

Maturaarbeit 2017/18
Gymnasium Münchenstein

Laktatmessungen bei Hunden unterschiedlicher Rassen



Noemi Koller
Klasse M4e
Betreuung: Daniel Haefelfinger

Inhaltsverzeichnis

1. Zusammenfassung.....	3
2. Vorwort.....	4
3. Einleitung.....	6
4. Theoretischer Hintergrund.....	8
4.1 Energetische Prozesse.....	8
4.1.1 Adenosintriphosphat ATP.....	9
4.1.2 ATP-Zerfall.....	9
4.1.3 Kreatinphosphat.....	10
4.1.4 Milchsäuregärung (anaerobe Glykolyse).....	10
4.1.5 Zellatmung.....	11
4.2 Laktat.....	11
4.2.1 Aufbau.....	12
4.2.2 Abbau.....	12
4.2.3 Azidose.....	12
4.3 Leistungsdiagnostik.....	13
4.3.1 Laktatdiagnostik.....	13
4.4 Messgerät.....	14
4.4.1 Messprinzip.....	14
4.4.2 Reagenzien.....	15
5. Material und Methoden.....	16
5.1 Versuchsanordnung.....	16
5.2 Laktatbestimmung.....	17
5.3 Probanden.....	18
5.4 Vorgehen.....	18
5.5 Statistik.....	18
5.6 Materialien.....	19
6. Resultate.....	20
6.1 Ruhewerte.....	20
6.2 Versuche.....	21
6.2.1 Retriever.....	21
6.2.2 Australian Shepherds.....	23
6.2.3 Scandinavian Hounds.....	25
6.2.4 Vergleich aller drei Rassen.....	27
6.2.6 Geschwindigkeit des Wechsels in den Galopp.....	28
6.3 Trainings.....	29
7. Diskussion.....	31
7.1 Versuche.....	31
7.2 Ruhewerte.....	32
7.3 Galoppgeschwindigkeiten.....	33
7.4 Trainings.....	33
8. Schlusswort.....	35
9. Glossar.....	36
10. Literaturverzeichnis.....	37
11. Abbildungsverzeichnis.....	40
12. Anhang.....	41

1. Zusammenfassung

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die Frage zu beantworten, wie gross die Unterschiede der Laktatschwelle zwischen verschiedenen Hunderassen sind.

Da das Laktat unter starker muskulärer Anstrengung gebildet wird, wurde ein Mehrstufentest bei drei verschiedenen Hunderassen durchgeführt. Dieser bestand aus einer gleichmässig ansteigenden Geschwindigkeit. Dazwischen wurde mehrmals die Laktatkonzentration gemessen und in einem Diagramm eingetragen. Aufgrund zu geringer Intensitäten während den Stufen des Versuchs konnte bei keinem Hund die Laktatschwelle bestimmt werden.

Unter den gemessenen Werten gab es nur eine Auffälligkeit. Denn ein Hund hatte eine deutlich höhere mittlere Laktatkonzentration. Die Werte der anderen Hunde bewegten sich allen in einem ähnlichen tieferen Bereich.

Zusätzlich wurden Messungen unmittelbar nach Zugtrainings bei skandinavischen Schlittenhunden gemacht. Dabei zeigte sich, dass die Distanz des Trainings im Zusammenhang mit der Dauer der dazwischen eingelegten Pausen einen wesentlichen Einfluss auf die Laktatkonzentration der Hunde hat. So ergaben längere Strecken eine höhere Laktatkonzentration. Diese konnte allerdings mit einer entsprechend längeren Pause gesenkt werden.

Auch hatte der Zeitpunkt des Trainings einen Einfluss. Bei Trainings, die zu einem späteren Zeitpunkt stattfanden bzw. vor welchen bereits andere stattgefunden hatten, konnten tiefere Laktatkonzentrationen gemessen werden. Das heisst je besser die Hunde trainiert sind, umso tiefer ist der gemessene Laktatwert. Allerdings müssen dabei die genannten Kriterien beachtet werden.

Unter den Schlittenhunden konnten grosse Unterschiede in den Laktatkonzentrationen festgestellt werden. Auf Grund dieser und der physischen Zustände der Hunde nach den Trainings konnte auf den Einfluss der Gene geschlossen werden.

2. Vorwort

Seit mittlerweile gut acht Jahren habe ich das Glück, ein Rudel von zehn skandinavischen Schlittenhunden aktiv begleiten zu dürfen. Das heisst, ich helfe bei den Trainings, im Herbst am Trainingswagen (siehe Abb. 2, Seite 5) und im Winter am Schlitten (siehe Abb. 3, Seite 5) mit, gehe mit den Hunden spazieren und passe auf sie auf, wenn die Besitzerin abwesend ist. Vor zweieinhalb Jahren ging mein Wunsch eines eigenen Hundes in Erfüllung. Durch die Vermittlung der Rudelbesitzerin habe ich meine Hündin der Rasse Scandinavian Hound bekommen, welche mich seitdem fast überall hin begleitet.

In all diesen Jahren durfte ich mit den Hunden viele tolle Erlebnisse teilen und habe dabei sehr viel über sie gelernt. Diese vielseitigen Hunde faszinieren mich immer wieder aufs Neue, insbesondere die extreme Leistung in Form von Kraft und Ausdauer, die sie vor dem Schlitten erbringen.

Das hat mich veranlasst, die sportliche Leistung von Hunden genauer zu untersuchen und eine Form zu finden, diese darzustellen. Durch Recherchen zu diesem Thema habe ich herausgefunden, dass Laktat ein guter Parameter ist, um die Leistungsfähigkeit eines Organismus festzuhalten. So habe ich mich für das Thema „Laktatwerte bei Hunden“ entschieden.

Grosser Dank gilt Luzi B., dem Vorbesitzer meiner Hündin, der mir dieses äusserst interessante Thema vorgeschlagen hat. Ausserdem war er mir sehr behilflich bei der Überarbeitung der gesamten Arbeit und gab einige spannende Inputs für die Diskussion.

Des Weiteren danke ich der Besitzerin der Tierklinik „Bessys Kleintierklinik“ Imelda V., die mir einen Besuch in der Klinik ermöglichte. Dort erhielt ich durch eine tiermedizinische Praxisassistentin eine kompetente Einführung zur Blutabnahme am Ohr des Hundes.

Zu sehr grossem Dank verpflichtet bin ich der Firma „Axonlab“. Sie hat mir grosszügig eine Menge an Material zur Verfügung gestellt, welches ich für meinen Versuch benötigt habe.

Auch möchte ich den Hundebesitzern danken, die mir ihre Hunde für den Versuch überliessen und zum Teil bei diesem sogar mitgefahren sind. Besonders hervorheben möchte ich Johanna H., die Besitzerin der Schlittenhunde. Denn sie bringt mir ein sehr grosses Vertrauen gegenüber ihren Hunden entgegen. Sie erlaubte mir zu jeder Zeit Tests mit ihren Hunden durchzuführen. So konnte ich das Messgerät zu Beginn der Versuche nicht nur an meinem Hund, sondern an mehreren ausprobieren. Natürlich durfte ich ihre Hunde auch in meinem Versuch aufnehmen.

Auch danke ich meinen Eltern für ihre vor allem finanzielle Unterstützung, ohne die ich kein Messgerät für die Versuchsdurchführung gehabt hätte.

Am meisten gebührt mein Dank meinem Betreuer D. Haefelfinger. Mit sehr viel Geduld begleitete er mich durch meinen kompletten Arbeitsprozess und stand mir immer helfend zur Seite. Ohne seinen Antrieb hätte meine Arbeit wohl diesen Umfang nicht erreicht.

„Ich bestätige, dass ich diese Arbeit selbständig durchgeführt habe. Fremdbeiträge sind als solche klar bezeichnet. Verwendete Hilfsmittel und Quellen sind nach den Regeln des wissenschaftlichen Arbeitens in den angefügten Verzeichnissen aufgelistet.“

Arlesheim, 05. November 2017

Noemi Koller



Abb. 2: Trainingswagen für Hunde



Abb. 3: Hundeschlitten

3. Einleitung

Die Leitfrage, um welche sich meine Arbeit dreht, ist: Wie gross ist der Unterschied der Laktatschwelle zwischen trainierten Scandinavian Hounds und untrainierten Hunden anderer Rassen?

Die Leistungsfähigkeit eines Organismus ist anhand mehrerer Faktoren messbar. Diese Faktoren zusammen betrachtet geben über die aerobe Kapazität der Energiebereitstellung während physischer Belastung Auskunft (Coen, 1997).

Die physische Belastung eines Organismus findet während sportlichen Aktivitäten statt. Dabei arbeiten Skelettmuskeln, um den Körper in Bewegung zu setzen. Um diese sogenannte Kontraktion der Muskeln zu ermöglichen, laufen im Körper verschiedene Prozesse ab, welche Energie dafür liefern (Moosburger, 2009).

Ein zentraler Prozess, welcher Energie liefert, ist die Milchsäuregärung. Dabei werden Kohlenhydrate anaerob, also ohne Sauerstoff, verbrannt. Es entsteht Laktat, welches durch das Blut vom Muskel abtransportiert wird. Deshalb ist es im Blut messbar. Solange dem Körper genug Sauerstoff zur Verfügung steht, gehen auch noch andere energieliefernde Prozesse vorstatten (Dober, 2017). Mit zunehmender Belastung des Organismus wird die zur Verfügung stehende Menge an Sauerstoff kleiner. Folglich wird mehr Laktat gebildet. Beim Übergang zur rein anaeroben Energiebereitstellung herrscht ein maximales Gleichgewicht zwischen der Bildung und dem Abbau des Laktats. Dieser Punkt heisst Laktatschwelle. Bei jeder höheren Belastung steigt die Laktatkonzentration exponentiell an, da die Produktion höher ist als der Abbau. Die Laktatschwelle geht mit der anaeroben Schwelle der Energiebereitstellung eines Organismus einher. Sie markiert den Endpunkt der aeroben Energiebereitstellung und kann anhand der Laktatschwelle und anderer messbarer Parameter genau ermittelt werden (Coen, 1997).

Im Bereich der aeroben und anaeroben Leistungsfähigkeit ist über Hunde wenig bekannt. Entsprechende Fachliteratur konnte ich weder in der veterinärmedizinischen Universitätsbibliothek, noch in Tierkliniken finden. Deshalb ist die gesamte Theorie dieser Arbeit vom Menschen auf den Hund übertragen. In vielen Quellen war zu lesen, dass die energieliefernden Prozesse bei den meisten Vielzellern vorzufinden sind. Da Mensch und Hund Säugetiere und somit relativ nahe verwandt sind, sollte die Übertragung gut möglich sein.

Beim Mensch ist bekannt, dass die Laktatschwelle von verschiedenen Faktoren abhängig ist. Vor allem hat der Trainingszustand einen grossen Einfluss. Versuche haben ergeben, dass die individuelle Laktatschwelle durch Training verschoben wird. Denn durch gezieltes Training kann die aerobe Kapazität erhöht werden. Das heisst die Laktatschwelle wird erst bei einer höheren physischen Belastung des Körpers erreicht. Die Laktatschwelle wird beim Menschen anhand eines sogenannten Mehrstufentests (siehe Kap. 4.3.1) ermittelt (Clasing, 1994, Coan, 1997).

Durch meine langjährigen Erfahrungen mit den leistungsstarken Schlittenhunden stellte sich mir die Frage, ob es messbare Unterschiede der Leistungsfähigkeit zwischen den Scandinavian Hounds und anderen nicht für den Schlittenhundesport trainierten Hunderassen gibt. Dazu habe ich mit unterschiedlichen Hunden einen von mir etwas angepassten Mehrstufentest durchgeführt, um die Laktatschwellen der einzelnen Hunde zu bestimmen und diese anschliessend miteinander zu vergleichen. Meine Hypothese war, dass die Schlittenhunde die Laktatschwelle erst bei höheren Belastungen als die nichttrainierten Hunde erreichen.

Die in dieser Arbeit betrachteten Scandinavian Hounds sind Schlittenhunde, die ihre Natur ausleben dürfen und für das Schlittenziehen eingesetzt werden. Vor allem im Herbst- und Winterhalbjahr werden sie regelmässig trainiert, um für Schlittenrennen im Schnee vorbereitet zu werden. Diese Hunde haben von Natur aus ein sehr hohes Aktivitätsniveau und einen grossen Bewegungsdrang. Ihnen gegenüber stellte ich sogenannte Familienhunde. Sie bestreiten keine ausserordentlichen sportlichen Aktivitäten, abgesehen von täglichen Spaziergängen. Ihr Aktivitätslevel ist tiefer als jenes der Scandinavian Hounds. Für den Vergleich zu den Scandinavian Hounds habe ich mich für Flat Coated Retriever, Labrador Retriever und Australian Shepherds entschieden, da alle diese Rassen eine ähnliche Körpergrösse und ein ähnliches Gewicht haben. Die Flat Coated Retriever und der Labrador werden in der folgenden Arbeit als Retriever zusammengefasst. Die Bezeichnung der Scandinavian Hounds wird der Einfachheit halber zum Teil mit Hounds abgekürzt.

4. Theoretischer Hintergrund

4.1 Energetische Prozesse

Das Zusammenziehen eines Skelettmuskels wird als Kontraktion bezeichnet. Dabei ziehen sich die einzelnen Muskelfasern zusammen und entspannen sich anschliessend wieder. Doch diese Bewegung geschieht nicht einfach so, sondern dazu wird Energie benötigt. Diese Energie bekommt der Muskel durch das Spalten von Adenosintri-phosphat abgekürzt ATP (siehe Kap. 4.1.1) (Haefelfinger, 2015).

Während der Muskelkontraktion laufen mehrere Prozesse im Muskel ab, welche Energie bzw. ATP liefern. Sie können in zwei Hauptmechanismen eingeteilt werden (Abb. 4):

Aerobe Energiebereitstellung: Hierzu gehören alle Vorgänge, welche ATP unter dem Verbrauch von Sauerstoff herstellen. Dies geschieht in den Mitochondrien, den sogenannten „Kraftwerken der Zelle“.

Zur aeroben Energiegewinnung gehört die vollständige Verbrennung von Kohlenhydraten, speziell dem Traubenzucker (=Glukose), und Fetten (=Lipide).

Anaerobe Energiebereitstellung: Hierzu gehören alle Vorgänge, welche ATP ohne den Verbrauch von Sauerstoff herstellen. Sie laufen ausserhalb der Zellen im Zellplasma (=Zytosol) ab.

Zur anaeroben Energiegewinnung gehört die Spaltung der energiereichen Phosphate ATP und Kreatinphosphat und der unvollständige Abbau von Glucose, wobei Laktat gebildet wird (Moosburger, 2009).

Die anaerobe Energiebereitstellung wird zusätzlich in die laktazide und die alaktazide Energiebereitstellung unterteilt. Laktazide Vorgänge finden unter der Bildung von Laktat statt. Bei alaktaziden Vorgängen entsteht kein Laktat (Müller, 2017).

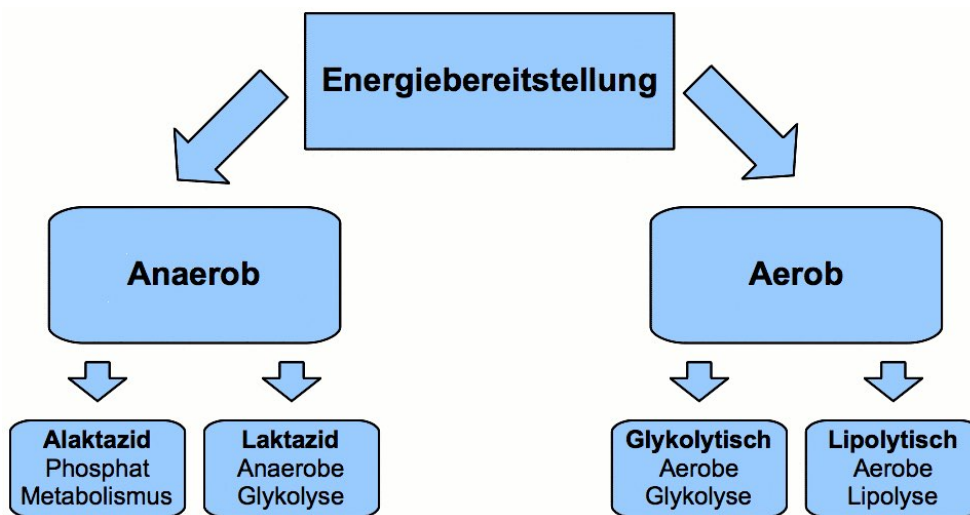


Abb. 4: Energiebereitstellung im Muskel

4.1.1 Adenosintriphosphat ATP

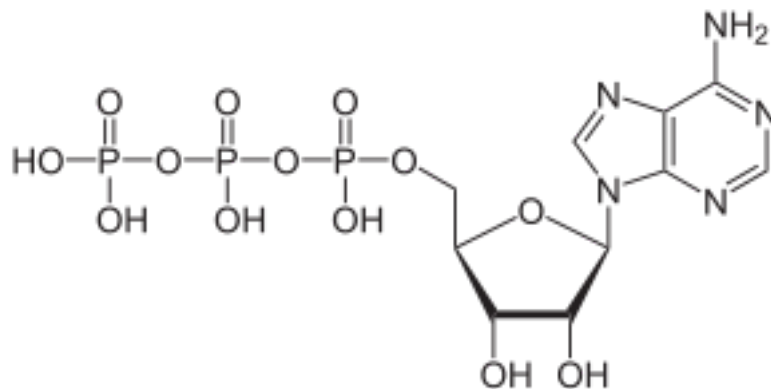
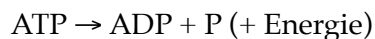


Abb. 5: Adenosintriphosphat

Adenosintriphosphat besteht aus Adenin, das ist eine organische Base, einem Zuckermolekül, der Ribose und drei Phosphatgruppen (Abb. 5). Diese Phosphatgruppen werden durch jeweils ein Phosphoratom gebildet, an welches vier Sauerstoffatome gebunden sind. Die chemischen Bindungen zu den Phosphatresten sind sehr energiereich. Wird ein ATP-Molekül gespalten, zerlegt es sich in Adenosindiphosphat (ADP) mit zwei Phosphatresten und einem Phosphatsäurerest P. Da dabei eine energiereiche Bindung zu einem Phosphatrest aufgetrennt wird, wird Energie freigesetzt, welche vom Körper verwendet werden kann (Koops, 2010).



Von dieser Energie wird jedoch nur rund ein Viertel für die mechanische Bewegung des Muskels verbraucht. Der Rest wird in Wärme umgewandelt (Müller, 2017).

Unter Energieaufwand wird bei der Zellatmung das bei der Spaltung entstandene ADP und P wieder zu ATP aufgebaut (siehe Anhang Zellatmung) (Haefelfinger, 2015).

4.1.2 ATP-Zerfall

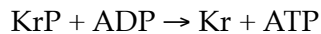
Bei einer sehr hohen Belastung des Körpers erfolgt als erstes die Energiebereitstellung durch bereits vorhandenes ATP. Der Körper hat nämlich immer eine kleine Menge ATP gespeichert. Dieses wird wie oben beschrieben enzymatisch in ADP und einen Phosphatrest zerlegt. Doch diese gespeicherten ATP-Reserven sind bei schwerer körperlicher Arbeit wie z.B. einem Sprint sehr schnell aufgebraucht, beim Menschen ist das nach etwa zwei Sekunden der Fall (Haefelfinger, 2015).

Der ATP-Zerfall ist eine anaerob-alaktazide Energiebereitstellung (Dober, 2017).

4.1.3 Kreatinphosphat

Sobald nicht mehr genügend ATP im Muskel vorhanden ist, beginnt die Spaltung des Kreatinphosphats.

Das Kreatinphosphat ist eine Verbindung zwischen Kreatin Kr und einem Phosphatrest P und ist ein sehr guter Energiespeicher in den Muskelzellen, da es wie das ATP eine energiereiche Bindung zu einer Phosphat-Gruppe besitzt (Küstner, 2014). Um diese gespeicherte Energie freizusetzen, wird diese Gruppe mit Hilfe des Enzyms Kreatinkinase auf ein ADP Molekül übertragen, welches nun zum ATP und somit für den Muskel nutzbar wird. Die Kreatinkinase wirkt bei dieser Reaktion als Katalysator (Nicolay, 2004).



Die Reaktion ist umkehrbar und läuft parallel in beide Richtungen ab. Jedoch befindet sich in einer Muskelzelle immer drei- bis viermal soviel Kreatinphosphat wie ATP (Küstner, 2014). Das Kreatinphosphat ist also biologisch sehr relevant für die Energiegewinnung, denn es ist sofort verfügbar (Haefelfinger, 2015). Allerdings kann es beim Menschen während eines Sprints nur Energie für ca. 12 Sekunden liefern und überbrückt die Zeit, bis weitere Prozesse ATP für den Muskel bereit stellen (Küstner, 2014). Sobald diese energieliefernden Reaktionen eintreten, werden die Kreatinspeicher wieder aufgefüllt (Haefelfinger, 2015).

