



universität
wien

DIPLOMARBEIT

Titel der Magisterarbeit

**„Precooling im Rudersport und dessen
Auswirkungen auf die Ausdauerleistung und
Wettkampfleistung“**

Verfasser

Michael Zyskowski

Tobias Sigmund

angestrebter akademischer Grad

Magister der Naturwissenschaften (Mag.rer.nat.)

Wien, im November 2008

Studienkennzahl lt Studienblatt: A 481 295

Studienrichtung lt. Studienblatt: Sportwissenschaften

Betreuer: Univ. Ass.Prof. Dr. Harald Tschan



Eidesstattliche Erklärung

Die vorliegende Diplomarbeit wurde von uns selbständig verfasst.
Außer den angegebenen Quellen wurden keine weiteren Hilfsmittel verwendet.

Tobias Sigmund

Michael Zyskowski

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung (verfasst von M. Zyskowski).....	8
1.1 Herleitung der Arbeit (verfasst von M. Zyskowski)	8
1.2 Ziel der Arbeit (verfasst von M. Zyskowski).....	12
1.3 Gliederung der Arbeit (verfasst von M. Zyskowski).....	14
2. Theoretische Grundlagen (verfasst von M. Zyskowski).....	16
2.1 Grundlagen der Thermoregulation (verfasst von M. Zyskowski).....	16
2.1.1 Homöothermie (verfasst von M. Zyskowski).....	16
2.1.2 Körpertemperatur (verfasst von M. Zyskowski).....	23
2.1.3 Temperaturmessort (verfasst von M. Zyskowski).....	25
2.1.4 Wärmebildung und Wärmeabgabe (verfasst von M. Zyskowski).....	25
2.1.5 Exkurs Aufwärmen (verfasst von T. Sigmund).....	27
2.2 Grundlagen der Ausdauer (verfasst von T. Sigmund)	30
2.2.1 Einteilung der Ausdauer (verfasst von T. Sigmund).....	30
2.3 Energiebereitstellung und Energiestoffwechsel (verfasst von M. Zyskowski).....	34
2.3.1 Energiebedarf und Energietransport (verfasst von M. Zyskowski).....	34
2.3.2 Aerobe – anaerobe Energiebereitstellung (verfasst von M. Zyskowski).....	36
2.4 Laktat (verfasst von T. Sigmund).....	54
2.4.1 Laktatbildung und -elimination (verfasst von T. Sigmund).....	58
2.4.2 Laktatverhalten (verfasst von T. Sigmund).....	59
2.5 Herzfrequenz (verfasst von M. Zyskowski).....	62
2.6 Leistungsdiagnostische Verfahren (verfasst von T. Sigmund).....	73
2.7 Forschungsstand (verfasst von T. Sigmund).....	78
3. Hypothesen (verfasst von Sigmund & Zyskowski).....	86

4. Methodik (verfasst von T. Sigmund & M. Zyskowski).....	88
4.1 Probanden (verfasst von T. Sigmund).....	89
4.2 Testverfahren (verfasst von T. Sigmund).....	89
4.3 Untersuchungsablauf (verfasst von T. Sigmund & M. Zyskowski).....	90
4.3.1 Stufentest (verfasst von T. Sigmund).....	90
4.3.2 Wettkampftest – 2000 m All-Out-Test (verfasst von M. Zyskowski).....	91
4.4 Apparaturenbesprechung (verfasst von T. Sigmund).....	92
4.4.1 Ruderergometer (verfasst von T. Sigmund).....	92
4.4.2 Herzfrequenzmessung (verfasst von T. Sigmund).....	97
4.4.3 Laktatmessung (verfasst von T. Sigmund).....	98
4.4.4 Temperaturmessung (verfasst von T. Sigmund).....	101
4.4.5 Kühlweste (verfasst von T. Sigmund).....	106
4.5 Statistik (verfasst von T. Sigmund).....	110
4.5.1 Hypothesenbildung (verfasst von T. Sigmund).....	110
4.5.2 Signifikanzprüfung und Irrtumswahrscheinlichkeit (verfasst von T. Sigmund).....	111
4.5.3 Varianz und Standardabweichung (verfasst von T. Sigmund).....	111
4.5.4 Mittelwert (verfasst von T. Sigmund).....	112
4.5.5 Mittelwertsvergleich (verfasst von T. Sigmund).....	112
5. Ergebnisdarstellung (verfasst von Sigmund & Zyskowski).....	113
5.1 Ergebnisdarstellung Stufentest (verfasst von T. Sigmund)	113
5.1.1 Herzfrequenz (verfasst von T. Sigmund).....	113
5.1.2 Körperkerntemperatur (verfasst von T. Sigmund).....	117
5.1.3 Laktat (verfasst von T. Sigmund)	121
5.2 Ergebnisdarstellung 2000m-All-Out-Test (verfasst von M. Zyskowski).....	126
5.2.1 Herzfrequenz (verfasst von M. Zyskowski).....	126
5.2.2 Körperkerntemperatur (verfasst von M. Zyskowski).....	128

5.2.3 Laktat (verfasst von M. Zyskowski)	131
5.2.4 Ergebnisdarstellung der 2000m Endzeit im Wettkampftest (verf. v. Zyskowski).....	134
6.Diskussion der Hypothesen und Ergebnisse (verfasst von Sigmund & Zyskowski).....	136
7.Methodenkritik (verfasst von M. Zyskowski).....	147
8.Ausblick (verfasst von T. Sigmund).....	152
9.Verzeichnisse (verfasst von Sigmund & Zyskowski).....	154
9.1 Literaturverzeichnis (verfasst von T. Sigmund).....	154
9.2 Abbildungsverzeichnis (verfasst von M. Zyskowski).....	158
9.3Tabellenverzeichnis (verfasst von T. Sigmund).....	160
Anhang (verfasst von Sigmund & Zyskowski)	
Abstract deutsch (verfasst von M. Zyskowski)	
Abstract englisch (verfasst von T. Sigmund)	

Danksagung

Ein ganz besonderer Dank gebührt meiner Mutter, Frau Mag. Elizbieta Zyskowski die mich während meiner Ausbildung sowohl moralisch, als auch finanziell unterstützt hat. Sie war mir immer eine gute Freundin und moralische Instanz. Dadurch habe ich auch in schweren Phasen meines Lebens die nötige Kraft gehabt, mein Studium abzuschließen.

An dieser Stelle sei auch meinem Vater ein kurzer Dank ausgesprochen.

Weiter möchte ich meiner Freundin Linda Kurz danken, die mir ein großer Rückhalt gewesen ist, und mir abseits meiner Diplomarbeit und meines Studiums in allen Belangen des täglichen Lebens geholfen hat und mir mit Trost und Rat zur Seite gestanden ist.

Danke auch an meinen guten Freund und Diplomarbeitspartner Tobias Sigmund. Du wirst Deinen Weg noch gehen davon bin ich überzeugt. Bleib so locker und mach weiter so.

Vielen Dank an Univ. Ass. Dr. Harald Tschan der mir durch seine Erfahrung, Kreativität im Lösen von Problemen, Unterstützung und Geduld mehr als nur geholfen hat. Danke! Tobi und ich waren sicher nicht die einfachsten Diplomanden.

Danke auch an die Vorarlberger Landesregierung, im Speziellen dem Landessport Referat für ihre Hilfestellungen und die Finanzierung des Equipments, das wir bei dieser Arbeit benötigt haben. Ganz besonders möchte ich mich hier bei Martin Kessler bedanken, der an meine wissenschaftliche Idee geglaubt hat und mich darauf hin sehr unbürokratisch und schnell unterstützt hat.

Besonderer Dank gilt auch den zwölf Teilnehmern meiner Studie. Jungs, ihr seid die Besten. Ich wünsche euch allen noch viel Erfolg und eine lange Karriere im Rudersport.

Natürlich danke ich auch bei allen meinen guten Freunden und der AKH Crew. Bleibt so easy wie ihr seid. Schön das es euch gibt.

Ferner möchte ich meinem langjährigen Rudertrainer, Klaus Hammermüller danken der mich für die Sportwissenschaft begeistert hat.

Danksagung

Ich möchte allen voran meinen Eltern, Ulrica und Manfred Sigmund besonders danken. Sie sind mir über den gesamten Zeitraum meines Studiums zur Seite gestanden. Besonders meine Mutter hat mich oft aufgebaut, wenn es bei einer Prüfung mal nicht so optimal gelaufen ist. Nicht zu vergessen ist auch der Fakt, dass ich ohne ihre finanzielle Unterstützung nie die Chance gehabt hätte, mein Studium wahrzunehmen und abzuschließen.

Weiter möchte ich all meinen guten Freunden einen riesigen Dank aussprechen. Danke für die moralische Unterstützung und den nötigen Druck, der mich immer wieder angetrieben hat, doch noch das vielleicht entscheidende Quäntchen mehr zu lernen.

Ein großes Dankeschön geht an meinen Fußballverein, den AC H-Town. Das Training und die Ligaspiele waren genau der richtige Ausgleich für die Anspannung, die sich so manches Mal während des Studiumalltags aufgestaut hat.

Der Vorarlberger Landesregierung gebührt auch ein großes Dankeschön, genau genommen dem Landessportreferat für die Finanzierung der Kühlwesten, das wir bei dieser Arbeit benötigt haben.

Nicht zu vergessen sind natürlich die Athleten der Studie, ohne die diese Arbeit gar nicht möglich gewesen wäre. Danke vielmals Jungs. Ihr wart alle sehr kooperativ, flexibel und motiviert, euer Bestes bei all den Tests zu geben.

An dieser Stelle will ich mich auch auf das herzlichste bei meinem Kollegen und Freund Michael Zyskowski bedanken, der mich mit seiner Erfahrung im Rudersport sehr beeindruckt hat und von dem ich während der Untersuchungen sehr viel für die Zukunft mitgenommen habe.

Abschließend möchte ich noch ein ganz großes Dankeschön an Univ. Ass. Dr. Harald Tschan aussprechen, der uns durch seine Erfahrung wichtige Tipps, beim Erstellen der Arbeit, gegeben hat.

1. Einleitung

Die Einleitung dient der Beleuchtung des Themas. Weiter soll die Entstehungsgeschichte der Fragestellung aufgezeigt werden. Auch auf die Ziele dieser Arbeit wird detailliert eingegangen. Es folgen Vorbemerkungen und Erläuterungen zu den Methoden, zur Vorgehensweise und in weiterer Folge zum Aufbau der Arbeit.

1.1 Herleitung der Arbeit

Schon bei den olympischen Spielen der Antike bestand ein reges Interesse an der Leistungssteigerung und Optimierung von Mechanismen, die einen Ausbau der physiologischen Leistungsfähigkeit bewirken können. Dieses Interesse ist gerade in der heutigen, modernen Sportwelt ins fast unermessliche gewachsen. Ob Breiten- oder Hochleistungssport, in allen Bereichen der Sportwelt findet eine vermehrte wissenschaftliche Herangehensweise an Training und Regeneration statt. Es ist also nicht erstaunlich, dass in den letzten Dekaden zahlreiche Methoden untersucht die sich mit dieser Materie befassen. Leistungssteigerung und mögliche Prävention waren und sind im Fokus der Forschung. Als Folge dieser Entwicklung sind auch Mentale Vorbereitung, muskuläre Entspannungsmethoden und vor allem das Aufwärmen zum Standard-Programm der Athleten während der Trainingsarbeit und vorm sportlichen Wettkampf avanciert. Über Jahre wurde die wissenschaftliche Meinung postuliert (vgl. Israel, 1977) dass eine Steigerung der Körperkerntemperatur auf einen Wert von 38,5°C die Stoffwechselvorgänge in Hinsicht auf motorische Leistungen verbessere. De Marees (1992) begründet die physiologische Wirkung des Aufwärmens damit, dass durch die vermehrte körperliche Aktivität in der Muskulatur gesteigert Wärme produziert wird und damit die Muskeltemperatur von etwa 34°C in Ruhe bis auf Werte von 40°C ansteigt. Es wird die Wärme über den Blutstrom aus dem Muskel, in die übrigen Organe transportiert, wodurch es zeitlich verzögert auch zu einem Anstieg der Körperkerntemperatur kommt – ein Effekt der wie im Verlauf der vorliegenden Arbeit dargestellt nicht immer leistungsfördernd ist. Mit Steigerung der Temperatur geht eine Erhöhung der Stoffwechselprozesse im Muskel, sowie die Energiebereitstellung ein her. De Marees (1992) schreibt, dass sich pro Grad Temperatursteigerung die Stoffwechselrate um etwa 13% erhöht, wodurch es auch zu

einer Erhöhung des Energieumsatzes pro Zeiteinheit und der Leistungsfähigkeit der Muskulatur kommt. Generell so Bishop, (2003) werden die meisten Aufwärmefekte temperaturabhängigen Mechanismen zugeschrieben wie die der erhöhten Kraft – Geschwindigkeitsbeziehung welche eine erhöhte muskuläre Leistung bewirkt, die einer verbesserten Nervenleitgeschwindigkeit, die einer verminderten Stiffness, um nur einige zu nennen. Daneben nennt Bishop, (2003) auch zahlreiche nichttemperaturabhängige Mechanismen die zur Leistungserhöhung des Aufwärmens beitragen sollen auf welche hier aber nicht näher eingegangen werden soll. Bishop, (2003) merkt aber kritisch an, dass obwohl Aufwärmen vor sportlicher Bewegung zum Standard Repertoire des Trainingsablaufes zählt, tatsächlich wenig wissenschaftliche Evidenz vorhanden ist welche die Effektivität des Aufwärmens in Bezug auf eine Erhöhung der Leistungsfähigkeit tatsächlich belegen würde. Prinzipiell so Bishop, (2003) dürfte der Aufwärmefekt vor allem für Kurzzeitbelastungen (< 10 Sekunden) von Bedeutung sein. Leistungsverbesserungen sind aber auch bis zu einer Belastungsdauer von 5 Minuten unter der Voraussetzung zu verzeichnen, dass der Aufwärmprozess nicht zu intensiv war. Der aktuelle wissenschaftliche Erkenntnisstand macht aber auch klar, so Bishop, 2003, dass Aufwärmen einen negativen Effekt für die Ausdauerleistungsfähigkeit darstellt, wenn sie eine erhöhte Belastung für das thermoregulatorische Systems bedeutet. In dieselbe Richtung argumentiert de Maerees, (1992) der sagt, dass es infolge der erst später einsetzenden leistungsmindernden Zunahme der Hautdurchblutung ohne Aufwärmarbeit zu einer Erhöhung der Sauerstoffaufnahme und damit zu einer Ausdauerleistung von etwa 10% kommt.

Mit sportartspezifischen Aufwärmprogrammen wurde versucht diese Zieltemperatur zu erreichen. In den letzten Jahren fand eine vermehrte differenzierte Debatte zu dieser Thematik statt. Neue Untersuchungen zur Thermoadaptation und -regulation führten zur Aussage, dass primär die Ausdauerleistungen durch erniedrigte Körpertemperaturen gefördert werden. Der Energieumsatz steigt bei körperlicher Arbeit in Relation zur Arbeitsintensität an. Laut Wendt (2007) geht ein nicht zu unterschätzender Prozentsatz von ca. 75% der durch Substratoxidation entstehenden Energie in Wärme „verloren“. Diese Wärme muss in die Peripherie geleitet werden, um einer Verminderung der Leistung aufgrund einer zu hohen Kerntemperatur entgegen zu wirken (de Marées, 2003, S. 552). Dem menschlichen Körper stehen somit nur ca. 25% der gewonnenen Energie für das Bewältigen der sportlichen Aufgabe zur Verfügung. Laut Marino (2004) ist es „klar erwiesen, dass sportliche Leistung bei Hitze vorzeitig beendet wird“.

In der Welt der Sportwissenschaft ist die Thematik des Ausgleichs der Hitzebelastung während sportlicher Aktivität in den Fokus gerückt.

In diversen Studien wurden und werden unterschiedliche Precooling-Methoden

(Vorkühlungsmethoden) untersucht und verglichen. Hierbei befasst man sich entweder mit Abkühlung der Haut- oder der Kerntemperatur. Die physiologische Grundlage des Precoolings beruht auf der Erweiterung der Zeitspanne zwischen physiologischer Körpertemperatur bis zum Erlangen einer bedenklichen thermischen Grenze. An dieser thermischen Grenze kann die Wettkampfs- oder Trainingsintensität nicht länger auf demselben Niveau aufrechterhalten werden.

Diese Untersuchungen deuten größtenteils bereits auf eine gegebene Praxisrelevanz hin: Mir als ehemaligen Ruderer, danach Trainer einer U23-WM Mannschaft und Teammanager des österreichischen Universitäts-Ruder-Nationalteams ist oft das Problem einer hohen Sonnen- und Hitzeexposition bei der spezifischen Aufwärmarbeit vor Wettkämpfen am Wasser aufgefallen. Eine ähnliche Problematik fiel auch meinem Kollegen Tobias Sigmund auf. Wobei er seine Beobachtungen und somit seinen Fokus auf die spezifische Aufwärmarbeit im Fußball gerichtet hat. Auch die klimatischen Veränderungen der letzten Jahre haben in unseren Beobachtungen eine Rolle gespielt. In weiterer Folge stellten wir uns die Frage inwieweit Aufwärmen (im Zusammenhang mit der Körperkerntemperaturerhöhung) in Sommersportarten im Allgemeinen sinnvoll sein könnte. Eine der maßgeblichen Beobachtungen und in weiterer Folge Auslöser für diese Arbeit war die Beobachtung, dass bereits der durch das Aufwärmen am Wasser, ohne Schatten (ca.30min vor dem Start des Rennens), hervorgerufene Temperaturanstieg teilweise Ermüdungserscheinungen hervor rief, was zu einem früheren Einbruch während des Rennens beziehungsweise zu einer Verminderung der Befindlichkeit führte. In der Körpertemperatur sahen wir einen noch kaum erschlossene Ressource im „Kampf“ um Sekunden und Platzierungen. Daraufhin entschlossen wir uns die Thematik auf den Rudersport einzugrenzen, da der Rudersport seine Hauptwettkampfzeit im Hochsommer hat (Weltmeisterschaften und olympische Spiele finden in der Regel zwischen Juli und Anfang September statt und Schatten am Wasser so gut wie nicht vorhanden ist. Weiter haben wir unser Hauptaugenmerk darauf gelegt wie man es Athleten am Wasser ermöglichen kann die Vorteile des Aufwärmens (Herzminutenvolumen, Durchblutung, Beweglichkeit, Lungenventilation, neuromuskuläre Aktivität und psychologische Aspekte) für die Wettkampfleistung zu nutzen ohne den Körperkern zu überhitzen und somit die positiven Effekte des Aufwärmens wieder zu relativieren. Zunächst erfolgten erste Versuche mit den von mir trainierten Athleten. Aus Gründen der leichten Handhabung stellten kalte Duschen vor dem Aufwärmprogramm zu Beginn unserer Arbeit die Methode der Wahl da. Schließlich entdeckte ich bei der U23WM 2006 in Hazewinkel, Belgien, dass die Australische Mannschaft mit mehreren Kühlschränken angereist ist. Nach mehreren Versuchen ist es letztendlich gelungen von den australischen

Trainern eine für unsere Fragestellung wichtige Information zu erhalten. Die Hitze erfahrenen Australier haben für ihr gesamtes Team Kühlwesten (Ice Jackets) mitgebracht. Während des Aufwärmens und nach den Rennen haben die Athleten diese angewendet. Diese Jacken haben den australischen Sportlern dann auch einen „spürbaren“ Vorteil verschafft. Mit diesen Neuen Informationen und Beobachtungen machten wir uns an die Recherche. Viele interessante und neue Erkenntnisse haben uns in unseren Überlegungen bekräftigt, einiges blieb aber dennoch unklar und so machten wir uns an die Arbeit und verfassten eine erste Idee und Fragestellung für diese Arbeit. Daraufhin beschlossen wir mit Kühlwesten zu arbeiten da diese nach den Tests im Labor in weiterer Folge auch am Wasser, sprich in der Praxis, zum Einsatz kommen können. Mit Univ. Ass. Prof. Dr. Harald Tschan haben wir somit einen sehr interessierten Betreuer für diese Forschungsidee gefunden. Das Sportamt Vorarlberg, allen voran der ehemalige Rudernationaltrainer Martin Kessler, hat es uns dann ermöglicht, die Kühlwesten zu kaufen.

1.2 Ziel der Arbeit

Ziel dieser empirischen Arbeit ist es, die Wirkung von Kälteapplikation mittels einer Kühlweste auf die Wettkampfleistung bzw. die Ausdauerleistungsfähigkeit im Rudern empirisch zu untersuchen.

Die dahinter stehenden wissenschaftlichen Fragestellungen sind folgende:

Kommt es durch das 30 Minuten dauernde Applizieren von Kälte mittels Kühlweste vor einem Stufentest am Ruderergometer zu einer Verbesserung der Ausdauerleistungsfähigkeit?

Kommt es durch die 30 Minuten dauernde Applikation von Kälte mittels Kühlweste während des Aufwärmprozesses zu einer Verbesserung der Wettkampfleistung im 2000m All-Out-Test am Ruderergometer?

Unsere Hypothesen gehen aus den oben formulierten wissenschaftlichen Fragestellungen hervor und stellen sich für die beiden Problemfelder wie folgt dar:

Ausdauerleistungsfähigkeit:

H0: Durch das Applizieren von Kälte mittels Kühlweste kommt es zu **keiner** Verbesserung der Ausdauerleistungsfähigkeit beim Stufentest am Ruderergometer.

