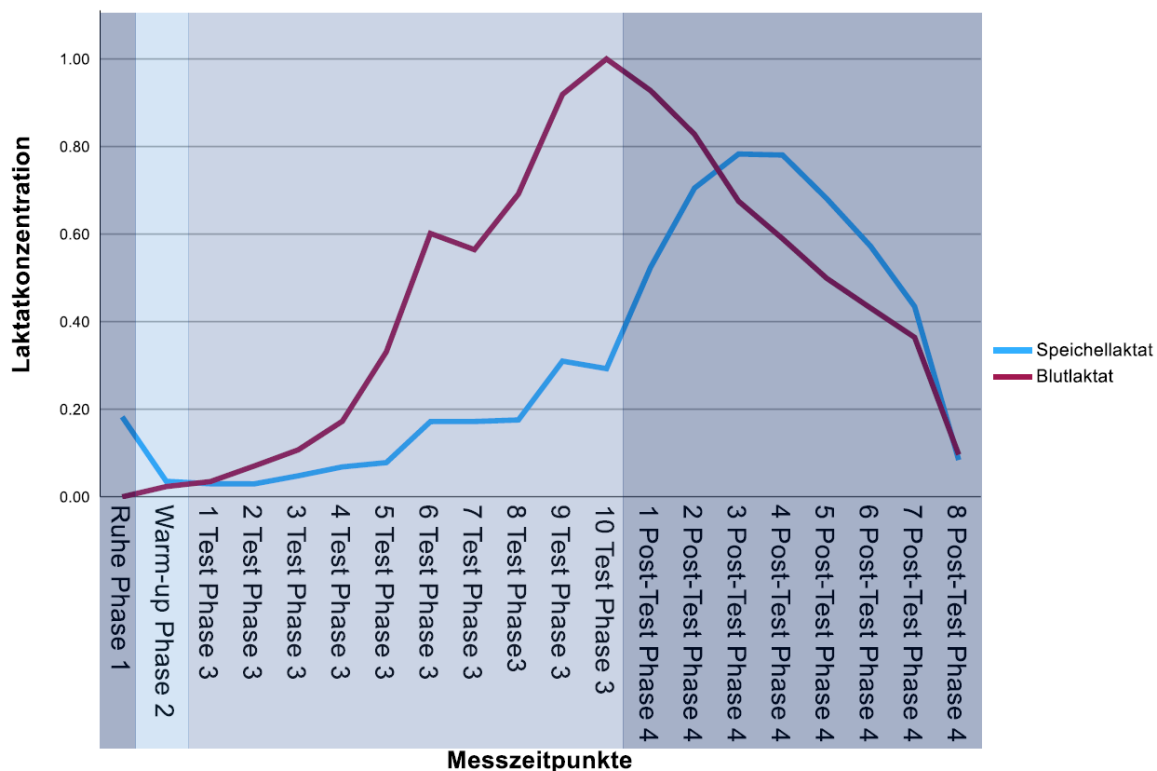
Anmerkung. Abkürzungen: M= Mittelwert, SD = Standardabweichung, Md = Median, IQR = Interquartilrange

Die Abbildung 3 mit den normalisierten Medianwerten aller Proband:innen zeigt, dass der Laktatkonzentrationsverlauf des Speichels und des Bluts während eines Laktatstufentests in den vier Phasen - Ruhephase, Aufwärmphase, Testphase und Post-Test-Phase - optisch ein ähnliches Verlaufsmuster aufweist. Der Graph der Speichellaktatkonzentration ist im Vergleich zum Blutlaktat nach rechts verschoben und liegt tiefer.

Einige Messpunkte weisen mit dem Wilcoxon Test über keinen signifikanten Unterschied hin. Ihr Z-Wert liegt moderat bis tief: Warm-up ($z = 1.605$; $p = 0.108$), in der Testphase die ersten drei Messungen (Test 1: $z = 0.483$; $p = 0.629$; Test 2: $z = 1.195$; $p = 0.232$; Test 3: $z = 1.897$; $p = 0.062$) und in der Post-Test Phase Messung 2 ($z = 1.690$; $p = 0.091$); 3 ($z = 1.344$; $p = 0.171$); 7 ($z = 0.709$; $p = 0.478$) und 8 ($z = 0.040$; $p = 0.968$). Die Unterschiede von Maximalwerten ($z = 3.920$; $p < 0.001$), aeroben Schwellen ($z = 2.455$; $p = 0.014$) und anaeroben Schwellen ($z = 2.857$; $p = 0.004$) sind alle signifikant unterschiedlich in Bezug auf die normalisierten Laktatkonzentrationen. Diese Ergebnisse zeigen moderate bis sehr starke Effekte.

Abbildung 3

Median der normalisierten Blut- und Speichellaktatkonzentrationen im Zeitverlauf des Tests

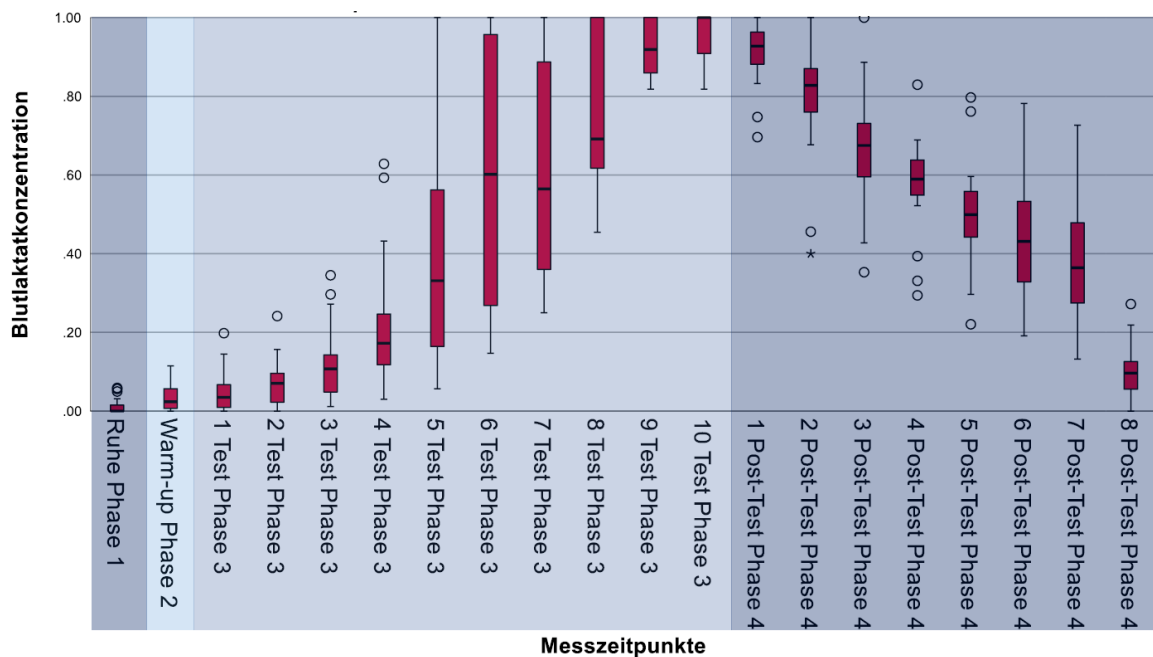


Für die Betrachtung der Streuung eignen sich die normalisierten Werte, um so die grossen Konzentrationsunterschiede auszugleichen. Die folgenden Abbildungen 4 und 5 zeigen Boxplots

der normalisierten Laktatwerte, welche die unterschiedlichen Streuungen während des gesamten Testverlaufs darstellen. Das Speichellaktat verzeichnet mehr Datenpunkte als Ausreisser ($^{\circ}$), das sind Werte, die im Datensatz oberhalb von $3. \text{ Quartil} + 1,5 \text{ IQR}$ beziehungsweise unterhalb vom $1. \text{ Quartil} - 1,5 \text{ IQR}$ liegen. Es hat auch mehr extreme Ausreisser ($*$) welche die Range $\pm 1,5 \text{ IQR}$ des 1. und 3. Quartils überschreiten.

Abbildung 4

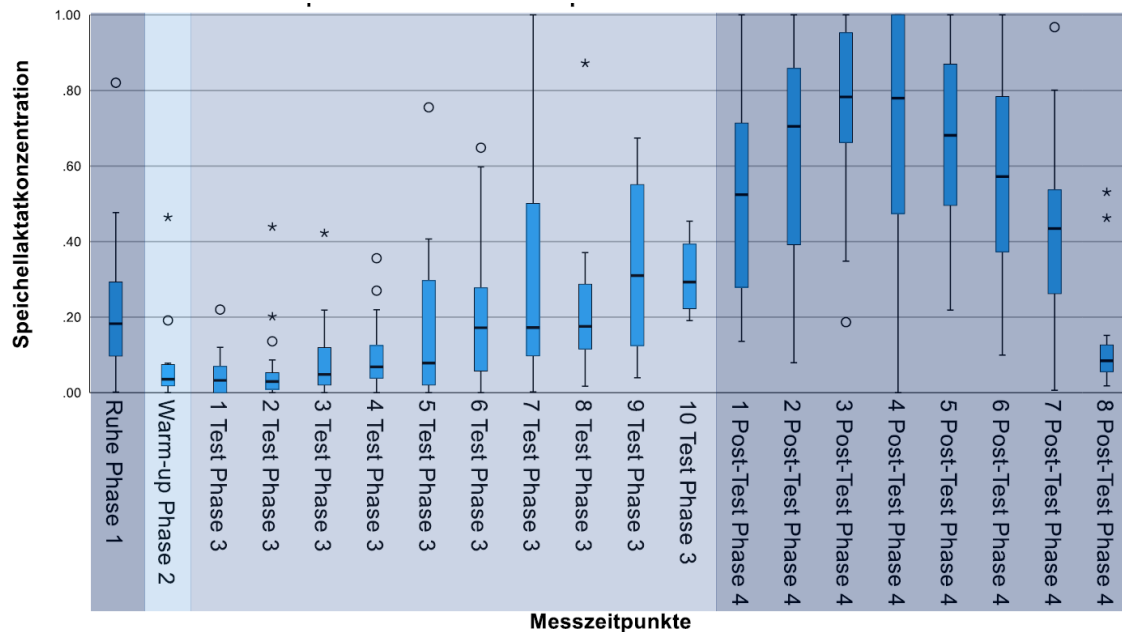
Boxplot der normalisierten Blutlaktatkonzentrationen während des Tests aller Proband:innen



Anmerkung. Die schwarzen Striche in den Boxen markieren den Median und die jeweilige Box die Interquartilabstand (IQR). $N = 20$; $^{\circ}$ = Ausreisser zwischen $x_{0.75} + 1,5 \text{ IQR}$ und $x_{0.75} + 3 \text{ IQR}$; $*$ extreme Ausreisser = Abstand ist grösser respektive kleiner als $1,5 \text{ IQR}$

Abbildung 5

Boxplot der normalisierten Speichellaktatkonzentrationen während des Tests aller Proband:innen



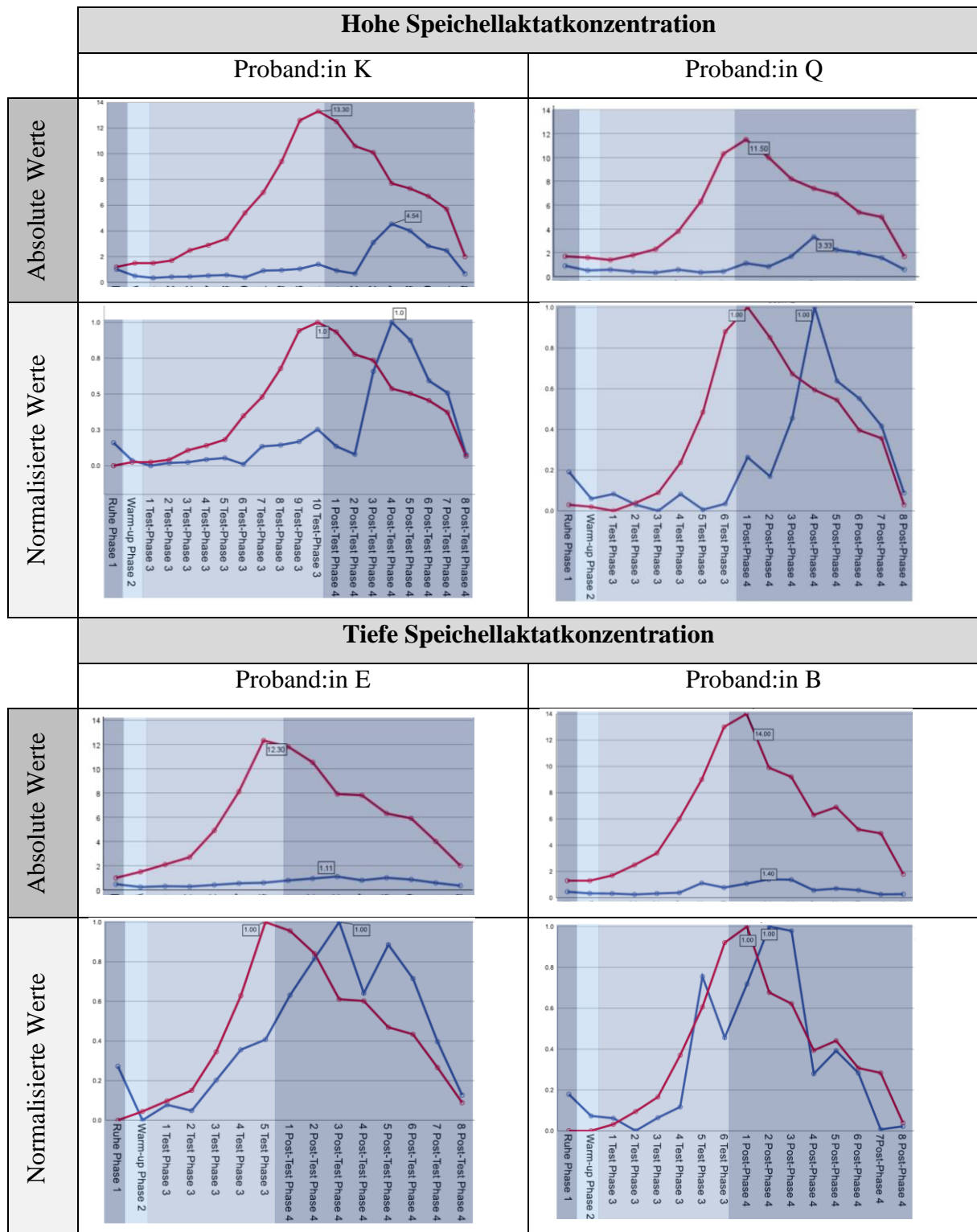
Anmerkung. Die schwarzen Linien innerhalb der Boxen zeigen den Median an, während die Box selbst den Interquartilsabstand (IQR) darstellt. $n = 20$; ° = Maximalwert; * = extreme Ausreisser

In der Ruhephase ist die Streuung des Blutlaktats mit einem Interquartilsabstand (IQR) von 0.02 sehr klein im Vergleich zum Speichellaktat mit einem IQR von 0.22. Während des Warm-ups fällt die Konzentration des Speichellaktats (Md 0.04, IQR 0.06) und dessen Streuung deutlich ab. In der Test Phase lässt sich beim Blutlaktat beobachten, dass die Streuung anfangs noch eher gering ist und dann mit steigender Belastung steigt. Zu Beginn der Testphase 3 bleibt die Streuung von Speichel- und Blutlaktat relativ stabil und ähnlich. Ab der Stufe 5 nimmt besonders beim Blutlaktat die Streuung zu. Bei der Stufe 6 erreicht das Blutlaktat mit einem IQR von 0.73 die grösste Streuung. Im Gegensatz dazu zeigt das Speichellaktat während der gleichen Phase eine moderatere Zunahme der Streuung. Während der Phase 4 (Post-Test) nimmt die Streuung der Blutlaktatwerte kontinuierlich ab, während die Speichellaktatwerte eine anhaltende Streuung aufweisen. Die Grösste Streuung weist das Speichellaktat mit einem maximalen IQR von 0.49 bei der vierten Messung nach dem Testabbruch auf. Bei der letzten Messung sind Blut- und Speichellaktat durch mit geringen Streuungen von 0.09 und 0.08 gekennzeichnet.