Die Spaltung des Kreatinphosphats ist eine anaerob-alaktazide Energiebereitstellung (Moosburger, 2009).

4.1.4 Milchsäuregärung (anaerobe Glykolyse)

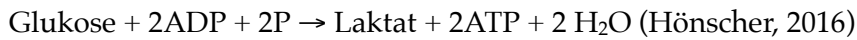
Die Milchsäuregärung hat zum Ziel, aus Glukose ATP zu gewinnen, auch wenn nicht genügend Sauerstoff zur Verfügung steht (Hönscher, 2016). Sie ist entscheidend für die Schnelligkeitsausdauer und die Kraftausdauer (Moosburger, 2009). Die Schnelligkeitsausdauer ermöglicht die individuelle maximale Geschwindigkeit so lange wie möglich durchzuhalten („Werto UG“, 2010). Hingegen ist die Muskelausdauer dafür zuständig, eine bestimmte Bewegung mit Widerstand über einen längeren Zeitraum auszuführen („admin“, 2016). Denn wenn alle anderen Energiespeicher abgebaut wurden, ist sie die einzige Möglichkeit anaerob Energie zu gewinnen, bzw. ATP zu bilden.

Im ersten Schritt wird Glukose durch die Glykolyse in je zwei Moleküle Pyruvat und ATP abgebaut (siehe Anhang Glykolyse) (Kubb, 2017). Das Pyruvat kann nun oxidativ im Citratzyklus (siehe Anhang Citratzyklus) oder im nächsten Schritt der Milchsäuregärung weiter umgesetzt werden (Fraude et al., 2008). Hier dient das Enzym Laktatdehydrogenase als Katalysator (Kubb, 2017). Da diese Reaktion keinen Sauerstoff verbraucht, wird das Pyruvat nicht zu Acetyl-CoA (siehe Anhang Zellatmung), sondern zu Milchsäure bzw. Laktat umgesetzt (siehe Kap. 4.2). Dabei reduziert das zuvor bei der Glykolyse gebildete $\text{NADH} + \text{H}^+$ das Pyruvat. Das heisst es nimmt Elektronen auf, die vom $\text{NADH} + \text{H}^+$ abgegeben werden (Löbert, 2003).



Bei dieser Reaktion wird NAD^+ re synthetisiert, welches anschliessend wieder für die Glykolyse verwendet wird. Würde es nicht regeneriert werden, käme die Glykolyse zum Erliegen, sobald nicht mehr genug NAD^+ vorhanden wäre. Dann könnte kein neues ATP mehr gebildet werden (Löbert, 2003).

Die Milchsäuregärung ist aber deutlich ineffektiver als die aerobe Glykolyse, denn sie bildet lediglich zwei Moleküle ATP pro Glucosemolekül, nämlich bei der Spaltung der Glucose in Pyruvat. Allerdings liegt ihr Vorteil darin, dass die Milchsäuregärung schnell Energie bereitstellen kann (Moosburger, 2009). Die aerobe Glykolyse bildet durchschnittlich 30.



Das Laktat ist für den Muskel selbst nicht verwertbar. Deshalb wird es über das Blut zur Leber transportiert, wo es weiterverarbeitet wird (siehe Kap. 4.1) (Müller et al., 2004).

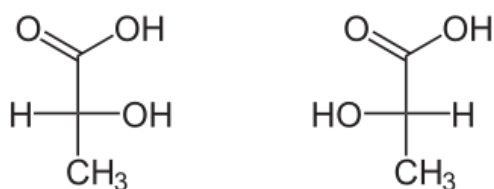
Wenn sich aber im Muskel auf Grund von hoher Belastung sehr viel Laktat ansammelt, kommt es zur Übersäuerung (siehe Kap. 4.2.3), die zur Ermüdung der Bewegung führt und sogar schmerzhaft sein kann (Dober, 2017).

Die Milchsäuregärung ist die anaerob-laktazide Energiebereitstellung (Moosburger, 2009).

4.1.5 Zellatmung

Die Zellatmung ist der grundlegende Vorgang, welcher dem Körper Energie liefert. Der Energieträger ist wie bei der Milchsäuregärung die Glukose. Allerdings wird sie mit Hilfe von Sauerstoff abgebaut und es entsteht deutlich mehr ATP als bei der Bildung von Laktat. Der erste Schritt verläuft aber gleich. Durch die Glykolyse wird die Glukose zu zwei Molekülen Pyruvat zerlegt. Diese durchlaufen dann im nächsten Schritt den Citratcyklus. Das Pyruvat wird komplett zu CO_2 zerlegt, wobei $\text{NADH} + \text{H}^+$ entsteht. Das CO_2 wird anschliessend ausgeatmet. Das $\text{NADH} + \text{H}^+$ durchläuft den letzten Schritt der Zellatmung. In der Atmungskette gibt es Elektronen und Protonen ab. Die passieren viele hintereinander geschaltete Enzyme. Schlussendlich wird mit ihnen und dem eingeatmeten O_2 Wasser gebildet. Bei diesem Vorgang wird sehr viel ATP gebildet. Durchschnittlich sind es 30 Moleküle (Weber, 2009). Für mehr Details siehe Anhang.

4.2 Laktat



D-Milchsäure

L-Milchsäure

Abb. 6: D- und L- Milchsäure

Laktat ist das Anion der Milchsäure und somit negativ geladen. Es ist ein Salz und entsteht durch die Abspaltung eines Wasserstoffatoms. Laktat und das Wasserstoff zusammen bilden das für ein Salz typische Ionengitter.



Diese Reaktion findet statt, da die Milchsäure eine starke Säure und somit sehr bestrebt ist ein H^+ abzugeben, also zu dissoziieren. Das heisst, die bei der Milchsäuregärung entstandene Milchsäure wird sofort zu Laktat umgesetzt.

Es gibt zwei Isomere des Laktats wovon aber nur das L-Laktat im Organismus vorkommt (Wikipedia, 2017).

4.2.1 Aufbau

Hauptsächlich gebildet wird das Laktat im Skelett- und Herzmuskel durch die Milchsäuregärung. Aber auch in anderen Körperzellen, denen nur wenig oder gar kein Sauerstoff zugeführt wird, entsteht Laktat. Sie brauchen die Milchsäuregärung zur Energiegewinnung (siehe Kap. 4.1.4). Vor allem die Leber kann den Laktatspiegel deutlich erhöhen, denn eine durch die Nahrung aufgenommene erhöhte Menge an Glukose wird durch die Leber direkt in Laktat umgewandelt (Clasing et al., 1994).

Wie oben beschrieben wird das Laktat aus Pyruvat unter der Aufnahme von zwei Elektronen gebildet (Robergs, 2003). Darum ist seine Bildung abhängig von der Pyruvat- und der H^+ -Konzentration. Wenn diese zwei Moleküle vermehrt im Körper vorhanden sind, wird mehr Laktat gebildet (siehe Kap. 4.2.3) (Löbert, 2003). Aber auch gewisse Hormone beeinflussen die Laktatbildung (Clasing et al., 1994).

4.2.2 Abbau

Früher galt das Laktat als Abfallprodukt des metabolischen Stoffwechsels, des Stoffwechsels des Muskels.

Diese Ansicht wurde mittlerweile revidiert. Denn das Laktat ist ein Stoffwechselzwischenprodukt, welches sehr energiereich ist (Fraude et al., 2008). Viele Zellen decken durch seine Oxidation ihren Energiebedarf (Löbert, 2003). Der Herzmuskel bezieht sogar 60% seines Energiebedarfs aus Laktat (Rupe et al., 1990). Dieser Abbau ist die eine Möglichkeit, das Laktat aus dem Körper zu entfernen. Die andere Möglichkeit der Verwertung findet hauptsächlich in der Leber aber auch in anderen Organen wie zum Beispiel der Niere statt. Diese Organe verwenden das Laktat zur Regenerierung von Glukose. Dieser Vorgang wird Glukoneogenese genannt. Oder sie wandeln das Laktat unter minimalem Energieverbrauch wieder in Pyruvat um, welches anschliessend den Citratzyklus und die Zellatmung durchlaufen kann, um eine grosse Energiemenge daraus zu gewinnen (Robergs et al., 2003, Müller et al., 2004).

4.2.3 Azidose

Die Übersäuerung des Muskels ist auf freie Protonen zurückzuführen. Sie kommen in Form von H^+ vor und stammen von der Umwandlung der Glukose in Pyruvat also der Glykolyse. Eine Weitere Quelle für Protonen ist die Umsetzung von ATP z.B. im Muskel der sogenannten Hydrolyse.

Die Protonen bewirken einen Abfall des pH-Werts im Muskel. Sobald dieser unter 7 fällt, herrscht ein saures Milieu. Es wird ein Enzym aktiv, welches die Muskelkontraktion hemmt und wie oben erwähnt zu einem Leistungsabfall führt (Moosburger, 19994).

Das Laktat ist also nicht für die Azidose zuständig. Vielmehr kann dessen Bildung sogar einer Azidose entgegenwirken. Denn bei der Glykolyse werden insgesamt vier Protonen freigesetzt, wovon zwei wieder aufgenommen werden (siehe Anhang Glykolyse). Bei der Umwandlung von zwei Pyruvat- in zwei Laktatmoleküle werden die übrigen zwei Protonen aufgenommen (Robergs et al., 2003).

4.3 Leistungsdiagnostik

Die Leistungsdiagnostik beschäftigt sich mit der Beurteilung der Leistungsfähigkeit eines Organismus. Eingesetzt wird sie vor allem im Sport und bei physischen Einschränkungen (Heck, 1990).

Um die Leistungsfähigkeit zu bestimmen, werden verschiedene Untersuchungen und Testverfahren angewendet. Bei diesen Tests wird der Organismus physischer Belastung ausgesetzt, wobei bestimmte Parameter gemessen werden. Anhand deren Resultate kann die aerobe Kapazität bestimmt werden (Vassiliadis, 1999).

Die Belastungstests sind immer sportartspezifisch, da bei jeder Sportart eine unterschiedliche Belastung des Körpers vorliegt.

Besonders im Hochleistungssport findet die Leistungsdiagnostik Anwendung. Bei einem ersten Belastungstest können die Ausgangsdaten eines Sportlers erfasst und die aerobe Kapazität bestimmt werden. Anhand dieser Daten können Ärzte der Leistungsdiagnostik für Sportler individuelle Trainingspläne erstellen.

Durch weitere Belastungstests zu einem späteren Zeitpunkt kann der Arzt das Training überwachen und steuern.

Bis in die 60er Jahre wurde das Leistungsvermögen eines Organismus anhand der maximalen Sauerstoffaufnahme bewertet (Coen, 1997, Ruhe et al., 1990). Dieses Kriterium wurde von Hill et al. (1923) eingeführt (Rupe et al., 1990).

Immer mehr Parameter der Energiebereitstellung wurden vor allem im Blut untersucht (Coen, 1997, Ruhe et al., 1990). Davon waren vor allem das Laktat und Pyruvat von grossem Interesse. Besonders das Laktat wurde untersucht und wird bis heute als Leistungsindikator verwendet (Coen, 1997).

4.3.1 Laktatdiagnostik

In der Laktatdiagnostik finden sogenannte Mehrstufentests ihre Anwendung. Es sind Belastungsprotokolle, die gleichmässig und stufenförmig in der Belastung ansteigen. Oft werden sie auf Laufbändern oder Rudermaschinen durchgeführt, wobei das Testgerät vor allem von der Sportart des zu testenden Sportlers abhängt.

Da in einem solchen Test die gesamte physiologische Leistungsbreite eines Individuums ermittelt werden soll, starten sie mit einer niedrigen Belastung. Dadurch wird sichergestellt, dass zu Beginn eine rein aerobe Energiebereitstellung erfolgt. Die Intensität der Stufen nimmt zu, bis die maximale individuelle Leistungsfähigkeit erreicht wird und nur noch die anaerob-laktazide Energiebereitstellung vorliegt.

Nach jeder dieser Stufen wird jeweils die Laktatkonzentration im Blut gemessen und anschliessend in einem Diagramm eingetragen, daraus ergibt sich die Laktatleistungskurve (siehe Abb. 7, Seite 15) (Coen, 1997).

Um diese Kurven auszuwerten, gibt es viele verschiedene Interpretationsverfahren, welche als Schwellenkonzepte bezeichnet werden. Ein solches Konzept wurde in den 80-er Jahren von Mader et al. (1976) entwickelt, welche die aerob-anaerobe Schwelle bei der fixen Laktatkonzentration von 4 mmol/l definierten. Mittlerweile ist allerdings bekannt, dass die anaerobe Schwelle nicht bei einer fixen Konzentration erreicht wird. Davis et al. (1983) zeigten, dass fixe Punkte auf der Laktatleistungskurve von unterschiedlichen Sportlern bei unterschiedlichen Intensitäten erreicht wurden (Coen, 1997).

Heutzutage wird das Schwellenkonzept individuell gewählt, wobei keine fixen Laktatkonzentrationen betrachtet werden, sondern der gesamte Verlauf der Kurve betrachtet und auf die individuelle Leistungsfähigkeit geschlossen wird (Clasing et al., 1994).

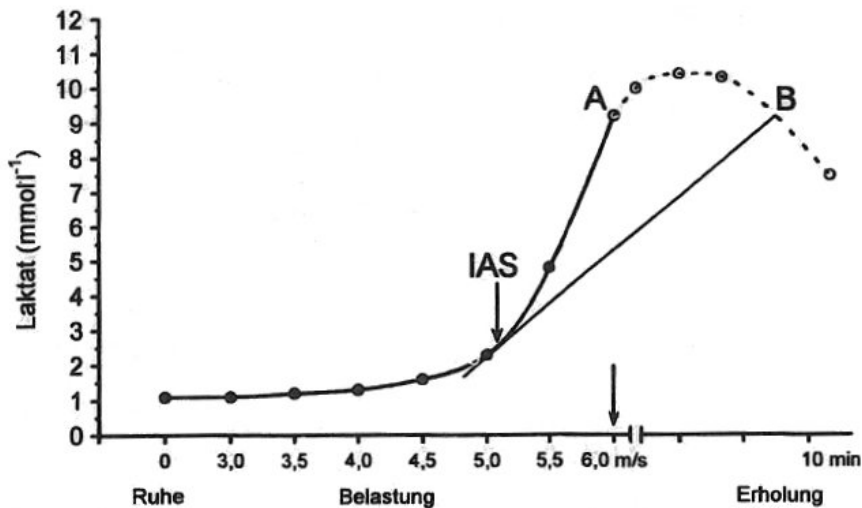


Abb. 7: Beispiel einer Laktatkurve eines Langstreckenläufers

A: Zeitpunkt des Abbruchs

B: Gleiche Laktatkonzentration in der Nachbelastungsphase wie zu Testabbruch

IAS: Individuelle anaerobe Schwelle

4.4 Messgerät

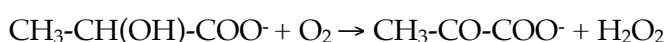
Das bei dieser Arbeit verwendete Messgerät „Lactadate Pro 2“ ist ein Handmessgerät, welches für private Zwecke entwickelt wurde. Für die Laktatbestimmung werden spezielle zum Messgerät gehörende Teststreifen verwendet. Diese sind für den einmaligen Gebrauch konzipiert, das heisst nach jedem gemessenen Wert muss ein neuer Teststreifen verwendet werden. Das Lactate Pro 2 kann den Laktatwert im Bereich von 0.5-25 mmol/l bestimmen („arkray“, 2015).

4.4.1 Messprinzip

Mit Hilfe der Teststreifen bestimmt das Messgerät anhand der elektrochemischen Methode den Laktatwert im Blut. Dazu werden 0.3µl Vollblut direkt von der Einstichstelle mit der Spitze des Teststreifens, welcher zuvor ins Messgerät gesteckt wurde, aufgenommen. Im dahinterliegenden Prüfenster reagiert das Laktat mit den Reagenzien. Durch diese Reaktionen entsteht ein fliessender Strom, dessen Stärke proportional zur Laktatkonzentration der Probe ist. Diese Stromstärke misst das Messgerät und berechnet daraus den Blutlaktatspiegel („arkray“, 2015).

Im Prüfenster befindet sich eine Elektrode. Diese ist ionenselektiv, das heisst sie reagiert mit ganz bestimmten Ionen bzw. negativ geladenen Teilchen. Diese werden durch vorhergehende Reaktionen gebildet.

Diese Spezifikation wird durch in der Elektrode integrierte Membranschichten erreicht. Die Membranen trennen die Elektrode von der Blutprobe (=Substrat) ab und lassen nur die zu ermittelnden Substanzen hindurch diffundieren. An einer der Membranen befindet sich eine Enzymschicht, die für die Reaktion mit dem Laktat benötigt wird. Es ist das Enzym Laktatoxidase und ist mit einer für Laktat durchlässigen Membran vom Substrat abgetrennt. Mit der Laktatoxidase findet eine enzymatische Reaktion statt, bei der das Laktat zu Pyruvat und Wasserstoffperoxid (H₂O₂) zerlegt wird.

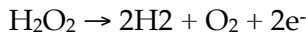


Der für die Reaktion benötigte Sauerstoff wird durch die äussere Membranschicht und die nachfolgende Reaktion geliefert.

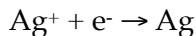
Das H_2O_2 gelangt durch die Membran in die Laktatelektrode (siehe Abb. 8, Seite 17).

Die Anode und die Kathode sind durch ein Amperemeter miteinander verbunden und bilden eine Elektronenkette.

Das H_2O_2 oxidiert an der Platin-Anode. Dabei werden Elektronen frei.



An der Silberkathode wurden die Elektronen durch Ag^+ reduziert, wobei festes Silber gebildet wird.



Durch diese Wiederaufnahme der Elektronen entsteht ein Elektronenfluss, dessen Stromstärke vom Amperemeter gemessen wird.

Wie oben beschrieben, ist dieser Strom proportional zum Laktatgehalt der Probe, der nun vom Messgerät berechnet und auf dem Display angezeigt wird (Deutsch, 2003).

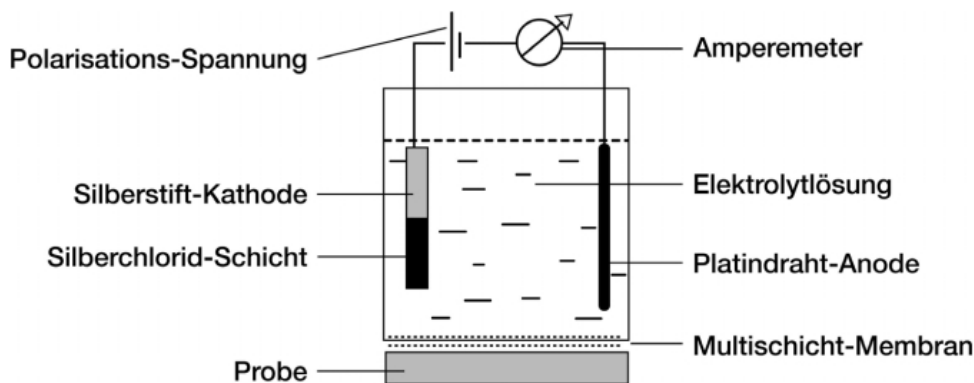


Abb. 8: Laktatelektrode

Amperemeter: Misst den durch die Schaltung fließenden Strom. **Elektrolytlösung:** Stellt den elektrischen Kontakt zwischen Anode und Kathode her.

Platindraht-Anode: Oxidiert H_2O_2

Multischichtmembran: Die äussere Membranschicht schleust Laktat ohne Blutkörperchen oder Störsubstanzen zur mittleren Schicht. Diese enthält das Enzym Laktatoxidase zur Umwandlung von Laktat in Pyruvat und H_2O_2 . Die innere und letzte Schicht transportiert das H_2O_2 zur Anode.

Probe: Ist in direktem Kontakt mit der Membran der Elektrode. **Silberchloridschicht:** Liefert die Ag^+ -Ionen, die an der Kathode reduziert werden.

Silberstift-Kathode: Reduziert Ag^+ .

Polarisationsspannung: Liefert die für die Oxidation des H_2O_2 erforderliche Spannung.

4.4.2 Reagenzien

Die in einem Teststreifen enthaltenen Substanzen sind („arkray“, 2015):

2 [IE]	Laktatoxidase
20 [μg]	Hexaamminruthenium (III) chlorid
18 [ng]	1-Methoxy-5-Methylphenazium-Methylsulfat.