H1: Durch das Applizieren von Kälte mittels Kühlweste kommt es zu **einer** Verbesserung der Ausdauerleistungsfähigkeit beim Stufentest am Ruderergometer

2000m-All-Out-Test:

H0: Durch das Applizieren von Kälte mittels Kühlweste kommt es zu **keiner** Verbesserung der Wettkampfleistung im 2000m-All-Out-Test am Ruderergometer.

H1: Durch das Applizieren von Kälte mittels Kühlweste kommt es zu **einer** Verbesserung der Wettkampftest im 2000m-All-Out-Test am Ruderergometer.

Die Testverfahren die in dieser Arbeit zur Anwendung kamen beinhalteten ein Precooling mittels tragen einer Kühlweste während des standardisierten und 30 Minuten dauernden Aufwärmens zum 2000m All-Out - Test oder einer 30 Minütigen Kälteapplikation (Precooling), ohne Aufwärmphase, vor Beginn des Stufentests. Nach den jeweiligen Tests wurde den Athleten ein 15Minuten langes, standardisiertes Ausrudern (Cooldown) verordnet. Um die Wirkung der Methode zu prüfen, wurden unterschiedliche physiologische Parameter bestimmt und in weiterer Folge einer statistischen Analyse unterzogen.

1.3 Gliederung der Arbeit

Die theoretisch, physiologischen Grundlagen werden in Kapitel 2 behandelt. Michael Zyskowski hat sich näher mit den physiologischen Grundlagen der Kapitel Grundlagen der Thermoregulation, Homoiothermie, Körpertemperatur, Temperaturmessort und Wärmebildung bzw. Wärmeabgabe befasst. In diesen Kapiteln werden die physiologischen Hintergründe der Thermoregulation und der darauf basierenden Prozesse näher beleuchtet. In weiterer Folge befasst sich Tobias Sigmund mit dem Aufwärmen, Grundlagen der Ausdauer und der Unterteilung der Ausdauer nach seinen Stoffwechselprozessen und der daraus folgenden Belastungsdauer und Belastungsintensität. Als nächstes werden die metabolischen Prozesse im Organismus von Michael Zyskowski näher erläutert. In den Kapiteln Energiebereitstellung und Energiestoffwechsel, Energiebedarf und Energietransport, aerobe – anaerobe Energiebereitstellung werden die einzelnen Prozesse der Energie-Gewinnung und des Stoffwechsels unter die Lupe genommen. Auch auf die primären Prozesse des Energieverbrauchs und die Energiebilanz wird dabei eingegangen. Laktat als Stoffwechselend- bzw. Stoffwechselzwischenprodukt ist dann Gegenstand der folgenden Kapitel. Sigmund befasst sich explizit mit dem Laktat, der Laktatbildung, der Laktatelimination und in diesem Zusammenhang mit dem Laktatverhalten im Organismus. Weiter wird die Herzfrequenz zum Hauptthema. Herzzyklus und Reizleitung stellen das Kernstück dieser von Zyskowski ausgearbeiteten Themen dar. Gegen Ende des zweiten Kapitels wird von Sigmund eine Einleitung in die leistungsdiagnostischen Verfahren gegeben. Weiter baut Tobias Sigmund im Hinblick auf die in Kapitel drei folgenden Hypothesen den aktuellen Forschungsstand auf und bezieht dabei auch ausgewählte Artikel und Studien zum Thema Kälte und Sport in seine Ausführungen ein.

Wie schon kurz angedeutet liegt der Fokus in Kapitel drei auf den von uns beiden formulierten Hypothesen. Diese Hypothesen gehen einerseits aus den in der Einleitung formulierten Grundfragen, andererseits aus den in Kapitel 2 erläuterten physiologischen Grundlagen hervor.

Danach beschreibt Tobias Sigmund sehr präzise die von uns, mit Hilfe von Univ. Ass. Prof. Dr. Harald Tschan, entwickelte Methodik der Arbeit.

Dieses Kapitel enthält die genaue Beschreibung der Probanden, der Testverfahren und des Untersuchungsablaufs für Stufen- als auch Wettkampftests.

Auch die Apparaturen Besprechung kommt dabei nicht zu kurz. Alle verwendeten Materialien wie Ruderergometer, Kühlwesten usw. werden von Sigmund genau beschrieben und bildlich dargestellt.

Die statistischen Verfahren wurden dann in gemeinsamer Überlegung ausgewählt und in weiterer Folge auch im Kapitel Methodik unter dem Punkt Statistik gemeinsam in schriftliche Form gebracht.

Auf die Auswertung und Verarbeitung wird in Kapitel 5 ein Hauptaugenmerk gelegt. Sowohl deskriptive als auch analytische Statistikverfahren kommen hier zur Anwendung. Diese Auswertung erfolgte für die jeweiligen Fragestellungen getrennt. Sigmund befasste sich mit der Auswertung der Stufentests. Zyskowski legte seinen Fokus auf die Wettkampfbelastung. Wobei auch hier bei allen anfallenden Problemen Sigmund und Zyskowski eng kooperierten und so dieses Kapitel eine weitgehend zentrale Wissensvernetzung der beiden Autoren aufweist.

In Kapitel 6 diskutieren wir beide die Hypothesen anhand der vorliegenden Untersuchungsergebnisse. Weiter erlauben wir uns beide im siebten Kapitel methodenkritische Anmerkungen und reflektieren gemeinsam die von uns durchgeführten Tests. Der in Kapitel 8 vorgenommene Ausblick beschließt unsere Arbeit.

Da wir in unserer Arbeit nur männliche Probanden behandeln, wird auch im Text ausschließlich die männliche Form gebraucht.

Wir haben uns bemüht, sämtliche Inhaber der Bildrechte ausfindig zu machen und ihre Zustimmung zur Verwendung der Bilder in dieser Arbeit eingeholt. Sollte dennoch eine Urheberrechtsverletzung bekannt werden, ersuchen wir um Meldung bei uns.

2.Theoretische Grundlagen

Das Abklären der Begriffe ist ein notwendiger Bestandteil dieser Arbeit. Die Physiologie des Menschen spielt in allen seinen Facetten die entscheidende Rolle für das Verständnis der Komplexität des menschlichen Organismus und seiner Leistungsfähigkeit. Die in diesem Kapitel beschriebenen Mechanismen und Regelprozesse sind wichtige Voraussetzungen für das Verständnis der im Kapitel 4 erläuterten Untersuchungen. Der Energiestoffwechsel und seine Metaboliten, die Ausdauer, als auch rezeptorvermittelte Prozesse sind mehr als eng miteinander verknüpft. Hier gilt es also eine genaue und vertiefende Einführung zu geben. Weiter werden die Begriffe Kälte und Wärme und daraus folgend die Vermittlung und Regulation dieser Reize näher beleuchtet, so dass in diesem Kapitel mit den physiologischen Aspekten der Thermoregulation, als Basis des Grundlagenteils, begonnen wird.

2.1 Grundlagen der Thermoregulation

Die aktuelle Fachliteratur bietet unzählige Beiträge zur Funktion und Regulation der Körpertemperatur (vgl. Klinker R. / Pape, H-C.: Physiologie, 2005; Morrison et al, 2008, Deetjen & Speckmann, 2004). Auch während der Aufwärmarbeit werden diese Regulationsmechanismen in Anspruch genommen. Die Regulation bei körperlicher Arbeit stellt jedoch nur einen von vielen Aspekten der Temperaturregulation des menschlichen Organismus dar. Erst durch die komplexe Integration aller an diesem Regelsystem beteiligten Faktoren in ihrer agonistischen und antagonistischen Wirkung lässt fundierte Rückschlüsse auf potenzielle Auswirkungen zu. Das Thema und die Fragestellungen dieser Arbeit im Fokus behaltend müssen wir insbesondere den Einfluss von Wärme und Kälte auf die Leistungsfähigkeit herausarbeiten. Im Folgenden werden die physiologischen Grundlagen der Thermoregulation veranschaulicht.

2.1.1 Homöothermie

Der Mensch gehört der Gruppe der homöothermen (gleichwarmen) Lebewesen an (vgl. Heck & Fresenius, 2007).

Ein nicht zu unbedeutender Teil unseres Energieumsatzes geht in die Bildung von Wärme.

Wir Menschen, wie auch andere Säuger, verfügen über einen hohen Energieumsatz in Ruhe.

Dieser ist mit einem hohen Wärmebildungsgrad verbunden und sorgt so für eine Körpertemperatur die über der durchschnittlichen Temperatur der Umgebung liegt. Auch die Fähigkeit des Haltens eines konstant hohen Temperaturniveaus, der sogenannten Homoiothermie, von ca. 36,5 – 37°C, ist nur aufgrund spezieller Regulationsmechanismen möglich. Modulationen in Umgebungstemperatur oder im Energieumsatz können aufgrund von thermoregulatorischen Mechanismen innerhalb einer gewissen Bandbreite abgefangen werden. Dieser Homoiothermie liegen autonome Temperaturregulatoren zu Grunde (vgl. Silva, 2006). Diese werden in diesem Kapitel noch genauer erläutert.

Im menschlichen Körper erfolgt die Thermoregulation rezeptorvermittelnd.
(vgl. Klinke R. / Pape, H-C.: Physiologie, 2005; Morrison et al, 2008)

Folgende Voraussetzungen sind notwendig um eine aktive Regulation der Körpertemperatur zu gewährleisten:

Messfühler für die Temperatur (Thermosensoren), ein zentrales Temperaturregulationszentrum zur Beurteilung der gemessenen Temperatur (Hypothalamus) und Mechanismen zur Veränderung der Körpertemperatur (Effektoren bzw. Stellglieder = Wärmeabgabe und Wärmebildung). Diese Elemente müssen durch afferente und efferente Nervenfasern verbunden sein.

Grundsätzlich unterscheiden wir zwei Arten von Thermosensoren: periphere und zentrale.

Periphere Thermosensoren sind freie Nervenendungen. Auf molekularer Ebene ist noch nicht ganz geklärt welche Moleküle für die Entstehung des Sensorpotenzials in den Endungen verantwortlich sind. Möglicherweise findet hier eine Ca²⁺ (Kalzium)-abhängige Modulation der K⁺ (Kalium) Leitfähigkeit statt. Die peripheren Thermosensoren befinden sich in der Haut. Genauer gesagt im Bereich der basalen Epidermis-Zellen (unterste Schicht der Haut), in einem Abstand von ca. 1 Sensor/mm².

Bei diesen Thermosensoren handelt es sich um Proportional/Differenzial-Rezeptoren mit tonischer und phasischer Antwort, was bedeutet das sie sowohl Informationen über die Hauttemperatur als auch über die Geschwindigkeit von Temperaturänderungen liefern. Funktionell lassen sich in der Haut Kälte- und Wärmerezeptoren unterscheiden. Wobei an dieser Stelle angemerkt werden muss dass der menschliche Organismus in der Peripherie über mehr Kälte- als Wärmerezeptoren verfügt. (vgl. Klinke R. / Pape, H-C.: Physiologie, 2005)

Periphere **Kälterezeptoren** sind im Messbereich von 15–32°C aktiv. Die stärkste Antwort erhält man bei 25°C. Einige Kaltrezeptoren zeigen bei Temperaturen von über 32°C ein zweites Aktivitätsmaximum, wodurch sich unter Umständen „paradoxe“ Kälteempfindungen bei hohen Temperaturen ergeben. Die afferenten Nervenfasern gehören zum Typ C und A.

Periphere **Wärmerezeptoren** werden in einer Bandbreite von 30–45°C gemessen. Das Aktivitätsmaximum liegt bei ca. 43°C. Auch diese afferenten Nervenfasern gehören zum C-Typ.

Grundsätzlich kann man den peripheren Thermosensoren folgende Aufgabe zuteilen. Sie erfassen die Körperschalentemperatur und messen damit indirekt die Umgebungstemperatur. Die Sensoren-Dichte ist im Gesicht höher als an den Extremitäten. Kälte- und Wärmerezeptoren bilden ein Kontroll-/Frühwarnsystem. Dieses System kündigt drohende Störungen der Wärmebilanz an, noch bevor es zu einer Veränderung der Körperkerntemperatur kommt. Diese **antizipatorische Regulation** ist deshalb von großer Bedeutung da sie es ermöglicht unter Verwertung der Informationen aus der Körperschale, regulatorische Antworten gegen ein Absinken der Körperkerntemperatur einzuleiten noch bevor es zu dramatischen Veränderungen dieser kommt. (Auf die pathophysiologischen Auswirkungen zu großer Modulationen der Körperkerntemperatur werden wir etwas später in diesem Kapitel genauer eingehen.) Diese Regulation erlaubt uns die Körperkerntemperatur über längere Zeiträume konstant zu halten (vgl. Klinke R. / Pape, H-C.: Physiologie, 2005).

Diese peripheren Thermosensoren leiten ihre Informationen über thermische Afferenzen zum Rückenmark. Dort gelangen sie über den kontralateralen Tractus spinothalamicus zum Thalamus. Von dort erfolgt die Weiterleitung zum Hypothalamus, dem zentralen Thermoregulationszentrum. Danach werden die Informationen in das limbische System (Antrieb des Menschen) und den sensorischen Kortex (Temperaturwahrnehmung) weitergeleitet. Die Aktivierung von Wärmerezeptoren oder die Hemmung von Kälterezeptoren können in weiterer Folge auch eine zusätzliche reflektorische Vasodilatation (Gefäßerweiterung) über den Sympathikus (Vegetatives-Nervensystem) auslösen.

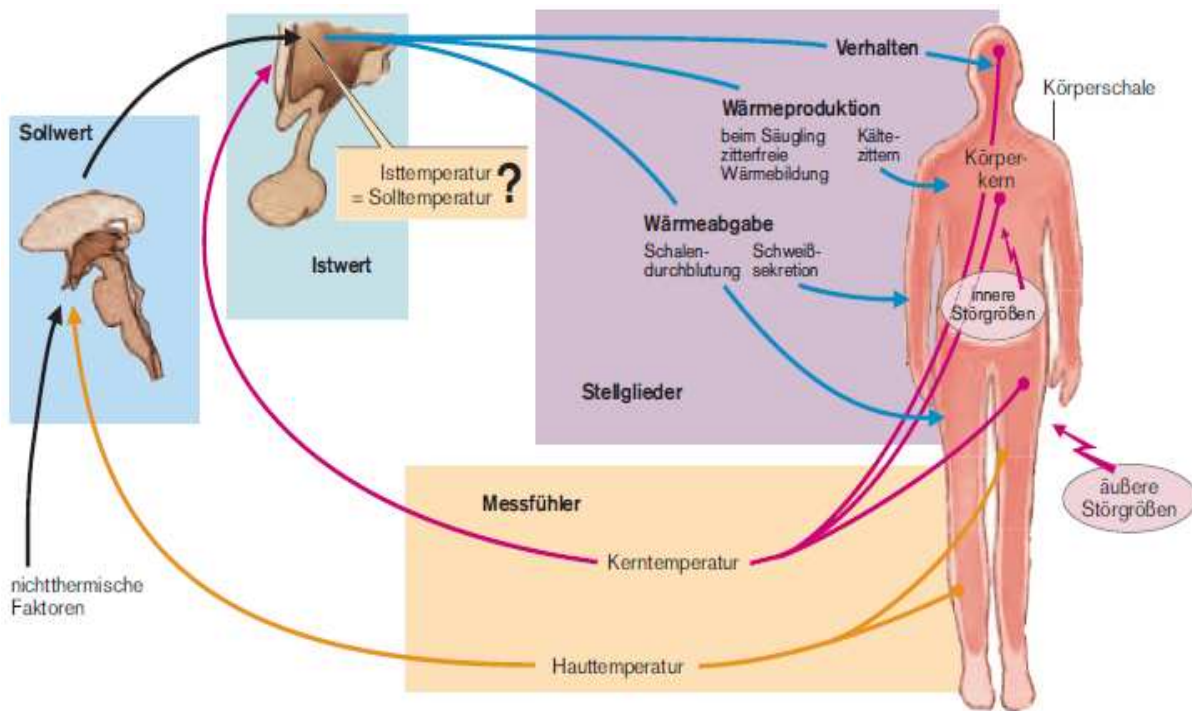


Abb.1. Regelkreis der Temperaturregulation

Der Ist-Wert der Körperkerntemperatur wird an verschiedenen Orten im Körperkern gemessen. Dieser wird durch innere Störgrößen verändert, so dass das Regulationszentrum im Hypothalamus eine Regelabweichung vom Sollwert registriert. Daraus entstehen Steuersignale, die zu einer Aktivierung der Stellglieder führen, die in weiterer Folge den Störgrößen entgegenwirken (negative Rückkopplung) und damit die Regelabweichung in Grenzen halten. Äußere, periphere, Störgrößen wirken primär auf die Haut. Änderungen der Hauttemperatur verstellen den Sollwert, so dass trotz eines unveränderten Istwerts eine Regelabweichung entsteht.

(Klinke R. / Pape, H-C.: Physiologie, 2005)

Zentrale Thermosensoren finden wir im Hypothalamus; sowie in Abdominal-Organen (z. B. Leber), im Rückenmark und im Hirnstamm

Die **zentralen Thermosensoren** des Hypothalamus sind eine relativ lose verteilte Zellpopulation. Sie messen die Körperkerntemperatur. Nur etwa 10% der Hypothalamus-Neuronen sind thermosensitiv. Sie reagieren auf Kernkörpertemperaturschwankungen die sich in einer Bandbreite von $\pm 2\text{--}4^\circ\text{C}$ befinden. Insgesamt finden wir im Hypothalamus mehr Wärme als Kaltrezeptoren. Die zentralen Thermosensoren sind besonders für die Wärmeregulation von fundamentaler Bedeutung. Unter anderem steuern sie bei körperlicher Belastung einer Überhitzung gegen.

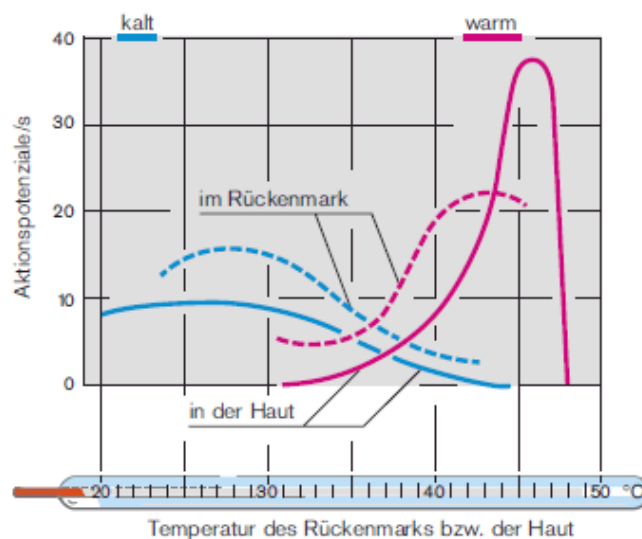


Abb. 2. **Temperatempfindliche Neuronen in Rückenmark und Haut** (Nach Hensel, H. 1881 und Simon, E. 1986 aus Klinker R. / Pape, H-C.: Physiologie, 2005)

Der Hypothalamus, das **Regulationszentrum**, unseres Organismus hat durch bisher nicht bekannte Mechanismen eine Solltemperatur kodiert. Aufgabe des Hypothalamus ist nicht nur die Messung der Körperkerntemperatur und die Verarbeitung von peripheren Temperatursignalen sondern auch der Vergleich der **Ist-Temperatur** mit der **Soll-Temperatur**. Werden Abweichungen von mehr als $\pm 0,1^\circ\text{C}$ gemessen, setzt der Hypothalamus **Effektormechanismen** in Gang. Ein überwiegender Teil dieser Regulation erfolgt durch negative Rückkopplung. Grundsätzlich kann der Sollwert schwanken. Diese Schwankungen sind abhängig von z. B. der Tageszeit, vom Menstruationszyklus oder bei Erkrankungen (z.B.: Fieber). Des Weiteren werden die thermoregulatorischen Antworten des Hypothalamus an andere Funktionen des Organismus, wie z.B. körperliche Arbeit, Blutdruckregulation angepasst. Dabei kommt es zu Überschneidungen in Regelsystemen.

Die von Thermosensoren gewonnenen Informationen gelangen praktisch in alle Regionen des **Hypothalamus** wobei jeder Bereich dieses Hirnareals einen anderen funktionellen Bereich in der Regulation der Körpertemperatur beeinflusst. Der **laterale Hypothalamus** ist für Verhaltensveränderungen von besonderer Bedeutung. **Vorderer Hypothalamus** reguliert den Blutfluss, die Wärmebildung und die Schweißdrüsen. Es wird angenommen, dass während andauernder Wärmebelastung der Neurotransmitter Noradrenalin von Bedeutung ist. Bei Kältebelastung spielt womöglich das Serotonin eine entscheidende Rolle. Im **hinteren Teil des Hypothalamus** scheint nach neuesten Erkenntnissen der Ausgangspunkt der Efferenzen (absteigende Bahnen) zu sein und diese spielen möglicherweise eine besondere Rolle bei der Einstellung des Sollwertes. Die den Hypothalamus erreichenden Informationen werden bewertet und nach ihrer möglichen Auswirkung auf den Organismus gewertet. Daraus folgt das eine **Temperaturänderung** an den **peripheren** Thermosensoren ca. **10-mal größer** sein muss **als** an **zentralen** Thermosensoren, um eine gleich große Antwort auszulösen. (Klinke, R. / Pape, H-C.: Physiologie, 2005)

Zu den vom Hypothalamus gestarteten **Effektormechanismen** der Thermoregulation gehören überwiegend sympathisch vermittelte Veränderungen der **Hautdurchblutung**. Von der Ruhedurchblutung ausgehend können diese in einer Bandbreite von 0,5- bis 10fachen Regulierung stattfinden. In den Hautgefäßen befinden sich überwiegend Alpha1-Adrenozeptoren (Transmitter: Noradrenalin), die vasokonstriktorisches (Gefäßverengend) wirken. Vasodilatation (Gefäßerweiterung) erfolgt also durch nachlassende Aktivität des Sympathikus an den Gefäßen. Auch Schweißdrüsen haben durch Abgabe von zusätzlichen vasodilatierenden Faktoren, Einfluss auf die Gefäßerweiterung. Dieser Einfluss führt zur maximalen Hautdurchblutung (aktive Vasodilatation).