Um die Streuung besser zu verstehen werden Beispiele Laktatverläufe von einzelnen Proband:innen in der Abbildung 6 gezeigt. Betrachtet man die einzelnen normalisierten Laktatkonzentrationsverläufe der Proband:innen, so stellt man grundsätzlich, den oben beschriebenen Verlauf bei diesen allen fest. Beim Verlauf des absoluten Speichellaktatwerts sind jedoch die hohen Konzentrationen der getesteten Personen sehr unterschiedlich – bei einigen Proband:innen steigen die Speichellaktatkonzentrationen deutlich höher an.. So liegt zum Beispiel bei Proband:in K der Maximalwert bei 13.30 mol/L und bei Proband:in E bei 1.11 mol/L. Bei den weiteren Proband:innen liegen die Maximalwerte dazwischen (siehe einzelne Laktatverläufe im Anhang).

Abbildung 6

Beispiele von Laktatverläufen von Proband:innen in absoluten und normalisierten Werten



Anmerkung: Rot = Blutlaktatkonzentration, blau = Speichellaktatkonzentration. Die X-Achse stellt die Laktatkonzentration dar, wobei die absoluten Werte auf einer Skala von 0-14 mmol/L angegeben sind und die normalisierten Werte auf einer Skala von 0-1. Die Y-Achse zeigt die Messzeitpunkte, die farblich in vier Phasen unterteilt sind.

3.2 Zeitverzögerung vom Blut- zum Speichellaktat zwischen den Messzeitpunkten Maximalwert, aeroben und anaeroben Schwelle

Hier werden in der Tabelle 5 die Zeitverschiebungen der Parameter Maximalwert, aerobe und anaerobe Schwelle dargestellt. Anschliessend werden die drei zeitlichen Verzögerungen auf mögliche Unterschiede hin untersucht.

Die maximalen Blutlaktatwerte werden bei Testabbruch oder nach drei Minuten gemessen. Beim Speichellaktat ist der Zeitpunkt der maximalen Konzentration wesentlich inkonsistenter. Er variiert zwischen Testabbruch und der sechsten Messung, die 18 Minuten nach dem Abbruch erfolgt. Die zeitliche Verzögerung zwischen den gemessenen Maximalwerten von Blut- und Speichellaktat beträgt im Durchschnitt $9.0 \text{ Minuten} \pm 7.5 \text{ Minuten}$.

Die zeitliche Verzögerung zwischen der aeroben Schwelle von Blut- und Speichellaktat beträgt 9.4 Minuten (MD, IQR 8.6 min) und bei der anaeroben Schwelle 10.1 Minuten (MD, IQR 7.8 Min.) (siehe Tabelle 5).

Tabelle 5

Zeitverzögerungen (Minuten) zwischen Blut- und Speichellaktat von Maximalwert, aerobe und anaerobe Schwelle

	N	Minimum	Maximum	M	SD	Md	IQR
Maximalwerte	20	0 min	18 min	9.15 min	5.01 min	9.00 min	7.50 min
Aerobe Schwelle	20	1.70 min	16.40 min	9.42 min	4.64 min	9.65 min	8.58 min
Anaerobe Schwelle	20	4.31 min	17.74 min	10.23 min	4.15 min	10.15 min	7.82 min

Anmerkung: N = Anzahlprobanden, M = Mittelwert, SD = Standardabweichung, Md = Median, IQR = Interquartilabstand

Im Rahmen der Analyse wurde ein Friedman-Test durchgeführt, um die Unterschiede zwischen den Messungen der Zeitverzögerungen von Blut- und Speichellaktat an den Maximalwerten sowie an der aeroben und anaeroben Schwelle zu untersuchen. Die Ergebnisse ($p\text{-Wert} = 0.951$) zeigen weder signifikanten Unterschiede in den Zeitverzögerungen der maximalen Laktatkonzentrationen im Blut und im Speichel noch zwischen der aeroben und anaeroben Schwelle. Ein

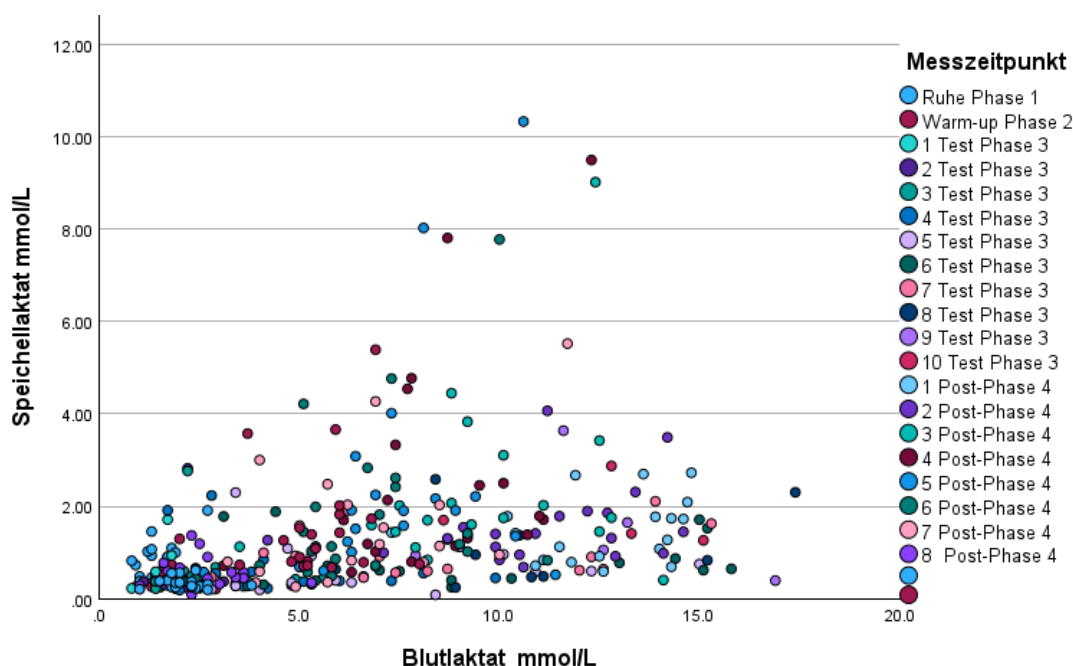
sehr niedriger Chi-Quadrat-Wert (χ^2) von 0.100 zeigt, dass die Werte der Zeitverzögerungen sehr nahe beieinander liegen und kaum Unterschiede aufweisen.

3.3 Zusammenhang zwischen Blut- und Speichellaktat bei den einzelnen Messzeitpunkten, dem Maximalwert und der aeroben und anaeroben Schwelle

Die zu untersuchenden Parametern werden erst zusammenhängend in der Grafik dargestellt, um anschliessend noch statisch getestet zu werden.

Abbildung 7

Streudiagramm der absoluten Blut- und Speichellaktatkonzentration zu allen Messzeitpunkten



Die einzelnen Messzeitpunkte der Blut- und Speichellaktatkonzentration zeigen, bis auf einen in der Post-Test Phase, keine statistisch signifikante Korrelation ($p < 0.05$). Die Messung 21 Minuten nach Testabbruch zeigt eine positive signifikante Korrelation, was bedeutet, dass der Blutlaktatspiegel höher ist, je höher der Speichellaktatwert ist ($r_s = 0.471$, $p = 0.036$, $n = 20$), was nach Cohen (1992) einem mittleren Effekt entspricht. Das bedeutet, dass eine Änderung der Blutlaktatkonzentration zu den einzelnen Messzeitpunkten nicht durch eine entsprechende Änderung der Speichellaktatkonzentration widerspiegelt wird (siehe Abbildung 7).

Der Korrelationskoeffizient zwischen den Maximalwerten von Blut- und Speichellaktat beträgt $r_s = 0.134$. Es liegt keine statische Signifikanz vor ($p = 0.574$).

Der Korrelationskoeffizient zwischen den aeroben Schwellen von Blut- und Speichellaktat beträgt $r_s = -0.039$. Diese Korrelation ist statistisch nicht signifikant ($p = 0.869$).

Bei den anaeroben Schwellen von Blut- und Speichellaktat beträgt der Korrelationskoeffizient $r_s = 0.243$. Die Korrelation ist statistisch nicht signifikant ($p = 0.303$).

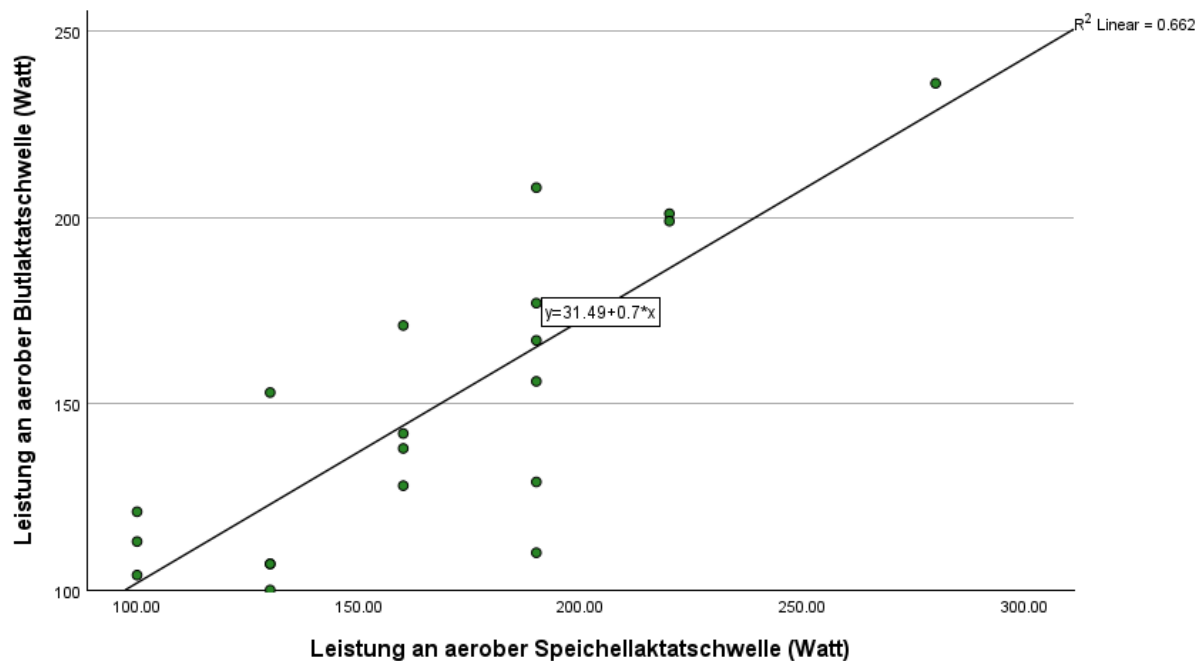
Ein anderes Bild entsteht, wenn man die Leistungen der berechneten aeroben Schwelle von Blut- und Speichellaktat gegenüberstellt (siehe Abbildung 8). Die beiden aeroben Schwellen korrelieren bezüglich ihrer Leistung signifikant ($r_s = 0.774$, $p < 0.001$, $n = 20$), was nach Cohen (1992) einem starken Effekt entspricht. Das deutet darauf hin, dass die Leistung bei beiden Schwellen in ähnlicher Weise variiert.

Mit der linearen Regressionsanalyse lässt sich ihren Zusammenhang wie folgt quantifizieren. Der Korrelationskoeffizienten (R) beträgt 0.813 und das korrigierte R^2 liegt bei 0.643. Dies bedeutet, dass etwa 64.3% der Varianz der Leistung an der aeroben Blutlaktatschwelle durch die Leistung an der aeroben Speichellaktatschwelle erklärt werden kann und der Standardschätzfehler liegt bei 23.930. Die Varianzanalyse zeigt, dass der F-Wert der Regression 1 bei $F(1) = 35.205$ liegt und ist mit einem p -Wert von < 0.001 signifikant. Somit lässt sich die Leistung an der aeroben Speichellaktatschwelle für die Leistung an der aeroben Blutlaktatschwelle ableiten. Der Regressionskoeffizient β_0 ($\beta_0 = 31.489$, $T = 1.543$) hat das Signifikanzniveau $p = 0.140$ und somit ist der Achsenabschnitt nicht signifikant. Jedoch ist der Regressionskoeffizient β_1 ($\beta_1 = 0.704$, $T = 5.933$) signifikant ($p < 0.001$). Dies bedeutet, dass für jede Einheit der Leistung an der aeroben Speichellaktatschwelle die Leistung an der aeroben Blutlaktatschwelle um 0.704 Einheiten steigt. Die Beziehung lässt sich mit der folgenden linearen Funktion beschreiben:

$$\text{Leistung aeroben Blutlaktatschwelle} = 31.489 + 0.704 \times \text{Leistung aerobe Speichellaktatschwelle} + \varepsilon_i$$

Abbildung 8

Korrelation der Leistung an der aeroben Schwelle von Blut- und Speichellaktat



Anmerkung: $\Delta 30W \equiv \Delta 180s$

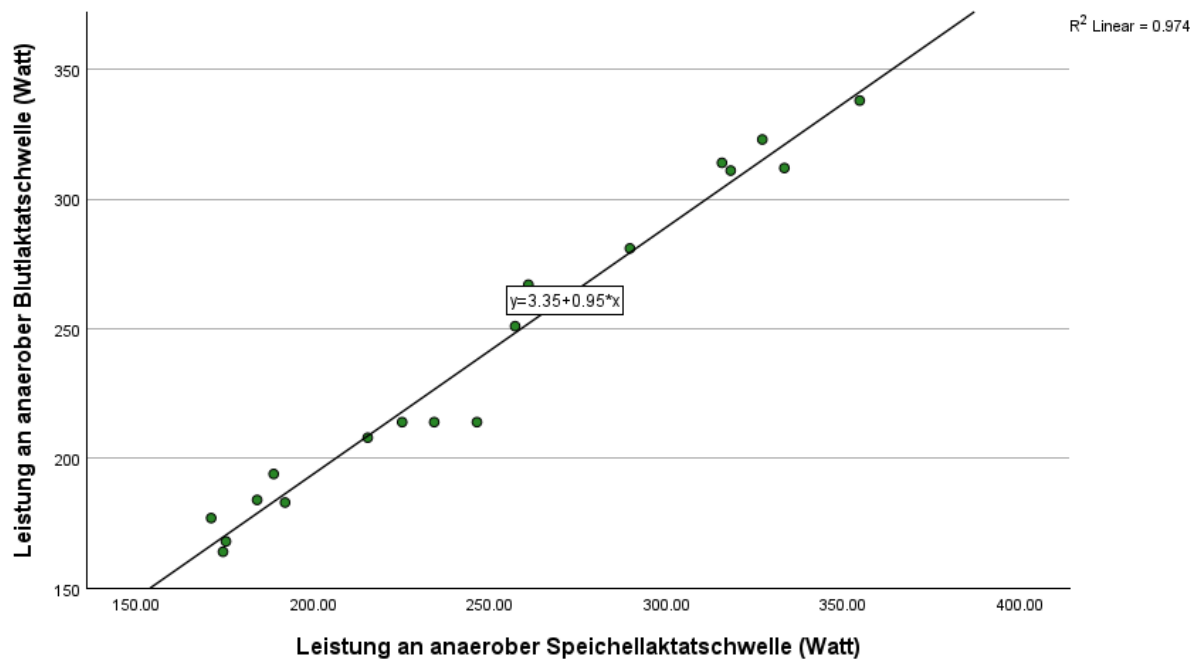
Der Korrelationskoeffizient der Leistung abgeleitet an der anaeroben Blutlaktatschwelle und die der anaeroben Speichellaktatschwelle liegt bei $r_s = 0.977$ mit einem Signifikanzniveau von $p < 0.001$. Dies weist auf eine sehr starke positive Korrelation hin, wie in Abbildung 9 zu sehen ist.