5. Material und Methoden

5.1 Versuchsanordnung

Um die Schwelle zur anaeroben Energiebereitstellung bei Hunden zu ermitteln, habe ich einen Mehrstufentest durchgeführt. Diesen habe ich an den Standard für menschliche Tests angepasst (Coen, 1997).

Da mit Hunden die einfachste Variante eines Mehrstufentests ein Lauftest ist, bestanden die einzelnen Stufen aus unterschiedlichen Laufgeschwindigkeiten. Beim Mensch ist eine geläufige Stufenhöhe 2 km/h . Da aber Hunde mit ihren vier Beinen höhere Geschwindigkeiten erreichen können und ich den Test nicht zu sehr in die Länge ziehen wollte, weil ihn auch untrainierte Hunde absolvierten, habe ich eine etwas höhere Stufenhöhe von 3 km/h gewählt. Die übliche Stufendauer beim Mensch beträgt drei Minuten, welche ich auch für meinen Versuch gewählt habe. Als Einstieg habe ich eine Geschwindigkeit von 8 km/h gewählt. Dieses Tempo erschien mir angemessen, denn dies ist eine schnelle Laufgeschwindigkeit beim Mensch, bei der die Hunde in einem lockeren Trab sind.

Bei der Durchführung liess ich die Hunde drei Minuten lang in derselben Geschwindigkeit laufen. Danach habe ich angehalten, den Laktatwert des jeweiligen Hundes gemessen und ihn anschliessend notiert. Durch das Messen ergab sich jeweils zwischen den Stufen eine Pause von etwa zwei Minuten. Die Geschwindigkeit habe ich so lange gesteigert, bis der jeweilige Hund nicht mehr mithalten konnte.

Zu Beginn jedes Tests habe ich den Ruhewert des Hundes gemessen, um einen Vergleichspunkt zu haben.

Der Test dauerte jeweils eine Stunde, wobei es leichte Unterschiede gab, je nachdem wie schnell die Hunde rennen konnten. Zum Schluss erhielt ich von jedem Hund je einen Wert bei Ruhe, bei 8 km/h , 11 km/h , 14 km/h , 17 km/h , 20 km/h und bei 23 km/h . Bei einzelnen Hunden konnte ich auch noch 26 km/h testen. Die gemessenen Werte mit den entsprechenden Geschwindigkeiten habe ich zuhause in ein Diagramm eingetragen.

Es war meine Absicht, die Hunde an ihre sportliche Grenze zu führen. Um eine hohe Geschwindigkeit zu erlangen, habe ich mich dafür entschieden, die Hunde neben dem Fahrrad laufen zu lassen. Denn Hunde können sich auf Grund ihrer vier Beine deutlich schneller als der Mensch fortbewegen. Das ermöglichte mir, die Geschwindigkeit mit einem Bike Computer zu überprüfen. Die Hundebesitzer habe ich angewiesen, mit den Hunden am Vortag des Versuchs keine ausserordentlichen sportlichen Aktivitäten zu leisten und die Hunde am Morgen des Versuchs nicht zu füttern; ich weiss nicht, ob die vorhergehende Fütterung einen Einfluss auf die Werte wie beim Menschen haben könnte (siehe Kap. 4.2.1).

Alle Versuche fanden an verschiedenen Tagen zwischen 8 Uhr und 10 Uhr statt. Die Aussen-temperatur betrug immer zwischen 10°C und 12°C .

Im Herbst begannen bei den Scandinavian Hounds die Trainings am Wagen. Da ich bei diesen Trainings immer dabei war, hatte ich die Möglichkeit, dort einen weiteren Wert zu messen, um ihn anschliessend zu vergleichen.

Bei diesen Trainings zogen die Hunde in einem Achtergespann einen 90kg schweren Wagen, auf dem jeweils zwei ca. 60kg schwere Personen mitgefahren sind. Dies ergibt ein Gesamtgewicht von über 200kg und pro Hund ca. 25kg aus. Dieses Gewicht zogen sie mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von 23 km/h über eine Distanz zwischen 6 und 10 km . In der Hälfte wurde immer eine Pause zwischen fünf Minuten und einer Viertelstunde gemacht (für genaue Angaben siehe Anhang).

Gemessen habe ich die Werte immer unmittelbar nach dem Training, wenn die Hunde angespannt waren. In den Pausen war es nicht möglich, die Laktatwerte der Hunde zu messen, da diese Phase relativ heikel ist, vor allem bei bestimmten Hunden musste ich Rücksicht auf das Wohl des Tieres nehmen. Ich habe eine mögliche Beeinflussung der Werte durch die dazwischenliegende Pause in Kauf genommen.

Während den Trainings lief immer ein Hund frei nebenher, weil er zu alt ist, um angespannt zu werden. Bei ihm habe ich ebenfalls den Laktatwert nach dem Training gemessen.

5.2 Laktatbestimmung

Da das Laktat nach dem Entstehen in den Blutkreislauf gelangt, um zur Leber transportiert zu werden, ist die Konzentration im Blut messbar. Um das Blut für die Messungen zu entnehmen, habe ich den Hunden mit einer Lanzette in die Innenseite des hängenden Ohres (Abb. 9) gestochen. Diese Stelle ist gut durchblutet und es wachsen dort keine störenden Haare, welche in den Weg kommen könnten. Darum eignet sich diese Stelle besonders gut zur Blutabnahme. Um eine für das Messgerät ausreichende Menge an Blut zu erhalten, hatte ich die Stechhilfe immer auf der tiefsten Stufe eingestellt. Ausserdem habe ich vor jedem Stechen das Ohr ein paar Sekunden lang massiert, damit die Durchblutung angeregt wurde. Nach dem Stechen habe ich die Stechhilfe noch kurz auf dem Ohr gedrückt behalten. Dadurch entstand ein leichtes Vakuum, welches das Blut etwas mehr aus der Einstichstelle gepresst hat. Falls der Blutstropfen noch nicht genug gross war, habe ich nochmals etwas nachgedrückt, um eine grössere Blutmenge zu erhalten.

Um zu verhindern, dass ich mir in meinen Finger steche, habe ich das Ohr nach hinten geklappt und auf der Rückseite ein Taschentuch dagegen gedrückt. Den nach dem Stechen entstandenen Tropfen habe ich in einem 90° Winkel zum Ohr (Abb. 10) mit dem Teststreifen aufgenommen, welchen ich vor dem jeweiligen Stechen in das Messgerät gesteckt hatte. Nach 15 s lieferte das Messgerät den Wert, welchen ich mir anschliessend notiert habe. Die Werte wurden in *mmol/l* gemessen. Für jeden gemessenen Wert wurde ein neuer Teststreifen verwendet, welcher anschliessend entsorgt wurde. Für jeden Hund wurde eine frische Lanzette benutzt, um kein Risiko für eine Krankheitsübertragung auf Grund einer verunreinigten Lanzette einzugehen. Nach dem Versuchsende wurden diese ebenfalls entsorgt.



Abb. 9: Stechen auf der Innenseite des Ohrs Abb. 10: Aufnahme des Blutstropfens

5.3 Probanden

Den Mehrstufentest führte ich bei drei Retrievern (1 W, 2 M), davon waren zwei Hunde Flat Coated Retriever und einer ein Labrador Retriever. Als weitere Rasse testete ich drei Australian Shepherds (3 W), wovon einer ein Mini Australian Shepherd war. Die dritte Rasse, welche ich verwendete, waren fünf Scandinavian Hounds (5 W). Alle Hunde waren zwischen zwei und fünf Jahre alt; mit Ausnahme eines sechs und eines sieben Jahre alten Hundes. Für genauere Angaben zu den einzelnen Hunden siehe Anhang.

Bei den gleichen fünf Scandinavian Hounds und noch drei weiteren, also insgesamt 8 Schlittenhunden (7 W, 1 M), habe ich Werte nach den Wagentrainings gemessen. Auch habe ich bei einem weiteren Hund (M), welcher während dieser Wagentrainings frei mitgelaufen ist, Werte gemessen.

5.4 Vorgehen

Als erstes habe ich zwei Firmen, welche Handmessgeräte für die Laktatbestimmung herstellen, angefragt, ob sie mir ein Messgerät für die Dauer der Arbeit zur Verfügung stellen würden. Eine Antwort erhielt ich von der Firma „Axonlab“. Sie überlas mir freundlicherweise ein älteres Modell, das „Lactate Pro“, welches aber immer noch funktionstüchtig ist, mit 125 dazugehörigen Teststreifen und einer Stechhilfe mit 200 Lanzetten.

In der Tierklinik „Bessys Kleintierklinik“ in Regensdorf/Watt liess ich mir zeigen, wie man den Hunden das Blut am Ohr richtig abnimmt. Als ich das Messgerät zuhause an mehreren Hunden ausprobierte, musste ich leider feststellen, dass die Blutstropfen, die ich aus den Ohren der Hunde gewann, für das Messgerät nicht ausreichten.

Ich hatte das Messgerät mit neueren Modellen im Internet verglichen und bemerkt, dass es deutlich mehr Blut als die neueren Geräte benötigt. Konkret brauchte das ältere Modell $5 \mu\text{l}$ und die neueren $0.5 \mu\text{l}$ oder sogar nur $0.3 \mu\text{l}$. So entschied ich mich, mit der finanziellen Unterstützung meiner Eltern ein neues Messgerät zu kaufen. Ich entschied mich für das neuere Modell des Messsystems, welches ich bereits hatte, das „Lactate Pro 2“. Dieses wird ebenfalls von der Firma „arkray“ hergestellt. Es benötigt nur $0.3 \mu\text{l}$ an Blut und zeigt Ergebnisse in nur 15 Sekunden. Vergleichsweise benötigt das „Lactate Pro“ 60 Sekunden um einen Wert zu ermitteln.

Die Stufen des Versuchs hatte ich anfänglich nach Distanzen gerichtet. So sollte eine Stufe 1 *km* lang sein und die Geschwindigkeit um jeweils 2.5 km/h gesteigert werden. Nachdem ich mich intensiver mit der Theorie auseinandergesetzt hatte, stellte ich fest, dass es keinen Sinn macht, die Stufen nach einer bestimmten Distanz zu richten. Denn die Laktatproduktion ist abhängig von der Intensität und der zeitlichen Dauer der Muskelarbeit. Deshalb habe ich den Versuch so wie oben beschrieben abgeändert.

5.5 Statistik

Alle berechneten Werte wurden auf zwei signifikante Stellen nach dem Komma gerundet. Verwendet habe ich den Mittelwert, um mehrere Ergebnisse zusammenzufassen und allgemeine Aussagen zu ermöglichen. Zusätzlich habe ich die jeweilige dazugehörige Standardabweichung berechnet (siehe Kap. 6).

5.6 Materialien

Um den Hunden Blut abzunehmen, wurde mir von der Firma „Axonlab“ eine Stechhilfe mit 200 Lanzetten der Firma „arkray“ (Abb. 11) zur Verfügung gestellt. Die Laktatwerte habe ich mit dem Messgerät „Lactate Pro 2“ der Firma „arkray“ mit den dazugehörigen Teststreifen (Abb. 12) gemessen. Die Geschwindigkeit auf dem Fahrrad habe ich mit dem Bike Computer „BC 9.16“ der Firma „Sigma“ (Abb. 13) kontrolliert. Des Weiteren verwendete ich während der Mehrstufentests ein Fahrrad. Für die Trainings benutzte ich einen speziellen Trainingswagen für Hunde (siehe Abb. 2, Seite 5).



Abb. 11: Stechhilfe mit Lanzette



Abb. 12: Messgerät mit Teststreifen



Abb. 13: Bike Computer

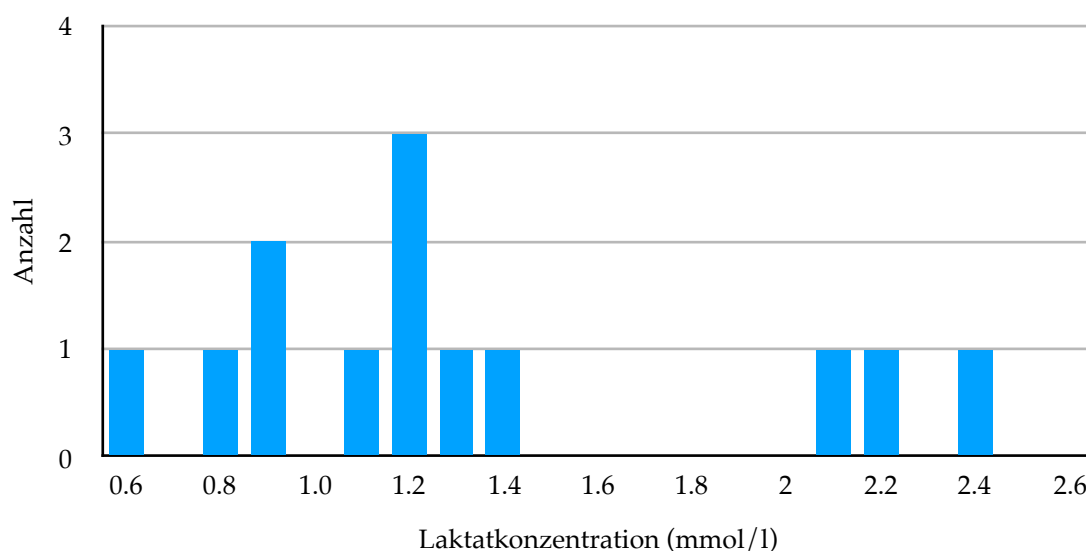
6. Resultate

Die Resultate meines Versuchs unterschieden sich vollständig von meinen Erwartungen. Denn bei keinem der Hunde war es mir möglich, die anaerobe Schwelle zu ermitteln. Alle Wertereihen der einzelnen Hunde haben im Diagramm eingezeichnet keine exponentiell ansteigenden Kurven ergeben. Die so entstandenen Graphen aller Hunde schwanken mit einer Ausnahme um ca. 1 mmol/l herum. Der Mehrstufentest scheint bei Hunden nicht so anwendbar zu sein, als dies bei Menschen der Fall ist.

Allerdings konnte ich bei den Wagentrainings mit den Scandinavian Hounds deutlich höhere Werte messen. Sie bewegen sich im Bereich von 1.8 mmol/l bis zu 10.9 mmol/l .

Durch meine Beobachtungen konnte ich feststellen, dass die physische Belastung bei den Wagentrainings mit den Hounds deutlich höher ist als beim freien Laufen am Fahrrad. Denn die Hunde waren nach den Trainings viel erschöpfter als nach dem Versuch. Das zeigt sich ebenfalls in den höheren Werten, die ich nach den Trainings mit den Hounds gemessen habe.

6.1 Ruhewerte

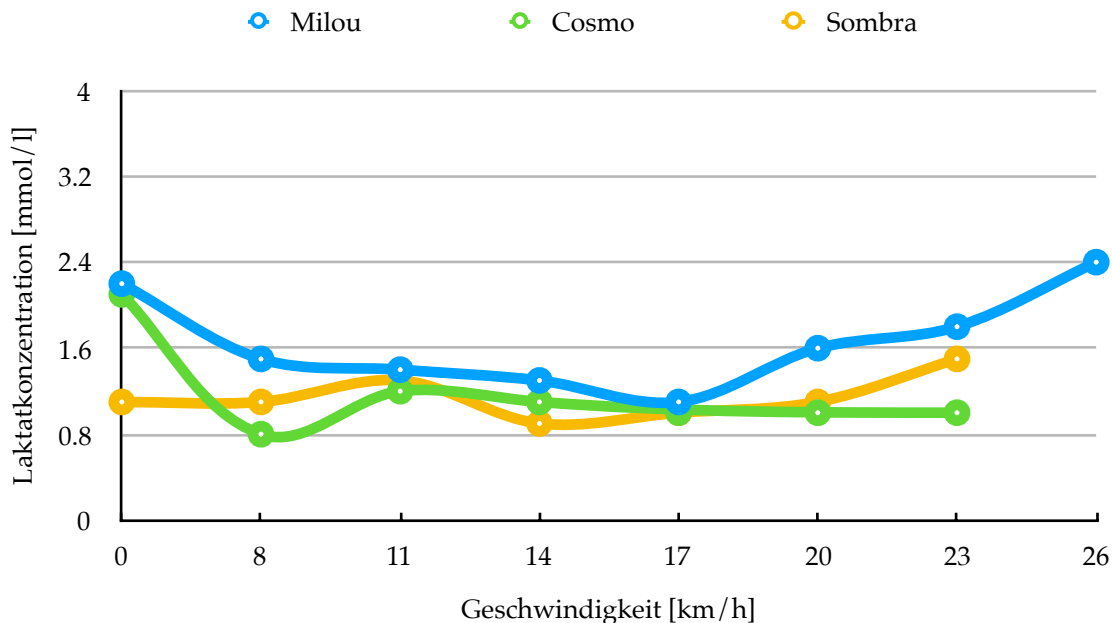


Diagr. 1: Verteilung aller Ruhewerte

Der Mittelwert aller gemessenen Ruhewerte beträgt 1.31 mmol/l mit einer Standardabweichung von 0.55 mmol/l . Die meisten Ruhewerte liegen um 1 mmol/l herum zwischen 0.8 mmol/l und 1.2 mmol/l . So kann dieser Bereich gut als Normalbereich gesehen werden. Davon gibt es allerdings grosse Abweichungen, wie vor allem der Maximalwert zeigt. Drei Hunde, nämlich ein Flat Coated Retriever, der Labrador Retriever und der Mini Australian Shepherd hatten im Vergleich zu den anderen Hunden sehr hohe Ruhewerte. Diese liegen alle im Bereich über 2 mmol/l . Im Gegensatz dazu hat ein anderer Australian Shepherd den niedrigsten Wert von allen mit lediglich 0.6 mmol/l . Die Scandinavian Hounds lagen fast alle in dem oben definierten Normalbereich. Nur einer von ihnen lag mit 1.4 mmol/l leicht darüber.

6.2 Versuche

6.2.1 Retriever



Diagr. 2: Laktatkurven der Retriever

Der Flat Coated Retriever Milou startete wie oben beschrieben mit einem hohen Ruhewert von 2.2 mmol/l . Nach der ersten Belastungsstufe mit der Geschwindigkeit 8 km/h sinkt der Graph auf 1.5 mmol/l . Während den folgenden Belastungsstufen bis 17 km/h fällt der Laktatwert weiter ab bis auf 1.1 mmol/l . Ab der Geschwindigkeit von 20 km/h lässt sich eine steigende Tendenz des Graphen erkennen, der nach der 26 km/h Stufe mit einem Wert von 2.4 mmol/l endet.

Ähnlich wie der Anfang des Graphen von Milou begann auch der Labrador Retriever Cosmo mit einem hohen Ruhewert von 2.1 mmol/l . Dieser Wert sinkt mit der ersten Belastungsstufe auf ein absolutes Minimum von 0.8 mmol/l . Mit der folgenden Stufe steigt der Graph nochmals auf 1.2 mmol/l . Bei den weiteren Stufen bleibt der Wert relativ konstant, wobei er nach und nach auf 1.0 mmol/l absinkt.

Anders als die beiden Rüden hatte die Flat Coated Retriever Hündin einen halb so grossen Ruhewert von 1.1 mmol/l . Mit der 11 km/h Stufe steigt der Graph auf 1.3 mmol/l leicht an. In der nächsten Belastungsstufe mit der Geschwindigkeit 14 km/h sinkt der Wert wieder ab auf 0.9 mmol/l . Von dieser Stufe an lässt sich ein Anstieg des Graphen erkennen, der leicht erhöht bei der 23 km/h Stufe mit 1.5 mmol/l endet.

Vergleicht man die drei Graphen miteinander, ist zu sehen, dass Milous und Cosmos hohe Ruhewerte mit Belastungsbeginn deutlich abnehmen, der Ruhewert von Sombra allerdings relativ konstant bleibt. In den folgenden Stufen der Geschwindigkeiten 11 km/h bis 17 km/h bewegen sich alle Hunde in einem ähnlichen Bereich. Bei 17 km/h lagen die Werte am nächsten beieinander, wie die Standardabweichung von 0.06 mmol/l zeigt.

Ab der 20 km/h Stufe sind wieder grössere Unterschiede festzustellen. Der Graph von Milou steigt im Vergleich zu den anderen zwei Hunden relativ an. Sombras Laktatwert nimmt ebenfalls zu, allerdings nicht so stark wie der von Milou. Cosmos Graph weist keinen Anstieg auf, er bildet gegen Ende sogar eine Gerade.

Insgesamt lag Milous Graph immer über den anderen zwei Graphen, auch wenn der Unterschied zum Teil nicht sehr gross war. Das zeigt sich auch in den Mittelwerten der einzelnen Hunde, denn Milous Mittelwert ist deutlich höher mit 1.66 mmol/l . Die anderen zwei Hunde bewegten sich im Schnitt im praktisch gleichen Bereich mit den jeweiligen Mittelwerten von 1.17 mmol/l und 1.14 mmol/l .