Schweißdrüsen selbst sind wichtige Stellglieder der Thermoregulation. Ihre Aktivität wird durch den Sympathikus cholinerg stimuliert. (Anm. Die postsynaptischen Transmitter des Sympathikus sind in der Regel Adrenalin und Noradrenalin. Die **einzigste** Ausnahme im sympathischen System bildet die Regulation der Schweißdrüsen. Hier ist **Acetylcholin** der postsynaptische Transmitter) Der dritte Effektor sind **Muskelkontraktionen**. Durch diesen Mechanismus kann der Energieumsatz kurzfristig vervierfacht werden. Über einen längeren Zeitraum (Stunden) sogar verdoppelt. Zu diesem Effektor zählen neben willkürlichen Bewegungen eine Erhöhung des muskulären Grundtonus (z.B.: „steifer“ Unterkiefer bei hoher Kälteexposition) sowie das Kältezittern. Dieses Zittern stellt jedoch wegen der Aufwirbelung der isolierenden Luftschicht an der Hautoberfläche eine recht unökonomische

Form der Wärmebildung dar. Im Vergleich dazu ist die im **braunen Fettgewebe** stattfindende „zitterfreie“ Thermogenese (Wärmebildung) (auch **non-shivering thermogenesis, NST** genannt) eine sehr wirksame Form der Thermogenese. Vor allem bei Neugeborenen wie auch bei einer Vielzahl kleiner Säugetiere, tritt die NST aufgrund ihrer Ökonomie an Stelle des Kältezitterns.

Ein weiterer Effektormechanismus der auch bei Erwachsenen wirksam ist, ist die **Erhöhung des Grundumsatzes** durch vermehrte Adrenalin- bzw. TSH-Sekretion (TSH ist das Thyroidea stimulierende Hormon). Dieser Mechanismus kommt beispielsweise bei der Kälteakklimatisation zum Tragen. (Klinke R. / Pape, H-C.: Physiologie, 2005)

Auch das gemeinsame Wirken **thermoregulatorischer Mechanismen** spielt im Umgang unseres Körpers mit Temperaturunterschieden eine entscheidende Rolle. Grundsätzlich handelt es sich bei der Thermoregulation um ein hierarchisch strukturiertes System. Wir können zwischen verschiedenen Stufen der Thermoregulation unterscheiden.

Die erste Ebene beeinflusst den Wärmehaushalt durch Modifikation des Verhaltens. Diese Modifikation umfasst das Einnehmen bestimmter Körperhaltungen. Dazu zählt die Verringerung der effektiven Körperoberfläche durch Kleinmachen, um der Kälte entgegenzuwirken. Auf der anderen Seite des Thermoregulationsspektrums kommt es zu einer Vergrößerung der Körperoberfläche über Ausstrecken der Extremitäten, um enormer Hitze entgegen zu wirken.

Ein weiterer Punkt ist die Veränderung der Hautdurchblutung. Durch dieses Prinzip wird die Wärmeabgabe reguliert. Möglich wird diese Form der Regulation erst durch das Gegenstromprinzip. Dieser Mechanismus beruht auf der Tatsache dass über das arterielle Blut Wärme transportiert wird. Diese Wärme nimmt im Verlauf der Arterie in Richtung der Peripherie ab. Venen liegen in ihrem Verlauf teilweise sehr eng an den Arterien. Daraus folgend übernehmen sie am Weg zurück in den Körperkern über das Gegenstromprinzip einen Teil der Temperatur, um so im Körperkern die Temperatur konstant zu halten. Kommt es nun bei zu hoher Wärmeexposition z.B.: durch Sonnenbaden zu einer kritischen Erwärmung des Körpers, nimmt das Blut als Wärmeträger einen Umweg über die dilatierten oberflächlichen Hautgefäße. Hierbei wird das Blut abgekühlt und kann unter Umständen auch über die Schweißverdunstung gekühlt werden. Bei äußerer Kältebelastung kommt es zu einer Konstriktion der peripheren Blutgefäße um ein Absinken der Körperkerntemperatur zu verhindern. Sinkt die Temperatur auf ein kritisches Minimum so wird die Durchblutung der Haut gedrosselt. Um jedoch Frostschäden entgegenzuwirken aktiviert der Organismus die sogenannte Lewis-Reaktion. Dabei wird die Vasokonstriktion alle 20 Minuten kurz

unterbrochen um so ein mögliches Absterben der peripheren Strukturen zu verhindern.

Ein letzter wichtiger Punkt der an dieser Stelle noch erwähnt werden muss ist die Autonomie der Wärmebildung. Dies bedeutet, dass der Organismus nicht nur autonom die Wärmeabgabe reguliert sondern auch die Wärmebildung eigenständig beeinflusst. So wird bei einem Drosseln der Wärmeabgabe automatisch die Wärmebildung gesteigert. Dieses Prinzip hat natürlich auch in die entgegengesetzte Richtung ihre Gültigkeit. Weiter kommt es auch zu einer antizipatorischen Temperaturregulation noch bevor die Körperkerntemperatur absinkt. (vgl. Klinke R. / Pape, H-C.: Physiologie, 2005)

2.1.2 Körpertemperatur

Da der Mensch als homoiothermes Lebewesen konstante Körperkerntemperatur benötigt, ist es notwendig eine Differenzierung von Körperkern und Körperschale vorzunehmen. Genau genommen gilt der Begriff Homoiothermie nur für den Körperkern (Romanovsky, 2007).

Der Kopf, die Innenseite des Brustkorbs und der Bauchhöhle, werden als Körperkern definiert. Da, wie oben schon erwähnt, das Blut einer unserer Hauptwärmeträger ist, können wir die Körperkerntemperatur auch als die Temperatur definieren, die das Blut nach Verlassens des Herzens hat. In weiterer Konsequenz können wir die Körperkerntemperatur auch mit der Temperatur im Gehirn und den interthorakalen und interabdominalen Organen gleichsetzen. Die Körperkerntemperatur befindet sich in einer weitgehend konstanten Bandbreite von 36,5 - 37°C. Diese Konstanz ist notwendig, um die im Körper ablaufenden Prozesse aufrechtzuerhalten. Hauptgrund für diese Konstanz ist die Enzymaktivität. Enzyme bestehen aus Proteinen, deren Aktivität von der Temperatur und den pH-Werten des inneren Milieus abhängig ist. (Klinke R. / Pape, H-C.: Physiologie, 2005)

Neben dem Körperkern definieren wir noch die Körperschale. Diese wird von den unterschiedlichen Gewebsschichten unter der Haut gebildet. Im Weiteren zählen wir noch die Extremitäten dazu. In diesem Teil des Körpers wird die im Körperinneren gebildete Wärme über Konvektion an die Peripherie abgegeben. Daraus folgt, dass die Körperschale als poikilotherm (wechselwarm) angesehen werden kann. (vgl. Deetjen / Speckmann: Physiologie, 2004)

Wie schon in der Erläuterung der thermoregulatorischen Mechanismen aufgezeigt verändert sich die Temperatur der Körperschale gemeinsam mit der Außentemperatur. Die folgende Abbildung zeigt uns wie sich das Temperaturverhalten in Abhängigkeit zu den unterschiedlichen Umgebungstemperaturen gestaltet:

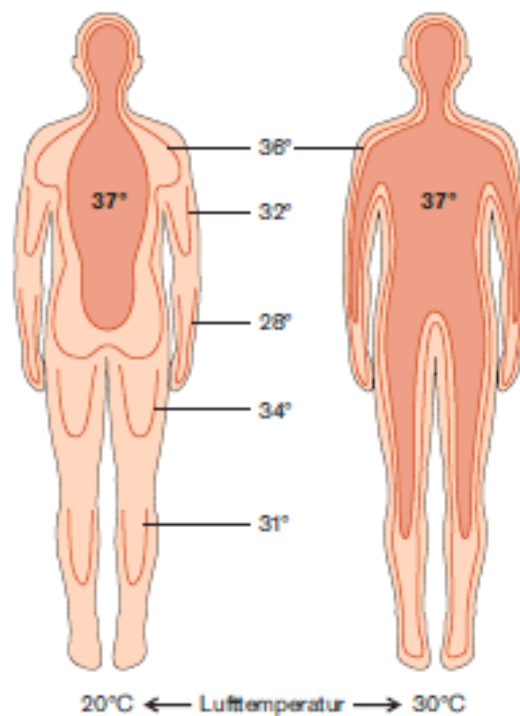


Abb.3 **Temperaturfeld des Körpers.** Nur der Kern ist im eigentlichen Sinn homiotherm, da seine Temperatur bei mäßigen Änderungen der Lufttemperatur konstant bleibt. Demgegenüber bilden sich bei Kältebelastung in den peripheren Schichten radiale und axiale Gradienten aus, so dass sich eine isolierende Schale von variabler Dicke ergibt. (Nach Clark, RP, 1985 aus Klinke R. / Pape, H-C.: Physiologie, 2005)

Um dieses Kapitel zu vervollständigen sollte noch erwähnt werden dass es im Verlauf des Tages zu periodischen Temperaturdifferenzen in einer Bandbreite von etwa 1,0 – 1,5°C kommt. Der Organismus durchläuft ein Temperaturminimum am Morgen und ein Temperaturmaximum am Nachmittag. Weiteres können bei Frauen periodische Schwankungen aufgrund der Ovulation festgestellt werden.

Männer: 36,8°C

Frauen: 36,8°C vor der Ovulation

37,2°C nach der Ovulation

2.1.3 Temperaturmessort

Aufgrund der oben beschriebenen Körpertemperaturverhältnisse erhalten wir für die Körpertemperatur nur Mittelwerte die sich aus Körperkerntemperatur und mittlerer Schalentemperatur (Hauttemperatur) ergeben. Bei optimalen Umgebungsverhältnissen und in Ruhe können wir von einer Temperaturdifferenz zwischen Kern und Peripherie von 3-4°C ausgehen.

Physiologischerweise wäre der Hypothalamus der optimale Ort einer Temperaturmessung. Im Hypothalamus entspricht die Temperatur des zirkulierenden Blutes sehr exakt der Körperkerntemperatur. Diese Region ist für eine Messung kaum zugänglich. Daraus folgt, dass für eine exakte Messung der Körperkerntemperatur andere Körperöffnungen wie die Mundhöhle, der äußere Gehörgang und der Enddarm als Messorte herangezogen werden müssen.

Die Versuchsanordnung dieser Arbeit stellt im Hinblick der Praktikabilität während des leistungsdiagnostischen Tests, die Temperaturmessung im abgedichteten äußeren Gehörgang, den Messort der Wahl dar. Die im Gehörgang gemessene Temperatur entspricht sehr genau der Gehirntemperatur. (vgl. De Marées, 2003, Deetjen / Speckmann, 2004)

2.1.4 Wärmebildung und Wärmeabgabe

Aufgrund von Verzögerungen in der Temperaturregulierung kann es unter Umständen zu einer temporären Dysbalance zwischen der oben erwähnten Wärmebildung und einer möglichen Wärmeabgabe kommen.

Grundsätzlich verfügt der menschliche Organismus über eine Vielzahl von Wärmeabgabemechanismen (vgl. Wendt et al., 2007):

Als ersten Mechanismus betrachten wir die Konduktion (Wärmeleitung). Konduktion bezeichnet den Transport von Wärmeenergie in einem ruhenden Medium. Hierbei kommt es zu einer Übertragung kinetischer Energie von hoch angeregten Molekülen auf Moleküle mit niedrigerem Energieniveau. Des Weiteren sei an dieser Stelle erwähnt, dass die Konduktion grundsätzlich dem Diffusionsgesetz (1. Fick'sches Diffusionsgesetz) folgt und somit vom Temperaturgradienten und der Kontaktfläche abhängig ist.

Konvektion ist die Wärmeübertragung durch Strömung. Diese Art der Wärmeübertragung geschieht, wenn das den Organismus umgebende Medium (z.B.: Luft oder Wasser) relativ zum Körper strömt und aufgrund dieser Strömung unserem Körper Wärme entzieht. Je höher die Geschwindigkeit ist mit der die Luft vorbeiströmt desto mehr Wärme wird dem Körper entzogen. Aufgrund dieses Mechanismus sinkt die Hauttemperatur und wir empfinden die Umwelt um vieles kühler. Dieser Effekt wird auch als Wind-Chill-Faktor bezeichnet (vgl. Bluestein, 1998).

Als nächstes widmen wir uns der Wärmestrahlung. Diese beschreibt die Wärmeübertragung zwischen zwei Körpern mit unterschiedlicher Temperatur. Dies geschieht auch ohne direkten Kontakt, also über größere Distanzen. Beispielsweise kann die Wärmestrahlung der Sonne auf den menschlichen Körper höher sein als die Wärmeproduktion des Organismus in Ruhe. Evaporation (Verdunstung) stellt einen der wichtigsten Mechanismen der Wärmeabgabe dar. Die Verdunstung hängt nicht von der Temperatur ab. Der hier wirkende Mechanismus hat einen Zusammenhang mit der Wasserdampfdruckdifferenz wobei sich der Unterschied zwischen Haut und Umgebung als essentiell zeigt. Der Mensch verfügt über mehrere Millionen Schweißdrüsen. Diese werden in Endstücke und Ausführungsgänge unterteilt. Im Endstück erfolgt die Bildung von Primär-Schweiß. Dieser erfährt in weiterer Folge eine Modifikation im Ausführungsgang (NaCl-Rückresorption). Voraussetzung für eine ausreichende Schweißproduktion ist eine genügende Hydratation des Körpers. Dehydratation führt zu einer Volumenabnahme des Blutes (Hypovolämie) und in weiterer Folge zu einer Abnahme der Hautdurchblutung, die in weitere Konsequenz eine verminderte Schweißproduktion nach sich zieht und somit die Evaporation beeinflusst. Die Schweißproduktion wird im Endstück reguliert und basiert auf sympathischer Innervation. Zu erwähnen ist auch, dass die Wärmeabgabe auch über die Schleimhäute der Atemwege erfolgen kann (20-50ml/h). (vgl. Klinker R. / Pape, H-C.: Physiologie, 2005)

2.1.5 Exkurs Aufwärmen

Auf eine ausführliche und detaillierte Beschreibung des Aufwärmens wird in diesem Kapitel nicht eingegangen. Es soll nur ein grober Überblick über die verschiedenen Methoden des Aufwärmens, und im Speziellen der Zusammenhang zwischen der Körperkerntemperatur und der Aufwärmarbeit erläutert werden.

Nach Weineck et al. (2007) versteht man unter dem Begriff „Aufwärmen“ alle Maßnahmen, die vor einer sportlichen Belastung getätigt werden, um einen idealen koordinativ-kinästhetischen sowie psychophysischen Zustand herzustellen.

Es wird generell zwischen allgemeinem und speziellem Aufwärmen unterschieden.

Das allgemeine Aufwärmen soll dazu dienen, die großen Muskelgruppen zu erwärmen und den Organismus und dessen funktionelle Möglichkeiten vom Ausgangsniveau auf ein höheres Level zu bringen.

Im Unterschied dazu ist das Ziel des spezifischen Aufwärmens, die Muskeln, die speziell für die ausgewählte Sportart benötigt werden, auf eine Belastung vorzubereiten und zu erwärmen.

Das allgemeine Aufwärmen sollte gegenüber dem spezifischen immer Vorrang haben. Weshalb das in der Literatur empfohlen wird, hängt mit den physiologischen Wirkungen zusammen, die durch das allgemeine Aufwärmen hervorgerufen werden (vgl. de Marées, 2003, S. 565).

Durch die Temperatursteigerung im Körper kommt zu einer Beschleunigung der Stoffwechselprozesse. Die Stoffwechselrate erhöht sich bis zu ca. 13% pro Grad Temperatursteigerung und zusätzlich steigen der Energieumsatz und die muskuläre Leistungsfähigkeit.

Die Weiterleitung der Nervenimpulse wird mit der Steigerung der Körpertemperatur beschleunigt. Ferner kommt es zu einer Verbesserung der Kontraktionsgeschwindigkeit des Muskels, was mit einer Verringerung der Zeit bis zum Erlangen der maximalen Kraft einhergeht.

Das Aufwärmen wirkt sich auch auf Knorpel und Gelenkflächen aus. Die hyaline Knorpelschicht verdickt sich, wodurch es zu einer Verminderung des Drucks durch einwirkende Kräfte auf die Gelenkflächen kommt. Dies passiert aufgrund der Vergrößerung der Auflagefläche durch das Aufwärmen.

Des Weiteren unterscheidet man noch zwischen aktivem, passivem, mentalem Aufwärmen oder auch einer Kombination aus den oben erwähnten.

Die Differenzierung zwischen aktivem und mentalem Aufwärmen liegt darin, dass der Sportler beim aktiven Aufwärmen die Übungen praktisch ausführt. Beim mentalen Aufwärmen wird nur eine Vorstellung der Übungen angestrebt.

Das beste Resultat erhält man, wenn man aktives und mentales Aufwärmen kombinieren kann. Dies kann insbesondere bei technisch anspruchsvollen Disziplinen (wie z.B. Skirennlauf, Leichtathletik, etc.) eine entscheidende Rolle spielen.

Unter passivem Aufwärmen versteht man Methoden wie Massagen, Duschen, Einreibungen und Ähnlichem, wobei diese nur in wenigen Sportarten in Kombination mit dem aktiven Aufwärmen zur Anwendung kommen. Spezielle Einreibungen oder Duschen rufen zwar bei den Hautgefäßen eine Vasodilatation sowie eine diffuse Blutverteilung hervor, jedoch kommt es nicht zu einer bedarfsgerechten Durchblutung der späteren Arbeitsmuskulatur. Beim aktiven Aufwärmen ist dies jedoch der Fall.

Nun möchten wir jedoch genauer auf den Zusammenhang zwischen Körperkerntemperatur und Aufwärmarbeit eingehen.

„Im Mittelpunkt des allgemeinen aktiven Aufwärmens, z.B. in Form des Warmlaufens, steht die Erhöhung der Körperkerntemperatur und Muskeltemperatur sowie die Einarbeitung bzw. Vorbereitung des kardiopulmonalen Systems auf Leistung.“ (vgl. Weineck, 2007)

Aufgrund des allgemeinen Aufwärmens kommt es, wie verschiedene Untersuchungen belegen, zu einer kontinuierlichen Erhöhung der Körperkerntemperatur. Es besteht ein direkter Zusammenhang bezüglich des Grades des Temperaturanstiegs und der Aufwärmdauer.

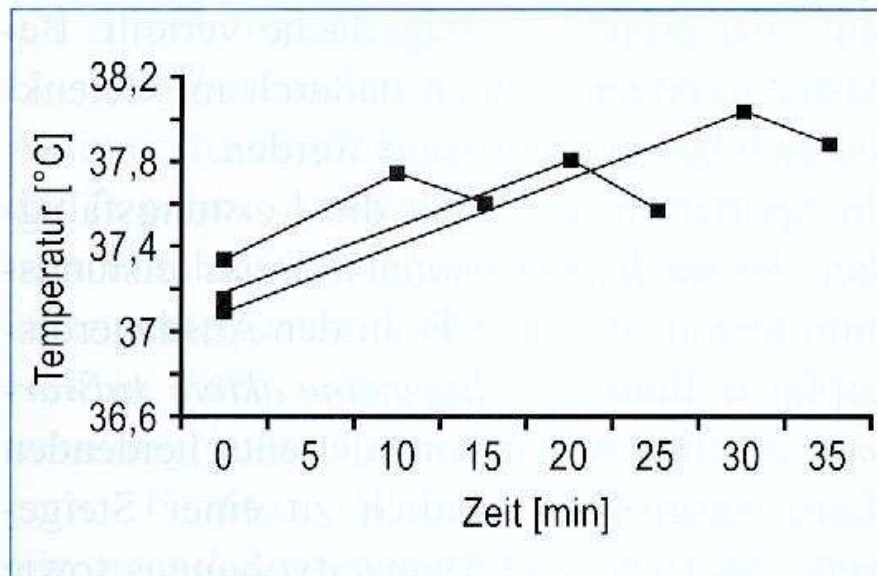


Abb. 4: Durchschnittliche Temperaturentwicklung (bei rektaler Messung) bei einem 10 -, 20 - und 30 - minütigen allgemeinen Warmlaufen auf dem Laufband bei einer Geschwindigkeit von 7,0 km/h (1,94 m/sec) bzw. nach einer 5 - minütigen Pause (nach SASSE 2006 in Weineck, 2007, S. 941)

Es kann jedoch laut Weineck (2007) nicht definitiv bestätigt werden, ob eine maximale Leistung durch die laut verschiedener Literatur angegebene optimale Kerntemperatur (38,5-39 Grad) auch wirklich dem Optimum entspricht.

Was in dieser Arbeit kritisch betrachtet wird, ist die Belastung des Körpers durch einen Wettkampf- bzw. Stufentest unter hoher Hitzeeinwirkung. Sobald der menschliche Körper hoher Hitze ausgesetzt ist, verbraucht dieser viel Energie für die Kühlung. Dies geschieht über die Schweißproduktion.