Die Regressionsanalyse zeigt eine starke Anpassung des Modells an die Daten mit einem Korrelationskoeffizienten (R) von 0.987 und einem korrigierten R^2 -Wert von 0.973. Dies bedeutet, dass etwa 97.3% der Varianz der Leistung an der anaeroben Blutlaktatschwelle durch die Leistung an der anaeroben Speichellaktatschwelle erklärt werden kann. Die Varianzanalyse bestätigt die Signifikanz des Modells mit einem F-Wert von 685.740 bei einem Signifikanzniveau von $p < 0.001$. Der Standardschätzfehler beträgt 9.402. Dies bedeutet, dass die Leistung an der anaeroben Speichellaktatschwelle genutzt werden kann, um die anaerobe Blutlaktatschwelle abzuleiten.. Der Regressionskoeffizient für den Achsenabschnitt (β_0) beträgt 3.352 ($T = 0.358$) und ist nicht signifikant ($p = 0.724$). Im Gegensatz dazu ist der Regressionskoeffizient für die Steigung (β_1) signifikant (0.953, $T = 26.187$, $p < 0.001$). Dies impliziert, dass mit jeder Einheit Anstieg der Leistung an der anaeroben Speichellaktatschwelle die Leistung an der anaeroben Blutlaktatschwelle um 0.953 Einheiten zunimmt. Das Modell lässt sich durch die folgende Gleichung darstellen:

Leistung an der anaeroben Blutlaktatschwelle = $3.352 + 0.953 \times \text{Leistung an der anaeroben Speichellaktatschwelle} + \epsilon_i$

Abbildung 9

Korrelation der Leistung an der anaeroben Schwelle von Blut- und Speichellaktat



Anmerkung: $\Delta 30W \equiv \Delta 180s$

3.4 Unterschiede in Differenzen zwischen Speichel- und Blutlaktat in der Konzentration sowie Zeitverzögerung bei Elite- und Hobby-Athlet:innen

Zu Beginn wurden die zwei Stichproben-Gruppen bezüglich ihrer relativen Leistungen beschrieben. Anschliessend wurden die Unterschiede in der Differenz der Laktatkonzentration im Blut und Speichel sowie der Zeitverzögerung bei den Parametern Maximalwert, aerobe Schwelle und anaerobe Schwelle überprüft.

Wie anfangs Kapitel beschrieben, unterschieden sich die beiden Studiengruppen signifikant in der Stundenanzahl des Ausdauertrainings und dem Trainingstotal pro Woche. Bezüglich der relativen Leistungen unterschieden sich die beiden Elite- und Hobby-Athlet:innen nicht eindeutig. Die Mittelwerte der Leistungswerte pro Kilogramm Körpergewicht lagen bei allen Vergleichspunkten, maximale Leistung, Leistung an der aeroben und anaeroben Schwelle, jeweils höher (siehe Tabelle 6). Statistisch unterscheiden sich die Elite- und Hobby-Athlet:innen in der relativen maximalen Leistung nicht (Mann-Whitney-U-Test: 25.000; $p = 0.063$, $n=20$). Auch unterschieden sie sich nicht in der relativen Leistung an der aeroben Schwelle (Mann-Whitney-U-Test: 32.000; $p = 0.190$, $n=20$). Ebenso bestand kein signifikanter Unterschied bei der relativen Leistung an der anaeroben Schwelle (Mann-Whitney-U-Test: 29.000; $p = 0.112$, $n=20$).

Tabelle 6*Relative Leistungen der beiden Studiengruppen*

	Elite-Athlet:innen			Hobby-Athlet:innen			Gesamte Stichprobe
Proband:innen	Weiblich (n= 5)	Männlich (n=5)	Elite total (n=10)	Weiblich (n=5)	Männlich (n=5)	Hobby total (n=10)	Total n = 20
Rel. Leistung AS (W/kg)	2.1 ± 0.4	2.8 ± 0.3	2.4 ± 0.5	1.9 ± 0.3	2.3 ± 0.5	2.1 ± 0.5	2.3 ± 0.5
Rel. Leistung ANS (W/kg)	3.5 ± 0.6	4.4 ± 0.4	4.0 ± 0.7	3.1 ± 0.3	3.8 ± 0.5	3.5 ± 0.6	3.7 ± 0.7
Rel. Leistung Max. (W/kg)	4.4 ± 0.8	5.5 ± 0.3	4.9 ± 0.8	4.0 ± 0.4	4.7 ± 0.6	4.3 ± 0.6	4.6 ± 0.8

Anmerkung: Daten sind Mittelwerte ± SEM (Standartabweichung). Abkürzungen: AS = aerobe Schwelle, ANS = anaerobe Schwelle, Max. = Maximalwert

Es gibt keine signifikanten Unterschiede zwischen den Elite- und Hobby- Athleten in der Differenz der Speichel- und Blutlaktatwerte in allen Messzeitpunkten ausser dem Warm-Up (siehe Tabelle 7). Beim Warm-up zeigte sich ein Unterschied zwischen den beiden Gruppen in der Differenz der beiden Laktatwerte (Mann-Whitney-U-Test: 85.000; $p = 0.007$, $n=20$).

Bei den nicht zeitgebundenen Parametern (Ruhe, Maximalwert, aerobe-, anaerobe Schwelle) gab es keine signifikanten Unterschiede ($p < 0.05$) zwischen den beiden Gruppen, weder in der Konzentration noch in der Zeitverzögerung.

Tabelle 7

Unterschiede in der Differenz von Blut- und Speichellaktat und Zeitverzögerung zwischen Elite- und Hobby-Athlet:innen bei nicht zeitgebundenen Parametern

	Differenz Konzentration		Zeitverzögerung	
	Mann-Whitney-U	Exakte Sig. p - Wert	Mann-Whitney-U	Exakte Sig. p - Wert
Ruhe	56.000	0.684	-	-
Maximal Werte	48.000	0.912	50.500	1.000
Aerobe Schwelle	80.000	0.023	43.000	0.631
Anaerobe Schwelle	63.000	0.353	46.000	0.796

4 Diskussion

Die Speichellaktat-Diagnostik impliziert die Möglichkeit einer nicht-invasiven oralen Messung der Laktatkonzentration. Das Ziel der Untersuchung war, aufgrund der erhobenen Daten die Verbindung zwischen Blut- und Speichellaktat während Belastung zu analysieren und die Überprüfung des Speichellaktats als anaerober Biomarker. Dabei werden mögliche Korrelationen sowie Unterschiede in den Laktatwerten während eines Laktatstufentests identifiziert. Es werden Aussagen über den Speichellaktatverlauf, deren Verhältnis zum Blutlaktat und mögliche Unterschiede in der Speichellaktatkonzentration zwischen Elite- und Hobbyathlet:innen gemacht werden.

4.1 Unterschiede zwischen Blut- und Speichellaktatkonzentration während eines Laktatstufentests

Während eines Laktatstufentests wurden die Unterschiede von Blut- und Speichellaktatkonzentrationen analysiert. Die Ergebnisse der Laktatkonzentrationen dieser Studie unterstützen frühere Untersuchungen, die einen ähnlichen Konzentrationsverlauf von Blut- und Speichellaktat während Ausdauerbelastungen aufzeigen (Chicharro et al., 1998; Oliveira et al., 2015; Santos et al., 2006; Schabmueller et al., 2006; Semerak et al., 2005; Yan et al., 2023). Die Kurve des Speichellaktats verläuft tiefer und mit einer zeitlichen Verzögerung, wie aufgrund der Literatur zu erwarten war (Oliveira et al., 2015; Semerak et al., 2005). Der tiefere Verlauf des Speichellaktats spiegelt die geringere Konzentration des Speichellaktats wider. In dieser Studie liegt zu allen Messzeitpunkten die absolute Speichellaktatkonzentration signifikant tiefer als die des Blutlaktats, mit Ausnahme des letzten Messpunktes in der Testphase. Die Erklärung dazu liegt bei der Tatsache, dass nur vier Proband:innen zu diesem letzten Zeitpunkt der Testphase eine Messung haben und dadurch die statistische Teststärke beeinflusst wurde. Die geringere Konzentration von Speichellaktat gegenüber Blutlaktat wird weitgehend von anderen Studien bestätigt (Oliveira et al., 2015; Petropoulos et al., 2016; Santos et al., 2006; Schabmueller et al., 2006; Segura, 1996; Semerak et al., 2005; Tékus et al., 2012).

Die niedrigeren Laktatkonzentrationen im Speichel im Vergleich zum Blutlaktat können durch die Regulation der passiven Diffusion von Laktat aus dem Blut in die Speicheldrüsen erklärt werden (Santos et al., 2006). Die Diffusion, also die Menge des Laktats, die die Membran passiert, hängt vom Konzentrationsgradienten zwischen Blut und Speichel ab (Alberts et al., 2024). Dieses Konzentrationsgefälle kann durch das Vorhandensein anderer Stoffe, die ebenfalls die Membran passieren, beeinflusst werden, was dazu führen kann, dass weniger Laktat diffundiert

(Alberts et al., 2024). Darüber hinaus könnte die Anwesenheit oder Abwesenheit von Monocarboxylat-Transportern (MCTs) den Laktattransport unterstützen oder behindern (Hashimoto & Brooks, 2008). Der wichtigste Aspekt des Konzentrationsgradienten ist jedoch die tatsächliche Konzentration von Blutlaktat, die in den Speicheldrüsen vorhanden ist (Santos et al., 2006; Shannon, 1967). Zusätzlich könnte die enzymatische Aktivität in den Speicheldrüsen eine Rolle spielen, da bestimmte Enzyme wie die Laktatdehydrogenase Laktat metabolisieren und dabei dessen Konzentration im Speichel reduzieren (Chicharro et al., 1998). Auch der pH-Wert des Speichels kann die Laktat-Konzentration beeinflussen und führt oft zu niedrigeren Konzentrationen im Vergleich zum Blut (Navazesh, 1993).

Bei genauerer Betrachtung der vier Phasen des gesamten Testverlaufs zeigen sich unterschiedliche Verhaltensweisen des Speichellaktats im Vergleich zum Blutlaktat. In dieser Studie liegt in Phase 1, der Ruhemessung, das Speichellaktat unerwartet hoch. Die Ruhewerte des Speichellaktats liegen im Mittel bei $0.75 \text{ mmol/l} \pm 0.3 \text{ mmol/l}$, verglichen zu anderen Ruhewerten wie bei Santos und Kollegen (2006), die ohne Stimulation des Speichels einen Ruhelaktatwert von $0.39 \text{ mmol/l} \pm 0.09 \text{ mmol/l}$ aufweisen, oder bei Schabmüller und Kollegen (2006), die über $0.22 \text{ mmol/L} \pm 0.09 \text{ mmol/l}$ berichten. Betrachtet man das Verhältnis zwischen Blut- und Speichellaktat, so berichtet beispielsweise Petropoulos und Kollgen (2016), dass die Speichellaktatkonzentration im Ruhezustand zehnmal niedriger war als die beim Blut. In dieser Studie ist die Konzentration des Ruhelaktats im Speichel jedoch nur zweimal niedriger. Ein weiteres Indiz dafür, dass die Speichellaktatmessung verhältnismässig hoch ist, zeigt der Vergleich zur letzten Messung. Sie wurde 45 Minuten nach Testabbruch entnommen, weist einen Mittelwert von $0.56 \text{ mmol/l} \pm 0.1 \text{ mmol/l}$ auf und liegt somit tiefer. Die Ruhemessung des Blutlaktats ist jedoch niedriger als die letzte Post-Test-Messung.

Es ist möglich, dass die Speichellaktat-Ruhemessungen durch einen noch unbekannten Parameter beeinflusst und erhöht wurden. Aufgrund des integrativen Effekts auf den Speichelfluss und die Speichelzusammensetzung ist es schwierig, von einem einzigen Grund auszugehen. Zwei wahrscheinliche Einflüsse könnten die Nervosität der Proband:innen oder das Einsetzen des In-Mouth-Speichellaktatsensors sein. Eine Erläuterung zur möglichen Nervosität: Das autonome Nervensystem, je nachdem ob das parasympathische oder sympathische System aktiviert ist, hat einen Einfluss auf die Speichelsekretion und deren Zusammensetzung. Die Aktivierung des sympathischen Nervensystems erhöht den Proteinanteil im Speichel, während das parasympathische System den Elektrolyt- und Wasserfluss steigert (Reiser et al., 2012; Shannon, 1967). Manche Proband:innen berichteten von Nervosität vor dem Test, dabei wird das sympathische System angeregt und die Speichellaktatkonzentration könnte erhöht werden.

Die Proband:innen wurden ruhiger sobald sie sich eingewöhnt hatten und mit dem Warm-up begannen. In zukünftigen Studien wäre es interessant, die Nervosität der Proband:innen zu erfassen, um deren Einfluss auf die Ergebnisse zu verfolgen und verstehen. Die zweite mögliche Erklärung für die hohen Speichellaktatwerte könnte das Einsetzen des Speichellaktatsensors sein als Bestandteil des INSPIRING-Projekts. Neben dem etwas umständlichen Einsetzen des Sensors, könnte das Vorgehen auch Stress ausgelöst haben und ebenfalls zu einer Stimulation der Speicheldrüsen geführt haben (Shannon, 1967). Eine mechanische Stimulation beim Beissen auf das Gehäuse des Sensors bis die Paste zur Befestigung des Sensors ausgehärtet ist und eine sensorische Stimulation durch den Pfefferminzgeschmack lösen eine neurologische Reaktion aus (Buchalla, 2012). Diese Auswirkungen könnten wiederum zu einem erhöhten Blutfluss zu den Drüsen und somit zu einer erhöhten Diffusion von Laktat in den Speichel geführt haben. Während dem Warm-up, der Phase 2, kommt es fast zu einer Halbierung der mittleren Speichellaktatkonzentration von $0.75 \text{ mmol/L} \pm 0.3 \text{ mmol/l}$ auf $0.44 \text{ mmol/L} \pm 0.24 \text{ mmol/l}$. Hier gilt es zu erwähnen, dass einige Studien nur vor und nach Belastungen Laktatmessungen gemacht haben oder das Warm-up nicht in die Ergebnisse eingeschlossen haben und folglich nicht vergleichbar sind. Möglicherweise wird auch das Speichellaktat wie beim Blutlaktat bei leichter Belastung abgebaut. Zu Beginn eines Laktatstufentests kann die Blutlaktat-Konzentration zunächst sinken, bevor sie bei zunehmender Belastung wieder ansteigt, dieser Effekt lässt sich auf verschiedene, physiologische Mechanismen zurückführen. Zu Beginn der Belastung wird das in den Muskeln vorhandene Laktat durch das Blut schneller abtransportiert und in der Leber abgebaut, unterstützt durch den gesteigerten Blutfluss während der körperlichen Aktivität (Brooks, 2009). Während der Ruhephase akkumuliertes Laktat wird zu Beginn der Bewegung vermehrt ins Blut freigesetzt und schneller abgebaut. Die erhöhte Durchblutung und Sauerstoffversorgung der Muskeln fördern den aeroben Stoffwechsel, wodurch weniger Laktat produziert wird (Gladden, 2004). Mit zunehmender körperlicher Aktivität steigt die Durchblutung der Muskeln, die Sauerstoffversorgung wird verbessert und der aerobe Stoffwechsel intensiviert. In der Folge wird weniger Laktat produziert, da die Muskeln effizienter arbeiten und weniger auf anaerobe Prozesse angewiesen sind (van Hall, 2010). Ein weiterer Grund könnte, wie oben bereits erwähnt, die Nervosität bei den Proband:innen sein. Im Warm-up wurde das parasympathetische Nervensystem weniger gehemmt, es kam damit zur Senkung der Speichellaktats (Reiser et al., 2012).