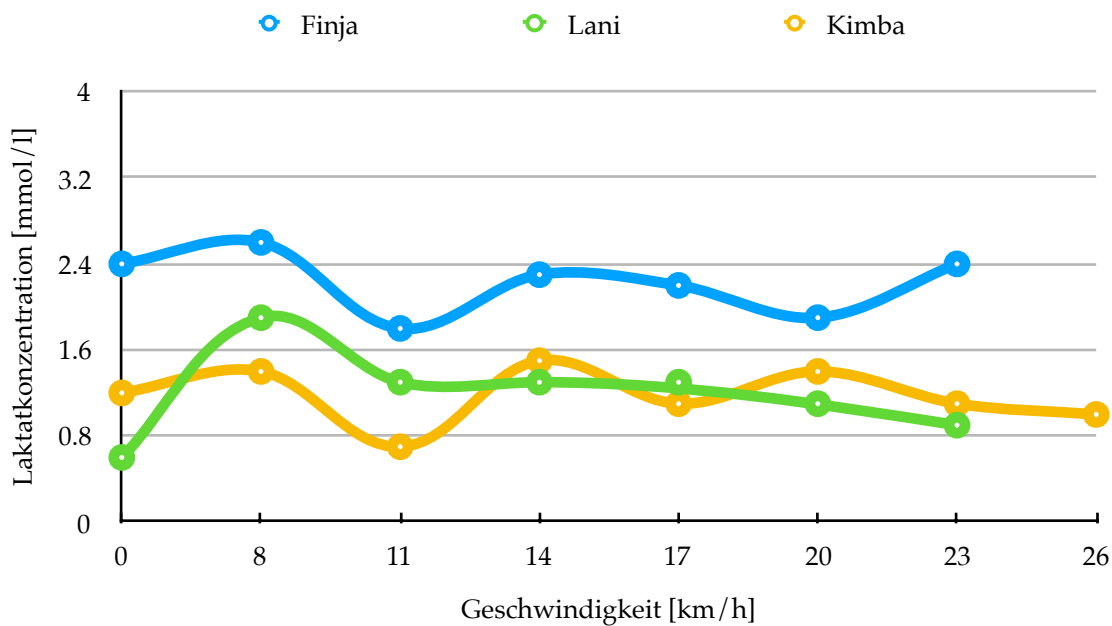


Diagr. 3: Mittlere Laktatkurve der Retriever mit unterer und oberer Standardabweichung der einzelnen Werte

Der durch die jeweiligen Mittelwerte gebildete Graph zeigt einen etwas erhöhten Ruhewert von 1.8 mmol/l , der durch die zwei gemessenen erhöhten Ruhewerte zu Stande kommt. Ab Beginn der Belastung bewegten sich alle Hunde bei den einzelnen Stufen bis 20 km/h jeweils in einem ähnlichen Bereich. Die mittleren Werte liegen zwischen 1.0 mmol/l und 1.3 mmol/l mit sehr geringen Standardabweichungen von 0.06 mmol/l bis 0.2 mmol/l . Ab der Geschwindigkeit von 17 km/h lässt sich ein leichter Anstieg des mittleren Graphen erkennen, welcher bei 1.46 mmol/l endet.

Der Mittelwert aller gemessenen Werte der Retriever beträgt 1.34 mmol/l . Um diesen Wert bewegt sich der mittlere Graph der Retriever und liegt zwischen den einzelnen Mittelwerten der drei Hunde.

6.2.2 Australian Shepherds



Diagr. 4: Laktatkurven der Australian Shepherds

Der Mini Australian Shepherd Finja begann den Test mit dem höchsten gemessenen Ruhewert aller Hunde. Er betrug 2.4 mmol/l . Mit Versuchsbeginn stieg dieser sogar auf 2.6 mmol/l an. Das ist der höchste unter Belastung gemessene Wert während des Versuchs. Nach der 11 km/h Stufe sinkt der Graph auf den Minimalwert 1.8 mmol/l . Die folgenden Stufen zeigen einen Anstieg auf 2.3 mmol/l , der in einen Abstieg übergeht. Der geht nach 20 km/h bis auf 1.9 mmol/l zurück. Mit der letzten Stufe von 23 km/h stieg Finjas Laktatwert nochmals auf 2.4 mmol/l an, was ihrem gemessenen Ruhewert entspricht.

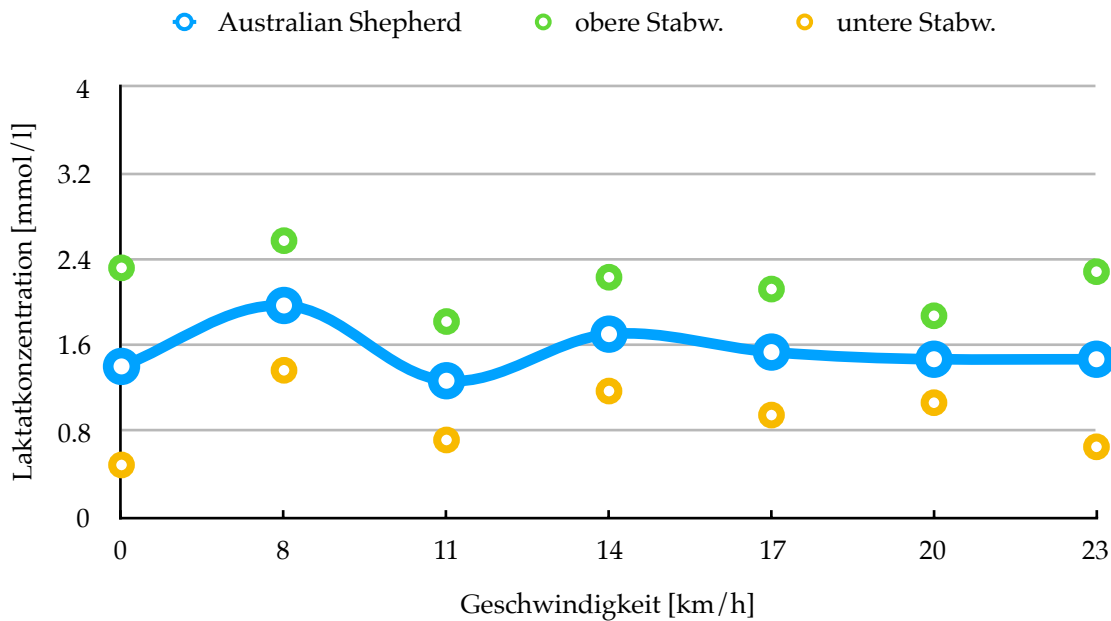
Lanis Ruhewert, der bei 0.6 mmol/l lag, ist wie bereits erwähnt der tiefste gemessene überhaupt. Nach der Eingangsstufe ist ein hoher Konzentrationsanstieg auf 1.9 mmol/l erkennbar. In der nächsten Stufe von 11 km/h fällt der Graph wieder auf 1.3 mmol/l ab. Dieser Wert bleibt über die zwei folgenden Stufen konstant. Mit den zwei letzten Geschwindigkeiten 20 km/h und 23 km/h nimmt der Graph nochmals ab und endet mit der Konzentration 0.9 mmol/l .

Der Ruhewert des dritten Australian Shepherd Kimba befand sich bei 1.2 mmol/l . Nach der ersten Belastungsstufe von 8 km/h stieg die Laktatkonzentration leicht auf 1.4 mmol/l an. Mit der folgenden Stufe sinkt der Graph allerdings auf 0.7 mmol/l ab. Die 14 km/h Stufe bewirkte wieder einen Anstieg des Laktatwertes auf 1.5 mmol/l . Dieses Auf und Ab des Graphen setzt sich bis zur 23 km/h Stufe fort, wo der Laktatwert bei 1.1 mmol/l lag. Die Endstufe mit der Geschwindigkeit von 26 km/h zeigt nochmals eine minimale Abnahme des Laktatwerts auf 1.0 mmol/l .

Beim Vergleich aller drei Graphen miteinander fällt auf, dass sich der Graph von Finja von den anderen zwei Hunden absetzt. Ihrer bewegt sich im Mittel um 2.23 mmol/l , während die Werte der anderen zwei Hunde den genau gleichen Mittelwert von 1.2 mmol/l bilden. Was aber alle drei Graphen gemeinsam haben, sind die mit Beginn der Belastung zunehmenden Laktatkonzentrationen. Diese nehmen auch bei allen drei Hunden nach der zweiten Belastungsstufe von 11 km/h wieder sichtbar ab. Allerdings nimmt der Laktatwert von Lani, die mit dem niedrigsten Ruhewert gestartet ist, mit der ersten Belastung am stärksten von allen drei Australian Shepherds zu. Ihr Graph bewegt sich während dieser ersten zwei Belastungs-

stufen zwischen den anderen zwei Graphen. Danach nimmt ihre Laktatkonzentration ab und der Graph verläuft tiefer als jene der beiden anderen Hunde.

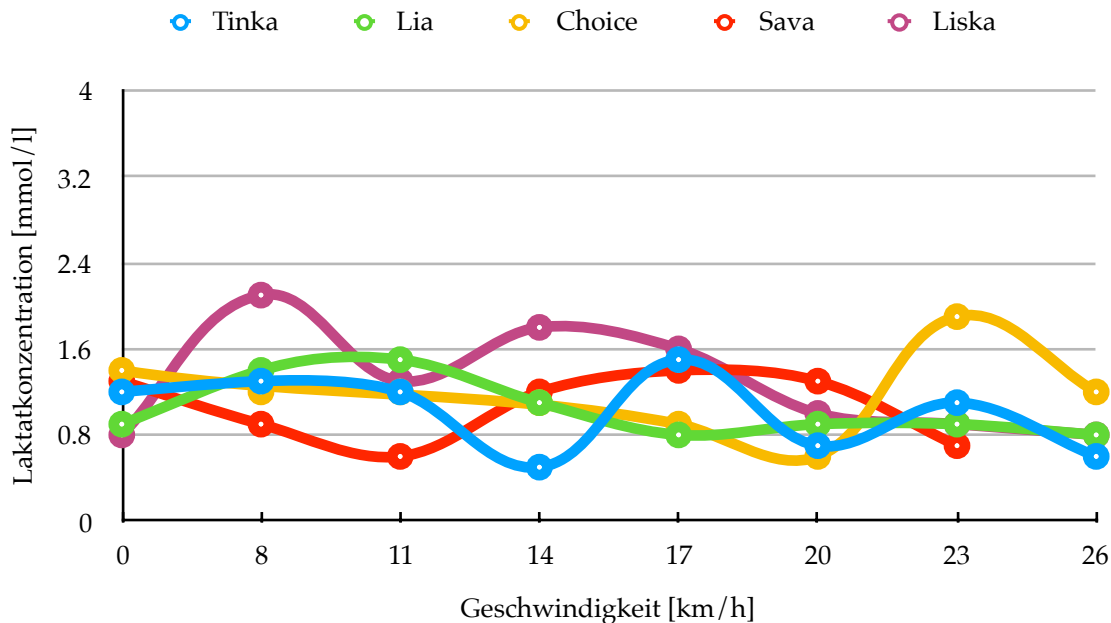
Zwischen den Graphen von Finja und Kimba ist eine grössere Gemeinsamkeit zu erkennen. Denn vom startenden Ruhewert bis hin zur 17 *km/h* Stufe verlaufen ihre Graphen sehr proportional zueinander, allerdings jeweils mit einem Konzentrationsunterschied von etwa 1.1 *mmol/l*. Von dieser Stufe an unterscheiden sich die zwei Graphen. Jener von Finja macht einen Bogen nach oben und Kimbas einen Bogen nach unten.



Diagr. 5: Mittlere Laktatkurve der Australian Shepherds mit unterer und oberer Standardabweichung der einzelnen Werte

Im mittleren Graphen der Australian Shepherds ist der oben beschriebene markante Anfang der einzelnen Graphen wiederzufinden. Der Graph startet mit dem Mittelwert der Ruhewerte, welcher 1.4 *mmol/l* beträgt. Die Konzentration nimmt mit der ersten Belastungsstufe zu und ergibt einen Wert von 1.97 *mmol/l*. Dieser nimmt in der zweiten Stufe wieder ab auf 1.27 *mmol/l*. Die dritte Geschwindigkeit zeigt nochmals einen Anstieg der mittleren Laktatkonzentration wie auch die Graphen von Finja und Kimba. Ab dieser Stufe mit der Geschwindigkeit 14 *km/h* ebnet sich der Graph um 1.5 *mmol/l* relativ aus und endet mit der Konzentration 1.47 *mmol/l*.

6.2.3 Scandinavian Hounds



Diagr. 6: Laktatkurven der Scandinavian Hounds

Tinkas Graph startet relativ linear. Der gemessene Ruhewert beträgt 1.2 mmol/l . Diese Konzentration bleibt relativ konstant während der zwei ersten Belastungsstufen. Während der folgenden Belastungsstufen ab 14 km/h kommt es zu einem Auf und Ab des Graphen. Nach der 14 km/h Stufe fällt die Konzentration auf 0.5 mmol/l ab. In der folgenden Stufe nimmt sie wieder zu bis zu einem Wert von 1.5 mmol/l . Nach 20 km/h fällt die Konzentration wieder. Während der zwei Ausgangsstufen stieg die Laktatkonzentration nachmals an und nahm danach wieder ab. Tinkas Graph endet bei 26 km/h mit 0.6 mmol/l .

Die Werte von Lia ergeben im Diagramm eingetragen zwei leichte Bogen nach oben. Der erste ist etwas stärker ausgeprägt und beginnt mit dem Ruhewert 0.9 mmol/l , erreicht den Höhepunkt bei 11 km/h mit 1.5 mmol/l und endet bei 17 km/h mit 0.8 mmol/l . Der zweite Bogen ist etwas weniger ausgeprägt. Er beginnt bei der 17 km/h Stufe, erreicht bei den folgenden Stufen zweimal 0.9 mmol/l und endet auf der Geschwindigkeit 26 km/h wieder bei 0.8 mmol/l .

Der Graph der Hündin Choice beginnt mit dem Ruhewert 1.4 mmol/l . Mit Beginn der Belastung nimmt dieser bis nach der 20 km/h Stufe ab. Dort erreichte Choice ihren Minimalwert von 0.6 mmol/l . Nach der folgenden Stufe stieg der Graph rasant auf den Maximalwert 1.9 mmol/l an. Die Laktatkonzentration nahm mit der letzten Geschwindigkeit von 26 km/h wieder auf 1.2 mmol/l ab, wo der Graph endet.

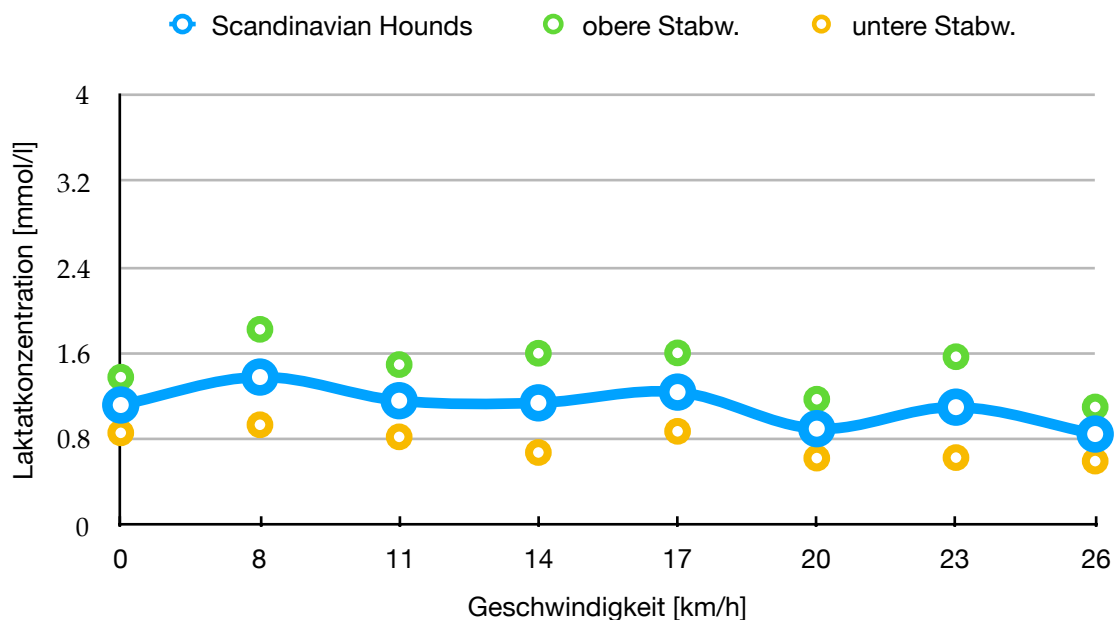
Savas Ruhewert betrug 1.3 mmol/l . In den ersten zwei Belastungsstufen nahm dieser auf 0.6 mmol/l ab. Ab der zweiten Stufe von 11 km/h verläuft der Graph in einem Bogen nach oben. Bei 17 km/h erreicht er sein Maximum mit 1.4 mmol/l . Die zwei Endstufen zeigen nochmals eine Abnahme der Laktatkonzentration, welche nach der 23 km/h Stufe bei 0.7 mmol/l endete.

0.8 mmol/l betrug die Ruhelaktatkonzentration von Liska. Ihr Laktatwert nahm mit startender Belastung deutlich zu. Nach der Geschwindigkeit 8 km/h mass ich bei ihr eine Konzentration von 2.1 mmol/l. Bei der nächsten Stufe ist wieder eine Abnahme des Graphen zu sehen. Der Wert nahm in der folgenden Stufe nochmals auf 1.8 mmol/l zu. Im weiteren Verlauf des Graphen ist eine deutliche Abnahme der Laktatkonzentration zu sehen, welche nach 26 km/h mit 0.8 mmol/l aufhört. Dies ist die gleiche Konzentration, die ihr Ruhewert aufzeigte.

Beim Vergleichen aller fünf Graphen fällt auf, dass bei allen Hunden in der jeweiligen Endstufe die Laktatkonzentration gesunken ist. Die Endkonzentration lag bei vier Hunden zwischen 0.6 mmol/l und 0.8 mmol/l, ein Hund hatte eine etwas höhere Konzentration von 1.2 mmol/l.

Die Laktatkonzentrationen des Ruhewerts und der Geschwindigkeit 26 km/h lagen jeweils am nächsten beieinander, denn die Standardabweichung beträgt bei beiden Stufen 0.25 mmol/l.

Weitere Zusammenhänge sind nicht ersichtlich.

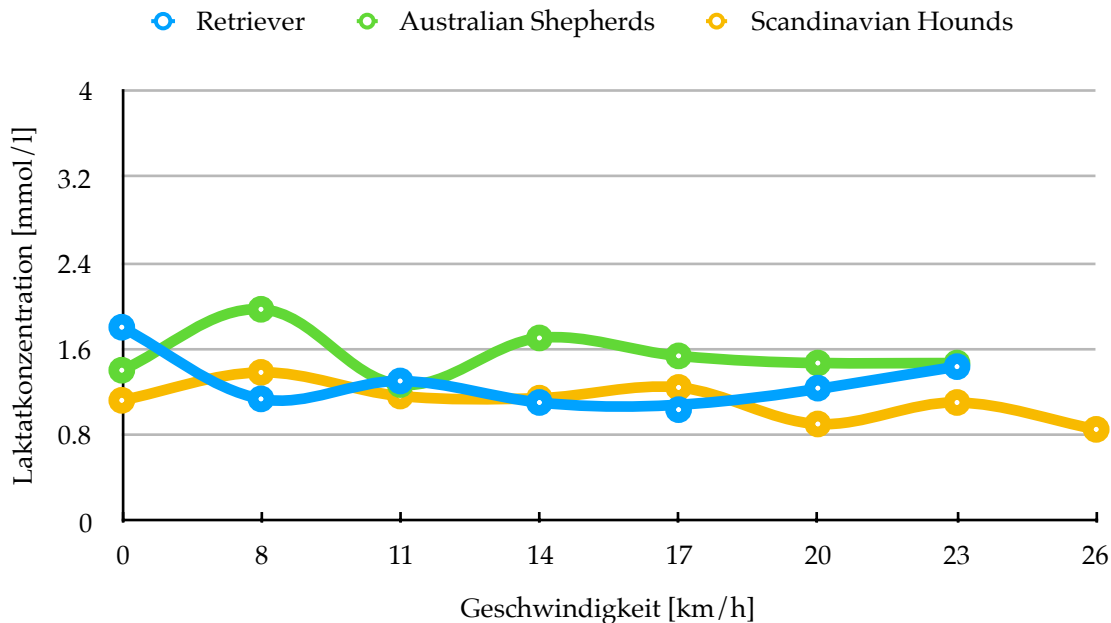


Diagr. 7: Mittlere Laktatkurve der Scandinavian Hounds mit unterer und oberer Standardabweichung der einzelnen Werte

Der mittlere Graph der Scandinavian Hounds verläuft sehr konstant um 1.12 mmol/l herum. Dies ist der Mittelwert aller gemessenen Werte der Hounds. Die Standardabweichung dieses Wertes beträgt 0.37 mmol/l.