Da das Aufwärmen aber eine essentielle Rolle - bezogen auf alle möglichen Vorgänge im Körper - spielt, sollte darauf nicht verzichtet werden. Um nun den Körper optimal auf eine hohe Belastung vorzubereiten, und in Kombination damit möglichst wenig Energie verbraucht werden soll, kommt die Idee des Precooling ins Spiel. Durch die Applikation einer Kühlweste in der Aufwärmphase wird nicht nur die Körperkerntemperatur, sondern auch die Hauttemperatur reduziert. Dies hat zur Folge, dass weniger Blut vom Körper zur Haut befördert werden muss, um diese zu kühlen. Es steht dadurch umso mehr Blut für die Versorgung der Muskeln zur Verfügung.

2.2 Grundlagen der Ausdauer

„Unter Ausdauer wird allgemein die psycho-physische Ermüdungswiderstandsfähigkeit des Sportlers verstanden. Dabei beinhaltet die psychische Ausdauer die Fähigkeit des Sportlers, einem Reiz, der zum Abbruch einer Belastung auffordert, möglichst lange widerstehen zu können, die physische Ausdauer die Ermüdungswiderstandsfähigkeit des gesamten Organismus bzw. einzelner Teilsysteme.“ (Weineck, J. 2007, 229)

„Ausdauer wird im Allgemeinen als Ermüdungswiderstandsfähigkeit definiert. In diesem Sinne ermöglicht sie

- 1) eine gewählte Intensität möglichst lange Aufrecht erhalten zu können,
- 2) die Verluste an Intensität so gering wie möglich halten zu können,
- 3) die sportliche Technik und das taktische Verhalten über längere Zeit stabilisieren zu können. Die Ausdauer ist direkt und indirekt leistungsbedeutsam, sie ist leistungs- und trainingsbegrenzend zugleich. Ein umfangreiches und intensives Training ist nur auf der Basis einer guten Ausdauer möglich. Deshalb muss zusätzlich die zentrale Funktion der Ausdauer als Regenerationsfähigkeit berücksichtigt werden. Die (aerobe) Ausdauer bewirkt also auch, dass man
- 4) sich nach einer Belastung schnell(er) erholen kann.“

(vgl. Hohmann, A. et al. 2007)

2.2.1 Einteilung der Ausdauer

Die Unterteilung der verschiedenen Arten der Ausdauer lässt sich nach mehreren Kriterien gliedern:

- 1) Allgemeine und lokale Ausdauer – je nach Anteil der beteiligten Muskulatur
- 2) Allgemeine und spezielle Ausdauer – in Bezug auf die Sportartspezifität
- 3) Aerobe und anaerobe Ausdauer – resultierend aus der muskulären Energiebereitstellung
- 4) Kraft-, Schnellkraft- und Schnelligkeitsausdauer – resultierend aus den motorischen Beanspruchungsformen, die hauptsächlich beteiligt sind.

Neben der trainingswissenschaftlichen Sicht unterscheiden Hollmann & Hettinger (2000) den Begriff Ausdauer nach folgenden Gesichtspunkten. Es wird zwischen biophysikalischen (dynamische oder statische Ausdauer), biochemischen (aerobe oder anaerobe Ausdauer) und morphologischen (lokale oder allgemeine Ausdauer) Kriterien unterschieden.

Allgemeine und lokale Ausdauer

Spricht man von allgemeiner Ausdauer, so kann man dies auf die gesamte Skelettmuskulatur beziehen und je nach Anteil der beanspruchten Muskulatur differenzieren. Sobald mehr als 1/7 bis 1/6 beansprucht werden, ist von allgemeiner Ausdauer die Rede. Hier sind vor allem die maximale Sauerstoffaufnahme und das Herz-Kreislauf-Atmungs-System limitierende Faktoren.

Werden weniger als 1/7 bis 1/6 der Muskulatur beansprucht, spricht man von lokaler Ausdauer.

Die bestimmenden und limitierenden Faktoren der lokalen Ausdauer sind die anaerobe Kapazität, die spezielle Kraft und die Technik (neuromuskuläre Koordination in der spezifischen Disziplin).

Abgesehen von den grundsätzlichen Unterteilungen, die für lokale und allgemeine Ausdauer vorhanden sind, soll der Schwerpunkt in dieser Arbeit aufgrund des gewählten Themas auf die allgemeine Ausdauer gelegt werden. Genauere Erläuterungen beziehen sich speziell auf die anaerobe laktazide Form, die beim Rudersport ausschlaggebend sein kann (in Kap. 2.3.2 genauer beschrieben).

Aerobe und anaerobe Ausdauer – Dynamische und statische Ausdauer

Die allgemeine und die lokale Ausdauer werden durch die Form der Energiebereitstellung unterschieden. Die Energie kann unter aeroben oder anaeroben Bedingungen gewonnen werden.

Bei der aeroben Ausdauer steht ausreichend Sauerstoff zur oxidativen Verbrennung der metabolisch verwertbaren, Stoffwechsel relevanten Substrate zur Verfügung während bei der anaeroben Ausdauerform die Sauerstoffzufuhr zu gering ausfällt und somit keine vollständige Metabolisierung der Substrate möglich ist. Dies resultiert aus der zu hohen Belastungsintensität, welche als Ursache entweder einen vermehrten Krafteinsatz oder auch eine hohe Bewegungsfrequenz hat.

Da es in der Praxis äußerst selten vorkommt, dass die Energiebereitstellung rein aerob oder rein anaerob erbracht wird, und hauptsächlich verschiedene Mischformen bei allen sportlichen Disziplinen entstehen, hat es sich für die Sportpraxis als sinnvoll herausgestellt, die allgemeine Ausdauer in Kurzzeit-, Mittelzeit- und Langzeitausdauer zu unterteilen.

Zur Art der Energiebereitstellung der verschiedenen Formen der Ausdauer ist festzuhalten, dass die Kurzeitausdauer (KZA) vor allem durch anaerobe Prozesse ihre Energie bezieht. Bei der Mittelzeitausdauer (MZA) besteht eine Mischform aus aerober und anaerober Energiebereitstellung. Fast ausschließlich aerob wird die Langzeitausdauer (LZA) mit Energie versorgt.

Die Einteilung in Kurzzeit-, Mittelzeit- und Langzeitausdauer unterscheidet sich leicht je nach Literatur.

Weineck etwa unterteilt wie folgt:

1) Kurzeitausdauer (KZA): Belastung von ca. 45 Sekunden bis zu 2 Minuten

2) Mittelzeitausdauer (MZA): Belastung von ca. 2 bis 8 Minuten

3) Langzeitausdauer: alle Belastungen über 8 Minuten

Einteilung der LZA

LZA I : Belastungszeiten bis 30 Minuten (vorwiegend Glukose-Metabolismus als Energielieferant)

LZA II : Belastungszeiten zwischen 30 und 90 Minuten (Mischung aus Glukose-Metabolismus und Fettstoffwechsel als Energiequelle)

LZA III : Alle Belastungen über 90 Minuten (Fettstoffwechsel als Hauptenergiequelle)

Dynamische und statische Ausdauer

Es handelt sich hierbei um eine biophysikalische Unterteilung. Man unterscheidet einerseits die dynamische Ausdauer, wo isotonische Bewegungsarbeit vollbracht wird, andererseits die statische Ausdauer, welche durch isometrische Haltearbeit gekennzeichnet ist. Genauer gesehen bedeutet das bei der dynamischen Ausdauer, dass sich Kontraktion und Erschlaffung der Muskulatur rhythmisch abwechseln. Die Muskulatur verkürzt sich bei diesem Vorgang. Betrachtet man die statische Beanspruchung des Muskels genauer, so kommt es zur „Entwicklung einer erhöhten Muskelspannung ohne Zurücklegung einer Wegstrecke“ (Hollmann et al., 2000, S.53). Nach physikalischen Gesichtspunkten liegt bei der statischen

Muskelbeanspruchung keine Arbeit vor, da diese als Kraft mal Weg definiert wird.

Als übersichtliche Darstellung der oben genannten Ausdauerformen soll Abb.5 dienen:

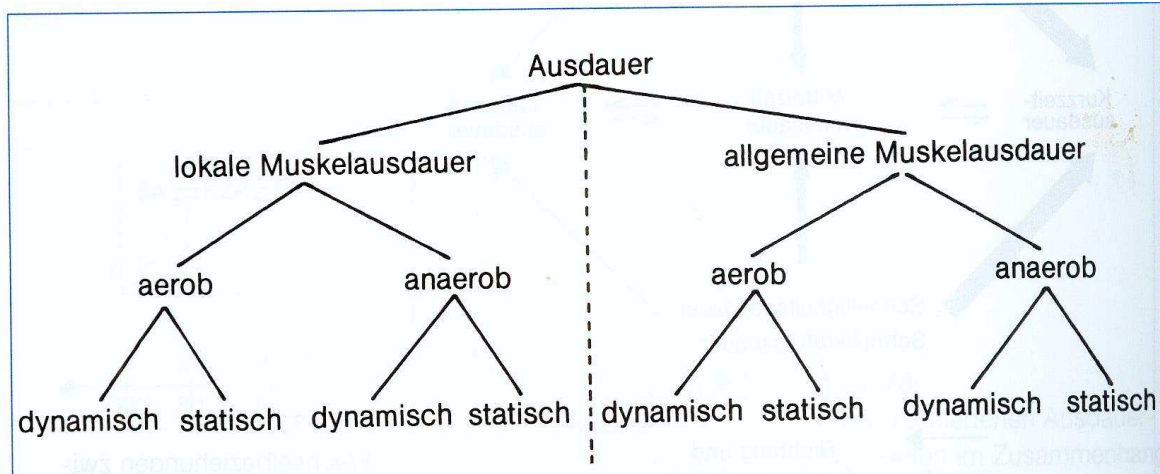


Abb.5: Schematische Darstellung der verschiedenen Formen von Ausdauerleistungsfähigkeit (nach Hollmann/Hettinger 1980 in Weineck, 2007, S. 232)

2.3 Energiebereitstellung und Energiestoffwechsel

Grundsätzlich muss man zum Beginn dieses Kapitels sagen dass jede Form von Arbeit Energie oder besser Energiegewinnung und Energiefreisetzung voraussetzt.

Rein physikalisch orientieren wir uns nach dem Energieerhaltungssatz (law of conservation of energy):

Innerhalb eines geschlossenen Systems bleibt die Energie stets konstant, lediglich die Umwandlung verschiedener Energieformen ineinander ist möglich. (Pschyrembel, Medizinisches Lexikon, online Ausgabe)

Chemische Prozesse die für die Gewinnung von Energie notwendig sind lassen sich in zwei Gruppen unterteilen:

Exergone Reaktionen setzen Energie frei. Genauer formuliert bedeutet das dass die Bilanz einer Reaktion während ihrem Verlauf Energie freisetzt.

Endergone Reaktionen benötigen Energie um stattfinden zu können oder genauer formuliert sind Endergone Reaktionen Prozesse, für deren Ablauf Energie zugeführt werden muss.

Für die Leistungsfähigkeit können wir daraus ableiten dass sowohl die Energiespeicher als auch die Ermüdungswiderstandsfähigkeit von Prozessen der Energiebereitstellung abhängig sind.

Viele dieser Prozesse sind ausgiebig und genau untersucht worden. In weiterer Folge gilt es die gesicherten Erkenntnisse des Stoffwechsels und der Energiebereitstellung zu beleuchten und die unterschiedlichen Phasen der Energiebereitstellung als Grundlage für Leistungsfähigkeit darzustellen.

2.3.1 Energiebedarf und Energietransport

In Körperzellen laufen dauernd Prozesse ab die ohne Energie nicht stattfinden können. Seien es Transportvorgänge (z.B.: Natrium/Kalium-Adenosin-Tri-Phosphatase \rightarrow Na⁺/K⁺-ATPase) oder Prozesse der Biosynthese (z.B.: von Enzymen) wird Energie benötigt. Unter Biosynthese versteht man den Aufbau organischer Verbindungen durch lebende Zellen zur Aufrechterhaltung physiologischer Funktionen des Gesamtorganismus. Zu den organischen

Verbindungen, die für die Biosynthese relevant sind zählen Aminosäuren, Fette, Kohlenhydrate, Nucleinsäuren, Enzyme und Hormone.

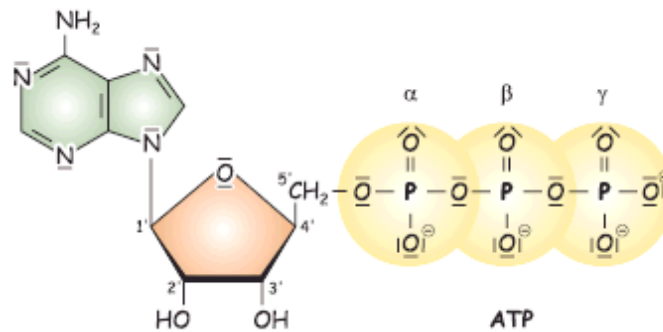


Abb. 6. Struktur des Adenosin-Tri-Phosphat (Horn, F. et al.: Biochemie des Menschen, 2005)

Transportprozesse gegen einen elektro-chemischen Konzentrationsgradienten stellen einen energieverbrauchenden Prozess da. Als Beispiel sei an dieser Stelle der primär-aktive Ionentransport über die Na⁺/K⁺-ATPase angeführt. Dieser Mechanismus ist essentiell für unseren Organismus da er es unserem Körper ermöglicht ein Membran Potential zu entwickeln um in weiterer Folge elektro-chemische Membran Stabilität zu besitzen. Aufgrund dieses Potentials kann eine Vielzahl von verschiedenen zellulären physiologischen Mechanismen gesteuert werden. Weiter stellt, wie wir gleich sehen werden, die Na⁺/K⁺-ATPase einen der Prozesse im Körper dar die am meisten ATP verbrauchen. Bei der Na⁺/K⁺-ATPase wird Na⁺ aus dem Inneren der Zelle (Zytosol/ geringe Na⁺ Konzentration, 15mmol/H₂O) in den Extrazellulärraum (hohe Na⁺ Konzentration, 145mmol/H₂O) gepumpt. Im Gegenzug pumpt die Na⁺/K⁺-Pumpe unter ATP-Verbrauch gegen die Kaliumkonzentration K⁺ aus dem Extrazellulärraum (geringe K⁺ Konzentration, 4,4mmol/H₂O) in das Zytoplasma (hohe K⁺ Konzentration, 120mmol/H₂O). Pro Pumpzyklus wird dabei ein Molekül ATP verbraucht, 3Na⁺ aus der Zelle heraus transportiert und 2K⁺ in die Zelle transportiert. Um die Bedeutung dieser „Pumpe“ zu verdeutlichen sollten wir und vor Augen führen dass die Zellen unsers Organismus für die kontinuierliche Leistung der Na⁺/K⁺-ATPase zwischen 30-70% des im Stoffwechsel gewonnen ATP verbrauchen. Somit ist die Na⁺/K⁺-ATPase dominant für die intrazelluläre Homöostase des menschlichen Körpers. Die ausreichende Versorgung des Körpers mit ATP und ihre Auswirkung auf die Ionen-Pumpen der Zellen stellt als eine essentielle Voraussetzung für die Aufrechterhaltung der Zellstrukturen, Körperwärme und weiterer vitaler Lebensvorgänge da. Ein dramatischer Abfall (unter 40%) des Ruhe-ATP-Spiegels (ca. 80g ATP) führt in weitere Folge zum Zelltod. Somit ist eine Ständige ATP-

Resynthese zur Aufrechterhaltung des Lebens von Nöten. (Cantley, L.C., 1981)

Ergänzend sein noch erwähnt dass der Organismus des Menschen noch über weitere intrazelluläre Transportmechanismen verfügt. Alle jedoch eine funktionierenden ATP-Synthese und daraus folgend eine Funktionierende „Na⁺/K⁺-Pumpe“ benötigen um ihre Funktionen, im Stoffaustausch zwischen Zellen und Zellsystemen, hinreichend und physiologisch Optimal auszuführen. (vgl. Klinker R. / Pape, H-C.: Physiologie, 2005)

2.3.2Aerobe – anaerobe Energiebereitstellung

Die Energiebereitstellung die notwendig ist um das Verrichten von Arbeit im Organismus, sei es die Arbeit von Muskeln oder Organen, zu gewährleisten ist von mehreren Faktoren abhängig. Ausreichende Durchblutung, Sauerstoffzufuhr und ein genügender Transport von metabolisch verwertbaren Verbindungen also eine ausreichende Nahrungszufuhr sind für den Stoffwechsel des Organismus von grundlegender Bedeutung. Die Art und Weise wie Nahrungsbestandteile im Verlauf des Stoffwechsels metabolisiert werden unterliegen grundlegenden Begutachungskriterien. Belastungsintensität, Belastungsdauer und Arbeitsweise des belasteten Organsystems ermöglichen einen Rückschluss auf die Stoffwechselraten und das Energetische-Outcome.

Unterschieden wird in der Arbeitsweise des Stoffwechsels nach ihrem Sauerstoffverbrauch. Wir unterscheiden hier grundsätzlich zwei Metabolisierungszustände: aerobe Stoffwechselprozesse und die anaeroben Stoffwechselprozesse. (vgl. Horn, F. et al.: Biochemie des Menschen, 2005)

Diese lassen sich nach ihren Stoffwechselendprodukten, der gewonnenen Energiemenge und der Funktionsdauer des metabolischen Systems weiter unterteilen, darauf werden wir jedoch zu einem späteren Zeitpunkt den Fokus richten.

Langdauernde dynamische muskuläre Arbeit ist vorwiegend durch aerobe Stoffwechselvorgänge, unter Verbrauch von Sauerstoff, gekennzeichnet. Im Vergleich dazu zeichnet sich statische Muskelarbeit bereits bei submaximalen Intensitäten durch anaeroben, ohne Sauerstoff stattfindenden, Metabolismus aus.

Kohlenhydrate, Fette und Eiweiße geben im Laufe der unterschiedlichen Stoffwechselprozesse Elektronen ab und ermöglichen so im Metabolismus Potenzialänderungen und Veränderungen des Energieniveaus der energiereichen

Trägermoleküle. Während der unterschiedlichen Stoffwechselketten wird im einem der letzten Schritte ein Wasserstoffelektron mit Sauerstoff verbunden. Dieser Vorgang wird als aerobe Oxidation oder innere Atmung bezeichnet. Während der anaeroben als auch zu Beginn der aeroben Form der Energiebereitstellung wird durch Aufbrechen von langkettigen Zuckern (Glukose) und Glykogenmolekülen in mehrere Fragmente Energie gewonnen. Diese Vorgänge werden als Glykolyse und Glykogenolyse bezeichnet. (vgl. Hollmann & Hettinger, 2000).

Primäre Energiebereitstellung

Der Folgende kurze Überblick soll ein Gesamtbild über die Zusammenhänge des Stoffwechsels und seiner unterschiedlichen Prozesse liefern. In weiterer Folge wird jeder dieser Prozesse im Detail genauer besprochen.

Ohne uns zu sehr in Zahlen zu vertiefen ist generell festzustellen, dass der Mensch je nach seinem Berufsalltag einen individuellen energetischen Grundumsatz aufweist. Von diesem Grundumsatz werden 2/3 für die lebensnotwendigen, basal verankerten Lebensvorgänge benötigt. Das restliche 1/3 wird für Aktivitäten, wie Bewegung, Sport und sonstiges genutzt. In völliger Ruhe verbraucht unser Körper und damit auch jede Zelle Energie. Diese Energie wird zur Erhaltung der Struktur und der Anpassungsfähigkeit der Zelle genutzt. Logischerweise braucht der Organismus für alle darüber hinausgehende aktive Maßnahmen, wie beispielsweise die Muskelkontraktion zusätzliche Energiequellen. Ein rascher Anstieg des Energiebedarfs (z.B.: „Sprint“ zur Straßenbahn) hat einen kritischen ATP-Abfall zur Folge. Da kurz nach einsetzen der starken Muskelaktivität in unseren Muskeln ein Sauerstoffmangel entsteht, den das Blut nicht schnell genug mit genügendem Sauerstofftransport abdecken kann muss neue Energie ohne Sauerstoff metabolisiert werden. (vgl. Horn, F. et al.: Biochemie des Menschen, 2005)

Die aeroben Mechanismen, Atmungskette und der Zitratzyklus, arbeiten aufgrund des Sauerstoffmangels bei weitem noch nicht maximal. Also greift die Muskelzelle auf andere Stoffwechselwege zurück. Zunächst wird das in der Zelle vorhandene Kreatin-Phosphat gespalten. Danach erfolgt der Umbau von Glukose oder Glykogen zu Pyruvat und in weiterer Folge zu Laktat. Dabei ist das primäre Ziel neues ATP zu synthetisieren und genügend NAD⁺ für die Glykolyse zu regenerieren. Wird die Leistung über einen längeren Zeitraum nicht maximal abgerufen, kann der Sauerstofftransport über vermehrte Herzaktivität und dadurch gesteigerte Durchblutung der Muskulatur merklich verbessert werden, wodurch in weiterer

Folge die aeroben Stoffwechselprozesse der Atmungskette und des Zitratzyklus ihre Höchstleistungen erbringen können. Ein erneuter Sauerstoffmangel entsteht gegebenenfalls bei einer Erhöhung der Leistung. Zielsprints sind ein simples Beispiel für diese Leistungserhöhung. Eine zusätzliche Steigerung der Leistung und somit auch eine vermehrte ATP-Bildung kann nur durch zusätzliches anschalten der anaeroben Glykolyse ermöglicht werden. Aufgrund der vermehrten NAD⁺ Regeneration kann die Glykolyse ein wenig schneller und somit auch effizienter arbeiten. Dadurch wird eine höhere Energieausbeute ermöglicht. Klarerweise ist dieser Vorgang zeitlich begrenzt. Die dadurch entstandene Sauerstoffschuld muss durch anschließende verstärkte Atmung wieder ausgeglichen werden. Nach diesem Überblick gilt es jetzt den Fokus auf die einzelnen Stoffwechselprozesse zu schärfen und genauer ins Detail zu gehen. (vgl. Horn, F. et al.: Biochemie des Menschen, 2005)

Energiereiche Verbindungen stehen der Zelle und damit dem Organismus als direkte Energiequelle zur Verfügung. Durch Hydrolyse, also Spaltung einer energiereichen chemischen Verbindung unter Anlagerung eines Wassermoleküls wird diese Energie bereitgestellt. Wie schon weiter oben erwähnt ist eine der wichtigsten, wenn nicht sogar die wichtigste, energiereiche Substanz im Organismus das Adenosin-Tri-Phosphat (ATP). ATP wird als Folge von Stoffwechselprozessen in Adenosin-Di-Phosphat (ADP) und in sehr geringen Mengen auch in Adenosin-Mono-Phosphat (AMP) und Phosphat (P) aufgespalten.