In Phase 3, der Testphase, stiegen die Blutlaktatwerte schneller an als die Speichellaktatwerte, was mit bereits bestehenden Studien übereinstimmt. In dieser Phase erreichte das Verhältnis

von Blutlaktat zu Speichellaktat einen Medianwert von 13,5 zu 1. Dies ist entgegen der Erklärungen der Literatur. Aufgrund der höheren Blutkonzentration, sollte aber auch mehr Laktat in den Speichel Diffundieren und somit das Verhältnis nicht so hoch anwachsen (Alberts et al., 2024). Die Diffusion von Laktat in den Speichel kann durch einige Parameter, ausgelöst durch intensive körperliche Belastung, vereinfacht werden (Chicharro et al., 1998). Erstens, mit der Erhöhung des Blutlaktats steigt das Konzentrationsgefälle zwischen Blut und Speichel, was wiederum eine Diffusion erleichtern sollte (Brooks, 2009). Gleichzeitig wird die Permeabilität durch die erhöhte Herzfrequenz und dem stärkeren Blutfluss gefördert, der das Laktat schneller zu den Speicheldrüsen transportiert (Ntovas et al., 2022). Auch hier wird das sympathische Nervensystem aktiv und könnte, wie bereits in diesem Kapitel erklärt zu einer Erhöhung des Speichellaktats führen. Aufgrund intensiver Belastung kann auch der pH-Wert des Speichels sinken und kann ebenfalls die Diffusion von Laktat erleichtern (Ngamchuea et al., 2018).

Gründe, die für niedrigere Laktatwerte während einer Belastung sprechen; Auch wenn die Permeabilität der Blut-Speichel-Schranke erhöht ist, bleibt sie immer noch begrenzt und lässt proportional weniger Laktat durchdringen (Santos et al., 2006). Unter Belastung wird auch die Enzymaktivität erhöht, die Laktatdehydrogenase metabolisiert das Laktat und kompensiert dabei den erhöhten Laktatfluss (Chicharro et al., 1998). Während intensivem Training wird das Speichelvolumen geringer. Möglicherweise hat diese Beobachtung doch einen Einfluss auf die Speichellaktatkonzentration, entgegen den Ergebnissen von Santos und Kollegen (2006).

In der Post-Test Phase (Phase 4) erreicht das Speichellaktat seinen maximalen Mittelwert von $3.04 \text{ mmol/L} \pm 2.5 \text{ mmol/L}$, was sich mit der Literatur übereinstimmt (Chicharro et al., 1998). Anschliessend fällt es langsam zurück.

Die maximalen Werte und die aerobe und anaerobe Schwelle unterscheiden sich alle signifikant in der Blut- und Speichellaktatkonzentration. Das Ergebnis lässt sich aus den gleichen physiologischen Gründen wie bei den restlichen Messzeitpunkte erklären. Die identischen Werte des Wilcoxon-Tests ($z = 3.920$) geben über alle drei Schwellen hinweg einen starken Hinweis auf einen konsistenten Unterschied zwischen den Blut- und den Speichellaktatmessungen. Dieser Tatbestand könnte darauf hindeuten, dass - obwohl die absoluten Werte unterschiedlich sind - die relativen Veränderungen auf die Trainingsintensität sowohl in Blut- als auch Speichelproben ähnlich sind und diesbezüglich eine praktikable Alternative zur Blutlaktatmessung darstellen könnte.

Die normalisierten Werte ermöglichen einen guten visuellen Anhaltspunkt über die Verschiebung des Laktatkonzentrationsverlaufs. Interessant ist dabei, dass die normalisierten Konzent-

rationen in der Zeitspanne vom Warm-up bis zur dritten Testmessung keine signifikanten Unterschiede aufweisen. Mit dem Anstieg des Blutlaktats wird der Unterschied jedoch immer grösser. Der Stand der Messung spricht für ein nicht-lineares Verhältnis oder, wie bereits angesprochen, für unterschiedliche physiologische Einflüsse, die das Verhältnis von Blut- zu Speichellaktat verändern. Die zweite und die dritte Post-Test-Messung zeigen keinen Unterschied, da das Blutlaktat schneller sinkt als das des Speichels. Bei den letzten zwei Laktatmessungen, die erneut tief ausfallen, haben sich die Laktatwerte in den beiden Medien wieder angeglichen.

Bei der Betrachtung der Streuung während des Tests ist im Blutlaktatverlauf die grösste Streuung bei den Messungen während der 5. bis 8. Test Messung zu beobachten, was grösstenteils auf die unterschiedlich langen Testprotokolle der Proband:innen zurückzuführen ist. Dahingegen nimmt die Streuung im Speichellaktat auch mit steigender Konzentration zu. Diese Beobachtung wurde schon in der Literatur erwähnt (Semerák, 2009). Diese Streuung lässt sich mit den grossen individuellen Unterschieden bei den hohen Laktatkonzentrationen erklären.

Die individuellen Unterschiede zwischen den Proband:innen hinsichtlich der Speichellaktatkonzentrationen sind sehr gross. Einige aus der Gruppe zeigen deutlich höhere Anstiege der Speichellaktat-Konzentration als andere und weist dabei auf eine hohe Variabilität der Speichelreaktionen unter Belastung hin. So variieren die Maximalwerte der Speichellaktat-Konzentrationen stark und zwar von 0.98 mmol/L bis 10.33 mmol/L. Weitere Studien erwähnen ebenfalls eine hohe individuelle Variabilität zwischen Blut- und Speichellaktat innerhalb eines Laktatprofils einer gleichen Person (Spehar-Délèze et al., 2021; Tékus et al., 2012).

Diese interindividuelle Variabilität des Speichellaktats könnte auf verschiedene Faktoren zurückgeführt werden. Zu erwähnen dazu sind individuelle physiologische Unterschiede unter Belastung mit entsprechenden individuellen Diffusionsraten (Spehar-Délèze et al., 2021), unterschiedliche Speichelflussraten und -sekretionen sowie unterschiedliche Hydratations- und Ernährungszustände während des Tests (Ferrari et al., 2023). Um die mögliche individuelle Variabilität der Speichелеigenschaften zu überprüfen, wäre eine parallele Analyse der Speichelkomponenten spannend zu verfolgen. Interessant wäre es, mehrere Messungen innerhalb einer Person durchzuführen, um die intraindividuelle Variabilität zu analysieren. Diese Befunde schliessen eine Berechnung der Stufenwerte im Blutlaktat anhand des Speichellaktats aus.

Zusammenfassend lässt sich die Frage nach Unterschieden zwischen Speichel- und Blutlaktatkonzentration während des gesamten Tests wie folgt beantworten: Die absoluten Laktat-Konzentrationen zeigen zu allen Zeitpunkten signifikante Unterschiede. Der tiefere Verlauf des Speichellaktats reflektiert die geringere Konzentration im Vergleich zum Blutlaktat, was durch

passive Diffusion und enzymatische Aktivität in den Speicheldrüsen erklärt werden kann (Chicharro et al., 1998; Shannon, 1967). Bei den normalisierten Werten sind die Konzentrationsunterschiede erst ab dem Anstieg der Blutlaktatwerte zu beobachten. Dies deutet auf ein nicht-lineares Verhältnis oder auf unterschiedliche physiologische Einflüsse hin, die das Verhältnis von Blut- zu Speichellaktat beeinflussen. Der Maximalwert sowie die aeroben und anaeroben Schwellen zeigen signifikante Unterschiede in den absoluten und normalisierten Konzentrationen. Diese Unterschiede lassen sich durch die gleichen physiologischen Mechanismen erklären, die auch für die restlichen Messzeitpunkte gelten. Trotz der unterschiedlichen absoluten Werte zeigen die relativen Veränderungen in Bezug auf die Trainingsintensität sowohl in Blut- als auch in Speichelproben eine vergleichbare Tendenz im Verlauf. Das bedeutet, dass, obwohl die tatsächlichen Laktatkonzentrationen im Blut und Speichel unterschiedlich sind, beide Probenarten auf ähnliche Weise auf steigende Trainingsintensitäten reagieren. Blut- und Speichel unterscheiden sich auch in der Streuung der beiden Laktatverläufe. Beim Speichellaktat nimmt die Streuung mit steigender Konzentration zu, was auf die grossen individuellen Unterschiede zwischen den Proband:innen zurückzuführen ist. Diese Variabilität könnte auf diverse Faktoren zurückgeführt werden, so wie individuelle physiologische Unterschiede unter Belastung (Tékus et al., 2012), unterschiedliche Speichelflussraten und -sekretionen sowie unterschiedliche Hydratations- und Ernährungszustände während des Tests (Spehar-Délèze et al., 2021; Ferrari et al., 2023).

4.2 Zeitverzögerung vom Blut- zum Speichellaktat zwischen den Messzeitpunkten Maximalwert, aeroben und anaeroben Schwelle

Die Untersuchung beantwortet die Frage, ob sich die Zeitverzögerung vom Blut- zum Speichellaktat zwischen den Messzeitpunkten Maximalwert, aeroben und anaeroben Schwelle unterscheidet. Die statistische Analyse zeigt, dass die Zeitverzögerungen sehr ähnlich sind ($\chi^2 = 0.100$) und sich somit nicht signifikant unterscheiden ($p = 0.951$). Die Mediane der Zeitverzögerungen liegen zwischen neun und zehn Minuten (Maximalwert = 9 min; aerobe Schwelle = 9.95 min; anaerobe Schwelle = 10.15 min). Für eine präzisere Quantifizierung und Zeiterfassung wäre eine höhere Messpunktdichte oder idealerweise eine kontinuierliche Messung erforderlich.

Die Verzögerung beruht darauf, dass Speichel eine weniger direkte Verbindung zum zentralen Kreislaufsystem hat als Blut. Laktat muss zuerst vom Muskel ins Blut und dann in die Speicheldrüsen transportiert werden und nimmt dafür Zeit in Anspruch (Ngamchuea et al., 2018).

Bei der Diffusion muss das Laktat durch diverse Gewebeschichten dringen (Heck et al., 2022) und nimmt dabei ebenfalls Zeit in Anspruch (Oliveira et al. 2015; Shannon, 1967).

Die Mediane der drei Parameter, Maximalwert, aerobe und anaerobe Schwelle, liegen sehr nahe beieinander und erklärt den niedrigen Chi-Quadrat-Wert. Allerdings zeigen alle drei Parameter auch eine sehr grosse Streuung (Maximalwerte IQR = 7.5 min; aerobe Schwelle IQR = 8.58 min und anaerobe Schwelle IQR = 7.82 min), das wiederum auf erhebliche interindividuelle Unterschiede hinweist und die oben besprochenen individuellen, physiologischen Einflüsse bestätigt.

Diese Resultate liegen grösstenteils im Rahmen der Literatur. Laut Semerák (2009) zeigen die meisten Studien eine Zeitverzögerung von fünf bis zehn Minuten, manchmal auch zehn bis fünfzehn Minuten wie bei Ohkuwa (1995). Eine Ausnahme bildet die Studie von Segura et al. (1996), die keine Verzögerung des Speichellaktats aufwies - in dieser Untersuchung wurden Speichelproben chemisch stimuliert, um einen hohen Speichelfluss zu erreichen, der der Zusammensetzung des Plasmas näherkommt. Der pH-Wert von stimuliertem Speichel variiert weniger und führt dadurch zu genaueren Messungen von Biomarkern (Ngamchuea et al., 2018; Spehar-Délèze et al., 2021).

4.3 Zusammenhang zwischen Blut- und Speichellaktat bei allen Messzeitpunkten, dem Maximalwert, aerobe und anaerobe Schwelle

In der Studie wurde untersucht, welche Zusammenhänge zwischen den Blut- und Speichellaktatkonzentrationen bei den einzelnen Messzeitpunkten sowie bei den nicht zeitgebundenen Parametern Ruhelaktat, Maximalwert, aerobe und anaerobe Schwelle besteht. Die Blut- und Speichellaktatkonzentrationen zeigten zu den einzelnen Messzeitpunkten keinen signifikanten Zusammenhang. Es gab keine Korrelationen zwischen dem Blut- und Speichellaktat im Maximalwert sowie der aeroben und anaeroben Schwelle. Im Gegensatz dazu zeigten die Leistungen an der aeroben und anaeroben Schwelle starke signifikante Korrelationen. Für die aerobe Schwelle betrug der Korrelationskoeffizient $r_s = 0.774$ ($p < 0.001$), die lineare Regressionsanalyse ergab einen Korrelationskoeffizienten (R) von 0.813, wobei 64.3% der Varianz der Leistung an der Blutlaktatschwelle durch die Leistung an der Speichellaktatschwelle erklärt werden konnten. Für die anaerobe Schwelle ergab sich ein Korrelationskoeffizient von $r_s = 0.977$ ($p < 0.001$). Die Regressionsanalyse zeigte einen Korrelationskoeffizienten (R) von 0.987 und ein korrigiertes R^2 von 0.973. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Speichellaktat ein zuverlässiger Prädiktor für die Berechnung der Leistung an den Blutlaktat Schwellen ist.

Die fehlende Korrelation zwischen Speichel- und Blutlaktat zu den einzelnen Messzeitpunkten war zu erwarten, da sich in den Liniendiagrammen und Berechnungen klare individuelle Zeitverzögerungen zwischen den Laktatkonzentrationen im Speichel und im Blut bereits abgezeichnet hatten. Weiter könnten auch für die nicht zeitgebundenen Parameter die individuelle Regulation und Dynamik des Laktats vom Blut in den Speichel für nicht signifikante Korrelationen der Maximalwerte sowie der aeroben und anaeroben Schwellen verantwortlich sein. Die starke Korrelation der aus der Blut- und Speichellaktatschwelle abgeleiteten Leistungen lässt vermuten, dass die in Watt gemessene Leistung wahrscheinlich direkt mit der körperlichen Anstrengung und der Stoffwechselaktivität korreliert, die sowohl die Blut- als auch die Speichellaktatkonzentrationen beeinflussen. Obwohl die Laktatkonzentrationen im Blut und im Speichel nicht direkt korrelieren, reagieren beide auf die gleiche massgebende Variable der körperlichen Leistung.

Semerak (2005) beschrieb, dass ein direkter Vergleich der Laktat-Konzentrationen im Speichel und im Blut während der einzelnen Stufen aufgrund der zeitlichen Verzögerung keine sinnvollen Ergebnisse liefert und dass die Ruhe- und Maximalwerte interindividuell sehr variabel sind. Ähnliche Ergebnisse fanden Ohkuwa und Kollegen (1995) bei längeren Belastungstests (30km Lauf) mit der Begründung, dass das Laktat bereits im Herz, in den Skelettmuskeln und in der Leber abgebaut wird. Auch bei Semerak (2005) zeigte sich beim Drei-Minuten-Stufentest ein geringer Zusammenhang ($R^2 = 0.473$, $p < 0.05$).

Weitere Untersuchungen stellten jedoch mittlere bis starke Korrelationen zwischen Blut- und Speichellaktat-Konzentrationen fest. Segura (1996) bewies, dass durch die Verwendung eines logarithmisch-linearen Modells zur Linearisation der Beziehung zwischen Blut- und Speichellaktat eine sehr gute Korrelation ($r = 0.91$) erreicht werden konnte. Weiter zeigte er auf, dass diese Beziehung unterschiedliche Steigungen aufwies, wenn die Stoffwechselaktivität in einen zunehmend anaeroben Zustand überging, wobei der Umschlagspunkt in den Steigungen der beiden Regressionslinien entweder den aeroben oder den anaeroben Schwellenwert bestimmte. Dieses Modell zeigte ein schlüssiges Ergebnis ($r = 0.813$, $p < 0.05$), eine lineare Regressionsanalyse der Beziehung zwischen Speichel- und Blutlaktat-Konzentrationen ergab eine hohe Übereinstimmung (R^2 korrigiert = 0.93, $p < 0.001$). (Segura, 1996)

Oliveira et al. (2015) und Santos (2006) fanden ebenfalls starke, signifikante Korrelationen zwischen Blut- und Speichellaktat. Dies könnten darauf zurückzuführen sein, dass sie mit stimulierten Speichelproben (Kauen auf Baumwolle oder Spülen mit Zitronensäure) vorgehen oder dass sie eine homogenere Gruppe testeten. Bortolini et al. (2009) verwendeten Gesamt-

protein im Speichel als Biomarker und fanden dabei eine signifikante Korrelation mit der anaeroben Blutlaktat-Schwelle ($r = 0.93$, $p < 0.05$) mit der Verwendung der DMax-Methode. Auch das Gesamtprotein muss die Blut-Speichel-Barriere passieren und liefert dabei einen Hinweis, dass die Bestimmung der Leistung an den Schwellen mittels Speichel ermittelt werden kann.