Der Graph weist keine grossen Auffälligkeiten auf. Allerdings ist bei der letzten Stufe ein leichter Abstieg der mittleren Konzentration zu sehen, wie es bei den einzelnen Graphen der Hunde auch der Fall ist.

6.2.4 Vergleich aller drei Rassen



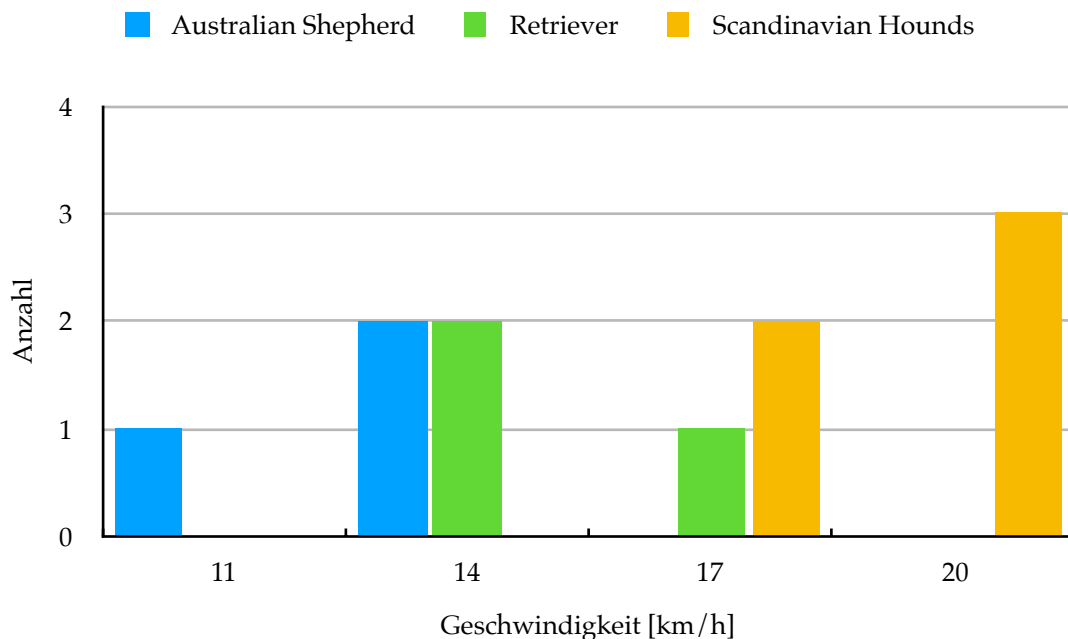
Diagr. 8: Mittlere Laktatkurven der drei Rassen

Zwischen dem Graphen der Australian Shepherds und demjenigen der Scandinavian Hounds ist zu Beginn eine Ähnlichkeit zu erkennen. Bei beiden Graphen besteht eine Konzentrationszunahme nach der ersten Stufe gegenüber dem Ruhewert. Diese nimmt mit der folgenden Stufe von 11 *km/h* wieder ab. Dies ergibt einen nach oben verlaufenden Bogen, welcher allerdings bei dem Graphen der Australian Shepherds stärker ausgeprägt ist. Auch der Graph der Retriever macht einen Bogen, dieser zeigt jedoch nach unten. Am Ende dieser Bogen, bei der 11 *km/h* Stufe fällt auf, dass die mittleren Graphen an dieser Stelle am nächsten beieinander liegen. Sie bewegen sich zwischen 1.16 *mmol/l* und 1.3 *mmol/l*. Das macht einen Bereich von lediglich 0.14 *mmol/l* aus, in dem die Mittelwerte liegen. Bei allen anderen Stufen liegen die Werte weiter auseinander.

Im weiteren Verlauf ist zu sehen, dass der durchschnittliche Laktatwert der Australian Shepherds ansteigt. Danach nimmt die Konzentration wieder etwas ab. Die beiden anderen Graphen liegen tiefer und bewegen sich in einem ähnlichen Bereich. Dabei hat der Graph der Scandinavian Hounds eine sinkende Tendenz, derjenige der Retriever steigt eher an. Dieser nähert sich stark der Laktatkonzentration der Australian Shepherds an. So ist zu sehen, dass die beiden Graphen der Flat Coated Retriever und Australian Shepherds bei einer sehr ähnlichen Laktatkonzentration enden. Diese befinden sich bei 1.43 *mmol/l* und 1.46 *mmol/l*. Sie sind höher als der Wert der Hounds zu diesem Zeitpunkt des Versuchs. Da fast alle Hounds die Stufenhöhe von 26 *km/h* erreichten, geht ihr Graph eine Stufe höher als die der anderen Rassen. Durch diese Stufe senkte sich die durchschnittliche Laktatkonzentration der Scandinavian Hounds nochmals ab. Sie ist mit 0.85 *mmol/l* deutlich tiefer als die Endwerte der anderen Rassen. Es ist sogar der tiefste Durchschnittswert der Hounds.

Gesamthaf betrachtet liegt der Graph der Australian Shepherds am höchsten. Auch der Mittelwert aller gemessenen Werte ist mit 1.52 mmol/l der höchste Rassendurchschnitt. Die daraus berechnete Standardabweichung beträgt 0.58 mmol/l und ist ebenfalls die höchste unter den drei Rassen. Gefolgt in der Höhe des Mittelwerts aller gemessenen Konzentrationen, liegen die Retriever zwischen den der Australian Shepherds und den der Scandinavian Hounds. Ihr Mittelwert liegt bei 1.34 mmol/l mit der Standardabweichung von 0.43 mmol/l . Den niedrigsten Mittelwert erreichen die Scandinavian Hounds. Er liegt bei 1.12 mmol/l und hat 0.37 mmol/l als Standardabweichung.

6.2.6 Geschwindigkeit des Wechsels in den Galopp



Diagr. 9: Verteilung der Geschwindigkeiten des Wechsels in den Galopp

Die Geschwindigkeiten, bei welchen die Hunde in den Galopp wechselten, sind wie folgt verteilt:

Der Mini Australian Shepherd Finja, welcher den höchsten Graph aller Hunde besitzt, wechselte als einzige schon bei 11 km/h in den Galopp. Die anderen zwei Australian Shepherds fingen bei der folgenden Geschwindigkeitsstufe von 14 km/h an zu galoppieren.

Auch bei zwei Retrievern erfolgte der Galoppwechsel bei dieser Stufe. Milou galoppierte bei 17 km/h .

Die Galoppgeschwindigkeiten der Hounds sind etwas anders verteilt. So galoppierte Liska schon bei 14 km/h . Das allerdings nur, weil sie am Fahrrad sehr fordernd ist und gerne schneller laufen würde. Bei der Stufe von 17 km/h lief sie nochmals im Trab, weshalb dies ihre effektive Geschwindigkeit für den Wechsel in den Galopp ist. Auch Choice rannte ab 17 km/h im Galopp. Die restlichen drei Hounds trabten bis zur Geschwindigkeit 20 km/h . Ab diesem Tempo wechselten auch sie in den Galopp.

Trotz der intensiveren Gangart, kann kein direkter Einfluss auf die individuellen Graphen der Hunde festgestellt werden. Es kann keine Konzentrationsabnahme oder -zunahme beobachtet werden, welche sich durch alle Graphen zieht.

6.3 Trainings

Tab. 1: Mittelwerte der einzelnen Trainings

Training	Mittelwert [mmol/l]	Standardabweichung
1	4.25	1.47
2	2.45	0.62
3	3.51	0.75
4	2.90	0.67
5	3.50	1.54

Vergleicht man die Mittelwerte der einzelnen Trainings miteinander und beachtet deren Umstände, sind Abhängigkeiten erkennbar. In den Mittelwerten sind die Werte von Liska nicht enthalten, da sie mehr als doppelt so hohe Werte wie die anderen Hounds aufwies. Sie war nicht bei allen gemessenen Trainings dabei, weshalb sie die Mittelwerte der Trainings, bei welchen sie anwesend war, zu sehr beeinflussen würde.

Training eins und zwei erfolgten über die exakt gleiche Trainingsstrecke von 6 km in einem steilen Gelände. Allerdings wurden dazwischen unterschiedlich lange Pausen eingelegt. Während des ersten Trainings dauerte die Pause drei Minuten und die Hunde wurden dabei nicht ausgespannt. Dies war die kürzeste Pause, die während allen gemessenen Trainings durchgeführt wurde. Zugleich hielt ich bei diesem Training die höchste durchschnittliche Laktatkonzentration fest, welche 4.25 mmol/l betrug. Die Pause des zweiten Trainings dauerte zehn Minuten, die Hunde wurden dabei ausgespannt und konnten sich frei bewegen. Bei diesem Training ermittelte ich die tiefste mittlere Laktatkonzentration von 2.47 mmol/l.

Auch Training drei und fünf verfügten über die gleiche Streckenlänge, nämlich 9 km. Allerdings fanden sie in unterschiedlichem Gelände statt. Das dritte Training erfolgte in flachem Gelände, das fünfte in der gleichen steilen Umgebung wie die ersten beiden Trainings. Auch unterschieden sich die Pausen. Diejenige des fünften Trainings dauerte fünf Minuten und die Hunde wurden nicht ausgespannt. Die Pause des dritten Trainings, welches im Flachen verlief, dauerte sieben Minuten und zusätzlich konnten sich die Hunde im Fluss abkühlen, welcher sich direkt neben der Trainingsstrecke befand. Trotz dieser Unterschiede ermittelte ich bei beiden Trainings den gleichen Mittelwert von 3.5 mmol/l.

Das vierte Training war für die Hunde am anstrengendsten, denn es verlief über die längste Strecke mit 11 km und fand im steilen Gelände statt. Ausserdem lag die Temperatur im Wald aufgrund eines warmen Föhns bei ca. 13°C, was sich deutlich wärmer anfühlte als die vorhergehenden Trainings. Aber die Hunde hatten bei diesem Training mit 15 Minuten die längste Pause überhaupt. Der Mittelwert lag bei diesem Training bei 2.9 mmol/l und somit am zweitiefsten.

Grössere Unterschiede sind zwischen den Mittelwerten der einzelnen Hunde sichtbar. Diese wurden aus allen gemessenen Werten der Trainings von jedem Hund gebildet. Diese Mittelwerte liegen zwischen 2.42 mmol/l und 9.53 mmol/l. Der niedrigste Durchschnitt stammt von Smilla, die mit zehn Jahren die älteste Hündin ist. Auch die jüngste Hündin Choice, welche zweijährig ist, liegt eher tiefer in ihrem Mittelwert. Er beträgt 2.7 mmol/l. Doch sie bewegt sich wie die meisten Hounds im Bereich von ungefähr 3 mmol/l.

Auch die drei Schwestern Lia, Oya und Tinka liegen mit ihrem Durchschnitt ungefähr in diesem Bereich. Allerdings heben sie sich nicht durch eine spezielle Gemeinsamkeit von den anderen Hunden ab. Denn Malik erreichte exakt den gleichen Mittelwert wie Oya mit 2.88 *mmol/l*.

Von der Konzentration um ungefähr 3 *mmol/l* gibt es auch zwei Ausreisser. Die Tante der erwähnten Geschwister erreichte in einem Training 6.9 *mmol/l* und hat auch einen im Vergleich zu den anderen erhöhten Durchschnitt. Dieser beträgt 5.02 *mmol/l*. Die absolut höchsten Werte nach den Trainings stammen von Liska. Sie bewegte sich zwischen 7.0 *mmol/l* und 10.9 *mmol/l* und erreichte so im Vergleich zu den anderen Hunden den extrem hohen Mittelwert von 9.53 *mmol/l*.

Die zwei zuletzt genannten Hunde hatten aber keinen erhöhten Ruhewert. Ihre lagen wie diejenigen aller Hunde um 1 *mmol/l* herum.

7. Diskussion

7.1 Versuche

Meine Leitfrage lautet: Wie gross ist der Unterschied der Laktatschwelle zwischen trainierten Scandinavian Hounds und untrainierten Hunden anderer Rassen?

Diese Fragestellung konnte ich mit meinem Versuch leider nicht beantworten. Denn es war mir nicht möglich, die Laktatschwellen der Hunde zu ermitteln.

Da die Laktatproduktion entscheidend für die Schnelligkeits- und Kraftausdauer ist, schliesse ich darauf, dass diese bei den Wagen Trainings der Hounds stärker gefordert wurden. Denn sie liefen im Training mit den durchschnittliche 23 *km/h* so schnell, wie die Geschwindigkeit der maximalen Stufe war, die ich mit allen Hunden im Mehrstufentest erreichen konnte. Zu diesem hohen Tempo kommt ausserdem ein Gewicht von über 200*kg*, welches die Hounds zogen.

Darum schliesse ich darauf, dass während des Mehrstufentests diese Ausdauerfaktoren zu gering beansprucht wurden. Das heisst, die Intensität der Muskelarbeit der einzelnen Stufen zu gering war, damit bei den Hunden eine vermehrt anaerobe Energiebereitstellung herrschte. Vermutlich wurde während des Mehrstufentests eher die Schnelligkeitsausdauer gebraucht, wobei diese wahrscheinlich nicht zu sehr gefragt wurde. Die Muskelausdauer wurde vermutlich zu einem noch geringeren Teil beansprucht; lediglich für die Bewegung. Der Grund für diese geringen Beanspruchungen könnte in der Natur der Hunde liegen. Sie stammen von den Wölfen ab, welche extreme Langstreckenläufer sind. Auch Hunde können mühelos viel weitere Strecken und vor allem in einem viel höheren Tempo als der Mensch zurücklegen. Dieser Grund führt dazu, dass dieser Mehstufentest bei Hunden nicht aussagekräftig ist, bzw. nicht zu den gewünschten Ergebnissen wie beim Menschen führt.

Durch diese Beobachtungen und Folgerungen kann die Aussage von K. Moosberger (2009) bestätigen. Er schreibt „die Milchsäuregärung ist für die Kraftausdauer und Schnelligkeitsausdauer entscheidend und stellt die nötige Energie für eine sehr intensive, maximal mögliche Leistung zur Verfügung.“

Auch bietet sich Grund zur Annahme, dass vor allem die Muskelkraft den Laktatwert der Hunde steigert. Der Hund Solo rannte bei den Wagen Trainings frei mit und erreichte nie eine Konzentration über 2 *mmol/l*. Das obwohl er ebenfalls durchschnittlich 23 *km/h* rannte. Aber er bestritt diese ohne die hohe muskuläre Belastung durch das Ziehen des Trainingswagens.

Dadurch, dass ich die Geschwindigkeit nur kontrollieren konnte, sie aber nicht durch ein System vorgegeben wurde, waren natürlich die am Fahrrad zurückgelegten Geschwindigkeiten nicht exakt und schwankten immer mit etwa 0.5 *km/h* um die eigentliche Geschwindigkeit der einzelnen Stufen.

Um eine exakte Geschwindigkeit der Hunde zu erreichen, wäre eine Möglichkeit, sie auf einem Laufband rennen zu lassen. Die Hunde müssten aber erst an ein solches gewöhnt werden. Das wäre mit einem grösseren Aufwand verbunden. Aber aus diesen Gründen und der Tatsache, dass dieser Test bei Hunden wenig aussagekräftig ist, müssten andere Versuchsanordnungen gefunden werden.

Wie schon beschrieben, denke ich, dass das freie Mitlaufen am Fahrrad für die Hunde keine ausreichende Belastung ist, damit die anaerobe lactacide Energiebereitstellung bei den Hunden voll beansprucht wird. Um diese besser auszunützen, indem vor allem die Muskelkraft mehr beansprucht wird, wäre auch denkbar, den Versuch durchzuführen während die Hunde einzeln vor das Fahrrad gespannt werden und ziehen.

Doch auch dieser Test bringt Nachteile mit sich. Denn die „Familienhunde“ müssten zuerst daran gewöhnt werden, am Fahrrad zu ziehen und das tun nicht alle gerne. Ausserdem würde dann der Vergleich zwischen untrainierten Familienhunden und trainierten Schlittenhunden fehlen. Denn es ist nicht auszuschliessen, dass die Hunde beim Antrainieren um das Fahrrad zu ziehen, schon einen gewissen Trainingseffekt erfahren.

Ein anderer Punkt ist, dass man den Test mit niedrigen Geschwindigkeiten starten sollte (Coen, 1997). Dabei können die Hunde ihre Motivation zu ziehen verlieren und erst bei höheren Geschwindigkeiten anfangen zu ziehen. Dadurch wäre das Resultat der einzelnen Werte, vor allem bei den tieferen Stufen, deutlich beeinflusst. Und es ist sehr schwer einen übermotivierten Hund, der Vollgas geben und ziehen will, abzubremesen.

Eine Möglichkeit, um so einen Mehrstufentest bei Scandinavian Hounds durchzuführen wäre, das Gewicht, welches sie am besten einzeln ziehen, nach und nach zu erhöhen und dabei das gebildete Laktat zu messen. Vielleicht könnte so die Laktatschwelle ermittelt werden.

Ich vermute, dass die oben beschriebenen Unterschiede der Graphen der drei Rassen nicht sehr relevant sind und sich Unterschiede erst bei höheren Intensitäten und damit verbundenen Laktatkonzentrationen zeigen würden. Denn wäre die Laktatschwelle der Hunde mit einem Mehrstufentest bestimmbar, ergäbe sich folglich vermutlich eine höhere Skala der Laktatkonzentration wie beim Menschen. In diesem Fall wären die Schwankungen der Graphen nicht mehr stark sichtbar. Denn der gemessene Bereich der Hounds würde in die Anfangsphase der Belastungen fallen und würde durch die höhere Skala relativ austariert.

7.2 Ruhewerte

Der von mir definierte Normalbereich entspricht tatsächlich meinen Erwartungen. Ich ging davon aus, dass alle Hunde relativ ähnliche Ruhewerte um 1 mmol/l herum haben. Auch rechnete ich mit Abweichungen von diesem Bereich. Allerdings bin ich davon ausgegangen, dass die trainierten Hounds die niedrigsten Ruhewerte hätten. Die höchsten Ruhewerte, bzw. allgemein alle Werte, erwartete ich tatsächlich bei den Retrievern. Allerdings rechnete ich nicht mit so grossen Abweichungen der Ruhewerte über 2 mmol/l .

Den sehr niedrigen Ruhewert von 0.6 mmol/l des Australian Shepherds Lani ist schwer erklärbar. Sie macht Agility. Dieser Hundesport ist vergleichbar mit dem Hürdenlaufen beim Menschen. Dabei ist der Hund ebenfalls am sprinten. Ich vermute, dass sich bei trainierten Sportlern die Laktatproduktion ähnlich verhält, wie der Ruhepuls. Dieser ist umso tiefer, je länger die Belastungszeit und die Distanz ist. Das heisst, mit seltenen Ausnahmen haben Ausdauerläufer die tiefsten Ruhepulse (Von Bracht, 2016). Darum müssten die Scandinavian Hounds die tiefsten Ruhewerte des Laktats erreichen. Denn sie sind ausdauernde Langstreckenläufer und der Australian Shepherd eine Sprinterin.

Nun kann es Zufalls sein, dass sie den tiefsten Ruhewert hatte, denn es wurde auch nur einmal gemessen. Vielleicht hätte sie bei mehreren Messungen des Ruhewerts an unterschiedlichen Tagen einen höheren Wert. Vielleicht sind aber auch die Unterschiede der Lauftypen zwischen den Australian Shepherd und den Scandinavian Hounds zu gering, da sie durch die Abstammung vom Wolf beide Ausdauerläufer sind.

Auch denkbar ist, dass sich der Laktatwert vor allem in Ruhe nicht so verhält wie der Ruhepuls. Oder die Laktatkonzentration verhält sich tatsächlich wie der Puls allerdings nur bei Menschen. Vielleicht ist dies nicht auf Hunde übertragbar.

Die hohen Ruhewerte über 2 mmol/l lassen sich mit der Theorie erklären. Mehrere Wissenschaftler stellten fest, dass bei Menschen die Laktatkonzentration im Blut vor Wettkämpfen ansteigt. Und das obwohl keine intensive physische Belastung des Körpers stattfand. Dieser Umstand wurde auf einen erhöhten Katecholaminspiegel zurückgeführt. Denn Katecholamine werden bei psychischer Belastung ausgeschüttet. Sie aktivieren die Glykolyse, was einen Anstieg des Laktatspiegels bewirkt. Besonders die Hunde, die einen erhöhten Ruhewert hatten, waren vor dem Versuch sehr aufgeregt und damit vermutlich einer erhöhten psychischen Belastung ausgesetzt, welche die Laktatkonzentration beeinflusst haben könnte.