Enzyme, hochmolekulare Eiweißverbindungen, katalysieren diese Prozesse und ermöglichen durch ihre Aktivität sowohl eine strukturelle Umwandlung der energiereichen Substrate als auch die Übertragung der Elektronen und damit eine Modifizierung der energiereichen Ladungsträger. (vgl. Horn, F. et al.: Biochemie des Menschen, 2005)

Das lokale vorrätige ATP reicht jedoch nur für einen sehr begrenzten (ein paar Sekunden) Zeitraum aus. Drei bis vier Muskelkontraktionen können aus dem lokalen Speicher energetisch unterstützt werden. Um weitere Arbeitsleistungen, sprich Kontraktionen, zu gewährleisten muss ATP aus ADP regeneriert werden. Diese Regeneration erfolgt über die Mechanismen der sekundären Energiebereitstellung. (vgl. Horn, F. et al.: Biochemie des Menschen, 2005)

Dauert die dem Körper abverlangte Leistung länger an als vom lokalen ATP-Speicher bewerkstelligt werden kann ist ein sofortiges Umschalten auf die sekundäre Energiebereitstellung notwendig. Diese Energiebereitstellung wird durch Energiequellen sichergestellt, welche aus ADP oder auch AMP „neues“ ATP resynthetisieren können. Grundsätzlich kann der Wiederaufbau von ATP auf drei unterschiedlichen Wegen erfolgen:

- anaerob – alaktazid (über Kreatinphosphat)
- anaerob – laktazid (nur über die Glykolyse im Zytoplasma)
- aerob (über die Glykolyse und in weiterer Folge den Zitratzyklus und die Atmungskette der Mitochondrien)

Kreatin-Phosphat-Abbau

Die Zelle weist wie im oberen Teil schon angedeutet einen Energiespeicher auf der „Als zeitlich erster Mechanismus der sekundären Energiebereitstellung“ (Hohmann et al., Jahreszahl) aktiviert wird. Kreatin-Phosphat (KP) besteht wie der Name schon sagt aus Kreatin und Phosphat. Die Bindung zwischen diesen zwei Komponenten hat ein dem ATP entsprechendes Energiepotential. Die Muskelzelle des Menschen enthält eine ca. drei- bis viermal so große Menge an KP als ATP. KP-Spaltung setzt eine Phosphatgruppe frei die genutzt wird um aus Adenosin-Di-Phosphat wieder ATP zu resynthetisieren. Mit Hilfe dieses Prozesses der Energiegewinnung kann auf kurzfristige Anstiege des Energieumsatzes reagiert werden und damit ein bedrohlicher ATP-Abfall verhindert werden. Diese Form der ATP-„Regeneration“ bewirkt eine maximale Energieflussrate (Bereitstellungsgeschwindigkeit -> ATP-Bildung pro Zeit). Dieser Prozess der Energiegewinnung ist jedoch zeitlich limitiert (7-8 Sekunden). Nachdem der KP-Speicher entleert wurde greifen andere ATP-liefernde Systeme in die Energiebereitstellung ein. Des Weiteren erfolgt der Kreatin-Phosphat Abbau ohne unmittelbare Mitwirkung von Sauerstoff. Somit haben wir es mit einem anaeroben Mechanismus zu tun der vom Enzym Kreatinkinase katalysiert wird. (vgl. Horn, F. et al.: Biochemie des Menschen, 2005)



Weitere Stoffwechselprozesse der sekundären Energiebereitstellung sind abhängig von der Intensität und Dauer der körperlichen Belastung. Anaerobe Glykolyse also Glukose oder Glykogen-Abbau mit unzureichender Sauerstoffaufnahme oder aerobe Glykolyse mit

ausreichender Sauerstoffzufuhr werden für die nächsten Prozesse der Energiegewinnung herangezogen. Die Sauerstoffaufnahme entscheidet ob der Energiegewinn grob gesagt mit oder ohne Bildung von Laktat sprich Milchsäure geschieht. Sowohl die kurzfristige Energiegewinnung durch schnellen ATP-Abbau als auch der Kreatin-Phosphat-Abbau verlaufen anaerob-alkalisch im Zytoplasma. (vgl. Horn, F. et al.: Biochemie des Menschen, 2005)

Biologische Stoffwechselprozesse haben grundsätzlich keinen streng limitierten, zeitlichen Verlauf. Man kann lediglich von einer fließenden Abfolge der Mechanismen der Energiebereitstellung sprechen. Das mit Dauer der Belastung die bereitstehenden Substrate weniger Energie liefern lässt sich sowohl auf die Menge der vorhandenen Energieträger als auch auf die steigende Ökonomie des Organismus zurückführen. Ein Prozess geht fließend in den nächsten über und ermöglicht somit eine kontinuierliche Versorgung mit energiereichen Substraten wobei wie oben schon erwähnt wird die Energieflussrate sinkt. Aus dieser Erkenntnis geht hervor dass der menschliche Körper bei Ausdauerleistungen zwischen zwei bis acht (entscheiden ob Zahlen ausschreiben oder nicht, bisschen weiter oben nur die Zahl nicht ausgeschrieben) Minuten auf Mischformen der Energiegewinnung zurückgreift. Das heißt soviel wie das eine aerob-anaerobe Energiebereitstellung möglich ist und die Arbeit nach Verbrauch eines Substrates nicht abrupt abreist sich jedoch die Energieflussrate in ihrer Ergiebigkeit verändert.

Die Abfolge der Energiebereitstellung wird mit Hilfe der folgenden Grafik etwas verdeutlicht wobei klar festzuhalten ist das eine so klare Trennung der Abläufe den im oberen Text ausgeführten Erläuterungen nicht entspricht und somit nur als schematische Darstellung zu verstehen ist.

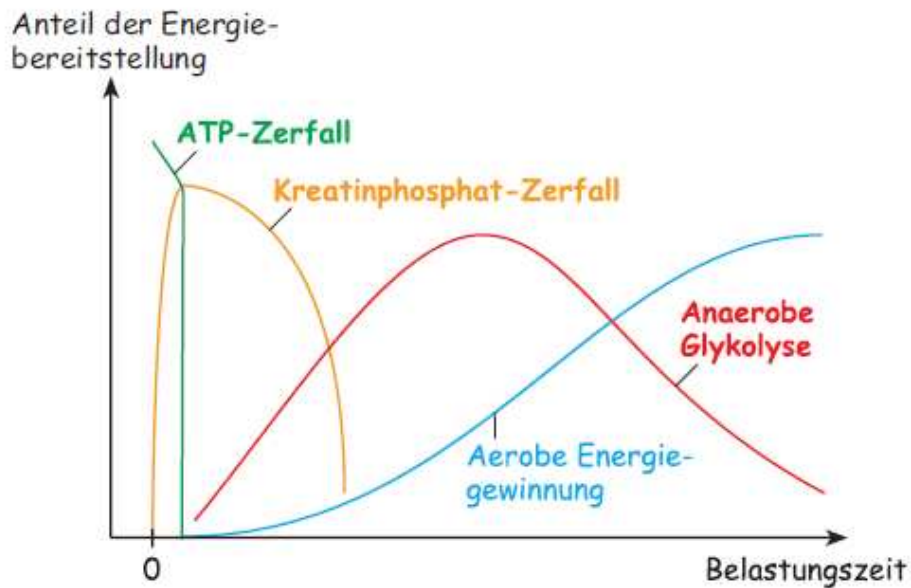


Abb. 7. Energiebereitstellung in Abhängigkeit von der Belastungsdauer (Horn, F. et al.: Biochemie des Menschen, 2005)

Ergänzend ist festzuhalten das wie schon erwähnt die Energieflussrate beim anaerob-laktaziden Mechanismus am größten ist. Im Verlauf der Energiebereitstellung nimmt die Energieflussrate je nach Mechanismus ab. Als nächstes kommt die anaerobe Glykolyse (anaerob-laktazider Mechanismus), weiter die aerobe Glukose (Traubenzucker) gefolgt von der Fettverbrennung. Bei jedem dieser Mechanismen nimmt die Flussrate um circa die Hälfte ab. Im Gegenzug nimmt der Energiegehalt sprich die Substratmenge in der gleichen Reihenfolge zu. (vgl. Horn, F. et al.: Biochemie des Menschen, 2005)

Anaerobe Glykolyse

Wie schon beschrieben leert sich durch Fortsetzung der hochintensiven Belastungen nach einem sehr kurzen Zeitraum der Kreatin-Phosphat-Speicher. Also wird zusätzliche Energie benötigt. Diese zusätzliche Energie wird durch Oxidation Energie liefernder Substrate bereitgestellt. Glukose (gespeichert als Glykogen) und Fett (Fettsäuren / Triacylglyzeride) werden in weiterer Folge im Stoffwechsel verbraucht.

Glykogen hat als Speicherform der Kohlenhydrate einen sehr wichtigen Status. Es ist in allen Zelltypen außer den roten Blutkörperchen (Erythrozyten) vorhanden. Die Hauptspeicherorte des Glykogens im Körper sind die Leber und die Skelettmuskulatur. In der Leber finden wir eine maximale Speicherkapazität von 10g Glykogen auf 100g Lebergewebe. Der

Skelettmuskel hat da eine bedeutend geringere Kapazität vom 1g/100g Gewebe.

Da die Reaktionswege der Glukose in vielen Zellen des Körpers ablaufen können wird in weiter Folge in dieser Erläuterung nur auf den Stoffwechsel der Muskelzelle Bezug genommen. Eine weitere wichtige Frage die noch geklärt werden muss ist die nach der Herkunft der Glukose. (vgl. Horn, F. et al.: Biochemie des Menschen, 2005)

Kohlenhydrate sind Stoffe, die aus Wasser und Kohlenstoff bestehen. Sie besitzen chemisch (mit wenigen Ausnahmen) die allgemeine Formel $C_n(H_2O)_n$. Man unterscheidet weiter die Monosaccharide (Einfachzucker) von den zusammengesetzten Zuckern, Disaccharide und Polysaccharide. Mehrfachzucker bestehen grundsätzlich aus Monosaccharide die über glykosidische Bindungen miteinander verbunden sind. Disaccharide sind aus zwei Monosacchariden aufgebaut, Polysaccharide aus mehreren Monosacchariden. Für den Energiestoffwechsel relevante Monosaccharide sind größtenteils sechsfach Zucker also Hexosen.

Unter den Monosacchariden ist die Glukose das wichtigste. Weitere wichtige Einfachzucker sind die Fruktose (Fruchtzucker), die Galaktose und die Mannose.

Wichtige Vertreter der Disaccharide sind die Laktose (der Milchzucker). Laktose setzt sich zusammen aus Glukose und Galaktose und ist ein Bestandteil der Milch. Weiter zu erwähnen ist die Saccharose (Haushaltszucker) bestehend aus Glukose und Fruktose sowie die Maltose (Malzzucker) die aus je zwei Molekülen Glukose besteht.

Zu den Polysacchariden zählen wir das Glykogen und die Stärke. Beide dienen als Speicherstoffe und sind ausschließlich aus Glukose aufgebaut. Zum Zweck der Speicherung sind die Glukose Moleküle zu langen vielfach verzweigten Ketten verknüpft. Die Verzweigungen weisen eine kompaktere Verknüpfung auf als in simplen Ketten. Dadurch wird auch die Speicherung erleichtert. (vgl. Horn, F. et al.: Biochemie des Menschen, 2005)

Die Glukose, als energiespeicherndes Substrat, wird über die Glykolyse (griech. glykys -> süß; lysis -> auflösen) abgebaut. Die Glykolyse zählt deshalb zu den ältesten Mechanismen der Biologie da sie entwicklungsgeschichtlich betrachtet schon von primitiven Einzellern zur Energiegewinnung genutzt worden ist. Sie findet grundsätzlich in allen Zellen des Organismus statt und liefert als end- oder zwischen Produkte das Pyruvat (Brenztraubensäure), ATP und NADH/H⁺. Diese Produkte werden je nach dem ob aerobe oder anaerobe Bedingungen vorliegen weiter verwertet oder umgebaut.

Unter aeroben Bedingungen führt der weitere Weg der Zwischenprodukte zum Acetyl-CoA das eines der zentralen Moleküle des Stoffwechsels darstellt. Dieser weiterführende Weg wird weiter unten in dieser Arbeit genauer beleuchtet.

Unter anaeroben Bedingungen wird das anfallende Pyruvat zum Laktat umgebaut. Dadurch wird NAD^+ (wichtiges Coenzym der Energiegewinnung) wieder regeneriert und so der Glykolyse als Elektronenakzeptor wieder zur Verfügung gestellt. Laktat stellt hierbei eine vorläufige Endstation der Energiegewinnung dar. Grundsätzlich muss noch gesagt werden dass die Glykolyse ohne Bezugnahme auf die vorliegende Sauerstoffsituation immer die gleichen Endprodukte, nämlich Pyruvat, ATP und NADH/H^+ liefert. Einzig die weitere Verwertung dieser Produkte unterscheidet sich nach Sauerstoffsituation.

Die anaerobe Glykolyse durchläuft in einem ihrer ersten Schritte eine Spaltung des Speichermoleküls Glykogen in Glukose. Danach wird die wieder gewonnene Glukose in zehn enzymatisch katalysierten Reaktionen zu Pyruvat abgebaut. Dieser Vorgang findet, wie schon die Kreatin-Phosphat-Spaltung, im Zytoplasma der Muskelzelle statt.

Die ersten fünf Schritte der Glykolyse stellen einen Umbau der Glukose dar. Für diesen Umbau werden zwei Moleküle ATP benötigt um die umgebauten Teile der Glukose zu noch wertvolleren Energieträgern zu machen. Die Folgenden fünf Schritte resultieren in der Bildung von zwei Molekülen NADH/H^+ , vier Molekülen ATP und zwei Molekülen Pyruvat. Nach dem die Zelle zwei Moleküle ATP investiert hat kommt eine **Netto-Energie-Bilanz** von **zwei Molekülen ATP**, zwei NADH/H^+ und zwei Molekülen Pyruvat zustande. Das ATP kann jetzt direkt als Energieträger genutzt werden. Pyruvat wird hingegen durch das Enzym Laktat-Dehydrogenase reduziert und so zu Laktat umgebaut. Dadurch kommt es zur, für die Glykolyse wichtigen, Regeneration von NADH/H^+ zu NAD^+ wodurch die Glykolyse weiter unter anaeroben Bedingungen laufen kann. (vgl. Horn, F. et al.: Biochemie des Menschen, 2005)

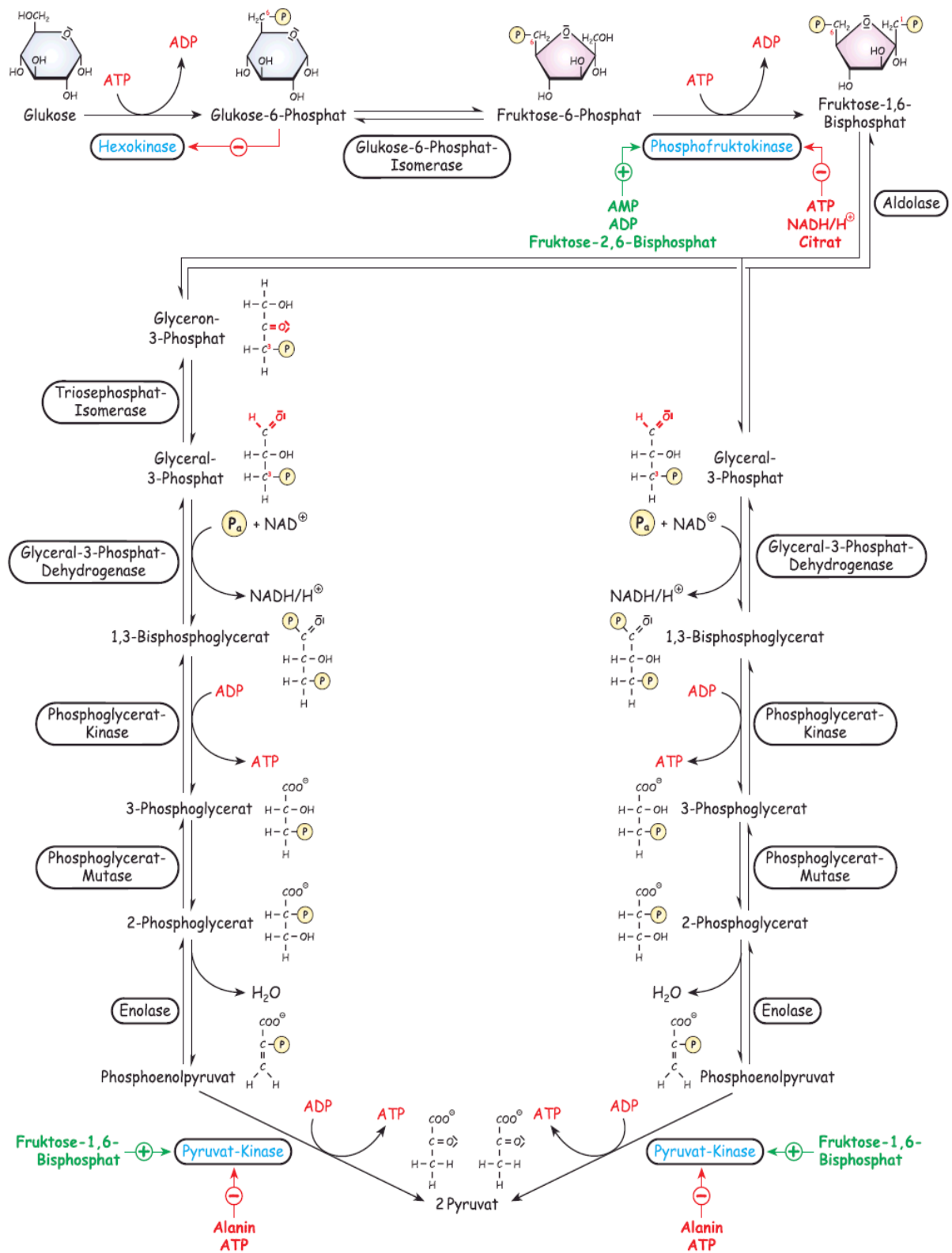


Abb. 8. Darstellung der Glykolyse (Horn, F. et al.: Biochemie des Menschen, 2005)

Das Laktat wird dann weiter ins Blut abgegeben. Im Blut erfolgt dann ein Abtransport des Laktats in den Gesamtorganismus. Die Leber und das Herz spielen beim Laktat-Abbau eine zentrale Rolle. Beide Organe sind in der Lage Laktat wieder zu Pyruvat zu isomerisieren. Das Herz verstoffwechselt das Pyruvat dann direkt. Die Leber hat die Fähigkeit Laktat über Pyruvat und in weiter Folge die Glukoneogenese wieder zu Glukose zu machen. Dieser Zyklus ist in der Physiologie und Biochemie als Cori-Zyklus bekannt.

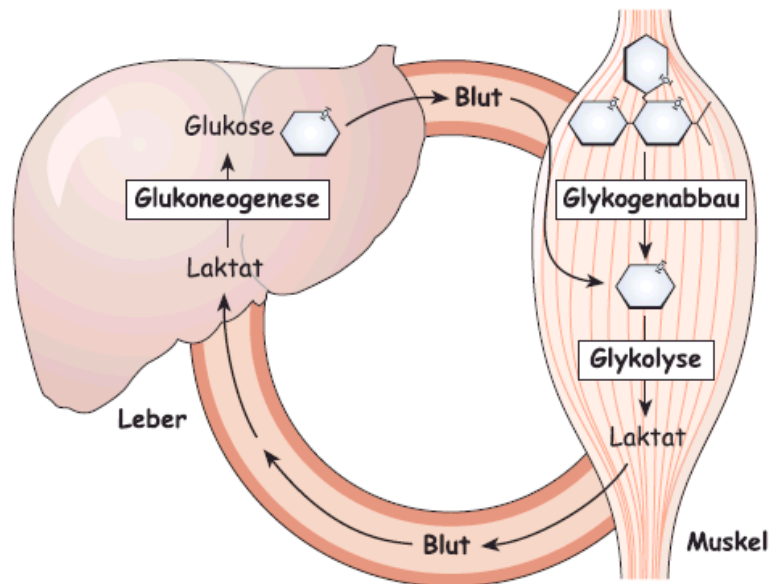


Abb. 9. Darstellung des Cori-Zyklus (Horn, F. et al.: Biochemie des Menschen, 2005)

Der Blut-Laktat-Spiegel ist somit ein Indikator für die Übersäuerung der Muskulatur. Auf Grund der oben genannten physiologischen und biochemischen Prozesse wird Laktat als wichtiger Parameter in der Leistungsdiagnostik genutzt. Auch das Schwellenkonzept nach Mader (1976) beruht auf den oben genannten biochemischen Prozessen. Im Kapitel „Laktat-Elimination“ werden die Prozesse des Laktat-Abbaus und Aufbaus noch genauer erläutert.