Obwohl direkte Korrelationen zwischen Blut- und Speichellaktat-Konzentrationen oft durch individuelle Unterschiede und zeitliche Verzögerungen beeinträchtigt sind, unterstreichen diese Studien, dass die Leistungsfähigkeit und die Reaktion auf Belastungen in beiden Medien ähnlich sein können. Die starke Korrelation der Leistungen an den aeroben und anaeroben Schwellen bestätigt die Ergebnisse der vorhandenen Literatur und bekräftigt, dass das Speichellaktat ein nützlicher nichtinvasiver Indikator für die Leistungsdiagnostik sein kann.

4.4 Unterschiede in Differenzen zwischen Speichel- und Blutlaktat in der Konzentration sowie Zeitverzögerung bei Elite- und Hobby-Athlet:innen

Die Untersuchung zielt darauf ab, die Unterschiede in der Differenz der Laktatkonzentration im Blut und im Speichel sowie auf die Zeitverzögerung bei den Parametern Maximalwert, der aeroben und anaeroben Schwelle im Vergleich zwischen Elite- und Hobbyathlet:innen zu analysieren.

Die vorliegende Untersuchung zeigt, dass keine signifikanten Unterschiede in den Differenzen zwischen der Laktat-Konzentration im Blut und im Speichel sowie bei der Zeitverzögerung mit den Parametern Maximalwert, aerobe und anaerobe Schwelle beim Vergleich zwischen Elite- und Hobbyathlet:innen bestehen.

Obwohl die Elite-Athlet:innen mit signifikant mehr Ausdauer trainierten als die Hobby-Athlet:innen, unterschieden sich die relativen Leistungen während dem Test nicht signifikant, auch wenn die Werte der Elite-Athlet:innen jeweils etwas höher lagen. Folglich waren auch keine signifikanten Unterschiede in der Differenz der Laktat-Konzentrationen in Blut und Speichel und der Zeitverzögerung zu erwarten.

Eine Studie von Tékus und Kolleginnen (2012) konnte diese Unterschiede aufzeigen, sie ergab, dass Athlet:innen eine stärkere Korrelation zwischen Blut- und Speichellaktat-Konzentrationen zeigten ($r = 0.511$) im Vergleich zu Nicht-Athleten ($r = 0.385$). So deutet die Untersuchung darauf hin, dass trainierte Personen eine konsistentere und vorhersagbarere Laktatdynamik in Speichelproben aufweisen können.

Eine weitere Studie prüfte, ob Speichellaktat als anaerober Biomarker genutzt werden kann. Die Ergebnisse bestätigten, die Möglichkeit, Speichellaktat als verlässlichen Indikator für die

anaerobe Schwelle bei Sportlern zu verwenden, wobei die Korrelation zwischen Speichel- und Blutlaktat bei Athleten stärker war als bei Nicht-Athleten (Yan et al., 2023).

4.5 Reflexion

Der Laktatstufentest zeigte, vor allem durch die Möglichkeit viele Messpunkte zu erfassen, klare Vorteile auf. Die sorgfältig gewählten Datenpunkte erlaubten eine fundierte Analyse der Leistungskurven. Für zukünftige Tests wäre es jedoch ideal, die Messpunkte noch engermaschiger oder möglichst kontinuierlich zu setzen, um die Kurve präziser zu bestimmen und Ausreisser leichter identifizieren zu können.

Ein wesentlicher Kritikpunkt betrifft die Stichprobe. Die Gruppe der Proband:innen war insgesamt heterogen in Bezug auf ihre relative Ausdauerleistung, da sie Elite- und Hobby-Athlet:innen sowie Männer als auch Frauen umfasste. Die Unterteilung in Elite- und Hobby-Athlet:innen wurde bewusst gewählt, um zu untersuchen ob die Ausdauerfähigkeit das Speichellaktat beeinflusst. Die zwei Gruppen dieser Studie unterschieden sich jedoch nicht signifikant in der relativen Leistung, folglich konnten auch keine verlässlichen Aussagen über deren Unterschiede getroffen werden. Im Nachhinein zwei Gruppen anhand der relativen Leistungen zu bilden, war nicht möglich, da sich auch so keine zwei Gruppen einteilen liessen. Es wäre allerdings sinnvoll gewesen, die gesamte Stichprobe nach Geschlecht durchzuführen oder die Stichprobenmenge zu erhöhen.

Aufgrund der grossen und individuellen Unterschiede ist essenziell, selbst innerhalb einer homogenen Leistungsgruppe, jede Person idealerweise drei bis vier Mal zu testen. Diese wiederholte Testung trägt dazu bei, zuverlässigere Ergebnisse zu sammeln. Sie bietet die Möglichkeit, zufällige Schwankungen besser auszugleichen, verursacht durch beispielsweise Krankheit oder Ungenauigkeiten bei Messgeräten. Weiter ermöglicht die wiederholte Messung eine genauere Erfassung sowohl individueller Unterschiede als auch der Variabilität einer einzelnen Person über eine gewisse Zeitspanne.

Die Messgenauigkeit beim Speichellaktat ist ein weiterer Schwachpunkt bei der Analyse. Vor Allem zeigt das Messgerät bei niedrigen Laktatwerten eine geringere Sensitivität und Messfehler können nicht ausgeschlossen werden.

Eine grosse Herausforderung stellte die Sammlung eines ausreichenden Speichelvolumens bei submaximaler und maximaler Belastung. Der verringerte Speichelfluss und die Austrocknung des Mundraums durch Mundatmung erschwerten die Probenentnahme erheblich. Oft wurde die

benötigte Speichelmenge nur knapp erreicht oder dann häufig mit Verzögerung. Dieser erschwerende Aspekt spricht für eine Stimulation oder für die Einführung einer längeren Pause bei der Sammlung des Speichels.

4.6 Ausblick und Limitationen

Eine der grössten Herausforderungen bei der Messung von Speichellaktat ist die Notwendigkeit hochsensitiver Messgeräte aufgrund der niedrigen Konzentration von Speichellaktat und den geringen Speichelfluss bei hohen Belastungen. Zudem variieren die Speichellaktat-Konzentrationen stark sowohl individuell als auch bei der jeweiligen Person. Das Testmaterial kann durch zahlreiche Faktoren beeinflusst werden und führt demnach zu unterschiedlichen Verzögerungen.

Ein Sensor, der kontinuierlich Speichellaktat misst, würde ermöglichen, die erforderlichen Datenpunkte zu erfassen und gleichzeitig eine grössere Anzahl an Testungen durchzuführen. Dieses optimierte Vorgehen könnte zur Klärung der Laktatkinetik unter körperlicher Belastung beitragen, und die Messzeitpunktdichte würde die Untersuchung der verschiedenen Einflussfaktoren des Speichellaktats erleichtern. Zu den Faktoren, die untersucht werden müssen, gehören: hämodynamische und neuroendokrine Einflüsse wie Stress und Dehydration, die enzymatische Aktivität des Speichels durch Lactatdehydrogenase, Einflüsse auf die Diffusion aufgrund unterschiedlicher Konzentrationsgradienten zwischen Blut und Speichel sowie Monocarboxylat-Transporter und schliesslich der pH-Wert des Speichels.

Die beschriebene Technologie wäre ideal für Selbsttests bei Athlet:innen oder für eine valide Trainingsüberwachung bei Laien, die derzeit nur aufgrund der Herzfrequenz möglich ist. Ein Handgelenk-Empfänger, ähnlich einer Pulsuhr, könnte in Verbindung mit einem Sender im Mundraum eine Echtzeit-Trainingskontrolle im Feld ermöglichen und würde eine kontrollierte, zielgerichtete körperliche Belastung sicherstellen.

5 Schlussfolgerung

Zusammenfassend zeigen die Ergebnisse dieser Studie, dass Speichellaktat ein potenzieller Biomarker für den anaeroben Stoffwechsel bei körperlicher Belastung ist. Die Analyse der Laktatkonzentrationen im Blut und im Speichel während inkrementeller Belastungstests deutet darauf hin, dass Speichellaktat als nicht-invasiver Indikator zur Bestimmung der Leistung an der aeroben und anaeroben Schwelle sowie der damit verbundenen Trainingszonen verwendet werden kann. Allerdings bestehen noch einige Herausforderungen, um die Verwendung des Speichellaktats als präzise Messmethode verwenden zu können.

Die Studie ergab, dass Speichellaktat-Konzentrationen signifikant niedriger sind als Blutlaktatkonzentrationen. Das Ergebnis entspricht der Literatur und kann durch die passive Diffusion von Laktat aus dem Blut in die Speicheldrüsen erklärt werden. Die zeitliche Verzögerung zwischen den Maximalwerten sowie den aeroben und anaeroben Schwellen von Blut- und Speichellaktat dicht beieinander, waren nicht signifikant unterschiedlich, aber sie variierte stark je nach Person. Diese Erkenntnisse bestärken die Notwendigkeit einer individuellen Anpassung der Speichellaktatleistungs- an die Blutlaktatleistungskurven, um eine genauere Leistungsdiagnostik zu erreichen.

Der Zusammenhang von einzelnen Messzeitpunkten, wie beim Maximalwert, und bei der aeroben und anaeroben Schwelle von Blut- und Speichelaktat sind nicht gegeben und somit kann keine Folgerung aus den Speichellaktat-Konzentrationen direkt auf die Blutlaktatwerte geschlossen werden. Hingegen korreliert die Leistung an den beiden Speichellaktatschwellen mit der des Blutes und bildet einen wichtigen Parameter in der Ausdauerdiagnostik. Die lineare Regressionsanalyse zeigt einen signifikanten Zusammenhang, wobei für jede Einheit der Leistung an der aeroben Speichellaktatschwelle die Leistung an der aeroben Blutlaktatschwelle um 0.704 Einheiten steigt. Auch die Analyse für die anaerobe Schwelle zeigt eine sehr starke Korrelation: Hier bewirkt jede Einheit Anstieg der Leistung an der anaeroben Speichellaktatschwelle eine Zunahme der Leistung an der anaeroben Blutlaktatschwelle um 0.953 Einheiten.

Offen und zu untersuchen sind noch die Differenzen von Blut- und Speichellaktat zu den Parametern Maximalwert, aerobe und anaerobe Schwelle bei zwei Gruppen mit unterschiedlicher Ausdauerfähigkeit. Diese Studie würde Hinweise liefern, ob die Ausdauerfähigkeit die Speichellaktatkonzentration während Belastung beeinflusst. Es stellte sich bei der Untersuchung heraus, dass sich die beiden Gruppen bezüglich Ausdauerfähigkeit zu wenig voneinander unterscheiden und somit keine Aussage gemacht werden konnte.

Diese Arbeit bestätigt die potenzielle Nutzung von Speichellaktat als Biomarker, sie betont jedoch auch die Notwendigkeit zusätzlicher Forschungsarbeit zur Verbesserung der Messgenauigkeit zum Verständnis der individuellen Variabilität hervor. Eine grössere Messpunktdichte mit dem Einsatz neuer Technologien könnten zu präziseren und verlässlicheren Ergebnissen führen.

Literatur

- Alberts, B., Heald, R., Johnson, A. D., Morgan, D., Raff, M., Roberts, K., Walter, P., Häcker, B., & Prowald, A. (2024). *Molekularbiologie der Zelle* (7. Auflage). Wiley-VCH.
- Berg, A., Stippig, J., Keul, J., & Huber, G. (1980). Bewegungstherapie und ambulante Coronargruppen. I. Zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit und Belastbarkeit von Patienten mit coronarer Herzkrankheit. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 31(7), 199–205.
- Billat, L. V. (1996). Use of Blood Lactate Measurements for Prediction of Exercise Performance and for Control of Training. *Sports Medicine*, 22(3), 157–175.
<https://doi.org/10.2165/00007256-199622030-00003>
- Bishop, D., Jenkins, D. G., & Mackinnon, L. T. (1998). The relationship between plasma lactate parameters, Wpeak and 1-h cycling performance in women. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 30(8), 1270–1275. <https://doi.org/10.1097/00005768-199808000-00014>
- Bortolini, M. S., de Agostini, G. G., Reis, I. T., Lamounier, R. P. M. S., Blumberg, J. B., & Espindola, F. S. (2009). Total protein of whole saliva as a biomarker of anaerobic threshold. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 80(3), 604–610.
<https://doi.org/10.1080/02701367.2009.10599599>
- Brooks, G. A. (2009). Cell–cell and intracellular lactate shuttles. *The Journal of Physiology*, 587(23), 5591–5600. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2009.178350>
- Buchalla, W. (2012). Multitalent Speichel. *Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift*, 76(7), 438–446.
- Budidha, K., Mamouei, M., Baishya, N., Qassem, M., Vadgama, P., & Kyriacou, P. A. (2020). Identification and quantitative determination of lactate using optical spectroscopy—towards a noninvasive tool for early recognition of sepsis. *Sensors (Switzerland)*, 20(18), 1–16. <https://doi.org/10.3390/s20185402>
- Bundesamt für Sport BASPO, & Eidgenössische Hochschule für Sport Magglingen EHSM & Ressort Leistungssport. (2016). *Manual Leistungsdiagnostik*. https://www.swissolympic.ch/dam/jcr:b15b191a-eb0d-46e8-b9c0-417b887a440d/Leistungsdiagnostik_Manual_160201_DE.pdf
- Chicharro, J. L., Lucía, A., Pérez, M., Vaquero, A. F., & Ureña, R. (1998). Saliva Composition and Exercise. *Sports Medicine*, 26(1), 17–27. <https://doi.org/10.2165/00007256-199826010-00002>

- Clénin, G. (2019). Leistungsdiagnostik im Ausdauersport-anaerobe Schwelle, VO 2 max, aerobe Kapazität-wohin geht die Reise? *Swiss Sports & Exercise Medicine*, 67(1), 6–14.
- Cohen, J. (1992). Statistical Power Analysis. *Current Directions in Psychological Science*, 3, 98–101.
- Davison, R. C. R., van Someren, K. A., & Jones, A. M. (2009). Physiological monitoring of the olympic athlete. *Journal of Sports Sciences*, 27(13), 1433–1442.
<https://doi.org/10.1080/02640410903045337>
- Dawes, H. N., Barker, K. L., Cockburn, J., Roach, N., Scott, O., & Wade, D. (2005). Borg's Rating of Perceived Exertion Scales: Do the Verbal Anchors Mean the Same for Different Clinical Groups? *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 86(5), 912–916.
<https://doi.org/10.1016/j.apmr.2004.10.043>
- Faude, O., & Donath, L. (2019). Ausdauer und Ausdauertraining im Sport. In *Bewegung, Training, Leistung und Gesundheit* (S. 1–16). Springer Berlin Heidelberg.
https://doi.org/10.1007/978-3-662-53386-4_47-1
- Faude, O., Kindermann, W., & Meyer, T. (2009). Lactate Threshold Concepts. *Sports Medicine*, 39(6), 469–490. <https://doi.org/10.2165/00007256-200939060-00003>
- Ferrari, E., Gallo, M., Spisni, A., Antonelli, R., Meleti, M., & Pertinhez, T. A. (2023). Human Serum and Salivary Metabolomes: Diversity and Closeness. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(23). <https://doi.org/10.3390/ijms242316603>
- Foxdal, P., Sjödin, B., Rudstam, H., Östman, C., Östman, B., & Hedenstierna, G. C. (1990). Lactate concentration differences in plasma, whole blood, capillary finger blood and erythrocytes during submaximal graded exercise in humans. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 61(3–4), 218–222.
<https://doi.org/10.1007/BF00357603>
- Friedman, M. (1937). The Use of Ranks to Avoid the Assumption of Normality Implicit in the Analysis of Variance. *Journal of the American Statistical Association*, 32(200), 675–701.
<https://doi.org/10.2307/2279372>
- Gladden, L. B. (2004). Lactate metabolism: a new paradigm for the third millennium. *The Journal of Physiology*, 558(1), 5–30. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2003.058701>
- Güllich, A., & Krüger, M. (2022). *Sport* (A. Güllich & M. Krüger, Hrsg.; 2. Aufl.). Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-64695-3>
- Hampson, D. B., Gibson, A. S., Lambert, M. I., & Noakes, T. D. (2001). The Influence of Sensory Cues on the Perception of Exertion During Exercise and Central Regulation of