7.3 Galoppgeschwindigkeiten

Die unterschiedlichen Geschwindigkeiten, bei welchen die Hunde in den Galopp gewechselt sind, können verschiedene Gründe haben. Ein denkbarer Grund ist die Körpergrösse und die damit verbundene Länge der Beine. Der Mini Australian Shepherd, welcher der kleinste Hund in meinem Versuch war, galoppierte von allen Hunden bei der niedrigsten Geschwindigkeit. Hingegen der grösste Hund des Versuchs, der Flat Coated Retriever Milou, wechselte erst bei 6 km/h schneller in den Galopp.

Am Besten lassen sich die Galoppgeschwindigkeiten mit den Gangtypen der einzelnen Rassen erklären. Das längste Durchhaltevermögen im Trab, welches die Scandinavian Hounds erbrachten, ist auf ihre ursprüngliche Verwendung als Laufhunde zurückzuführen. Das sind Jagdhunde, welche Wild über weite Strecken verfolgen. Um diese zu bewältigen wurden sie dazu gezüchtet mit wenig Energie so schnell und weit zu kommen wie möglich. Das wurde durch eine grossen Schrittlänge erreicht, die es den Scandinavian Hounds ermöglicht auch bei höheren Geschwindigkeiten im Trab zu bleiben, bei welchen andere Rassen schon längst galoppieren. Denn der Trab ist eine sehr energiesparende Gangart. Das ist vor allem bei den Hounds so, da die Bewegung des Körpers im Vergleich zu den Beinen minimal ist (Coppinger et al., 2001).

Aufgrund meines langjährigen Interesses an Hunden weiss ich, dass die Australien Shepherd ursprünglich dafür gezüchtet sind Vieh zusammen mit dem Menschen zu hüten. Dabei müssen sie sehr schnell beschleunigen um aus der Herde ausbrechenden Tieren den Weg abzuschneiden. Das heisst sie müssen schon bei geringen Geschwindigkeiten in den Galopp wechseln, um so schnell wie möglich auf höhere Geschwindigkeiten zu kommen.

Die Ansprüche der Retriever liegen zwischen den anderen beiden Rassen. Ursprünglich gezüchtet, um erlegte Beute zu apportieren, legen sie grössere Distanzen wie die die Australian Shepherds zurück. Jedoch müssen sie nicht so lange und vor energiesparend wie die Hounds Distanzen überwinden.

7.4 Trainings

Die bei den Trainings festgestellten Zusammenhänge lassen darauf schliessen, dass die Distanz vor allem im Zusammenhang mit der Pausenlänge einen Einfluss auf die Laktatkonzentration hat. Allerdings wies das letzte gemessene Training einen tieferen Mittelwert als das erste Training auf. Das, obwohl es über eine längere Distanz verlief und die Pause nur geringfügig länger war. Ausserdem ermittelte ich bei diesem die gleiche mittlere Laktatkonzentration wie bei einem Training, welches bei der gleichen Distanz im flachen verlief und mit der Abkühlung im Wasser eine erholsamere Pause für die Hunde bot. Darum vermute ich, dass bei diesem letzten Training schon ein gewisser Trainingseffekt zu sehen ist. Auch erfolgten zwischen den gemessenen Trainings zum Teil nichtgemessene, welchen ziemlich sicher den Trainingseffekt verstärkten.

Um diese Zusammenhänge der Trainings zu verallgemeinern sind mehr Messungen von Nöten.

Auch die zum Teil hohen individuellen Unterschiede zwischen den Hunden lassen mehrere Annahmen zu. Der tiefste Durchschnittswert stammt von Smilla und ist anhand ihres Einsatzes erklärbar. Da sie schon zehn Jahre alt ist, kann vom Trainingswagen aus beobachtet werden, dass sie vor allem am Ende der Strecke nicht mehr alles gibt. Das äussert sich in der Zugleine, welche an ihrem Geschirr befestigt ist. Diese ist dann nicht mehr voll unter Zug. Nach den Trainings ist Smilla immer sehr fit.

Auch Savas, im Vergleich zu den anderen Hounds, hoher Mittelwert ist anhand ihres Einsatzes gut erklärbar. Denn in den Pausen und vor allem unmittelbar nach den Trainings ist sie sehr erschöpft, weil sie dazu neigt, sich zu überanstrengen.

Liska, die die höchsten Werte erreichte, ist ebenfalls ein Hund, der sich wie alle gut vor dem Trainingswagen und Schlitten einsetzt. Aber dennoch ist sie in den Pausen und nach den Trainings immer sehr fit und rennt herum. Das lässt darauf schliessen, dass vielleicht die Genetik eine Rolle spielt.

Auch die Werte der zweijährigen Hündin Choice geben Anlass zu dieser Vermutung. Ihr Mittelwert ist der zweit tiefste. Sie strengt sich eingespannt sehr an, doch sobald sie ausgespannt wird, ist sie top fit.

Aufgrund dieser Beobachtungen kann ich die Feststellung von Davis et al. (1983) bestätigen. Wie in der Theorie beschrieben, konnten sie zeigen, dass gleiche Laktatkonzentrationen bei unterschiedlichen Individuen nicht die gleiche metabolische Situation erfordert. Die Hündin Liska war bei der sehr hohen Konzentration von 10.9 mmol/l immer noch sehr fit. Hingegen war Sava schon bei einem Wert von 6 mmol/l an ihrer Grenze. Auch Tinka, die durchschnittlich einen Wert von 3.25 mmol/l erreichte, war nach den Trainings immer sehr erschöpft.

8. Schlusswort

Ich hatte nicht damit gerechnet, dass das erste Messgerät eine zu grosse Menge Blut benötigte, die ich nicht aus den Ohren der Hunde gewinnen konnte. Dies herauszufinden kostete mich leider zu viel Zeit, die ich besser dafür hätte verwenden können, einen anderen Versuch aufzustellen, der aussagekräftigere Werte lieferte.

Spannend zu sehen war auch, wie gelassen oder empfindlich die Hunde auf das Stechen reagierten. Dabei gab es grosse Differenzen. Dennoch haben alle Hunde gut mitgemacht.

Während der Versuche wurde mir bewusst, dass ich die Laktatschwelle der Hunde nicht ermitteln konnte, wie ich es geplant hatte.

Im Vorfeld hatte ich erwartet, dass die Scandinavian Hounds deutlich tiefere Werte erreichen würden als anderen Rassen. Ich erkannte, dass im Belastungsbereich des Tests die messbare Leistung der Hunde keine starke Abweichung aufwies. Das bestätigte mir, dass Hunde zu grösseren Ausdauerleistungen fähig sind als der Mensch.

Da mich dieses Thema sehr fasziniert, werde ich mich weiterhin damit befassen. Besonders im Bereich der Trainings mit den Schlittenhunden werde ich privat weiterhin Messungen durchführen. Dabei werde ich Hunde aus einem zweiten Rudel miteinbeziehen, was leider zeitlich nicht mehr in die Arbeit passte, da die Trainings Ende September begannen und die Arbeit Anfangs November abgegeben werden musste. In diesem Rudel befinden sich unter anderem Verwandte der in der Arbeit miteinbezogenen Schlittenhunde. So werde ich weiter untersuchen, ob Gemeinsamkeiten in den Laktatwerten von genetisch Verwandten Hunden zu finden sind. Des Weiteren werde ich Messungen bei Schlittentrainings im Schnee durchführen, um zu sehen, ob sich die Werte von den Wagentrainings unterscheiden.

9. Glossar

ADP	Adenosindiphosphat
ATP	Adenosintri-phosphat
C	Kohlenstoff
°C	Grad Celsius
e ⁻	Elektron
FAD	Flavin-adenin-dinukleotid
GDP	Guanosindiphosphat
GTP	Guanosintri-phosphat
H	Wasserstoff
H ⁺	Wasserstoffproton
IE	Internationale Einheit für Enzyme
kg	Kilogramm
Kr	Kreatin
KrP	Kreatinphosphat
km/h	Kilometer pro Stunde
mmol/l	Millimol pro Liter
NAD	Nikotinamid-adenin-dinukleotid
ng	Nanogramm
μg	Mikrogramm
μl	Mikroliter
O ₂	Sauerstoffmolekül
P	Phosphat
s	Sekunde

10. Literaturverzeichnis

„admin“ (2016). Was ist Muskelausdauer?

<https://de.myprotein.com/thezone/training/was-ist-muskelausdauer-ganzkoerper-work-out/> (01.11.2017)

„arkray“ (2015). Gebrauchsanweisung; Lactate Pro 2 Test Strips.

Biedermann, A. (2010). Zellatmung im Überblick.

<https://www.lernhelfer.de/schuelerlexikon/biologie-abitur/artikel/zellatmung-im-ueberblick> (11.10.2017)

Clasing, D., Weicker, H. und Böning, D. (Hrsg.) (1994). Stellenwert der Laktatbestimmung in der Leistungsdiagnostik. Gustav Fischer Verlag. Stuttgart.

Coen, B. (1997). Individuelle anaerobe Schwelle. Sport und Buch Strauss GmbH. Köln.

Coppinger, R. und Coppinger, L. (2001). Dogs. A Startling New Understanding of Canine Origin, Behavior and Evolution. Scribner.

Corel Photos Inc. (2010). Citratzyklus.

<https://www.lernhelfer.de/schuelerlexikon/biologie-abitur/artikel/citratzyklus> (11.10.2017)

Deutsch, J. S. (2003). Bestimmung der Laktatkonzentration in Plasma und Vollblut.

<https://d-nb.info/968508359/34> (25.10.2017)

Dober, R. (2017). Bedeutung des Energiestoffwechsels bei Ausdauerleistungen.

<http://www.sportunterricht.de/lksport/atp.html> (26.9.2017)

Fraude, O. und Meyer T. (2008). Methodische Aspekte der Laktatbestimmung.

http://www.zeitschrift-sportmedizin.de/fileadmin/content/archiv2008/heft12/uebersicht_faude_12_2008.pdf (29.10.2017)

Haefelfinger, D.: nach Linder (2015). Dossier: Dissimilation (Energiegewinnung).

Heck, H. und Vrebac, S. (2009). Variabilität der Laktat-Leistungskurve beim Laufbandstufentest. In: Hollmann, W. (Hrsg.). Ausgewählte Kapitel der Sportmedizin. Academia Verlag. Sankt Augustin.

Helmich, U. (2016). Was ist das Ziel des Citratzyklus?

<http://www.citratzyklus.de> (11.10.2017)

Helmich, U. (2016). Citratzyklus, Übersicht.

<http://www.u-helmich.de/bio/stoffwechsel/reihe3/2-Citratzyklus/Citrat-1.html> (11.10.2017)

Helmich, U. (2016). Die Atmungskette.

<http://www.u-helmich.de/bio/stoffwechsel/reihe3/3-Atmungskette/atmungskette-1.html> (12.10.2017)

- Helmich, U. (2017). Gärungen.
<http://www.u-helmich.de/bio/stoffwechsel/reihe3/1-Glycolyse/Gaerungen.html>
 (13.10.2017)
- Hönscher, C. (2016). Milchsäuregärung.
<http://flexikon.doccheck.com/de/Milchsäuregärung> (13.10.2017)
- Koops, M. (2010). Adenosintriphosphat.
<http://www.biologie-lexikon.de/lexikon/atp.php> (11.10.2017)
- Koy, M., Hermes, M., Nordholz, B., Stopp, P., Ostroumov, D., Guretzki, S. und Van der Wall, D. (2006). Übersicht über die Atmungskette.
<http://www3.hhu.de/biodidaktik/Zellatmung/dateien/atmung.html> (12.10.2017)
- Kubb, C. (überarbeitete Fassung, 2017). Milchsäuregärung.
<http://www.biologie-schule.de/milchsaeuregaerung.php> (13.10.2017)
- Küstner, B. (2014). Kreatinphosphat als Speicher bestimmter Zellen.
<http://www.kreatinin.net/kreatinphosphat.html> (26.9.2017)
- Löbert, V. (2003). Etablierung von Laktat- und Pyruvatmessung im Plasma und Liquor cerebrospinalis zur Diagnostik von mitochondrialen Erkrankungen beim Hund.
http://elib.tiho-hannover.de/dissertations/loebertv_2003.pdf (30.10.2017)
- Moosburger, K. A. (1994, zuletzt überarbeitet 2009). Die Muskuläre Energiebereitstellung im Sport.
<http://www.dr-moosburger.at/pub/pub023.pdf> (28.9.2017)
- Müller, T. (überarbeitete Fassung, 2017). Energiebereitstellung.
https://de.wikipedia.org/wiki/Energiebereitstellung#Adenosintriphosphat_.28ATP.29
 (27.9.2017)
- Müller, W. und Frings, S. (2004). Tier- und Humanphysiologie. Springer-Verlag. Berlin Heidelberg.
- Nicolay, N. (2004). Creatinkinase.
<http://flexikon.doccheck.com/de/Creatinkinase> (26.9.2017)
- Nicolay, N. (2004). Laktat.
<http://flexikon.doccheck.com/de/Laktat> (21.10.2017)
- Robergs, R. A. und Amann, M. (2003) Belastungsbedingte metabolische Azidose: Woher kommen die Protonen?. österreichisches Journal für Sportmedizin. Band 3/2003.
<http://biochemie-crashkurs.de/wp-content/uploads/2014/08/Muskelkater-Protonen.pdf>
 (30.10.2017)
- Röcker, K. (2013). Die sportmedizinische Laktatdiagnostik: Technische Rahmenbedingungen und Einsatzbereiche.
http://www.zeitschrift-sportmedizin.de/fileadmin/content/archiv2013/Heft_12/22_standard_roecker.pdf (9.10.2017)

Rupe, O., Heinemann, K., Lenk, H., Lotz, F. und Weicker, H. (Hrsg.) (1990). Laktat in der Leistungsdiagnostik. Verlag Karl Hofmann. Schorndorf.

Sauermost, R. und Freudig, D. (Redaktion) (1999). Redoxpotential.
<http://www.spektrum.de/lexikon/biologie/redoxpotential/55952> (13.10.2017)

Vassiliadis, A. (1999). Zur Methodik der Ausdauerdiagnostik beim Mittel- und Langstreckenlauf. Sport & Buch Strauss. Köln.

Von Bracht, T. (2016). Ruhepuls: Wann ist er zu hoch?
<http://www.onmeda.de/anatomie/ruhepuls.html> (02.11.2017)

Wahl, P., Bloch, W. und Mester, J. (2009). Moderne Betrachtungsweise des Laktats: Laktat ein überschätztes und zugleich unterschätztes Molekül. Schweizerische Zeitschrift für „Sportmedizin und Sporttraumatologie“. Band 57/3. Seiten 100-107.
https://www.sgsm.ch/fileadmin/user_upload/Zeitschrift/57-2009-3/Lactate_3-09_-_Wahl.pdf (30.10.2017)

Weber, U. (Hrsg.) (2009). Biologie Oberstufe, Gesamtband. Cornelsen Verlag. Berlin.

„Werto UG“ (2010). Die Schnelligkeitsausdauer.
<http://www.food-fitness.de/Wissen/Schnelligkeitsausdauer> (01.11.2017)

Wikipedia (überarbeitete Fassung, 2017). Milchsäuregärung.
<https://de.wikipedia.org/wiki/Milchsäuregärung> (13.10.2017)

Wikipedia (überarbeitete Fassung, 2017). Lactate.
https://de.wikipedia.org/wiki/Lactate#cite_ref-wahl_2-1 (21.10.2017)

11. Abbildungsverzeichnis

Titelbild

Abb. 1: Die Autorin

Hauptteil

Abb. 2: Die Autorin

Abb. 3: Hungerbühler, J.

Abb. 4: <https://de.wikipedia.org/wiki/Energiebereitstellung>

Abb. 5: <https://de.wikipedia.org/wiki/Adenosintriphosphat>

Abb. 6: <https://de.wikipedia.org/wiki/Lactate#/media/File:L-Lactat-Ion.svg>

Abb. 7: Coen, B. (1997). Individuelle anaerobe Schwelle. Sport und Buch Strauss GmbH. Köln. Seite 10

Abb. 8: Deutsch, J. S. (2003). Bestimmung der Laktatkonzentration in Plasma und Vollblut. <https://d-nb.info/968508359/34>. Seite 18

Abb. 9: Koller, M. mit der Autorin

Abb. 10: Koller, M. mit der Autorin

Abb. 11: Die Autorin

Abb. 12: Die Autorin

Abb. 13: Die Autorin

Diagr. 1: Die Autorin

Diagr. 2: Die Autorin

Diagr. 3: Die Autorin

Diagr. 4: Die Autorin

Diagr. 5: Die Autorin

Diagr. 6: Die Autorin

Diagr. 7: Die Autorin

Diagr. 8: Die Autorin

Diagr. 9: Die Autorin

Tab. 1: Die Autorin

Anhang

Abb. 14: Mair, J. in: Weber, U. (Hrsg.) (2009). Biologie Oberstufe, Gesamtband. Cornelsen Verlag. Berlin. Seite 104

Abb. 15: Hungerbühler, J. mit der Autorin

12. Anhang

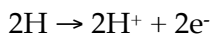
Zellatmung

Glykolyse

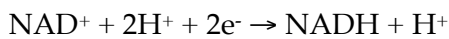
Das Zuckermolekül Glukose (Abb. 16) ist sehr energiereich allerdings auch reaktionsträge. Um es reaktionsfreudig zu machen, wird ihm bei der Phosphorylierung Phosphat angehängt (Helmich, 2016). Das Glukosemolekül, welches aus sechs C-Atomen besteht, wird nun in einer Reihe von Reaktionen zu zwei Moleküle Pyruvat (Abb. 14) gespalten. Das Pyruvat ist eine Essigsäure, welches aus drei C-Atomen besteht. Während dieser Reaktionen werden auch zwei ATP-Moleküle gebildet (Haefelfinger, 2015).



Während dieser Reaktionen geschieht auch noch etwas anderes. Wasserstoffatome H geben nämlich ihre Elektronen e^- ab und bleiben als positiv geladene H^+ Protonen zurück.



Nun nimmt das Coenzym NAD^+ die freien Elektronen auf. Es entsteht NADH und ein freies H^+ , welches an die Umgebung abgegeben wird (Helmich, 2016).



Das NADH ist nun sehr energiereich und transportiert die Elektronen in ein Mitochondrium. Dort wird aus dem NADH ATP hergestellt (siehe Atmungskette). Das Pyruvat gelangt ebenfalls in das Mitochondrium (Haefelfinger, 2016).

Citratzyklus

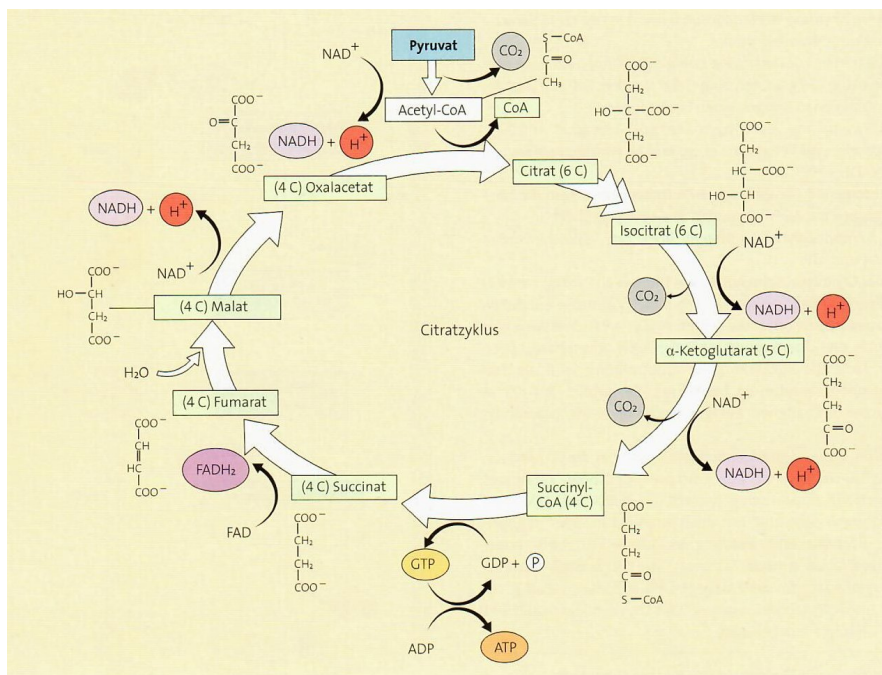


Abb. 14: Citratzyklus

Der Citratzyklus (Abb. 14) besteht aus vielen Einzelschritten und sorgt dafür, dass die chemisch an das Glukose gebundenen Wasserstoffatome H abgespalten werden. Sie werden dann an NAD^+ oder FAD gebunden und in der Atmungskette für die ATP-Bildung verwendet (Helmich, 2016).