Der Umbau von Glukose zum Pyruvat also die Glykolyse, ist sowohl im anaeroben als auch im aeroben Kohlenhydratstoffwechsel ident. Wie schon weiter oben erläutert besteht der gravierende Unterschied in der weiteren Metabolisierung des Pyruvats.

Diesem unter Einfluss von Sauerstoff ablaufendem zweiten Weg wollen wir uns in weiterer Folge widmen.

Aerobe Glykolyse

Die aerobe Glykolyse an sich weist denselben Verlauf auf wie anaerobe Glykolyse. Der Hauptunterschied ist jedoch die Weiterverarbeitung der entstanden Endprodukte.

Da bei länger anhaltender Belastung die lokalen Ressourcen zu einem signifikanten Teil verbraucht werden nimmt die Bewegungsintensität unweigerlich ab. In weiterer Folge wird die benötigte Energie primär über die aerobe Oxidation der noch zur Verfügung stehenden Glykogen-Vorräte bereitgestellt. Das in der Glykolyse entstandene Pyruvat wird durch das Enzym Pyruvat-Dehydrogenase zu Acetyl-CoA (mit Co-Enzym A aktiviertes Essigsäuremolekül) umgebaut. (vgl. Löffler, G., Biochemie und Pathobiochemie, 2006)

Woher kommt das Acetyl-CoA?

Acetyl-CoA ist das gemeinsame Abbauprodukt der drei großen Nahrungsstoff-Gruppen: den Kohlenhydraten, den Fetten und den Eiweißen. Bei allen drei Gruppen läuft der Umbau zu Acetyl-CoA in den Mitochondrien ab:

Wie schon erwähnt erfolgt beim Abbau der Kohlenhydrate über die Pyruvat-Dehydrogenase-Reaktion der Umbau von Pyruvat zu Acetyl-CoA.

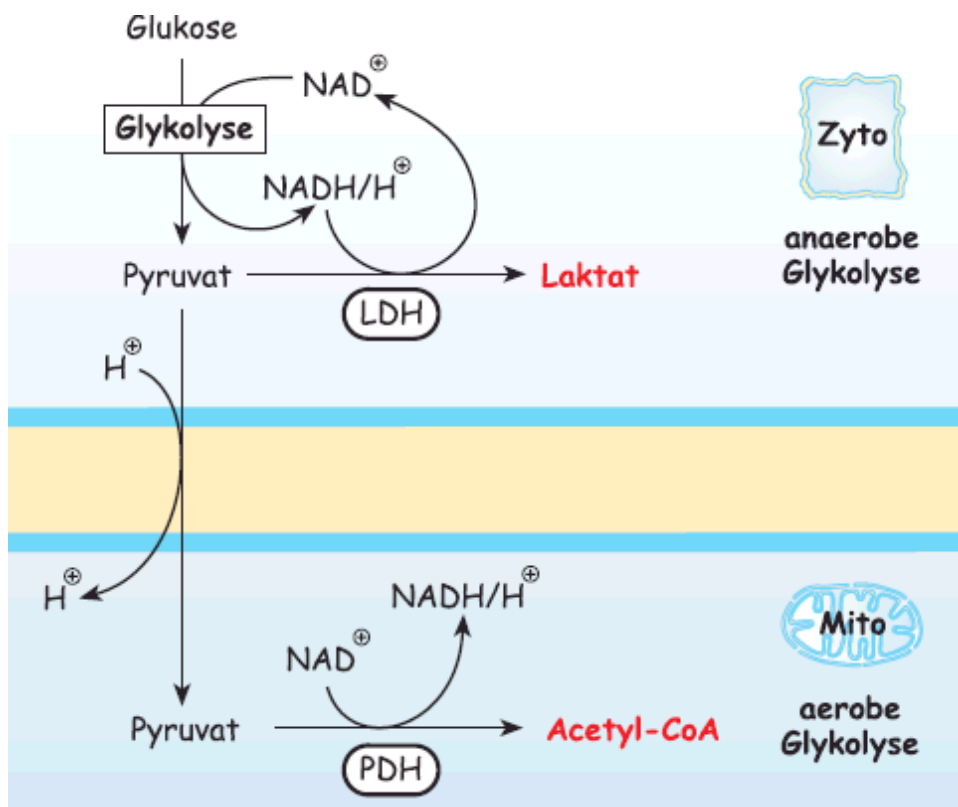


Abb.10. Übersicht der Acetyl-CoA Gewinnung aus Pyruvat (Horn, F. et al.: Biochemie des Menschen, 2005)

Bei der β – Oxidation der Fette wird Acyl-CoA weiter zu Acetyl-CoA umgewandelt. Dies wird jedoch im späteren Verlauf der Arbeit noch genauer dargestellt.

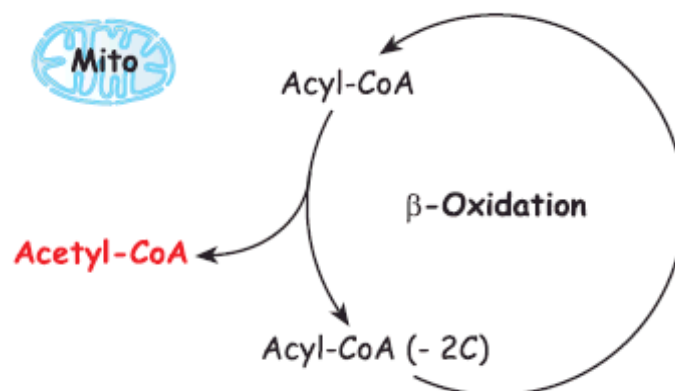


Abb.11. Schema der β – Oxidation (Horn, F. et al.: Biochemie des Menschen, 2005)

Der Abbau von Aminosäuren führt über einen direkten oder indirekten Weg zu Acetyl-CoA. Aminosäuren, die über den direkten Weg zu Acetyl-CoA werden können nicht zu Glukose umgebaut werden und werden somit als ketogene Aminosäuren bezeichnet. Wird eine Aminosäure über Pyruvat oder ein Zwischenprodukt des Zitratzyklus zu Acetyl-CoA bezeichnet man sie als glykogene Aminosäure da diese Aminosäure zu Glukose umgebaut werden kann. (vgl. Horn, F. et al.: Biochemie des Menschen, 2005)

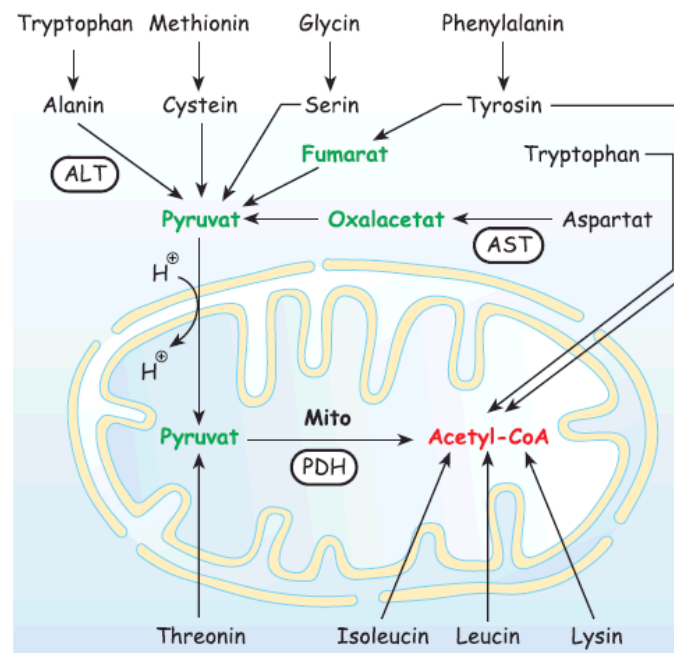


Abb.12. Direkter oder indirekter Umbau der Aminosäuren zu Acetyl-CoA. (Horn, F. et al.: Biochemie des Menschen, 2005)

Acetyl-CoA wird in weiterer Folge in den Zitratzyklus eingeschleust oder wird nach dem Umbau zu einem der Zwischenprodukte des Zitratzyklus wieder aus dem Zyklus entfernt und dient somit im Organismus als Ausgangsstoff für verschiedene Biosynthesen. (vgl. Krebs, H.A., 1937, 1970)

Die entscheidende Hauptaufgabe der acht Schritte des Zitratzyklus (nach seinem Entdecker Hans Krebs auch Krebs-Zyklus genannt) ist es aus Acetyl-CoA CO₂, NADH/H⁺, FADH₂ und GTP zu gewinnen und am Ende des Kreislaufes neues Oxalacetat bereitzustellen um somit einen neuen Kreislauf zu ermöglichen. NADH/H⁺ und FADH₂ dienen im späteren Verlauf der Atmungskette der Elektronen-Abgabe. GTP (Guanosin-Tri-Phosphat) ist dem ATP in seiner Funktion sehr ähnlich und gibt in weiterer Folge sein Phosphat an ADP ab. GTP wird über eine so genannte Substratkettenphosphorylierung gewonnen, bei der auf ein GDP (Guanosin-Di-Phosphat) ein anorganisches Phosphat übertragen wird.

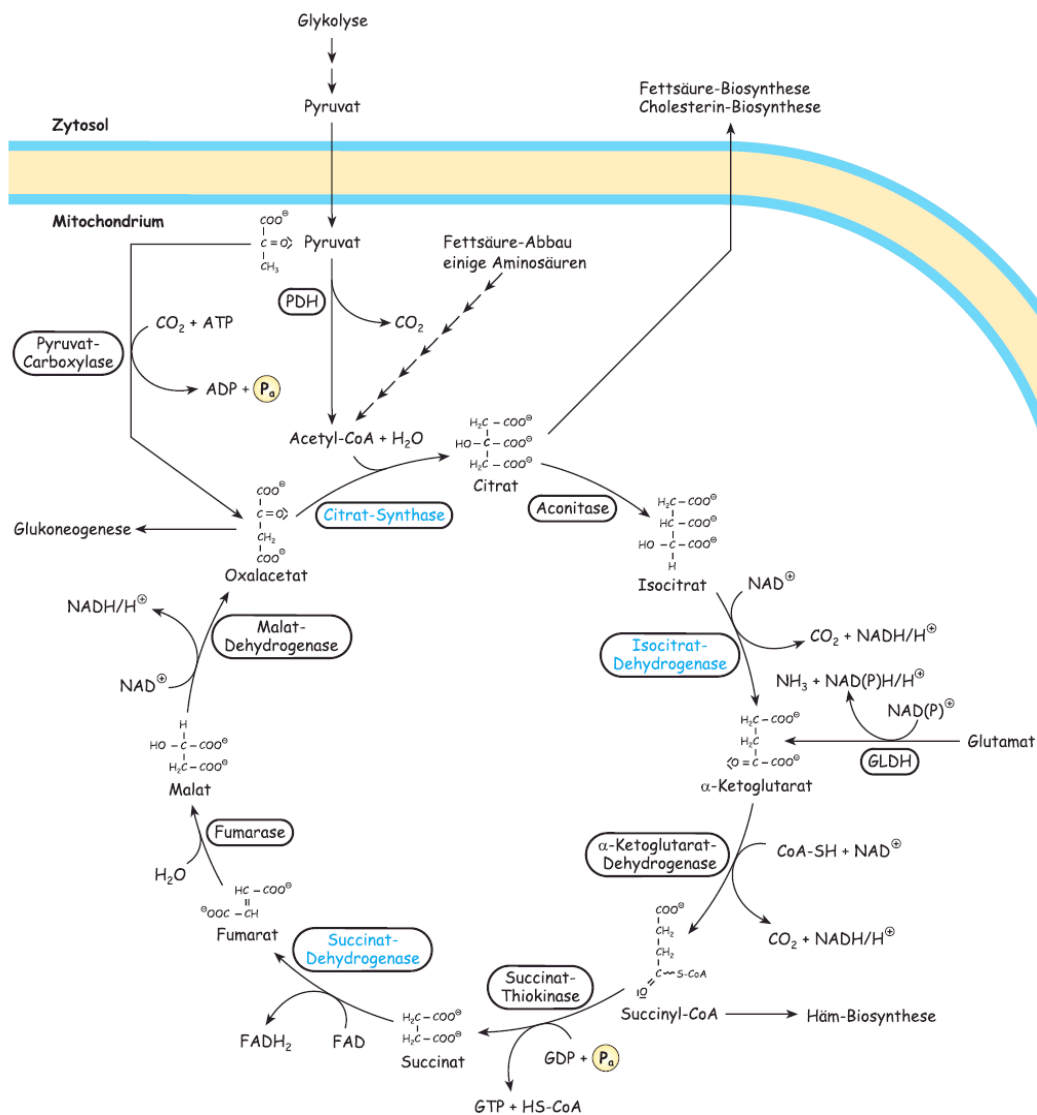


Abb. 13. Schema des Zitratzyklus (Horn, F. et al.: Biochemie des Menschen, 2005)

Fettsäureabbau

Ist das Sauerstoffangebot ausreichend und findet die Belastung im submaximalen Bereich statt, werden die Glykogen-Speicher nicht belastet. Somit werden im Stoffwechsel zunehmend Fettsäuren zur Gewinnung von Energie oxidiert. Wichtig zu erwähnen ist an dieser Stelle die Tatsache dass unser Gehirn und die Erythrozyten keine Fettsäuren verwerten können. Daraus ergibt sich das unser Gehirn auf Glukose angewiesen ist. Für den

Großteil unseres Organismus ergibt sich jedoch folgende Stoffwechsellage: Über die aerobe Lipolyse von Triglyceriden kommt es zum Wiederaufbau energiereicher Phosphate und somit in weiterer Folge zur Resynthese von ATP. Möglich wird dieser Stoffwechselweg durch das Einschleusen des aus Fettsäuren gewonnenen Acetyl-CoA in den Zitratzyklus. Primärer Unterschied zur Glukose besteht jedoch im vorgeschalteten Prozess, sprich in der Gewinnung des Acetyl-CoA. Über die β – Oxidation werden von den langkettigen Fettsäuremolekülen Essigsäure-Moleküle abgespalten. Bei der β – Oxidation werden über vier Schritte die langen Ketten der Fettsäure sukzessive um zwei C-Atome verkürzt. So wird zuerst einmal Essigsäure gewonnen. Diese wird danach mit dem Co-Enzym A aktiviert wobei Acetyl-CoA gebildet wird. Pro Durchlauf werden zusätzlich **ein Molekül FADH₂** und **ein Molekül NADH/H⁺** für die Atmungskette bereitgestellt. Die gewonnene aktivierte Essigsäure wird dann im vorher beschriebenen Zitratzyklus weiterverarbeitet. (Löffler, G. Biochemie und Pathobiochemie, 2006)

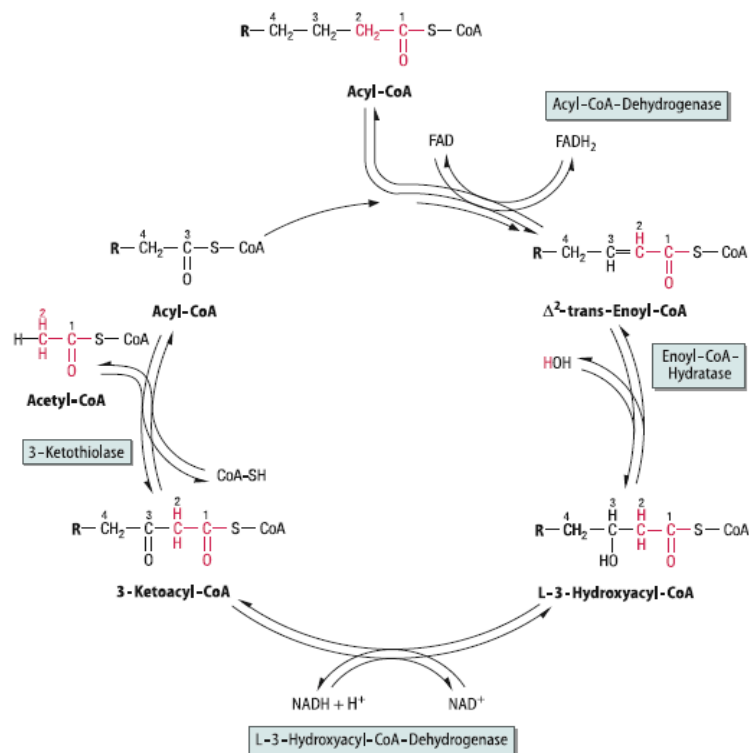


Abb.14. β – Oxidation (Löffler, G. et al.: Biochemie und Pathobiochemie, 2006)

Wichtig anzumerken ist das Acetyl-CoA nicht zu Pyruvat zurück isomerisiert werden kann. Aus dieser Tatsache ergibt sich dass auch kein Laktat aus diesem Prozess entstehen kann. Daraus geht hervor, dass Fettsäuren nur unter aeroben Verhältnissen im Stoffwechsel umgebaut werden können. (vgl. Horn, F. et al.: Biochemie des Menschen, 2005)

Atmungskette und oxidative Phosphorylierung

Im letzten Prozess des Stoffwechsels wird in den Mitochondrien über die Atmungskette der Hauptteil des ATP regeneriert. Dieser Prozess stellt die Endstrecke des aeroben Stoffwechsels dar und wird als oxidative Phosphorylierung bezeichnet. Dabei kommt es zu einem Elektronen Transport (in Form Wasserstoff als H^+ Ionen) zwischen der Inneren Mitochondrien-Membran zu dem Intermembran-Raum. Die Elektronen werden von den in den vorherigen Stoffwechselprozessen reduzierten Reduktionsäquivalenten ($NADH/H^+$, $FADH_2$) abgegeben und stellen somit einen wichtigen Baustein für den Aufbau eines Protonengradienten zwischen Mitochondrien-Matrix und Intermembran-Raum dar.

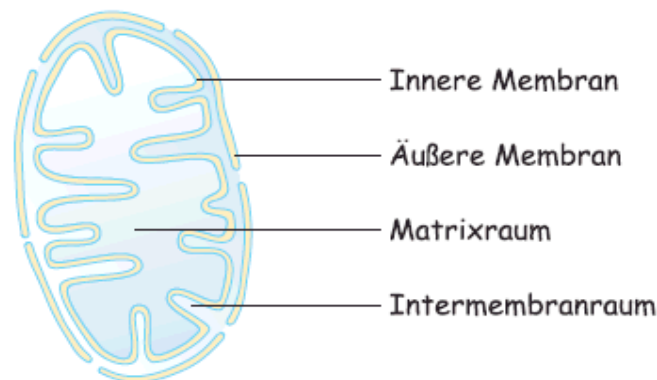


Abb.15. Aufbau der Mitochondrien (F. Horn u.a.: Biochemie des Menschen © Georg Thieme Verlag Stuttgart 2005)

Die Protonen (Wasserstoff) werden in weiter Folge über vier mitochondrialen Protonentransporter (Membran-Proteine, Komplex I-IV) durch die innere Mitochondrien Membran geschleust und in den Intermembran-Raum gepumpt. Dadurch entsteht im Intermembran-Raum ein höherer Ionengradient als in der Mitochondrien-Matrix. Dieser Ionengradient nimmt in weiter Folge eine zentrale Rolle in der ATP Gewinnung ein.

(vgl. Horn, F. et al.: Biochemie des Menschen, 2005)

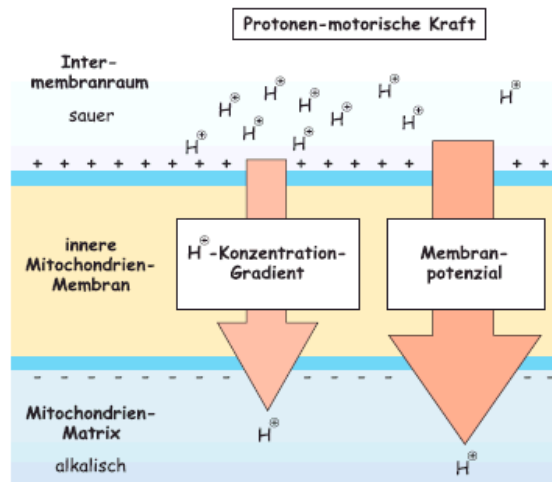
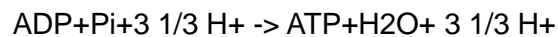


Abb. 16. Ionenverteilung im Mitochondrium. (Horn, F. et al.: Biochemie des Menschen, 2005)

Über den durch die innere Mitochondrien-Membran hindurch gehenden ATP-Synthase Komplex wird der Ionengradient genutzt um aus ADP und einem anorganischen Phosphat ATP neu zu synthetisieren. Dabei werden die Ionen durch die ATP-Synthase hindurch wieder in die Mitochondrien-Matrix eingeschleust. Hierbei kommt es zu einer Reaktion, die rein schematisch mit der Rotation eines Dynamos beim Fahrrad zu vergleichen ist. Der Protonengradient treibt eine Drehbewegung in der ATP-Synthase an. In der Matrix kommt es dann zur oxidativen Phosphorylierung. Hierbei wird ein anorganisches Phosphat an das zur Verfügung stehende ADP gehängt. Das Ergebnis ist ein frisch regeneriertes ATP-Molekül. Weiter wird der, durch die unter Belastung vollzogene Mehratmung, aufgenommene Sauerstoff mit den Wasserstoffionen verbunden und zu Wasser. Wie aus der folgenden Formel ersichtlich ist, benötigt die ATP-Synthase $3 \frac{1}{3}$ Wasserstoffionen um ein Phosphat an das ADP zu hängen. (vgl. Hatefi, Y., 1985)



Dieser Sauerstoffverbrauch bildet die Endstrecke der Atmung. Während der vorhergehenden Stoffwechselschritte wird das Co₂ der Atmung gebildet.