- Exercise Performance. *Sports Medicine*, 31(13), 935–952.
<https://doi.org/10.2165/00007256-200131130-00004>
- Hashimoto, T., & Brooks, G. A. (2008). Mitochondrial Lactate Oxidation Complex and an Adaptive Role for Lactate Production. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 40(3), 486–494. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31815fcb04>
- Hastie, T., Tibshirani, R., & Friedman, J. (2009). *The Elements of Statistical Learning*. Springer New York. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-84858-7>
- Heck, H., Bartmus, U., & Grabow, V. (2022). *Laktat* (Heck Hermann, Hrsg.). Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-59835-1>
- Hegner, J. (2012). *Training fundiert erklärt : Handbuch der Trainingslehre* (5. Aufl.). Ingold.
- Hensel, R. L. (2008). Spearman Rank Correlation Coefficient. In *The Concise Encyclopedia of Statistics* (S. 502–505). Springer New York. https://doi.org/10.1007/978-0-387-32833-1_379
- Herrmann, D. (1984). Wilcoxon-Test. In *Wahrscheinlichkeitsrechnung und Statistik — 30 BASIC-Programme* (S. 51–52). Vieweg+Teubner Verlag. https://doi.org/10.1007/978-3-322-96320-8_26
- Heuberger, J., Gal, P., Stuurman, F. E., De Muinck Keizer, W., Miranda, Y. M., & Cohen, A. F. (2018). Repeatability and predictive value of lactate threshold concepts in endurance sports. *PLoS ONE*, 13(11). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0206846>
- Hofmann, P., Pokan, R., Preidler, K., Leitner, H., Szolar, D., Eber, B., & Schwaberg, G. (1994). Relationship between heart rate threshold, lactate turn point and myocardial function. *International journal of sports medicine*, 15(5), 232–237.
<https://doi.org/10.1055/s-2007-1021052>
- Hofmann, P., Wonisch, M., & Pokan, R. (2004). II Laktatleistungsdiagnostik — Durchführung und Interpretation. In H. and H. P. and H. H. and L.-K. E. and W. M. Pokan Rochus and Förster (Hrsg.), *Kompendium der Sportmedizin* (S. 103–132). Springer Vienna.
https://doi.org/10.1007/978-3-7091-3781-9_7
- Hollmann, W. (2001). 42 Years Ago - Development of the Concepts of Ventilatory and Lactate Threshold. *Sports Medicine*, 31(5), 315–320. <https://doi.org/10.2165/00007256-200131050-00002>
- IBM Statistics. (2023). *IBM SPSS Statistics* (29.0.2.0). IBM.
- Joyner, M. J., & Coyle, E. F. (2008). Endurance exercise performance: The physiology of champions. *Journal of Physiology*, 586(1), 35–44. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2007.143834>

- Jusko, W. J., & Milsap, R. L. (1993). Pharmacokinetic Principles of Drug Distribution in Saliva. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 694(1), 36–47.
<https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.1993.tb18340.x>
- Kawanishi, N., Hoshi, N., Masahiro, S., Enomoto, A., Ota, S., Kaneko, M., Soga, T., Tomita, M., & Kimoto, K. (2019). Effects of inter-day and intra-day variation on salivary metabolic profiles. *Clinica Chimica Acta*, 489, 41–48.
<https://doi.org/10.1016/j.cca.2018.11.030>
- Laukkanen, R. M. T., & Virtanen, P. K. (1998). Heart rate monitors: State of the art. *Journal of Sports Sciences*, 16(sup1), 3–7. <https://doi.org/10.1080/026404198366920>
- MacFarland, T. W., & Yates, J. M. (2016). Mann–Whitney U Test. In *Introduction to Non-parametric Statistics for the Biological Sciences Using R* (S. 103–132). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-30634-6_4
- Marées, H., & Heck, H. (2006). *Sportphysiologie*. Sportverl. Strauss.
- Microsoft Corporation. (2018). *Microsoft Excel*.
- Navazesh, M. (1993). Methods for Collecting Saliva. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 694(1), 72–77. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.1993.tb18343.x>
- Ngamchuea, K., Chaisiwamongkhol, K., Batchelor-McAuley, C., & Compton, R. G. (2018). Chemical analysis in saliva and the search for salivary biomarkers – a tutorial review. *The Analyst*, 143(1), 81–99. <https://doi.org/10.1039/C7AN01571B>
- Noonan, V., & Dean, E. (2000). Submaximal exercise testing: clinical application and interpretation. *Physical therapy*, 80(8), 782–807. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10911416>
- Ntovas, P., Loumprinis, N., Maniatakos, P., Margaritidi, L., & Rahiotis, C. (2022). The Effects of Physical Exercise on Saliva Composition: A Comprehensive Review. *Dentistry Journal*, 10(1), 7. <https://doi.org/10.3390/dj10010007>
- Ohkuwa, T., Itoh, H., Yamazaki, Y., & Sato, Y. (1995). Salivary and blood lactate after supramaximal exercise in sprinters and long-distance runners. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 5(5), 285–290. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.1995.tb00046.x>
- Oliveira, L. dos S., Oliveira, S. F., Manchado-Gobatto, F. de B., & Costa, M. da C. (2015). Salivary and blood lactate kinetics in response to maximal workload on cycle ergometer. *Revista Brasileira de Cineantropometria e Desempenho Humano*, 17(5), 565–574.
<https://doi.org/10.5007/1980-0037.2015v17n5p565>

- Petropoulos, K., Piermarini, S., Bernardini, S., Palleschi, G., & Moscone, D. (2016). Development of a disposable biosensor for lactate monitoring in saliva. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 237, 8–15. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2016.06.068>
- Reiser, H., Hricak, M., Knauth, M. F. (2012). *Dysphagia* (O. Ekberg, Hrsg.). Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-17887-0>
- Röcker, K. (2019). Sportmedizinische Anwendung: Laktat- und Leistungsdiagnostik. In *Bewegung, Training, Leistung und Gesundheit* (S. 1–27). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-53386-4_24-1
- Santos, R. V. T., Almeida, A. L. R., Caperuto, E. C., Martins, E., & Costa Rosa, L. F. B. P. (2006). Effects of a 30-km race upon salivary lactate correlation with blood lactate. *Comparative Biochemistry and Physiology - B Biochemistry and Molecular Biology*, 145(1), 114–117. <https://doi.org/10.1016/j.cbpb.2006.07.001>
- Schabmueller, C. G. J., Loppow, D., Piechotta, G., Schütze, B., Albers, J., & Hintsche, R. (2006). Micromachined sensor for lactate monitoring in saliva. *Biosensors and Bioelectronics*, 21(9), 1770–1776. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2005.09.015>
- Schlueter, N., Ganss, C., Pötschke, S., Klimek, J., & Hannig, C. (2012). Enzyme Activities in the Oral Fluids of Patients Suffering from Bulimia: A Controlled Clinical Trial. *Caries Research*, 46(2), 130–139. <https://doi.org/10.1159/000337105>
- Schürch, P. (1987). *Leistungsdiagnostik : Theorie und Praxis* (7. Aufl.). Perimed Fachbuch-Verlagsgesellschaft.
- Segura, R. (1996). A new approach to the assessment of anaerobic metabolism: Measurement of lactate in saliva. *British Journal of Sports Medicine*, 30(4), 305–309. <https://doi.org/10.1136/bjsm.30.4.305>
- Seiler, K. S., & Kjerland, G. Ø. (2006). Quantifying training intensity distribution in elite endurance athletes: Is there evidence for an «optimal» distribution? *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 16(1), 49–56. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2004.00418.x>
- Seiler, S. (2010). What is Best Practice for Training Intensity and Duration Distribution in Endurance Athletes? *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 5(3), 276–291. <https://doi.org/10.1123/ijsp.5.3.276>
- Semerák, P. (2009). *Validierung der Leistungsdiagnostik anhand von Speichellaktat und Evaluation automatisierter Interpretationsverfahren* [Dissertation]. Universität Hamburg.
- Semerák P, Lauterjung M, Loppow D, Ziegler M, Reer M, & Braumann K. (2005). Vergleichende Untersuchung der Laktatkonzentration im Speichel und im Blut während des

- Laktat-Senkentests und der Dauertestmethode. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 56(7/8), 247.
- Shannon, I. L. (1967). Effect of Exercise on Parotid Fluid Corticosteroids and Electrolytes. *Journal of Dental Research*, 46(3), 608–610.
<https://doi.org/10.1177/00220345670460032501>
- Shirtcliff, E. (2001). Use of salivary biomarkers in biobehavioral research: cotton-based sample collection methods can interfere with salivary immunoassay results. *Psychoneuroendocrinology*, 26(2), 165–173. [https://doi.org/10.1016/S0306-4530\(00\)00042-1](https://doi.org/10.1016/S0306-4530(00)00042-1)
- Spehar-Délèze, A. M., Anastasova, S., & Vadgama, P. (2021). Monitoring of lactate in interstitial fluid, saliva and sweat by electrochemical biosensor: The uncertainties of biological interpretation. *Chemosensors*, 9(8). <https://doi.org/10.3390/chemosensors9080195>
- Stegmann, H., Kindermann, W., & Schnabel, A. (1981). Lactate Kinetics and Individual Anaerobic Threshold. *International Journal of Sports Medicine*, 02(03), 160–165.
<https://doi.org/10.1055/s-2008-1034604>
- Swiss Olympic. (o. J.). *Checkliste Testperson inkl. PAR-Q*.
- Swiss Olympic and the Swiss Sports & Exercise Medicine Society (SGSM). (2021). *Sportmedizinisches Interview*. Checkliste Testperson inkl. PAR-Q
- Tabata, I. (1996). Effects of moderate-intensity endurance and high-intensity intermittent training on anaerobic capacity and VO₂max. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 28(10), 1327–1330. <https://doi.org/10.1097/00005768-199610000-00018>
- Tékus, É., Kaj, M., Szabó, E., Szénási, N., Kerepesi, I., Figler, M., Gábel, R., & Wilhelm, M. (2012). Comparison of blood and saliva lactate level after maximum intensity exercise. *Acta Biologica Hungarica*, 63(Supplement 1), 89–98.
<https://doi.org/10.1556/ABiol.63.2012.Suppl.1.9>
- van Hall, G. (2010). Lactate kinetics in human tissues at rest and during exercise. *Acta Physiologica*, 199(4), 499–508. <https://doi.org/10.1111/j.1748-1716.2010.02122.x>
- Wilcox, R. (2012). *Introduction to Robust Estimation and Hypothesis Testing* (3rd Aufl.). Ringgold. <https://doi.org/10.2307/2669876>
- Yan, P., Qin, C., Yan, Z., Chen, C., & Zhang, F. (2023). Can salivary lactate be used as an anaerobic biomarker? *PeerJ*, 11. <https://doi.org/10.7717/peerj.15274>
- Yoda, K., Shimazaki, K., & Ueda, Y. (1998). Analysis of glycolysis relevant compounds in saliva by microbiosensors. In *Annals of the New York Academy of Sciences* (Bd. 864). New York Academy of Sciences. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.1998.tb10388.x>

Anhang

Anhang 1: Einverständniserklärung



Informationen für die Teilnehmer und Teilnehmerinnen zur Studie:

Laktatmessung bei Athletinnen und Athleten und einer nicht-sportlichen Kontrollgruppe Eine Fall-Kontroll-Beobachtungsstudie

Davos, den 22.12.2023

Sehr geehrte Dame, sehr geehrter Herr

Bitte lesen Sie diese Information sorgfältig durch. Bitte fragen Sie, wenn Sie etwas wissen wollen oder nicht verstehen.

Hintergrund:

Die anaerobe Schwelle ist die höchste Belastungsintensität, welche eine Person über einen längeren Zeitraum aufrechterhalten kann. Wird die Belastungsintensität gesteigert und somit die anaerobe Schwelle überschritten, wird vermehrt Laktat gebildet und das zeigt sich einem brennenden Gefühl und in der Erschöpfung der Muskulatur. Bei erhöhter Belastungsintensität verbraucht die Person Energie, die schnell verfügbar ist, aber nicht lange anhält.

Die Messung des Laktatspiegels dient zur Optimierung der Trainingsintensität und sie gibt Hinweise auf eine Erschöpfung oder einem möglichen Übertraining. Es gibt verschiedene Möglichkeiten, den Laktatwert und somit die anaerobe Schwelle zu messen. Eine Möglichkeit besteht heutzutage darin, in regelmäßigen Abständen Blut abzunehmen und die Laktatkonzentration in kontrollierten, standardisierten Tests im Labor zu messen

Ziel:

Das Ziel dieser Studie ist es, zuverlässige Daten und Informationen über die Laktatkonzentration im Speichel zu generieren. Dabei soll herausgefunden werden, wie sich das Laktat im Speichel unter Belastung entwickelt und wie es sich im Vergleich zum Laktat im Blut verhält. Die Laktatmessung im Speichel ist eine praktikable Alternative zur invasiven Blutlaktatmessung.

Studie:

In dieser Studie werden 50 Probandinnen und Probanden eingeschlossen. Dabei werden sie in zwei Gruppen eingeteilt. Eine Gruppe wird mit 25 Sportlerinnen und Sportlern (Elite und/oder Amateursportler) gebildet, die andere mit 25 gesunden Kontrollpersonen.

Wenn Sie sich entscheiden mitzumachen, werden Sie von der Studienleitung über den Inhalt und die Durchführung der Studie aufgeklärt. Die Inhalte der Studie müssen Sie verstehen und die schriftliche Einverständniserklärung unterschreiben.

Wenn Sie in der Studie eingeschlossen werden, wird der Termin bei uns folgenden Ablauf haben:

- Wir beantworten Ihre Fragen.
- Wir stellen Ihnen Fragen zu Ihrem Trainingsstand und sportmedizinischen Gesundheitsstand
- Wir stellen Ihnen Fragen zu Ihrem allgemeinen Gesundheitszustand
- Wir führen einen Leistungstest durch. Dabei messen wir folgendes:
 - Wir nehmen Ihnen Blut ab, und zwar 0.2 µl (das entspricht ungefähr 2 Tropfen). Dies geschieht nach jeder Belastungsstufe (siehe unten).
 - Wir messen Ihren Speichel mit einem Gerät, das Sie im Mund tragen
 - Wir erhöhen den Widerstand oder die Geschwindigkeit bzw. Steigung, bis es Ihnen zu streng wird oder Sie nicht mehr möchten.
 - Wir messen Ihre Herzfrequenz mit einem Sensor am Brustkorb.
 - Wir beantworten noch offene Fragen.

Der Hauptfragebogen umfasst Fragen zum sozialökonomischen Status, zur Krankengeschichte, zu den Trainingsgewohnheiten, zur Häufigkeit von Infektionen, zum Allergiestatus, zur familiären Krankengeschichte und zu allergischen Erkrankungen in der Familiengeschichte sowie zum Lebensstil. Zusätzlich werden alle Medikamente, welche Sie bis zu drei Monaten vor dem Screening eingenommen haben, aufgenommen.

Konkret werden diese beiden Fragebogen durchgeführt:

Sportmedizinisches Interview: Dieser Fragebogen von Swiss Olympic ist das am häufigsten verwendete Instrument zur Beurteilung des Gesundheitszustandes von Schweizer Sportlerinnen und Sportlern. Das sportmedizinische Interview wird durch spezifische Fragen zu Training, Ernährung, Infektionen, Allergien und Asthma ergänzt.