Als erstes spaltet das zuvor gebildete Pyruvat ein C-Atom ab. Das abgespaltene C-Atom reagiert mit dem eingeatmeten Sauerstoff zu CO_2 (Helmich, 2016), welches das Blut wieder zurück in die Lunge transportiert, wo es dann ausgeatmet wird. Zurück bleibt das aus zwei C-Atomen bestehende Acetyl (Heafelfinger, 2015). Dieser Schritt gehört noch nicht zum eigentlichen Citratzyklus (Helmich, 2016).

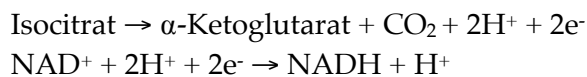


Das Acetyl bindet sich nun an das Coenzym A. Es entsteht Acetyl-CoA, welches sich mit einem neuen Acetyl-Molekül verbindet (Haefelfinger). Unter gleichzeitiger Abspaltung des Coenzym A verknüpft es sich weiter mit dem aus vier C-Atomen bestehenden Oxalacetat. Aus dieser Reaktion geht das Citrat hervor, welches aus sechs C-Atomen besteht und diesem Zyklus den Namen gibt (Weber, 2009).



Unter gleichzeitiger Abspaltung und Wiederaufnahme einer OH-Gruppe entsteht aus dem Citrat das Isomer Isocitrat (Corel Photos Inc., 2010).

Vom Isocitrat wird nun Kohlenstoffdioxid abgespalten (Helmich, 2016). Dabei werden auch zwei H^+ -Atome und zwei Elektronen abgespalten, die dann wie schon bei der Glykolyse von einem NAD^+ Teilchen aufgenommen werden (Corel Photos Inc., 2010). Aus dem Isocitrat wird das aus fünf C-Atomen bestehende α -Ketoglutarat (Weber, 2009).

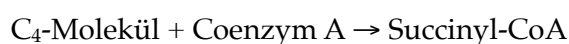


Mit dem α -Ketoglutarat geschieht nochmals das gleiche wie mit dem Isocitrat. Ein CO_2 Molekül wird abgespalten und H^+ Teilchen und Elektronen auf NAD^+ übertragen. Es bleibt ein C_4 -Molekül übrig (Corel Photos Inc., 2010).

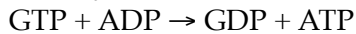
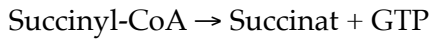


Durch all diese Schritte wurde das Kohlenstoffgerüst der Glucose komplett zu CO_2 umgesetzt (Weber, 2009). Denn bei der Glykolyse wurde das C_6 -Atom Glucose zu zwei C_3 -Atomen Pyruvat geteilt. Und von jedem Pyruvat-Molekül wurden im Citratzyklus bis zu diesem Punkt drei CO_2 Moleküle abgespalten. Aus jedem Glycosemolekül entstehen also sechs CO_2 Moleküle (Helmich, 2016).

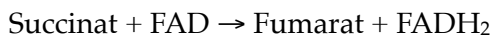
Das noch übrige C_4 -Molekül koppelt sich an das Coenzym A und es entsteht Succinyl-CoA (Weber, 2009).



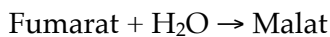
Unter Bildung eines Guanosinriphosphat-Moleküls (GTP) entsteht Succinat. Das GTP ist wie das ATP ein Energieüberträger des Körpers. Es ist dem ATP auch sehr ähnlich in der Struktur, denn es besitzt ebenfalls drei Phosphatgruppen. Wenn das GTP eine dieser Gruppen an ein ADP abgibt, entsteht ATP und Guanosindiphosphat (GDP). Letzteres kann dann auch wieder eine Phosphatgruppe aufnehmen (Weber, 2009).



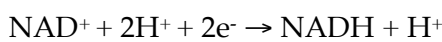
Vom Succinat werden zwei Wasserstoffatome auf FAD übertragen und es entsteht Fumarat. FAD ist wie das NAD⁺ ein Elektronenakzeptor, welcher bei der Atmungskette eine grosse Rolle für die ATP-Bildung spielt.



Das Fumarat bindet ein Wassermolekül und wird zum Malat.



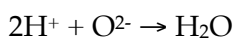
Wie in vorgegangenen Schritten werden nochmals zwei H⁺ Teilchen und Elektronen auf NAD⁺ übertragen und es entsteht wieder NADH (Corel Photos Inc., 2010). Aus dem Malat wird jetzt wieder Oxalacetat, an welches wieder Acetyl-CoA bindet und der Citratzyklus beginnt wieder von Neuem (Weber, 2009).



Insgesamt entstehen aus einem Pyruvat-Molekül acht Wasserstoffatome. Diese werden chemisch an NAD⁺ und FAD gebunden (Corel Photos Inc., 2010). Von einem Molekül Pyruvat werden im Citratzyklus ein Molekül GTP, welches wie beschrieben weiter zu ATP reagiert, drei NADH + H⁺ und ein FADH₂ gewonnen (Weber, 2009). Von einem Glukose-Molekül entsteht folglich das Doppelte.

Atmungskette

Werden Wasserstoff und Sauerstoff im richtigen Verhältnis gemischt, entsteht Wasser (Hellich, 2016).



Dies ist eine sogenannte Knallgasreaktion, bei der explosionsartig sehr viel Energie freigesetzt wird (Weber, 2009). Für die Zelle wäre das aber eine viel zu grosse Menge an Energie auf einmal, die sie zerstören würde. Damit dies nicht geschieht wird diese Reaktion in mehreren Teilschritten durchlaufen (Koy et al., 2006).

Das Innere des Mitochondriums wird durch eine innere stark gefalteten und einer äusseren Membran begrenzt, dazwischen befindet sich der Zwischenmembranraum (Koy et al., 2006). Im Inneren des Mitochondriums, der Matrix, wird als erstes der Wasserstoff, der an die Coenzyme NADH + H⁺ und FADH₂ gebunden ist, in positiv geladene Protonen und negativ geladene Elektronen aufgetrennt (Weber, 2009). Die nun entladenen Coenzyme NAD⁺ und FAD stehen dann wieder der Glykolyse und dem Citratzyklus zur Verfügung.

Die abgegebenen Protonen gelangen aber nicht in die Mitochondrienmatrix, sondern sie fließen unter Energieaufwand durch Proteine, die eine Art Schleuse durch die innere Membran darstellen, in den Zwischenmembranraum. Die verwendete Energie ist aber kein ATP, son-

dem wird durch den Elektronentransport gewonnen. Dadurch, dass die abgegebenen Protonen in den Zwischenmembranraum transportiert werden, befinden sich dort deutlich mehr Protonen, also eine höhere Protonenkonzentration, als im Innern des Mitochondriums. Auf Grund des Diffusionsgesetzes gelangen nun so lange Protonen in die Matrix, bis in beiden Räumen die gleiche Konzentration herrscht. Wenn ein Proton durch die Innere Membran hindurch diffundiert, muss es spezielle Membranproteine passieren (Helmich, 2016). Diese heissen ATP-Synthasen und können mit Hilfe des Protonenflusses aus ADP und Phosphat das ATP herstellen (Weber, 2009). Konkret wird ein Molekül ATP pro drei Protonen gebildet. Wenn aber ein Konzentrationsgleichgewicht herrschen würde, könnte kein ATP mehr gebildet werden, da keine Protonen mehr durch die Innere Membran hindurch diffundieren. Da kommen die Elektronen ins Spiel (Helmich, 2016).

In der Innenmembran befinden sich vier grosse Enzymkomplexe, die aus jeweils rund 50 Enzymen bestehen (Weber, 2009). Diese Komplexe unterscheiden sich alle in ihrem Redoxpotential. Das heisst sie haben ein unterschiedlich starkes Bestreben Elektronen aufzunehmen (Sauermost, 1999). Wenn ein Enzym nun ein Elektron aufnimmt, wird es reduziert. Wenn es das Elektron dann wieder abgibt, wird es oxidiert. Bei dieser Redoxreaktion wird Energie frei, welche für den aktiven Transport der Protonen in den Zwischenmembranraum verwendet wird (Weber, 2009).

Die Elektronen werden durch die vier Komplexe transportiert (Koy et al., 2006). Das allerletzte Enzym der Atmungskette überträgt jeweils zwei seiner Elektronen auf ein eingeatmetes Sauerstoffatom. Diese nun negativ geladenen Teilchen reagiert dann mit zwei Protonen, welche in Form von H^+ vorkommen, in der oben beschriebenen Reaktion zu Wasser.

Bei der Atmungskette entsteht mit Abstand am meisten ATP nämlich etwa 28 Moleküle pro Glukosemolekül (Weber, 2009).

Versuchsprotokoll

Koller, Noemi

Ort: Münchenstein an der Birs

Arbeitsziel: Ziel des Versuchs ist es, die Laktatschwelle von Hunde zu ermitteln.

Methode: Um die Laktaschwelle der Hunde zu bestimmen wird ein Mehrstufentest durchgeführt. Dieser besteht aus dreiminütigen Laufstufen, welche die Hunde neben dem Fahrrad laufend absolvieren. Dieses freie Laufen neben dem Fahrrad nennt sich freebiking. Die Laufstufen sind definiert durch Geschwindigkeiten. Gestartet wird mit 8 km/h , danach steigen die Stufen jeweils um 3 km/h an. Vor Beginn des Tests wird der Ruhewert gemessen (0 km/h), anschliessend wird im Blut der Hunde die Laktatkonzentration [mmol/l] nach jeder Stufe bestimmt. Die beobachtete Geschwindigkeit des Wechsels in den Galopp ist in der Tabelle durch die entsprechende fette Geschwindigkeit markiert.

Material: Stechhilfe mit Lanzette, Messgerät mit Teststreifen, Fahrrad mit Bike Computer, Stift und Blatt



Abb. 15: Freebiking mit neun Scandinavian Hounds

Milou

4.10.2017, 08:00

Rasse: Flat Coated Retriever

Geschlecht: Rüde, kastriert

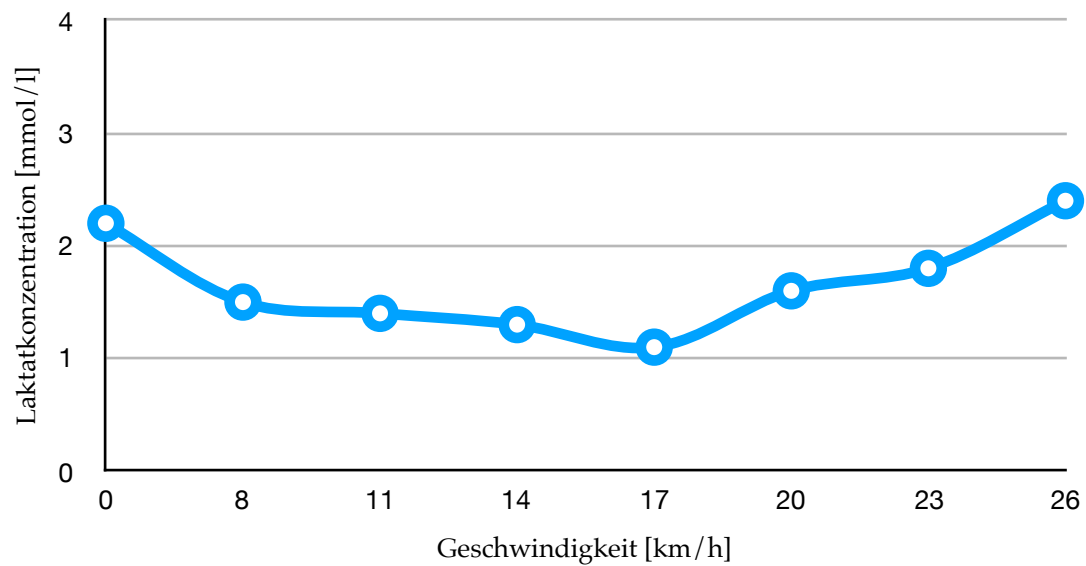
Alter: 4 Jahre

Gewicht: 29 kg

Bewegung: täglich 2h Spazierengehen

Futter: Trockenfutter

Geschwindigkeit [km/h]	Laktatwert [mmol/l]
0	2.2
8	1.5
11	1.4
14	1.3
17	1.1
20	1.6
23	1.8
26	2.4



Cosmo

5.10.2017, 08:00

Rasse: Labrador Retriever

Geschlecht: Rüde, kastriert

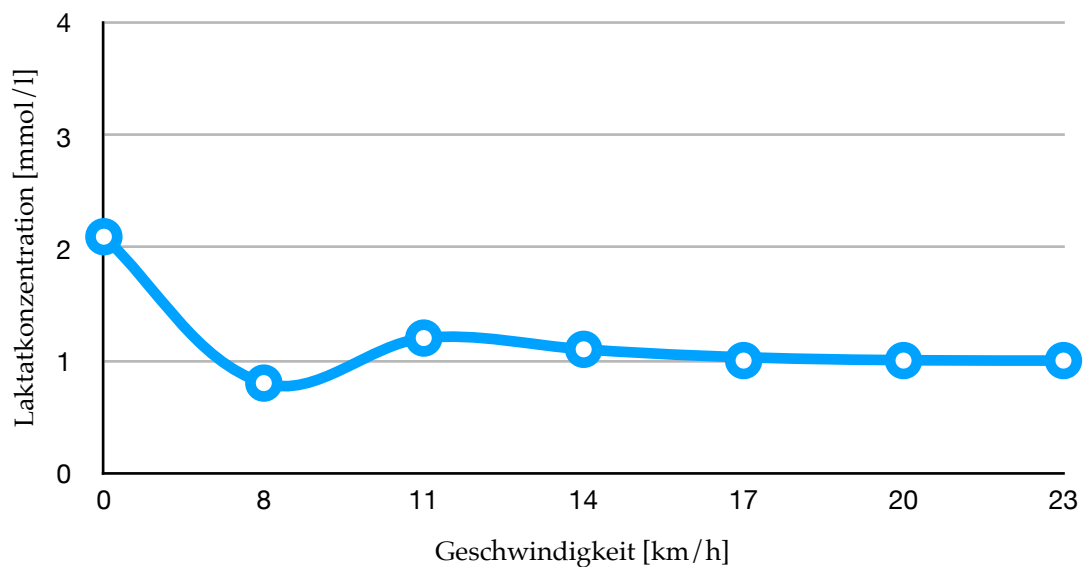
Alter: 3 Jahre

Gewicht: 34 kg

Bewegung: täglich 2,5h Spazierengehen, 1x pro Woche 0,5h joggen

Futter: Trockenfutter

Geschwindigkeit [km/h]	Laktatwert [mmol/l]
0	2.1
8	0.8
11	1.2
14	1.1
17	1.0
20	1.0
23	1.0



Sombra

5.10.2017, 09:00

Rasse: Flat Coated Retriever

Geschlecht: Hündin, kastriert

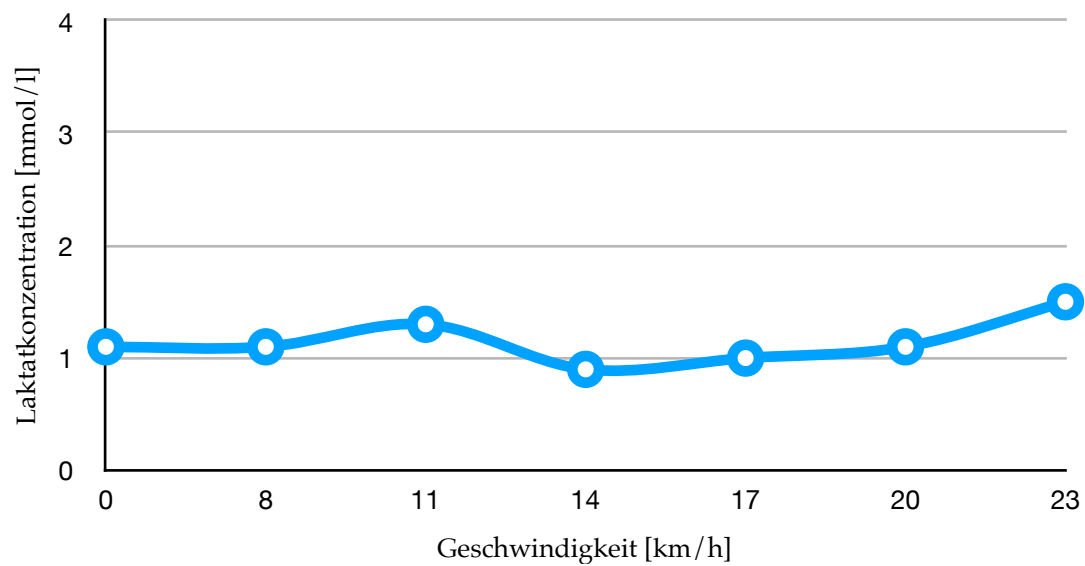
Alter: 4 Jahre

Gewicht: 30 kg

Bewegung: täglich 1,5h Spazierengehen

Futter: Trockenfutter

Geschwindigkeit [km/h]	Laktatwert [mmol/l]
0	1.1
8	1.1
11	1.3
14	0.9
17	1.0
20	1.1
23	1.5



Finja

10.10.2017

Rasse: Mini Australian Shepherd

Geschlecht: Hündin, kastriert

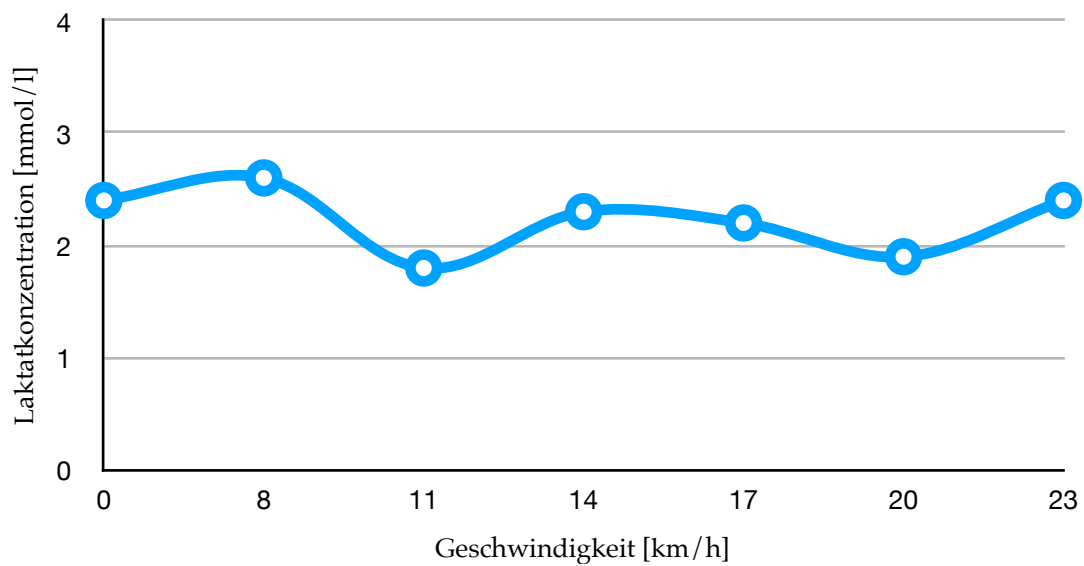
Alter: 9 Jahre

Gewicht: 11 kg

Bewegung: täglich 2h Spazierengehen, viel Auslauf in grossem Garten

Futter: Trockenfutter mit Frischfleisch

Geschwindigkeit [km/h]	Laktatwert [mmol/l]
0	2.4
8	2.6
11	1.8
14	2.3
17	2.2
20	1.9
23	2.4



Lani

10.10.2017, 09:00

Rasse: Australian Shepherd

Geschlecht: Hündin

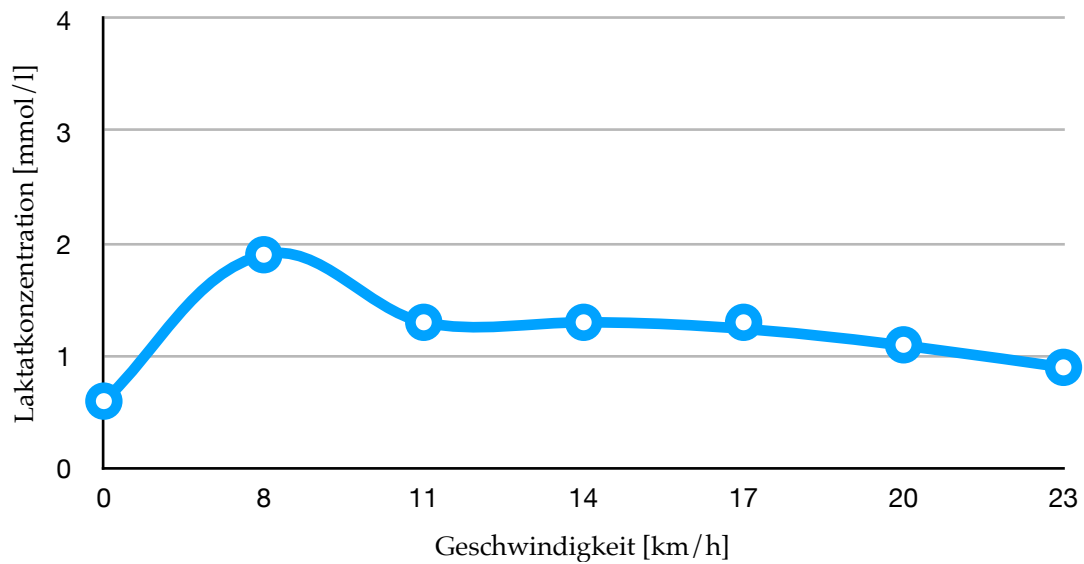
Alter: 3 Jahre

Gewicht: 19 kg

Bewegung: täglich 2h Spazierengehen, viel Auslauf in grossem Garten, 1x pro Woche Agility