Um die theoretischen Ausführungen über die Atmungskette und die oxidative Phosphorylierung bildlich zu verdeutlichen zeigen wir in der nächsten Graphik eine vereinfachte Darstellung der Prozesse an der inneren Mitochondrien-Membran.

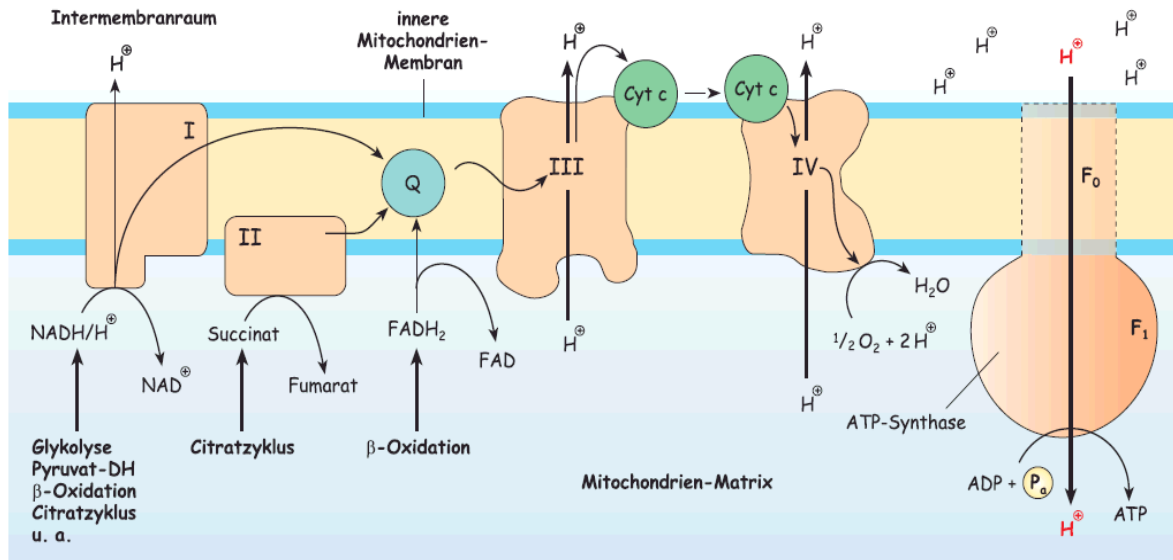
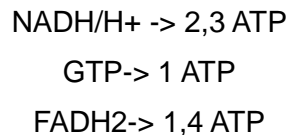


Abb.17. Atmungskette und oxidative Phosphorylierung (Horn, F. et al.: Biochemie des Menschen, 2005)

Nachdem wir uns mit den Stoffwechselprozessen befasst haben, gilt es jetzt noch kurz zu erläutern und darzustellen wie hoch der Energiegewinn unter anaeroben und aeroben Umständen eigentlich ist. Wir können für die in den einzelnen Stoffwechselprozessen gewonnenen Reduktionsequivalente und Energieträger einen Umrechnungsschlüssel für die ATP-Ausbeute angeben.



Aus diesen Faktoren ergibt sich das wir für die aerobe und anaerobe Metabolisierung von einem Mol Glukose in den einzelnen Stoffwechsel-Schritten folgende ATP-Mengen erhalten:

Tab. 1: Energiebilanz für ein Mol Glukose aerob und anaerob. (Horn, F. et al.: Biochemie des Menschen, 2005)

		Aerob	Anaerob
	Zwischenprodukte	ATP	ATP
Glykolyse	2 ATP	2	2
	2 NADH/H ⁺	5	-
	2 Pyruvat	-	-
PDH	2 NADH/H ⁺	5	-
	2 Acetyl-CoA	-	-
Citratzyklus	6 NADH/H ⁺	15	-
	2 FADH ₂	3	-
	2 GTP	2	-
Gesamt		32	2

Aus dieser Tabelle ist klar ersichtlich dass unter aeroben Bedingungen ein Vielfaches mehr an ATP gebildet wird oder besser gesagt wieder gewonnen werden kann. Daraus ergibt sich für Sportarten mit einem hohen Ausdauerschwerpunkt dass die sportliche Leistung mit einer soliden Grundlagenausdauer und dadurch einem lange möglichen aeroben Energiegewinn aufgrund der beteiligten metabolischen Prozesse klar von Vorteil ist. Der Enzymbesatz der beteiligten Mechanismen und möglichen morphologischen Veränderungen sind in diesem Zusammenhang noch kurz zu erwähnen. In weiterer Folge wollen wir und dem im anaeroben Stoffwechsel besonders anfallenden Laktat widmen. (vgl. Löffler, G., Biochemie und Pathobiochemie, 2006)

2.4Laktat

Die Bestimmung der Laktatkonzentration ist von wichtiger Bedeutung, da sie eine zentrale Rolle bezüglich des Übergangs der Glykolyse zum oxidativen Stoffwechsel spielt.

Die Bestimmbarkeit der Laktatkonzentration ist über das Ohrläppchen oder auch die Fingerbeere relativ simpel.

Es soll erwähnt werden, dass im Blut und Serum immer eine Basislaktatkonzentration vorhanden ist. Diese bewegt sich bei ca. 1mmol/l (vgl. Dickhuth, 2000).

Wird bei einer Belastung die Energie überwiegend anaerob bereitgestellt, so steigt die Laktatkonzentration im Muskel bzw. im Blut.

„Bei zu hohen Laktatkonzentrationen wird das Schlüsselenzym Phosphofruktokinase gehemmt und dadurch unweigerlich ein Abfall der Bewegungsintensität herbeigeführt. Die anaerobe Glykolyse erreicht ihren Höhepunkt nach etwa 45sec und dominiert die Energiebereitstellung dann bis etwa 2 min,...“ (Hohmann et al., 2007, S.53). Es können Werte von bis zu 20mmol/l Blut erreicht werden. Mit der Laktatkonzentration geht auch die H⁺-Ionenkonzentration einher. Sie steigt proportional an und es sind mehrere Stoffwechselvorgänge mit der H⁺-Ionenkonzentration verbunden.

Wie oben schon zitiert, gehört die Phosphofruktokinase (PFK) zu den wichtigsten regulierenden Enzymen. ADP, AMP und Fruktose-6-Phosphat veranlassen eine Aktivierung der PFK wohingegen ATP und H⁺-Ionen eine Hemmung verursachen.

Nimmt man den pH-Wert des Körpers unter Ruhebedingungen von etwa 7,0 so vermindert sich die Flussrate und Aktivität der Phosphofruktokinase bereits um 50% bei einem Wert von 6,7. Ab einem Wert von ca. 6,3 ist die Phosphofruktokinase dann schon vollständig gehemmt und es kann somit kein ATP aus der Glykolyse mehr resynthisiert werden.

Die Hemmung der Glykolyse kann man als Schutzmechanismus des Körpers sehen, da es zu einer Aktivierung der Lysosomen bei ansteigender H⁺-Ionen-Konzentration kommt. Diese Lysosomen sind für den Abbau von Zellbestandteilen zuständig. Durch die Hemmung der Glykolyse wird eine „Selbstverdauung“ der Zelle vermieden.

Es soll in diesem Kapitel jedoch hauptsächlich die Bedeutung des Laktats in Verbindung mit der Ausdauerleistungsfähigkeit behandelt werden.

„1976 prägte MADER den Begriff der aerob-anaeroben Schwelle als den Bereich des Übergangs zwischen der rein aeroben zur partiell anaeroben laktatgedeckten muskulären Energiestoffwechsellistung der Arbeitsmuskulatur unter den gegebenen Belastungsbedingungen.“ (de Marées, 2003, S.463)

Belastungen im aerob-anaeroben Bereich können über längere Zeit fortgeführt werden, ohne eine nennenswerte Laktat-Konzentrationserhöhung hervorzurufen. In der Literatur werden hier bis zu 60 Minuten angegeben (de Marées, 2003, S.463).

Zur Charakterisierung der Ausdauerleistungsfähigkeit eignet sich die Gleichsetzung des Maximums der ausschließlich aeroben gedeckten energetischen Leistung mit dem aerob-anaeroben Übergangsbereich. Hier muss der Begriff „maximales Laktat-steady-state“ oder auch „max Lass“ erwähnt werden, welcher die Grenze jener Belastung definiert, „...bei der Laktatproduktion und Laktatelimination gerade noch im Gleichgewicht stehen.“ (de Marées, 2003, S.463)

Es ergab sich im Rahmen empirischer Studien (vgl. Mader, 1976) eine aerob-anaerobe Schwelle, die der körperlichen Belastung entspricht, welche im Mittel einen Anstieg auf 4mmol/l im peripheren Blut aufwies (Laufbanduntersuchung mit 5-minütiger Stufendauer und 0,4m/s als Belastungsabstufung).

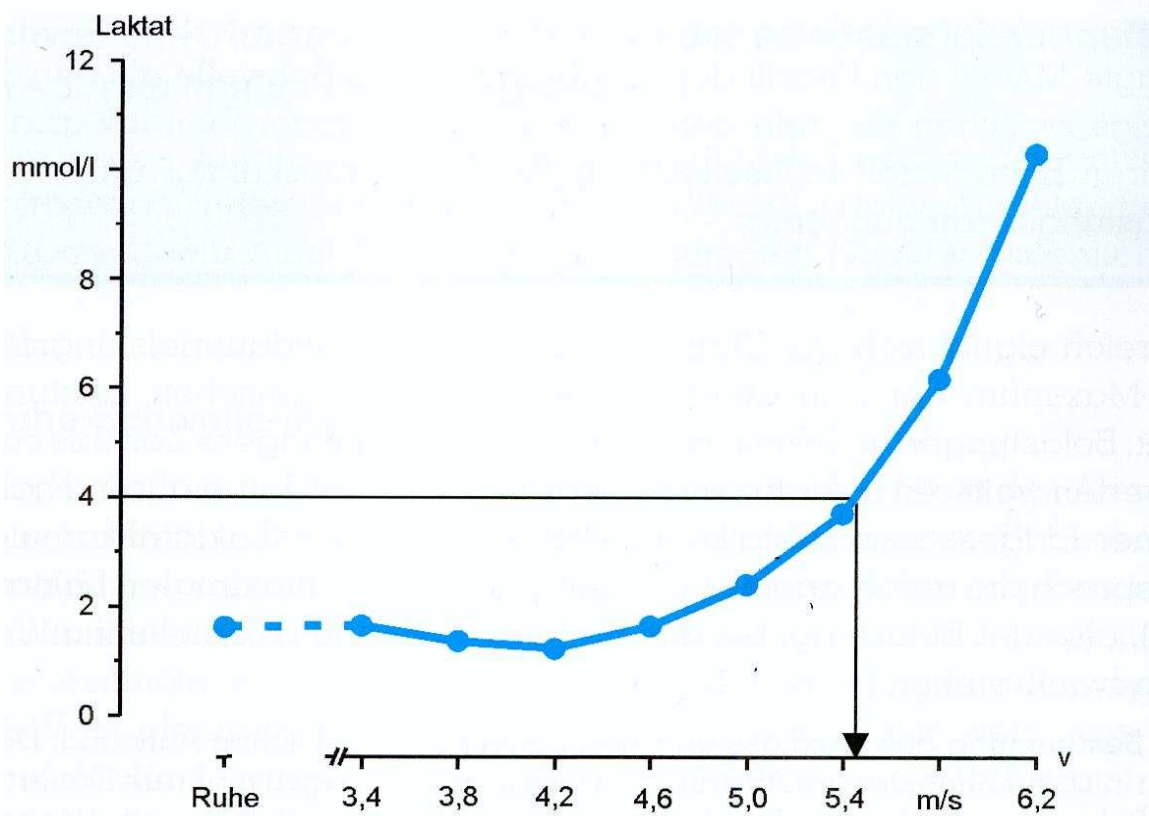


Abb. 18: Darstellung der Bestimmungsmethode der aerob-anaeroben Schwelle bei einem Blutlaktatwert von 4mmol/l (nach MADER et al. 1976 in de Mareés, 2003, S. 464)

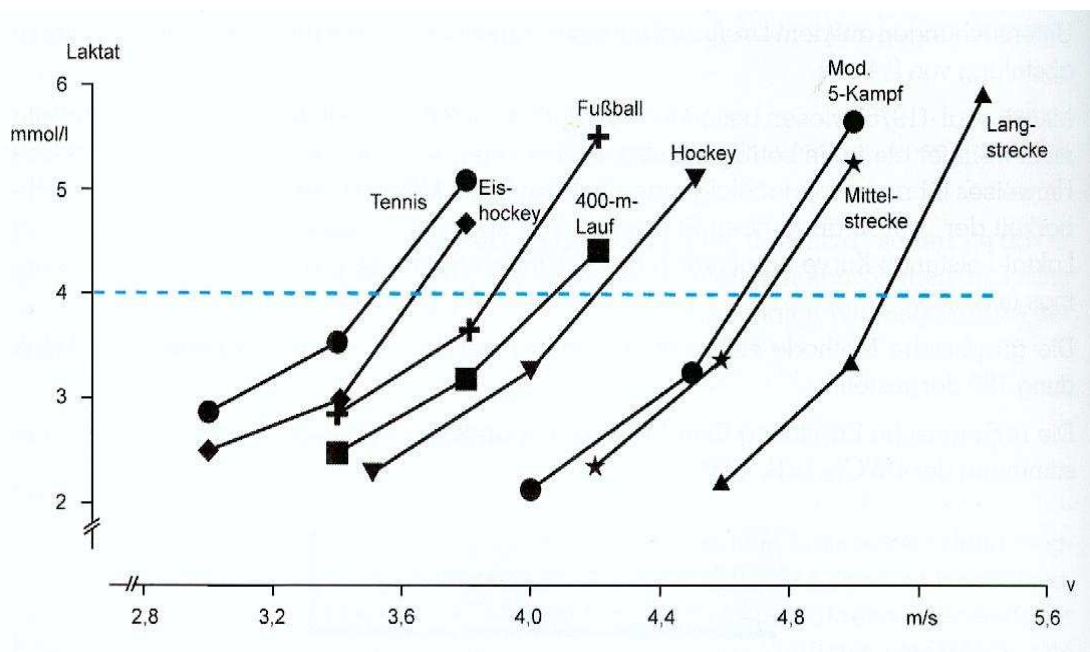


Abb. 19: Laktatverhalten im Bereich der aeroben-anaeroben Schwelle bei stufenförmiger Laufbandbelastung von Sportlern aus verschiedenen Sportarten (nach HESS et al. 1983 in de Marées, 2003, S. 464)

Stegmann und Kindermann definierten 1981 die sogenannte „individuelle anaerobe Schwelle“. Damit wird der Zeitpunkt festgelegt „...an dem die maximale Eliminationsrate und die maximale Diffusionsrate des Laktats im Gleichgewicht stehen.“ (de Marées, 2003, S. 467) Im Gegensatz zu Mader ist der Laktatwert der individuellen anaeroben Schwelle variabel.

Die Konzentration des Laktats im Blut wird am Belastungsende (A) bestimmt. Zusätzlich werden die Werte der Erholungsphase bei Minute 1, 3, 5 und 10 markiert. Nach einem anfänglichen Anstieg nach der Endbelastung erreicht die Erholungskurve im Punkt B wieder den Endbelastungslaktatwert A. Dann kommt es zur Berührung der Tangente am Punkt B und dem Laktat-Schwellenwertpunkt C.

Graphisch dargestellt ist das Schwellenkonzept von Stegmann und Kindermann in der folgenden Abbildung (Abb. 20).

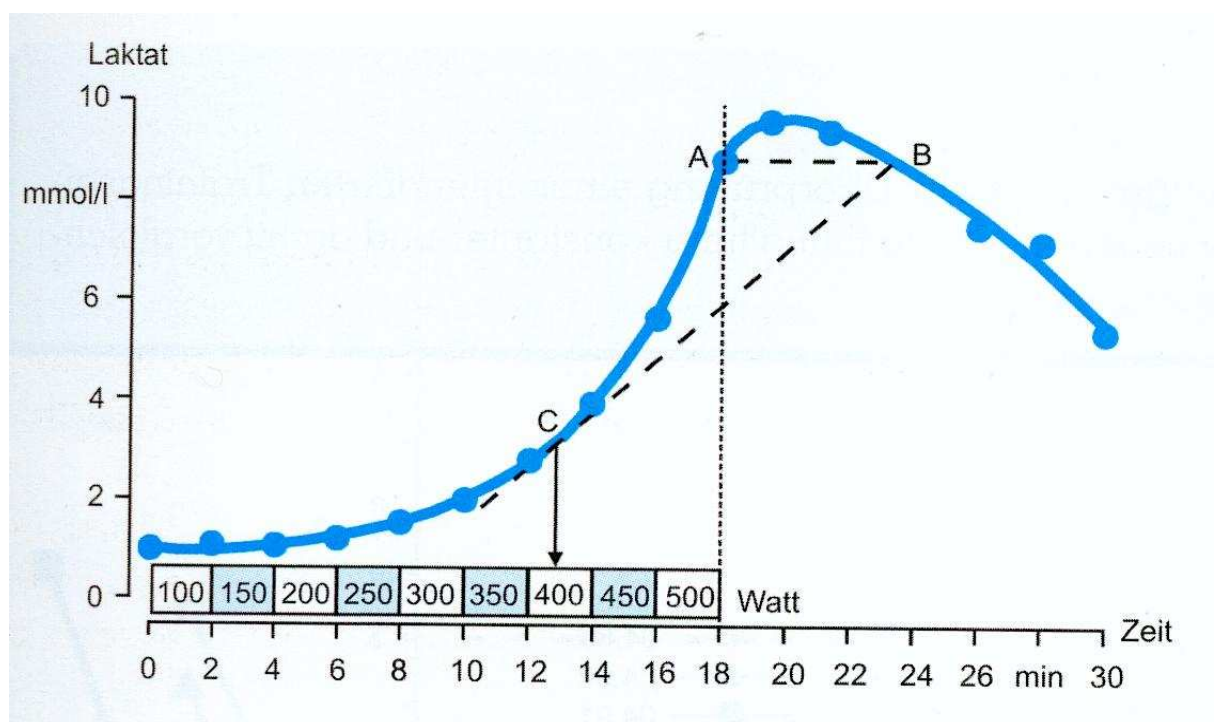


Abb. 20: Bestimmung der „individuellen anaeroben Schwelle“ (nach STEGMANN und KINDERMANN 1983 in de Mareés, 2003, S. 468)

Es existieren noch einige weitere Konzepte zur genauen Bestimmung individueller Schwellen(werte) (beispielsweise Heck 1990; Dickhuth et al. 1991). Die Problematik besteht darin, dass sich je nach Belastungsschemata die Laktatleistungskurven verändern.

Die Antwort auf die Frage, welches Konzept nun das „Richtige“ ist, könnte folgendermaßen

lauten: Dasjenige, das dem maximalen Laktat-Steady-state vom Dauertestverfahren am nächsten kommt.

2.4.1 Laktatbildung und -elimination

Es wurde noch vor wenigen Jahren angenommen, dass es nur unter Sauerstoffschuld zur Bildung von Laktat im Muskel kommt. Als Begründung für erhöhte Laktatwerte im submaximalen Belastungsbereich nahm man an, dass zu Beginn einer Belastung das Sauerstoff-Defizit über eine erhöhte Glykolyserate mit Laktatbildung abgedeckt wurde.

„Jüngere Untersuchungen konnten jedoch zeigen, dass bereits in Ruhe ca. 50% der im Stoffwechsel abgebauten Glukose Laktat passieren. Damit kommt es zu Ruhelaktatwerten im Blut von ca. 0,8-1,5 mmol/l.“ (de Marées, 2003, S.371)

Weitere Untersuchungen zeigten schon bei Belastungen von ca. 60% der maximalen Sauerstoffaufnahme einen deutlichen Anstieg der Laktatkonzentration. Dies ist durch den Anstieg der anaeroben Glykolyserate zu erklären, der schon bei geringen Belastungen eintritt. In engem Zusammenhang mit dem Anstieg der Glykolyserate steht die Konzentration des Pyruvats (Brenztraubensäure). Diese erfährt mit dem Anstieg der Glykolyserate eine Erhöhung und geht mit einem Anstieg der Laktatkonzentration einher, da zwischen Pyruvat- und Laktatkonzentration ein Gleichgewicht herrscht. Daraus schließen wir, dass die Sauerstoffschuld nicht Voraussetzung für einen Laktatkonzentrationsanstieg sein muss.

Oft kommt es zu einem deutlichen Anstieg der Laktatkonzentration im Blut mit anschließendem Gleichbleiben. Dies wird auch Steady State genannt und geschieht, sobald der Körper genau soviel Laktat eliminiert wie er produziert. Die Elimination kann an verschiedenen Orten geschehen, und zwar im Muskel selbst, in der Leber oder im Herzmuskel. Die Leber kann das abgebaute Laktat gleich wieder in Glukose umwandeln und zu Glykogen aufbauen. Die Energiebereitstellung des Herzmuskels wird durch seine hohe aerobe Leistungsfähigkeit zu einem Großteil vom Laktat bewerkstelligt.

Betrachtet man die Laktatelimination nach quantitativer Bedeutsamkeit, so spielt die Skelettmuskulatur eine sehr wichtige Rolle. Insbesondere in der belasteten Muskulatur übernehmen die roten Muskelfasern die Elimination. Im Weiteren werden auch die Muskelfasern zur Laktatelimination herangezogen, die nicht so stark belastet werden.

Die Eliminationsrate des Laktats ist einerseits von der Laktatkonzentration und andererseits davon abhängig, wie hoch der aerobe Umsatz ist. Die Elimination ist umso größer, je höher die Laktatkonzentration und der aerobe Stoffwechsel sind.