PAR-Q: Der PAR-Q ist ein einfaches Selbstscreening-Tool, das in der Regel verwendet wird, um die Sicherheit oder mögliche Risiken des Trainings auf der Grundlage der gesundheitlichen Vorgeschichte des Teilnehmers, seiner aktuellen Symptome und Risikofaktoren zu ermitteln.

Beim Leistungstest werden Sie auf dem Fahrrad oder auf dem Laufband körperlich belastet. Dabei wird der Widerstand bzw. die Geschwindigkeit und Steigung individuell erhöht. Ein Leistungstest dauert ca. 30-40 min und endet bei körperlicher Erschöpfung oder anderen medizinischen oder subjektiven Abbruchgründen. Beim Leistungstest geht es darum, die physiologischen Veränderungen unter körperlicher Belastung bis zum Belastungsmaximum zu messen. Um die physiologischen Veränderungen unter Belastung zu messen, wird das Laktat im Blut und das Laktat im Speichel gemessen. Einige Tropfen Blut werden regelmässigen Abständen (am Ende jeder Belastungsstufe) kapillär am Finger abgenommen, der Speichel wird kontinuierlich durch einen Sensor gemessen, welcher im Mund getragen wird. Während der Messung werden Sie ins Schwitzen kommen. Es wird Ihnen eine Umkleidekabine, eine Dusche und ein Tuch zur Verfügung gestellt.

Studiendesign:

Es handelt sich um eine Fall-Kontroll-Beobachtungsstudie. Dabei sollen die der Laktatproduktion zugrunde liegenden Mechanismen ermittelt werden. Es handelt sich um eine unizentrische Studie, die im Spital Davos durchgeführt wird.

Prüfung des Studiendesigns:

Das Studiendesign der geplanten Untersuchung richtet sich nach den Gesetzen der Schweiz. Ausserdem werden alle international anerkannten Richtlinien beachtet. Die zuständige Kantonale Ethikkommission hat die Studie vorgängig geprüft und bewilligt.

Teilnahme:

Ihre Teilnahme an dieser Studie ist freiwillig und Sie erhalten keine Entlohnung. Der Widerruf der Teilnahme an der Studie kann jederzeit und ohne Konsequenzen erfolgen. Bei einem Widerruf werden die bereits gesammelten Daten noch ausgewertet, da sonst die Studie an Wert verlieren würde. Die Anonymität der Studienteilnehmerinnen und -teilnehmer ist zu jeder Zeit gewährleistet. Die erhobenen Daten werden vertraulich behandelt. Mit Ihrer Einwilligung sind Sie einverstanden, dass wir die Daten in verschlüsselter Form an Dritte weitergeben dürfen. Falls wir verschlüsselte Daten an Dritte im Ausland weitergeben, sorgen wir dafür, dass die Datenschutzbestimmungen eingehalten werden.

Da die Teilnahme freiwillig ist und keine Entlohnung geboten wird, treten für die Teilnehmer bei einem frühzeitigen Studienaustritt keine finanziellen Einbussen oder Benachteiligungen auf.

Sie haben das Recht, jederzeit Fragen zu stellen und Beschwerden zu äussern. Der Versuchsleiterin kann im Interesse Ihrer Gesundheit den Versuch ab- oder unterbrechen und Sie von der Studie ausschliessen. Wir sind Ihnen sehr dankbar für Ihre Teilnahme.

Einschlusskriterien:**Sportlergruppe**

- Männliche oder weibliche Versuchspersonen zwischen ≥ 16 bis ≤ 65 Jahren
- Die Einverständniserklärung muss unterschrieben sein.
- Der Sportler oder die Sportlerin muss entweder auf regionaler Ebene an Wettkämpfen teilgenommen haben oder an einer Sportschule eingeschrieben sein.
- Es darf während der gesamten Studienzeit keine Schwangerschaft vorliegen.
- Die Sportlerinnen oder Sportler müssen einen guten allgemeinen Gesundheitszustand aufweisen.

Kontrollgruppe

- Männliche oder weibliche Versuchspersonen zwischen ≥ 16 bis ≤ 65 Jahren.
- Die Einverständniserklärung muss unterschrieben sein.
- Die Teilnehmerinnen oder Teilnehmer betreiben kein professionelles Training und besitzen keine Swiss Olympic Card.
- Es darf während der gesamten Studienzeit keine Schwangerschaft vorliegen.
- Die Teilnehmerinnen oder Teilnehmer müssen einen guten allgemeinen Gesundheitszustand aufweisen.

Ausschlusskriterien:

- Männlich oder weibliche Personen von <16 und >65 Jahren.

- Aktuelle oder ehemalige Raucherinnen und Raucher (Rauchstopp vor weniger als 6 Monaten)
- Versuchspersonen in der Stillzeit oder aktuellen Schwangerschaft.
- Versuchspersonen mit klinisch bedeutsamen akuten oder chronischen Erkrankungen.
- Versuchspersonen mit akuten oder chronischen parasitären, bakteriellen, Pilz- oder Virusinfektionen in den letzten 3 Wochen.
- Alkohol oder Drogenmissbrauch in den letzten 12 Monaten
- Probanden mit akuter Infektion oder einer Asthma-Exazerbation innerhalb von 4 Wochen vor der Untersuchung.

Sicherheit:

Ihre Sicherheit steht an oberster Stelle. Sie werden deshalb während der Studie intensiv begleitet. Sollten Sie sich irgendwann unsicher fühlen, sagen Sie das bitte sofort. Sollten Sie mit Ihrer Betreuung unzufrieden sein, können Sie dies auch der Studienleitung melden.

Nutzen:

Mit Ihrer Teilnahme steuern Sie zur Erkenntnis und Wissenssteigerung der Laktatkonzentration bei körperlicher Belastung und trainingsrelevanten Aspekten bei.

Risiken und Belastungen:

Wir machen für diese Studie verschiedene medizinische Untersuchungen. Diese Untersuchungen sind bewährte Verfahren. Trotzdem können sie Risiken und Belastungen haben, das heisst, sie können unangenehm sein oder unerwünschte Nebenwirkungen haben. In dieser Studie gibt es folgende Risiken und Belastungen:

- Laktatmessung: Bei der kapillaren Blutentnahme kann es zu Blutergüssen, zu Blutungen oder Schwellungen an der Einstichstelle kommen. Selten kann es zu einer Infektion an der Einstichstelle kommen. Das Tragen des Mundgeräts kann zu einem unangenehmen Gefühl führen.
- Körperliche Belastung: Es kann sein, dass Sie die körperliche Belastung medizinisch nicht vertragen (Schwindel, Unwohlsein, Herzrhythmusstörungen, Erschöpfung). Dieses Risiko wird durch das Ausfüllen und Prüfen des medizinischen Fragebogens (PAR-Q) minimiert.

Datenschutz:

Alle Daten werden verschlüsselt dokumentiert. «Verschlüsselt» heisst, dass persönliche Informationen *getrennt* von den Untersuchungsergebnissen aufbewahrt werden. Dazu gibt es eine Liste, die jede Person mit einem eindeutigen Code identifiziert. So stehen z.B. Ihr Name, Ihr Geburtsdatum oder Ihr Wohnort *nicht* direkt im Datenerhebungsbogen. Diese Liste bleibt für die Dauer von 10 Jahren am Spital Davos. Niemand sonst bekommt diese Liste.

Am Ende der Studie werden Ihre Daten vollständig anonymisiert, frühestens am Ende der gesetzlich vorgegebenen Aufbewahrungsdauer. Das bedeutet, dass es nicht mehr möglich sein wird, Sie ohne unverhältnismässigen Aufwand zu identifizieren. Zur Anonymisierung werden verschiedene Massnahmen eingesetzt, u.a. die Vernichtung des Codes und der Liste.

Wenn wir Daten weitergeben – zu weiteren Forschungszwecken – dann sind die Daten immer verschlüsselt und Ihre persönlichen Daten sind geschützt. Das gilt auch, wenn die Daten ins Ausland weitergegeben werden.

Sie werden über alle für Sie relevanten Erkenntnisse, die im Laufe des Versuches gewonnen werden, informiert. Wenn Sie sich noch nicht sicher sind, ob Sie an der Studie teilnehmen möchten, haben Sie noch mindestens eine Woche Bedenkzeit. Der zuständigen Ethikkommission ist es im Rahmen einer Überprüfung der Studiendurchführung erlaubt, auch in unverschlüsselte Daten Einsicht zu nehmen, sie unterstehen jedoch einer Geheimhaltungspflicht.

Versicherung:

Sie sind während Ihrer Teilnahme an dieser Studie speziell versichert. Diese Versicherung übernimmt die Kosten aller möglichen Schäden, die im Rahmen dieser Studie auftreten können. Falls ein unerwünschter Zwischenfall auftreten würde, würden Sie umfassend medizinisch betreut und wenn nötig hospitalisiert. Die Studienleitung würde in diesem Fall die notwendigen Schritte einleiten.

Der Abschluss dieser Versicherung beruht auf gesetzlicher Verpflichtung, und nicht darauf, dass wir eine Schädigung erwarten würden. Die Versicherung tritt jedoch nicht für Schäden auf, die indirekt mit der Teilnahme an der Studie zusammenhängen, wie zum Beispiel Wegeunfälle. Um den Versicherungsschutz nicht zu gefährden, müssen Sie folgende Regeln beachten: A) Halten Sie sich genau an die Anweisungen der Studienleitung. B) Unterziehen Sie sich während der Dauer der klinischen Studie einer für die Studie relevanten medizinischen Behandlung, so melden Sie dies bitte der Studienleitung. C) Melden Sie jede Gesundheitsschädigung, die als Folge der klinischen Studie eingetreten sein könnte, sofort der Studienleitung.

Freundliche Grüsse



Dr. Michael Villiger

Davos, den 22.12.2023

Kontakt und Leitung:

Dr. Michael Villiger
Co-Leiter Sportmedizin
Spital Davos AG
Promenade 4
7270 Davos Platz
Tel: 081 414 84 84
Fax: 81 414 84 28
Email: mvilliger@spitaldavos.ch

Schriftliche Einverständniserklärung des Teilnehmenden einer klinischen Studie (Dezember 2023)

- Bitte lesen Sie dieses Formular sorgfältig durch.
→ Bitte fragen Sie, wenn Sie etwas wissen möchten oder nicht verstehen.

Titel der Studie: Laktatmessung bei Athletinnen und Athleten und einer nicht-sportlichen Kontrollgruppe Eine Fall-Kontroll-Beobachtungsstudie	
Ort der Studie: Spital Davos, Promenade 4, 7270 Davos Platz	
Studienleiter: Dr. Michael Villiger, Co-Leiter Sportmedizin, Spital Davos AG, Promenade 4, 7270 Davos Platz Tel: 081 414 84 84, Fax: 81 414 84 28, Email: mvilliger@spitaldavos.ch	
Teilnehmer (Name und Vorname):	
Geburtsdatum:	Geschlecht:

- Ich wurde von der unterzeichnenden Studienleitung oder deren Mitarbeitenden mündlich und schriftlich über die Ziele, den Ablauf der Studie, über die zu erwartenden Wirkungen, über mögliche Vor- und Nachteile sowie über eventuelle Risiken informiert.
- Ich habe die zur oben genannten Studie abgegebene schriftliche Probandeninformation vom 22.12.2023 erhalten, gelesen und verstanden. Meine Fragen im Zusammenhang mit der Teilnahme an dieser Studie sind mir zufriedenstellend beantwortet worden. Ich kann die schriftliche Probandeninformation behalten und erhalte eine Kopie meiner schriftlichen Einverständniserklärung.
- Ich hatte genügend Zeit, um meine Entscheidung zu treffen.
- Ich bin darüber informiert, dass eine Versicherung Schäden deckt, falls solche im Rahmen der Studie auftreten.
- Ich bin einverstanden, dass die zuständigen Fachleute der Behörden und der Ethikkommissionen zu Prüf- und Kontrollzwecken in meine Originaldaten Einsicht nehmen dürfen, jedoch unter strikter Einhaltung der Vertraulichkeit.
- Ich nehme an dieser Studie freiwillig teil. Ich kann jederzeit und ohne Angabe von Gründen meine Zustimmung zur Teilnahme widerrufen, ohne dass mir deswegen Nachteile entstehen.
- Ich bin mir bewusst, dass während der Studie die in der Patienteninformation genannten Anforderungen und Einschränkungen einzuhalten sind. Im Interesse meiner Gesundheit kann mich die Studienleitung jederzeit von der Studie ausschliessen. Zudem orientiere ich die Studienleitung über relevante gesundheitliche Veränderungen sowie über die Einnahme von einflussnehmenden Medikamenten (ärztlich verordnete sowie selbstständig gekaufte).

Ort und Datum:	Unterschrift der Teilnehmerin oder des Teilnehmers:
Ort und Datum:	Unterschrift der Studienleitung:

Anhang 2: Laktatstufenprotokoll und Fragebogen



Laktatstufentest / Ergospirometrie INSPIRING

☐ Laufband ☐ Velo Datum und Uhrzeit: _____

Probanden Nr.: _____ Grösse: _____

Geburtsjahr: _____ Gewicht: _____

Einstellungen am Testgerät: _____ Laktatgerät: _____

Genaue Startzeit Warm-up: _____ Pulsgurt: _____

Stufe	Belastung	HF	Lak	Borg	Dauer / Abbruch	Bemerkungen
Ruhe						
Warm-up						
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
3 min						
6 min						
9 min	-					
12 min	-					
15 min	-					
18 min	-					
21 min	-					
45 min	-					

Autor
MV/ EJ

Ausgabe vom:
17.1.2024

Ersetzt Ausgabe vom:
13.10.2010

Freigabe
CA Med

Kapitel
1.3.5

Seite 1/2
Nr. 8051

Trainingsphase

☐ Aufbau ☐ Vorwettkampfphase ☐ Wettkampfphase ☐ Rehabilitation

Vorbelastung

☐ normal ☐ Wettkampf
☐ Training hart > 60 min od. mittel > 120 min oder locker > 300 min

Ernährung

☐ normal ☐ Kohlenhydrat-Diät ☐ Diät zur Gewichtsred.
☐ Trennkost ☐ Vegetarisch ☐ Fett-Diät (Beginn < als 4 Tage)

Letzte Malzeit:

☐ kein Koffein
☐ kein Alkohol (12 Std.)

Uhrzeit: _____ was: _____

☐ Menge _____
☐ Menge _____

Krankheit (14 Tg) / Verletzung / Medikamente / Supplemente

☐ keine Krankheit ☐ was: _____
☐ keine Verletzung ☐ was: _____
☐ keine Medikamente ☐ was: _____ letzte Einnahme: _____
☐ keine Supplemente ☐ was: _____ letzte Einnahme: _____

Menstruationszyklus:

☐ regelmässig (natürlich) ☐ regelmässig (hormonell) normale Zykluslänge (Tage): _____
☐ unregelmässig ☐ keine → ☐ Amenorrhöe ☐ hormonell ☐ premenarchal
 Bei hormoneller Kontrolle: ☐ Pille ☐ Spirale ☐ Pflaster ☐ Andere: _____
 Einsetzen der letzten Regelblutung Datum: _____
☐ Menstruationsphase ☐ Follikelphase ☐ Gelbkörperphase ☐ hormonell
 Zyklusbeschwerden: ☐ keine ☐ was und wann: _____

Testablauf:

☐ Beschwerden am Testtag was: _____
☐ keine Beschwerden am Testtag

Allg. Befindlichkeit: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 **Testmotivation:** 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

(Wie fühle ich mich heute: 1= katastrophal, 10= super)

(Wie motiviert bin ich für die Tests: 1= überhaupt nicht, 10= maximal)

Weitere Einflussfaktoren (Schlaf, Reisen, Höhe, Hitze etc): _____

Testbedingungen

☐ optimal ☐ beeinträchtigt ☐ mangelhaft

Bemerkungen: _____

Ich bin einverstanden, dass die Testergebnisse meinem Trainer/meiner Trainerin mitgeteilt werden und anonymisiert zu Forschungszwecken verwendet werden können.