Futter: Trockenfutter mit Frischfleisch

Geschwindigkeit [km/h]	Laktatwert [mmol/l]
0	0.6
8	1.9
11	1.3
14	1.3
17	1.3
20	1.1
23	0.9



Kimba

12.10.2017, 08:00

Rasse: Australian Shepherd

Geschlecht: Hündin

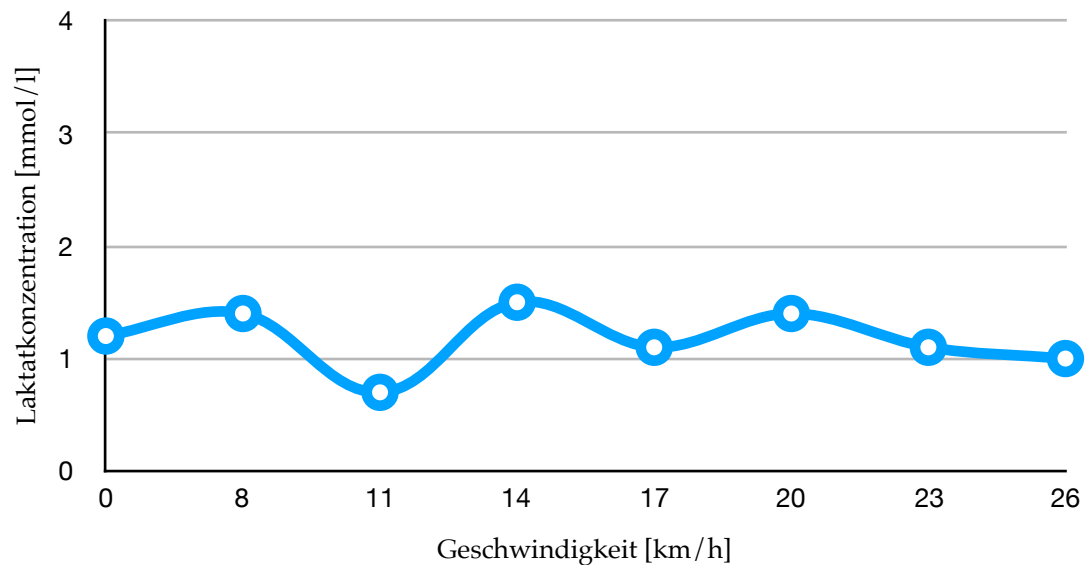
Alter: 4 Jahre

Gewicht: 20kg

Bewegung: täglich 2h Spazierengehen

Futter: Trockenfutter

Geschwindigkeit [km/h]	Laktatwert [mmol/l]
0	1.2
8	1.4
11	0.7
14	1.5
17	1.1
20	1.4
23	1.1
26	1.0



Tinka

11.10.2017, 08:00

Rasse: Scandinavian Hound

Geschlecht: Hündin, kastriert

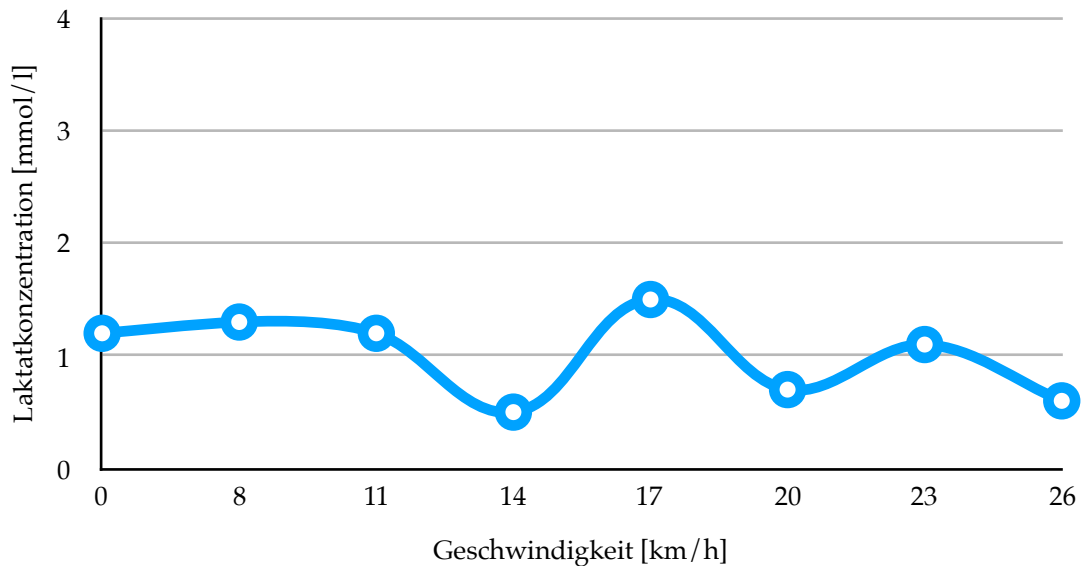
Alter: 5 Jahre

Gewicht: 24 kg

Bewegung: täglich 2,5h Spazierengehen, 1x pro Woche 3h Nordic Walking mit ziehen, 3x pro Woche Wagentraining

Futter: Trockenfutter mit Frischfleisch

Geschwindigkeit [km/h]	Laktatwert [mmol/l]
0	1.2
8	1.3
11	1.2
14	0.5
17	1.5
20	0.7
23	1.1
26	0.6



Lia

14.10.2017, 08:00

Rasse: Scandinavian Hound

Geschlecht: Hündin

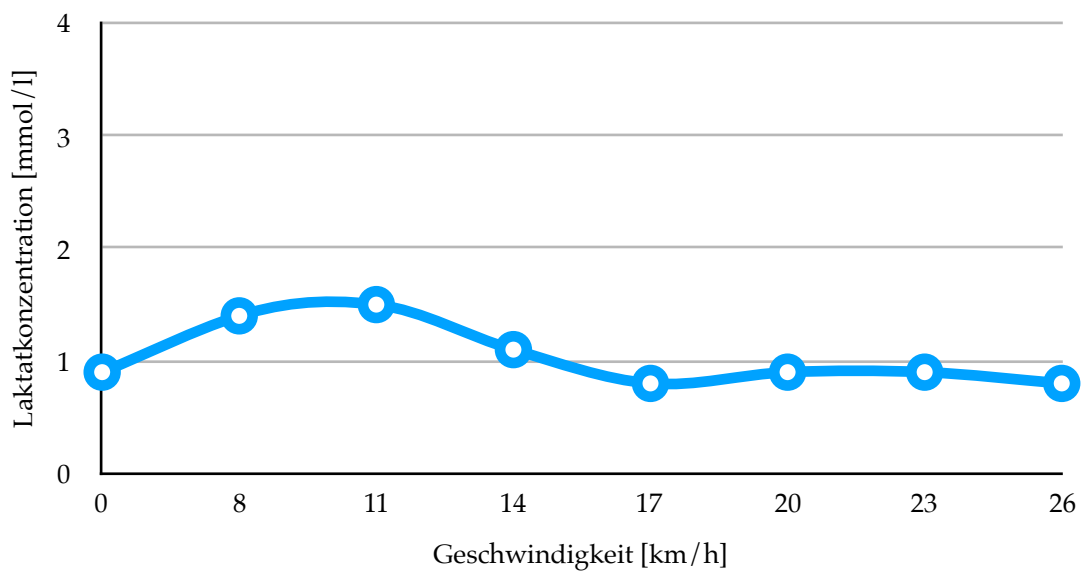
Alter: 5 Jahre

Gewicht: 22 kg

Bewegung: täglich 1,5h Spazierengehen, 3x pro Woche Wagentraining

Futter: Trockenfutter mit Frischfleisch

Geschwindigkeit [km/h]	Laktatwert [mmol/l]
0	0.9
8	1.4
11	1.5
14	1.1
17	0.8
20	0.9
23	0.9
26	0.8



Choice

14.10.2017, 08:00

Rasse: Scandinavian Hound

Geschlecht: Hündin

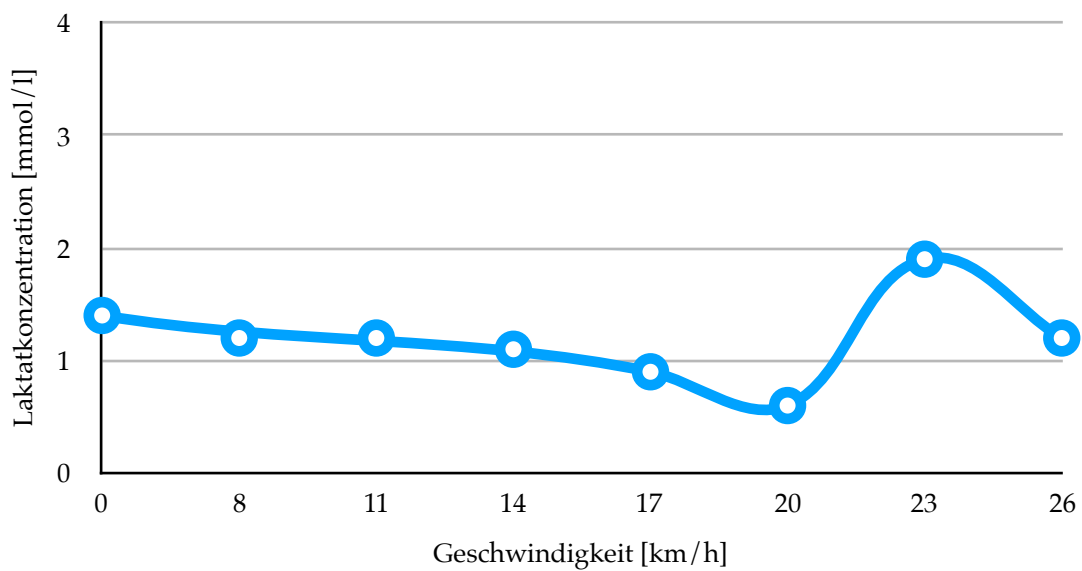
Alter: 2 Jahre

Gewicht: 23 kg

Bewegung: täglich 1,5h Spazierengehen, 3x pro Woche Wagentraining

Futter: Trockenfutter mit Frischfleisch

Geschwindigkeit [km/h]	Laktatwert [mmol/l]
0	1.4
8	1.2
11	1.2
14	1.1
17	0.9
20	0.6
23	1.9
26	1.2



Sava

15.10.2017, 07:45

Rasse: Scandinavian Hound

Geschlecht: Hündin

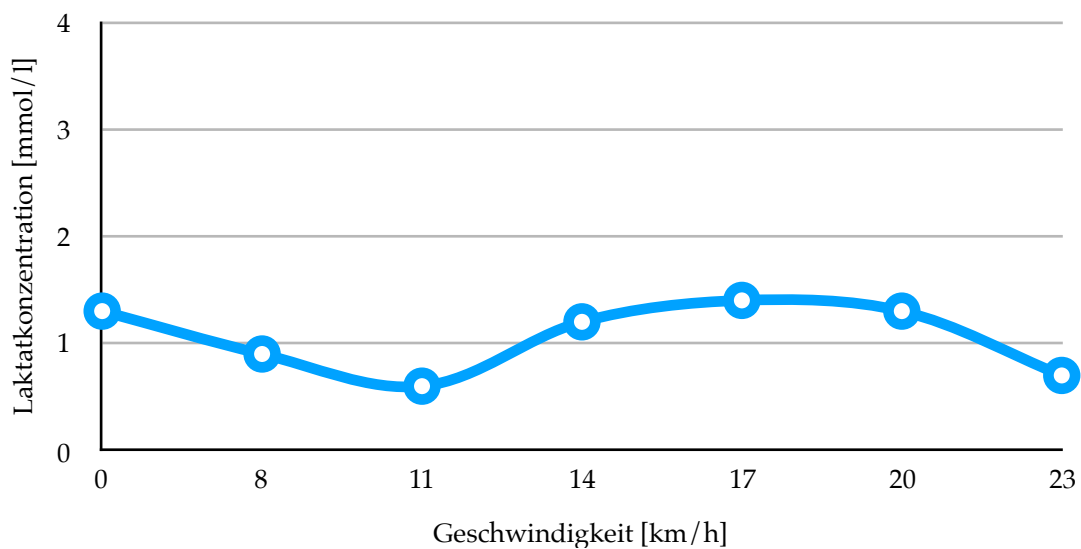
Alter: 7 Jahre

Gewicht: 26 kg

Bewegung: täglich 1,5h Spazierengehen, 3x pro Woche Wagentraining

Futter: Trockenfutter mit Frischfleisch

Geschwindigkeit [km/h]	Laktatwert [mmol/l]
0	1.3
8	0.9
11	0.6
14	1.2
17	1.4
20	1.3
23	0.7



Liska

15.10.2017, 08:45

Rasse: Scandinavian Hound

Geschlecht: Hündin, kastriert

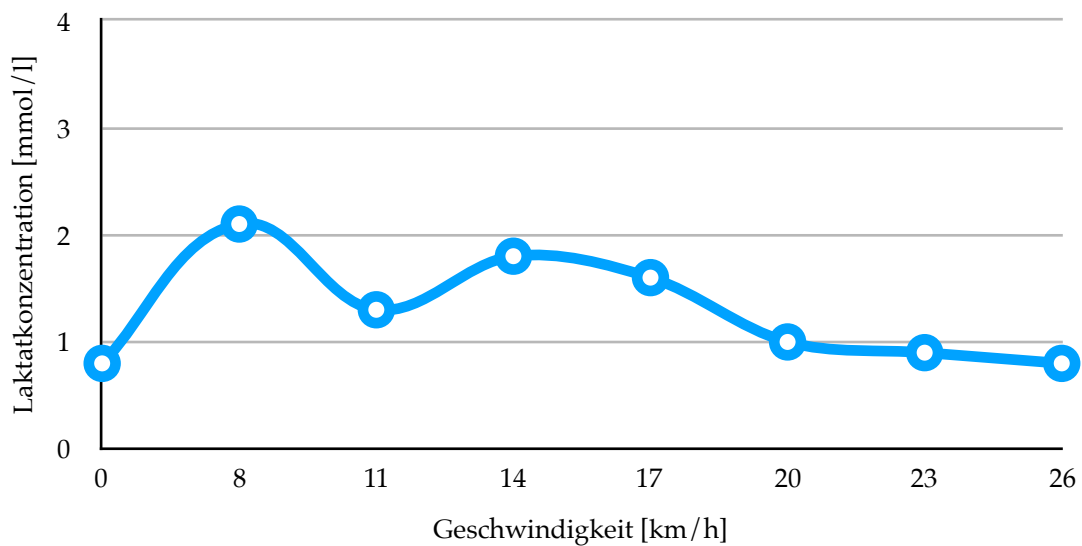
Alter: 6 Jahre

Gewicht: 23.5 kg

Bewegung: täglich 1,5h Spazierengehen, 3x pro Woche Wagentraining

Futter: Trockenfutter mit Frischfleisch

Geschwindigkeit [km/h]	Laktatwert [mmol/l]
0	0.8
8	2.1
11	1.3
14	1.8
17	1.6
20	1.0
23	0.9
26	0.8



Trainingsprotokoll

Koller, Noemi

Arbeitsziel: Bestimmung des Laktatwerts von Scandinavian Hounds nach Wagentrainings

Methode: Nach Wagentrainings mit unterschiedlichen Trainingsstrecken und Pausenlängen wird die Laktatkonzentration aller Hunde gemessen.

Material: Stechhilfe, pro Hund eine Lanzette, Messgerät mit Teststreifen, Trainingswagen

Trainingsdaten:

20.9.2017

Munifeld, Nuglar-St. Pantaleon

11°C, 6 km, steil, kurze Pause (3min)

24.9.2017

Munifeld, Nuglar-St. Pantaleon

12°C, 6 km, steil, lange Pause (10min)

9.10.2017

Möhlin, am Rhein

12°C, 9 km, flach, mittlere Pause (7min) mit Abkühlung in Fluss

13.10.2017

Munifeld, Nuglar-St. Pantaleon

8°C auf Ebene, 13°C in Wald (Stau von warmen Föhn), 11km, steil, sehr lange Pause (15min)

18.10.2017

Munifeld, Nuglar-St. Pantaleon

10°C, 9 km, steil, kurze Pause (5min)

Hund	20.9.2017	24.9.2017	9.10.2017	13.10.2017	18.10.2017	Mittelwert	Ruhewert
Tinka	4.1	3.1	3.0	2.9	3.2	3.26	1.2
Oya	3.9	2.8	3.1	2.3	2.3	2.88	1.1
Lia	4.7	2.3	3.3	3.4	5.3	3.8	0.9
Sava	6.9	3.3	4.8	4.1	6.0	5.02	1.3
Malik	3.0	2.2	3.7	2.4	3.1	2.88	0.9
Smilla	2.9	1.8	2.6	2.3	2.5	2.42	1.2
Choice	-	1.7	4.1	2.9	2.1	2.7	1.4
Liska	10.9	-	-	7.0	10.7	9.53	0.8
Solo*	-	-	1.6	1.2	1.5	1.43	1.0

Alle Werte in [mmol/l]

Hundedaten:

Tinka

Rasse: Scandinavian Hound

Geschlecht: Hündin, kastriert

Alter: 5 Jahre

Gewicht: 24 kg

Bewegung: täglich 2,5h Spazierengehen, 1x pro Woche 3h Nordic Walking mit ziehen, 3x pro Woche Wagentraining

Futter: Trockenfutter mit Frischfleisch

Lia

Rasse: Scandinavian Hound

Geschlecht: Hündin

Alter: 5 Jahre

Gewicht: 22 kg

Bewegung: täglich 1,5h Spazierengehen, 3x pro Woche Wagentraining

Futter: Trockenfutter mit Frischfleisch

Oya

Rasse: Scandinavian Hound

Geschlecht: Hündin

Alter: 5 Jahre

Gewicht: 26,5 kg

Bewegung: täglich 1,5h Spazierengehen, 3x pro Woche Wagentraining

Futter: Trockenfutter mit Frischfleisch

Sava

Rasse: Scandinavian Hound

Geschlecht: Hündin

Alter: 7 Jahre

Gewicht: 26 kg

Bewegung: täglich 1,5h Spazierengehen, 3x pro Woche Wagentraining

Futter: Trockenfutter mit Frischfleisch

Malik

Rasse: Scandinavian Hound

Geschlecht: Rüde, kastriert

Alter: 7 Jahre

Gewicht: 29 kg

Bewegung: täglich 1,5h Spazierengehen, 3x pro Woche Wagentraining

Futter: Trockenfutter mit Frischfleisch

Smilla

Rasse: Scandinavian Hound

Geschlecht: Hündin

Alter: 10 Jahre

Gewicht: 21 kg

Bewegung: täglich 1,5h Spazierengehen, 3x pro Woche Wagentraining

Futter: Trockenfutter mit Frischfleisch

Choice

Rasse: Scandinavian Hound

Geschlecht: Hündin

Alter: 2 Jahre

Gewicht: 23 kg

Bewegung: täglich 1,5h Spazierengehen, 3x pro Woche Wagentraining

Futter: Trockenfutter mit Frischfleisch

Liska

Rasse: Scandinavian Hound

Geschlecht: Hündin, kastriert

Alter: 6 Jahre

Gewicht: 23.5 kg

Bewegung: täglich 1,5h Spazierengehen, 3x pro Woche Wagentraining

Futter: Trockenfutter mit Frischfleisch

Solo

Rasse: Scandinavian Hound

Geschlecht: Rüde, kastriert

Alter: 10 Jahre

Gewicht: 29 kg

Bewegung: täglich 1,5h Spazierengehen, 3x pro Woche freies Mitlaufen bei Wagentraining

Futter: Trockenfutter mit Frischfleisch

*Solo nicht eingespannt, freies Mitlaufen