Unterschrift: _____

Anhang 3: Fragebogen PAR-Q



Personalien

Probanden Nr. _____

Geburtsjahr _____

*Folgender Fragebogen ist unbedingt **vor** der Untersuchung auszufüllen und dem verantwortlichen Arzt zu übergeben.*

- | | | |
|----|---|---|
| 1. | Hat Ihnen Ihr Arzt nach einer medizinischen Kontrolle jemals von einer physischen Aktivität abgeraten? | <input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein |
| 2. | Leiden Sie an einer Lungen- oder Herzkrankheit? | <input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein |
| 3. | Haben Sie nach einer physischen Anstrengung jemals Schmerzen in der Brustgegend oder Herzrhythmusstörungen verspürt? | <input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein |
| 4. | Haben Sie im letzten Monat ohne physische Anstrengung Schmerzen in der Brustgegend oder Herzrhythmusstörungen verspürt? | <input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein |
| 5. | Verlieren Sie teilweise das Gleichgewicht und führt dies sogar zur Ohnmacht? | <input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein |
| 6. | Haben Sie Knochen- oder Gelenkprobleme, die durch eine physische Anstrengung verstärkt würden? | <input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein |
| 7. | Sind Ihnen Medikamente zur Herzstärkung oder gegen Blutdruckprobleme von einem Arzt verschrieben worden? | <input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein |
| 8. | Kennen Sie weitere Gründe, die Sie an einer physischen Aktivität hindern könnten (zB. Übelkeit oder schnelles Ermüden)? | <input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein |
| 9. | Fühlen Sie sich zurzeit gesund und ist Ihre Temperatur normal? | <input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein |

10. Kardiale Risikofaktoren:

- Gibt es innerhalb der Familie Herzkrankheiten?

☐ Ja ☐ Nein

- Rauchen oder Snusen Sie?

☐ Ja ☐ Nein

Wenn ja, was:

☐ Zigaretten ☐ Zigarren/Pfeifen ☐ Snus

Wie lange rauchen oder snusen Sie schon?

_____ (Anzahl) Jahre

Konsumation pro Tag:

_____ (Anzahl) Zigaretten _____ (Anzahl) Zigarren/Pfeifen _____ (Anzahl) Snus

- Leiden Sie an Übergewicht?

☐ Ja ☐ Nein

- Leiden Sie an einem zu hohen Blutdruck?

☐ Ja ☐ Nein

- Sind Sie Diabetiker?

☐ Ja ☐ Nein

11. Nehmen Sie regelmässig Medikamente ein?

☐ Ja ☐ Nein

12. Sind Sie sportlich aktiv?

☐ Ja ☐ Nein

Wenn ja, welche Arten von Aktivitäten üben Sie aus und wie regelmässig?

- Joggen	_____ Std./Woche
- Gehen / Spazieren	_____ Std./Woche
- Velofahren	_____ Std./Woche
- Schwimmen	_____ Std./Woche
- Krafttraining	_____ Std./Woche
- andere: _____	_____ Std./Woche
_____	_____ Std./Woche
_____	_____ Std./Woche

13. Haben Sie noch andere, spezielle Bemerkungen oder Fragen, welche Sie mit Ihrem Arzt besprechen möchten?

☐ Ja ☐ Nein

Wenn ja, welche?

Ich gebe mein Einverständnis für einen (maximal)Test zur Bestimmung der optimalen Trainingsfrequenz, die anonyme Verwendung der Daten zu Forschungszwecke und die Weitergabe der Testergebnisse an meinen Trainer / meine Trainerin.

Datum:

Unterschrift:

Anhang 4: Sportmedizinisches Interview



Sportmedizinisches Interview

(Version: 01.04.2021)

Probanden Nr.:

wird von uns ausgefüllt

Geburtsjahr:

Sportart und Disziplin:

Kaderstufe:

Verband/Club:

Swiss Olympic Card Kategorie:

Hausarzt*in (mit Adresse/Tel.):

Verbandsarzt*in (mit Adresse/Tel.):

Physiotherapeut*in (mit Adresse/Tel.):

Einverständniserklärung:

Ich erteile mein Einverständnis, dass die im Rahmen der sportmedizinischen Untersuchung erhobenen Befunde und Diagnosen gemäss dem ärztlichen Geheimnis vertraulich behandelt und abgelegt werden. Ich bin einverstanden, dass die Angaben sowohl durch meinen Verbandsarzt*in als auch durch meine Hausarzt*in eingesehen werden können. Relevante Daten der körperlichen Leistungsfähigkeit dürfen mit den zuständigen Trainern/Coaches und anderen Betreuungspersonen des entsprechenden Sportverbandes/-clubs besprochen werden.

Bei wissenschaftlichen Fragestellungen zu Gunsten der Weiterentwicklung des Schweizer Sports bin ich einverstanden, dass meine Angaben in anonymisierter Form sorgfältig verwendet werden dürfen.

Personen unter 18 Jahren bedürfen der schriftlichen Zustimmung ihrer gesetzlichen Vertreter*in.

Ort und Datum:

Unterschrift Athlet*in und/oder gesetzliche Vertreter*in:

1. Familie

- a. Sind Ihre Eltern und Geschwister gesund? ☐ ja ☐ nein

Wenn nein, an was leiden Sie?

- b. Leidet oder litt in Ihrer Familie (nahe Verwandte) jemand an einer der nachfolgend erwähnten Krankheiten?

- | | | |
|--|---|--|
| <input type="checkbox"/> Herzkrankheiten | <input type="checkbox"/> Zuckerkrankheit | <input type="checkbox"/> rheumatische Erkrankungen |
| <input type="checkbox"/> Bluthochdruck | <input type="checkbox"/> Krebserkrankung | <input type="checkbox"/> Bluterkrankungen |
| <input type="checkbox"/> Lungenkrankheiten | <input type="checkbox"/> psychische Krankheiten | <input type="checkbox"/> andere Krankheiten |
| <input type="checkbox"/> Asthma bronchiale | <input type="checkbox"/> Osteoporose | |

Wenn ja, bitte erläutern:

- c. Haben Sie Geschwister und betreiben diese auch eine Sportart?

Geschwister (Jahrgang, Geschlecht, Sportart)

2. Risikobeurteilung Herz/Kreislauf

- a. Wann wurde bei Ihnen die letzte ärztliche Kontrolle (körperliche Untersuchung mit Blutdruckmessung) durchgeführt?
- b. Wurde bei Ihnen in den letzten 2 Jahren eine Herzstromkurve (EKG) abgeleitet? ☐ ja ☐ nein
- c. Haben Ihre Eltern/Ärzt*innen Ihnen gegenüber je von einem Herzproblem gesprochen und Ihnen Bewegung und Sport nur unter medizinischer Kontrolle empfohlen? ☐ ja ☐ nein
- d. Hatten Sie in den letzten 2 Jahren Brustschmerzen oder waren Sie bewusstlos? ☐ ja ☐ nein
- e. Leiden Sie in Ruhe oder bei Anstrengung unter Husten, Atemnot, Engegefühl oder Druckgefühl in der Brust oder im Bauch? ☐ ja ☐ nein
- f. Hat Sie eine Ärzt*in in den letzten Jahren wettkampfunfähig erklärt oder ist Ihnen ein weiterer Grund bekannt, weshalb sie nicht leistungsorientiert Sport betreiben könnten? ☐ ja ☐ nein
- g. Hat Ihnen jemals eine Ärzt*in ein Medikament gegen hohen Blutdruck oder für ein Herzproblem verschrieben? ☐ ja ☐ nein
- h. Rauchen Sie, haben Sie ein erhöhtes Cholesterin, leiden Sie an einem hohen Blutdruck oder Zuckerkrankheit? ☐ ja ☐ nein
- i. Starb jemand in ihrer Familie plötzlich vor dem 50. Lebensjahr und/oder leiden Mitglieder (jünger als 65 Jahre) Ihrer Familie an koronarer Herzkrankheit, Angina pectoris oder musste ein Herzeingriff vorgenommen werden? ☐ ja ☐ nein

Erläuterungen zu den Fragen 2a.-2i., falls eine der Fragen mit "ja" beantwortet wurde:

3. Eigene Person

a. Haben Sie zurzeit oder hatten Sie früher Krankheiten, Operationen oder Beschwerden mit:

ja	nein		was	wann
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Herz/Kreislauf		
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Lunge		
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Asthma bronchiale		
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Magen/Darm		
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Leber (Gelbsucht)		
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Nieren/Blase/Harnverlust		
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Haut		
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Augen		
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Zähne		
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Hals/Rachen		
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ohren		
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Stirn-/Kieferhöhlen		
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Gehirnerschütterung		
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Nervensystem		
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Epilepsie		
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Zuckerkrankheit		
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Allergien, z.B. Heuschnupfen		
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Medikamentenunverträglichkeit		
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Anderes		

Welche Beschwerden sind noch aktuell?

Wie sind diese Beschwerden oder wie ist diese Krankheit momentan?

☐ unverändert ☐ gebessert ☐ geheilt

Mussten Sie deswegen die Ärzt*in konsultieren?

☐ ja ☐ nein

Wenn ja, Name und Adresse der Ärzt*in:

b. Haben Sie zurzeit oder hatten Sie Verletzungen/Beschwerden/Operationen am Bewegungsapparat?

ja	nein		re	li	was	wann
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Nacken	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Schulter	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Oberarm	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ellbogen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Unterarm	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Handgelenk	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Hand	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Rücken	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Becken	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Hüfte	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Oberschenkel	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Knie	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Unterschenkel	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Achillessehne	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Sprunggelenk	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Fuss	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Anderes	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		

Welche Beschwerden sind noch aktuell?

Wie ist diese Verletzung momentan?

☐ unverändert

☐ gebessert

☐ geheilt

Mussten Sie deswegen die Ärzt*in konsultieren?

☐ ja ☐ nein

Wenn ja, Name und Adresse der Ärzt*in:

c. Brauchen Sie regelmässig Medikamente?

☐ ja ☐ nein

Wenn ja, welche?

d. Haben Sie für spezielle Medikamente eine ATZ (Ausnahmebewilligung für therapeutische Zwecke) bzw. eine TUE (Therapeutic Use Exemption)?

☐ ja ☐ nein

Wenn ja, für welche?

e. Wann fand die letzte zahnärztliche Kontrolle statt (Jahr)?

f. Wurden in den letzten 5 Jahren Impfungen durchgeführt

Wenn ja, welche und wann?

☐ ja ☐ nein

4. Wohlbefinden/Schlaf

- a. Wie viele Stunden schlafen Sie pro Nacht? Stunden
- b. Haben Sie Mühe ein- oder durchzuschlafen? ☐ ja ☐ nein
- c. Wohlbefinden: Die folgenden Aussagen betreffen Ihr Wohlbefinden in den *letzten zwei Wochen*. Bitte markieren Sie bei jeder Aussage die Rubrik, die Ihrer Meinung nach am besten beschreibt, wie Sie sich in den letzten zwei Wochen gefühlt haben.

In den letzten 2 Wochen....	Die ganze Zeit	Meistens	Etwas mehr als die Hälfte der Zeit	Etwas weniger als die Hälfte der Zeit	Ab und zu	Zu keinem Zeitpunkt	Punkte
... war ich froh und guter Laune.	5	4	3	2	1	0	
... habe ich mich ruhig und entspannt gefühlt.	5	4	3	2	1	0	
... habe ich mich energisch und aktiv gefühlt.	5	4	3	2	1	0	
...habe ich mich beim Aufwachen frisch und ausgeruht gefühlt.	5	4	3	2	1	0	
... war mein Alltag voller Dinge, die mich interessieren.	5	4	3	2	1	0	
						Total:	

5. Gewicht, Ernährung, Zusatznahrung, Supplemente, Alkohol, Nikotin, Drogen

- a. War Ihr Gewicht in den letzten zwei Jahren konstant? ☐ ja ☐ nein
- b. Haben Sie in den letzten zwei Jahren absichtlich Gewicht verloren oder zugenommen? ☐ ja ☐ nein
- Wenn ja, warum?
- c. Sind Sie unter einer Diät (z.B. Laktosefrei, Glutenfrei, FODMAP u.a.m.)? ☐ ja ☐ nein
- Wenn ja, welche und warum? Evtl. Diätplan mitbringen.
- d. Ernähren Sie sich spezifisch z.B. fleischlos, vegetarisch, vegan, etc.? ☐ ja ☐ nein
- Wenn ja, welche spezifische Ernährung und seit wann?
- e. Nehmen Sie Zusatznahrung (Kohlenhydrate, Eiweisse etc.)? ☐ ja ☐ nein
- Wenn ja, was, wieviel, wann?

f. Nehmen Sie Supplemente (Vitamine, Magnesium, Kreatin, Carnitin etc.?)

☐ ja ☐ nein

Wenn ja, was, wieviel, wann?

g. Trinken Sie regelmässig Alkohol?

☐ ja ☐ nein

Wenn ja, was und wieviel?

/ Tag

h. Rauchen Sie oder nehmen Sie sonstige nikotinhaltige Substanzen wie Snus (Tabak unter der Oberlippe) zu sich?

☐ ja ☐ nein

Wenn ja, seit wie vielen Jahren?

Jahre

Wenn ja, was und wieviel?

/ Tag

i. Nehmen Sie oder haben Sie früher einmal Suchtmittel (z.B. THC, Kokain) oder leistungssteigernde Medikamente (z.B. Anabolika) eingenommen oder gespritzt?

☐ ja ☐ nein

Wenn ja, was und wieviel?

6. Sport/Training

a. Wie sieht Ihr momentanes Training aus?

Beispiel einer durchschnittlichen Trainingswoche:

- Anzahl Stunden

- Ruhetag(e), falls vorhanden

Zusätzlich können Sie jeder Trainingseinheit Details zur Trainingsform zufügen:

- Sportartspezifisches oder anderes Training (z.B. Kraft, mental, regenerativ)

	Montag		Dienstag		Mittwoch		Donnerstag		Freitag		Samstag		Sonntag		Total
	[h]	Trainings- form	[h]	Trainings- form	[h]	Trainings- form	[h]	Trainings- form	[h]	Trainings- form	[h]	Trainings- form	[h]	Trainings- form	[h]
Vmittag															
Mittag															
Nmittag															
Abend															
Total															

b. Führen Sie ein Trainingstagebuch?

☐ ja ☐ nein

c. Wie steuern Sie Ihre Trainingsintensität (Herzfrequenz, Laktat, subjektives Empfinden usw.)?

d. Periodisieren Sie Ihr Training?

☐ ja ☐ nein

Wenn ja, wie?

e. Wie verlief Ihre Leistungskurve in den letzten 2 Jahren?

☐ ansteigend

☐ gleichbleibend

☐ abfallend

☐ wechselnd

7. Erholung, Sportpsychologie

a. Wie oft führen Sie erholungsfördernde Massnahmen durch?

☐ Massage

☐ Sauna

☐ Bäder

☐ anderes

b. Führen Sie regelmässig Stretching durch?

☐ ja ☐ nein

c. Führen Sie regelmässig Faszientraining durch (Deep Foam Rolling, z.B. Black Roll)?

☐ ja ☐ nein

d. Haben Sie schon sportpsychologische Trainingsverfahren durchgeführt?

☐ ja ☐ nein

Wenn ja, welche?

8. Eigenbeurteilung

a. Nun geht es um Ihre allgemeine Lebenszufriedenheit. Wie zufrieden sind Sie gegenwärtig, alles in allem, mit Ihrem Leben?

überhaupt nicht zufrieden

völlig zufrieden

☐ 0

☐ 1

☐ 2

☐ 3

☐ 4

☐ 5

☐ 6

☐ 7

☐ 8

☐ 9

☐ 10

b. Fühlen Sie sich zurzeit voll einsatz- und leistungsfähig?

☐ ja ☐ nein

Falls nein, wieso nicht?

9. Fragen?

Folgende Fragen möchte ich noch besprechen:

Anhang 6: Blut- und Speichellaktat Verlauf von allen Proband:innen