„Die jeweils aktuelle Laktatkonzentration im Muskel, im Blut und in anderen

Körperflüssigkeiten ist somit immer das Resultat von Laktatbildung, -diffusion, -transport und -elimination.“ (de Marées, 2003, S.372)

Man kann also klar aus dem obigen Zitat herauslesen, wie komplex der laktatbezogene Stoffwechsel ist. Des Weiteren möchte ich darauf aufmerksam machen, dass im Kapitel „Anaerobe Glykolyse“ auf den Mechanismus der Laktatelimination über den so genannten Cori-Zyklus näher eingegangen wird.

Unter der Voraussetzung, dass einer hohen Belastungsintensität eine aerob zu bewältigende Belastung folgt, kann Laktat vom Körper zu Pyruvat zurückverwandelt werden.

Der Körper arbeitet jedoch sehr ökonomisch. Das Laktat, das während der Belastung anfällt, wird noch während der körperlichen Aktivität weiterverwertet. Es wird durch Oxidation im Muskel als Brennstoff verwertet, unter der Voraussetzung dass die Belastung im aeroben Bereich liegt. Watkins gibt Werte an, bei denen Belastungen von 40-75% der maximalen Sauerstoffaufnahme 70-90% des im Muskel gebildeten Laktats verwertet werden.

2.4.2 Laktatverhalten

Nicht nur die Konzentration des Laktats, sondern auch das Laktatverhalten ist abhängig von der entsprechenden Belastungssituation.

Bezogen auf den Rudersport können wir in Hinblick auf die Belastungssituation von einer steigenden, submaximalen Dauerbelastung ausgehen. Bei einer solchen Belastung kommt es zu einem Wachstum der Glykolyserate und ist damit auch mit einem Wachstum der Laktatbildungsrate verbunden. Es stellt sich in der Regel nach einem Anfangsanstieg des Laktats ein Fließgleichgewicht zwischen Bildung und Elimination ein (steady state). Kommt es zu einer Erhöhung der Zuflussrate, so wird in Verbindung damit das steady state auf ein höheres Level gehoben. Wird die Belastungsstufe stetig erhöht, so kommt es zu einem steileren Anstieg der Konzentration des Laktats.

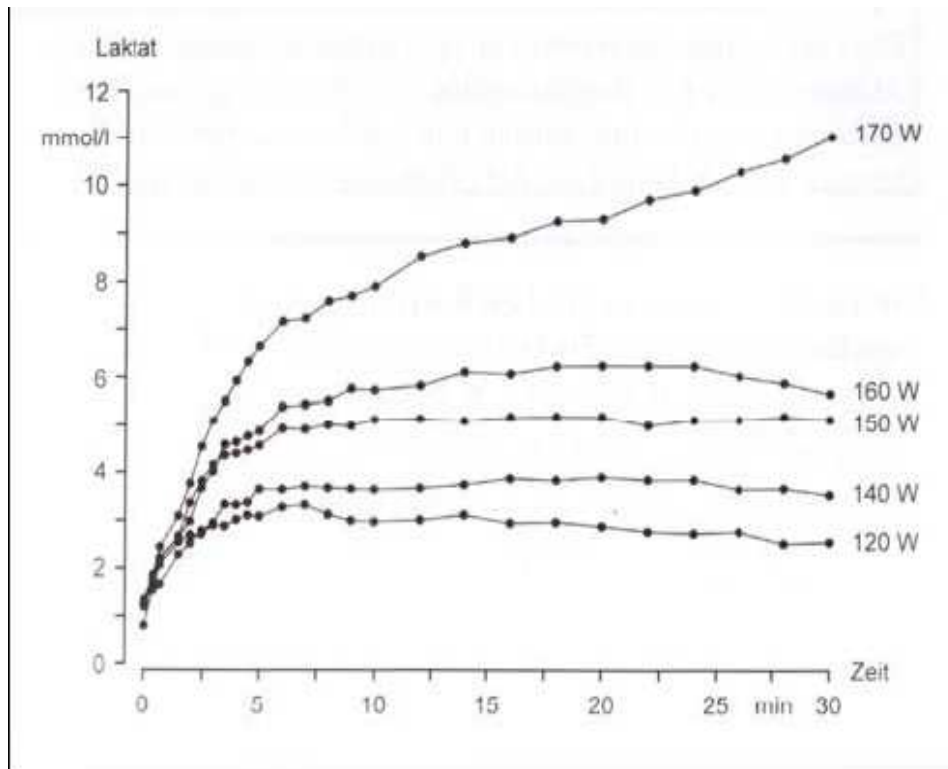


Abb. 21: Laktatkurven eines Probanden während mehrerer Versuche mit konstanter Belastung am Drehkurbelergometer (nach HECK in de Marées, 2003, S. 374)

Bei fortgesetzter Erhöhung der Belastungsintensität würde es schließlich zur Übersäuerung der Muskulatur und zum Belastungsende führen.

Laktatverhalten und Ernährung

Langandauernde Belastungen im submaximalen Bereich wirken sich im Sinne einer Reduzierung signifikant auf den arteriellen Glukosespiegel aus. Ebenso verhält sich das Laktatverhalten in Bezug auf den Ernährungszustand. Dies bedeutet, dass es zu einer Rechtsverschiebung der Laktatleistungskurve bei stark entleerten Glykogenspeichern kommt. Umgekehrt käme es zu einer Linksverschiebung der Laktatleistungskurve bei einer Kohlehydratmast. Dies passiert aufgrund der Abhängigkeit der Flussrate der Glykolyse von der Höhe des Substratangebotes. In weiterer Folge wirkt sich dies auf die Laktatbildungsrate aus.

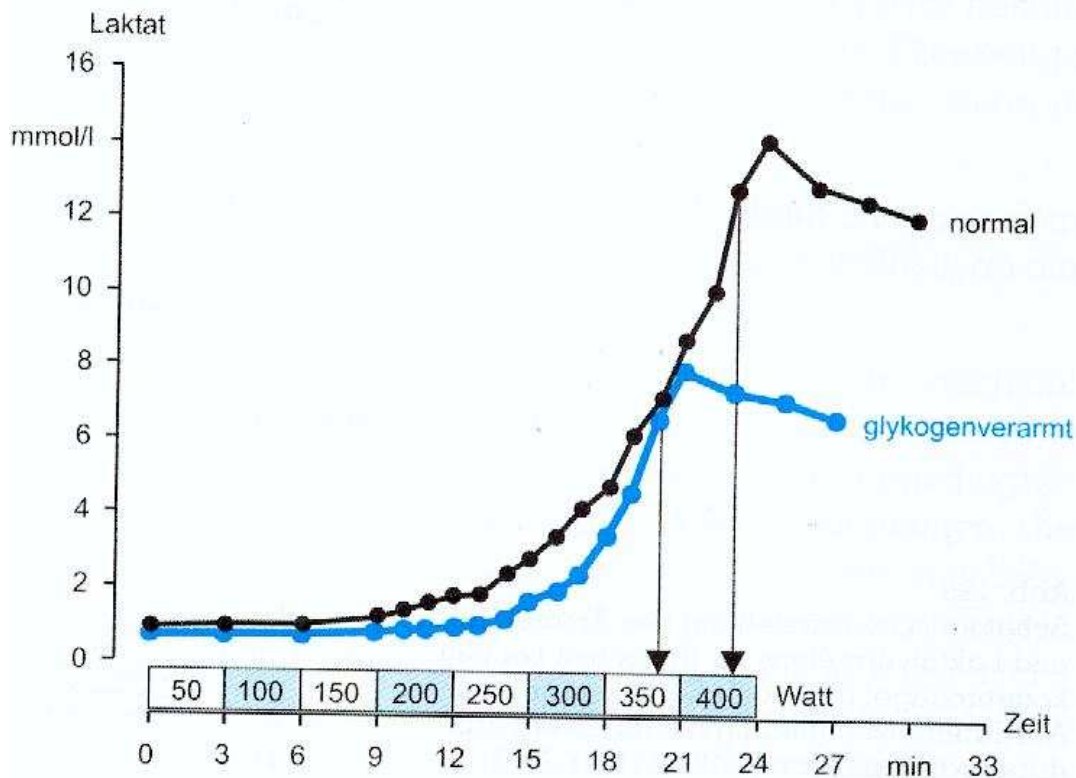


Abb. 22: Laktat-Leistungs-Kurven eines Sportlers nach zweitägiger Trainingspause und nach Glykogenverarmung (nach BUSSE et al. 1987 in de Mareés, 2003, S. 471)
Die Vertikallinien markieren das jeweilige Belastungsende

Wir schließen daraus, bei den Untersuchungen der Probanden darauf zu achten, dass Belastungs- und Ernährungsverhalten nicht drastisch verändert werden.

Laktatverhalten und Wärme

Bei erhöhter Außentemperatur beschreibt Hollmann & Hettinger, 2000 einen früheren Anstieg der Konzentration des Laktats im Blut. Dies ist darauf zurückzuführen, dass es zu einer Mehrdurchblutung der Haut und so zu einer stärkeren Durchblutung der Muskulatur führt. Der Athlet muss bei hohen bzw. überhöhten Außentemperaturen „anaerobe Stoffwechselmechanismen in Kauf nehmen“ (Hollmann & Hettinger, 2000, S.481). Dies kann zu einer frühzeitigen Erschöpfung führen.

2.5 Herzfrequenz

In diesem Kapitel wird die Darstellung der Herzfrequenz in den Mittelpunkt gerückt. Die anatomischen Strukturen werden nicht erörtert wir wollen aber auf diesem Weg auf die einschlägige Fachliteratur verweisen. Weiter wird am Beispiel eines EKG die Erregungsleitung des Herzens dargestellt.

Das Herz zählt neben dem Gehirn zu dem wichtigsten Organ des Menschen. Eine wesentliche Voraussetzung für das Verständnis der zentralen Aufgaben des Herzens ist die Analyse der Mechanismen und Herzzyklen. Nach Klinke und Pape (2005) sind für die Erbringung der lebensnotwendigen Pumpleistung des Herzens in Ruhe und bei Belastung folgende vier Kenngrößen wichtig:

1. Das Myokard mit den Mechanismen der Kontraktion und Relaxation,
2. das Endokard und die Herzklappen zur Strukturierung der Phasen der Herzaktion,
3. der Koronarkreislauf zur bedarfsgerechten Versorgung des Myokards,
4. das Erregungsbildungs- und -leitungssystem zur Koordination und Rhythmisierung von Erregung, Kontraktion und Relaxation unterschiedlicher Myokardareale.

Wir werden uns in weiterer Folge mit den Punkten zwei und vier befassen da diese in Hinblick auf das allgemeine Verständnis der Herzarbeit eine entscheidende Rolle spielen.

Betrachten wir das Herz im Hinblick auf seine funktionelle Struktur erkennen wir, dass das Herz aus zwei hintereinander geschalteten Pumpen besteht und die Pumpleistung der beiden Pumpen jeweils identisch ist. Das so genannte linke Herz pumpt sein Schlagvolumen in die Aorta ascendens. Von dort nimmt das Blut seinen Weg in den großen Körperkreislauf. Vom rechten Herz geht das gepumpte Blut über die Arteria pulmonalis in den Lungenkreislauf wo es in weiterer Folge mittels Diffusion mit Sauerstoff angereichert wird. Die Herzklappen arbeiten als Ventile und erlauben so den Blutfluss in nur eine Richtung. Bei jeder Systole (Kontraktion der Herzmuskulatur, Austreibungsphase) kommt es zu einer nach unten Verlagerung (Verschiebung) der Ventilebene. (vgl. Klinke R. / Pape, H-C.: Physiologie, 2005)

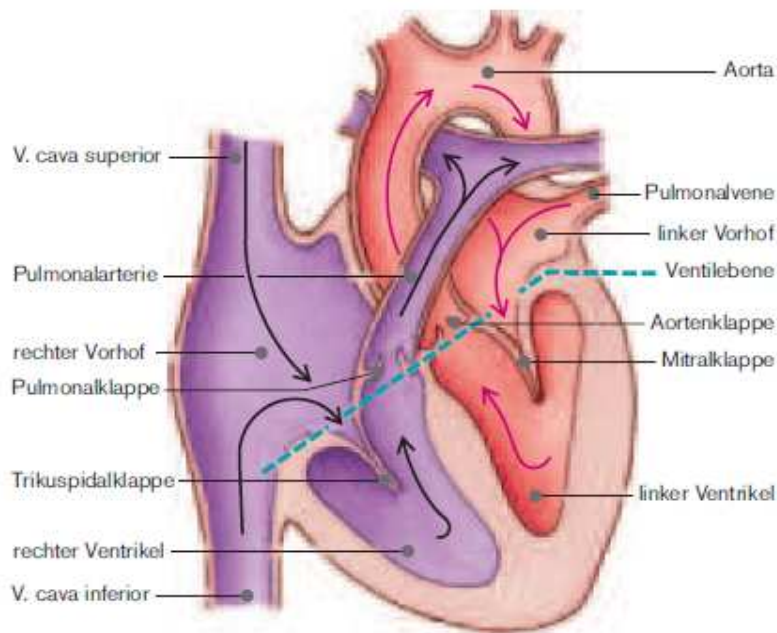


Abb. 23. Blutfluss durch das Herz. (Klinke R. / Pape, H-C.: Physiologie, 2005)

Linkes und rechtes Herzen kontrahieren gleichzeitig. Die Pumpwirkung beruht auf einer rhythmischen Abfolge von Systole (Kontraktion) und Diastole (Entspannung). Während der Diastole erfolgt eine Füllung der Herzkammern mit Blut, in der Systole, auch Austreibungsphase genannt, wird ca. 2/3 des in den Ventrikeln vorhandenen Blutes ausgeworfen. Das Schlagvolumen beträgt in Ruhe normalerweise ca. 70 ml. (Klinke R. / Pape, H-C.: Physiologie, 2005 S. 155)

Bei hohen Belastungen und hervorragendem Trainingszustand kann es zu einem Schlagvolumen von bis zu 250ml pro Ventrikel kommen. Die Tatsache dass der linke Ventrikel über wesentlich stärkere Muskulatur verfügt als der rechte Ventrikel beruht darauf, dass der linke Ventrikel sein Schlagvolumen gegen einen hohen arteriellen Druck (systolischer Druck 120 mmHg) pumpen muss. Der rechte Ventrikel pumpt seinen Inhalt in die Arteria pulmonalis und muss dort lediglich einen systolischen Druck von 20 mmHg überwinden.

Die Richtung des Blutflusses ist durch die Herzklappen vorgegeben. Diese öffnen sich nur in eine Richtung, haben somit eine wichtige Ventilfunktion und erlauben somit einen Transport von Blut in nur eine Richtung.

Wie besprochen beruht die Pumpwirkung auf einer rhythmischen Abfolge von Systole und Diastole. Dies wird auch Herzzyklus bezeichnet. Der Herzzyklus gliedert sich in vier Phasen:

- 2)Anspannung
- 3)Austreibung
- 4)Entspannung
- 5)Füllung

Die **Anspannungsphase** und somit die Ventrikel-Systole startet mit dem Schluss der Klappen zwischen Vorhof und Kammer (Atrio-Ventrikular-Klappen). Der Schluss der Klappen durch den Ventrikel-Druck initiiert. Dieser Ventrikel-Druck überschreitet den Druck im Vorhof. Dadurch wird ein Rückfluss des Blutes in den Vorhof verhindert. Auch die Aortenklappe ist in dieser Phase geschlossen was zu einem steilen Druckanstieg im Ventrikel führt. Dabei kann sich durch die Tatsache dass die Klappen geschlossen sind das Volumen (z.B.: 120ml in Ruhe) in der Kammer nicht ändern. Es erfolgt ein isovolumetrischer Druckanstieg. Überschreitet der Ventrikel-Druck den Druck in der Aorta öffnet sich die Aortenklappe und die Anspannungsphase endet.

Die **Austreibungsphase** beginnt durch einen weiteren Anstieg des Drucks in Kammer und Aorta. Dem weiteren Druckanstieg entsprechend nimmt das Blutvolumen im Ventrikel jetzt ab. Ungefähr 80 ml Blut werden aus der Kammer in die Aorta gepumpt. Somit bleibt ein Restvolumen an Blut von ca. 40 ml im Ventrikel zurück. Die Ejektionsfraktion beschreibt den Quotienten aus Schlagvolumen und enddiastolischem Volumen. Diese kann in einem Bereich zwischen 0,6–0,75 liegen. In unserem Beispiel beträgt die Ejektionsfraktion 0,67. Da es sich in der Austreibungsphase befindet ändert sich sowohl der Druck als auch das Volumen im Ventrikel. Erreicht der Ventrikel-Druck wieder den Aorten-Druck endet die Austreibungsphase. Überschreitet der Aorten-Druck in weiterer Folge den Druck in der Kammer kommt es zu einem Schluss der Aortenklappen. Synchron zum Klappenschluss ist eine kurze Druckschwankung ersichtlich. Diese Schwankung auch Inzisur genannt kann man mechanisch durch das kurzzeitige Absacken der Blutsäule über der Aorta während des Klappenschluss Mechanismus erklären. . (vgl. Klinke R. / Pape, H-C.: Physiologie, 2005)

Die **Erschlaffungsphase** ist der Zeitverlauf zwischen Wiederverschluss der Aortenklappe und der Wiederöffnung der Mitralklappe (Klappe zwischen Vorhof und Kammer). Dabei nimmt der Ventrikel-Druck schnell ab und unterschreitet in weiter Folge den Vorhofdruck. Somit kann nach Öffnung der Klappe zwischen Vorhof und Kammer die Füllungsphase beginnen.

Im ersten Drittel der **Füllungsphase** nimmt das Ventrikel-Volumen bereits um etwa 80% des Schlagvolumens zu. Diese rasche Füllung der Kammern erfolgt über eine Verschiebung der Ventilebene. (vgl. Klinke R. / Pape, H-C.: Physiologie, 2005)

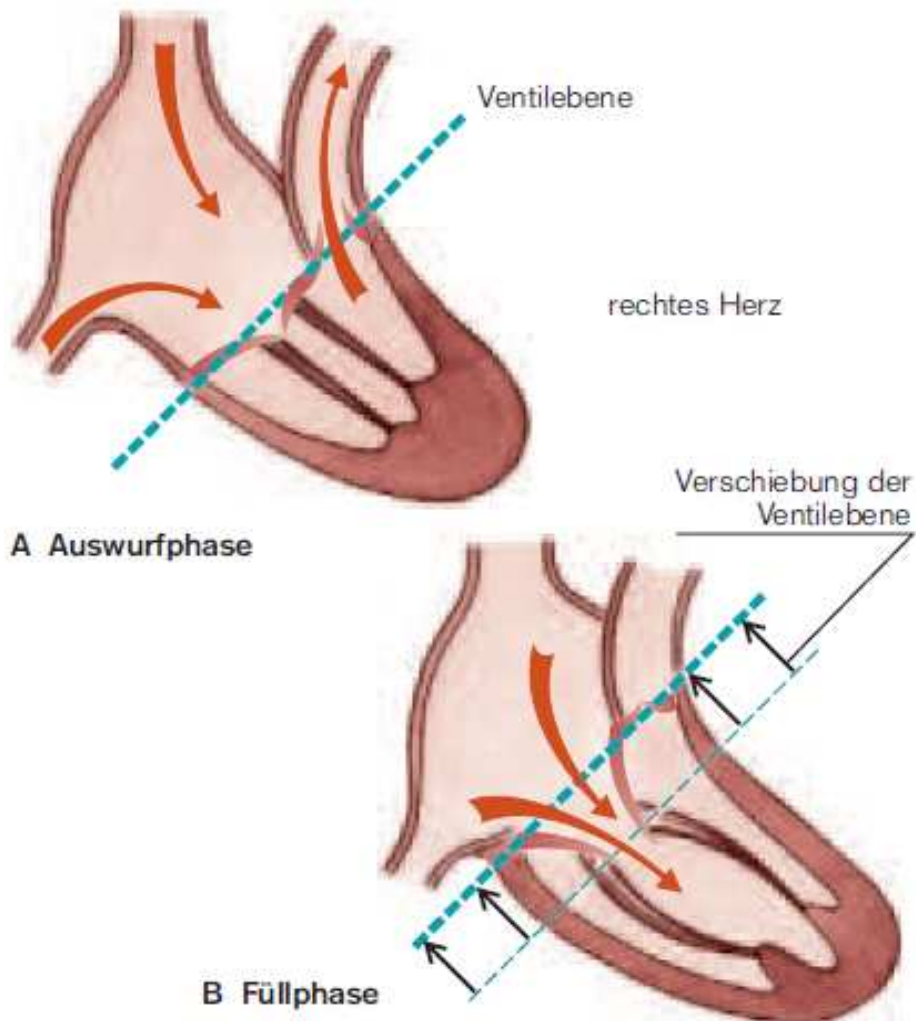


Abb. 25: Ventilebenenmechanismus. Schematische Darstellung für das rechte Herz. Klar ersichtlich ist die Veränderung der Ventilebene während des Herzzyklus als Mechanismus der diastolischen Ventrikelfüllung. A Durch Kontraktion wird die Ventilebene Richtung Herzspitze geschoben und saugt damit Blut in den Vorhof. B In der Diastole stülpt sich der Ventrikel durch eine nach oben Verschiebung der Ventilebene über das in den Vorhöfen liegende Blut. Dieser Mechanismus ist wesentlich für die Füllung des Ventrikels verantwortlich. (Klinke R. / Pape, H-C.: Physiologie, 2005)

Selbst bei gesteigerter Herzfrequenz unter Belastung und damit verbundener Abnahme der Diastolendauer wird durch eine die Herzfüllung im ersten Drittel der Füllungsphase eine adäquate Ventrikelfüllung garantiert.

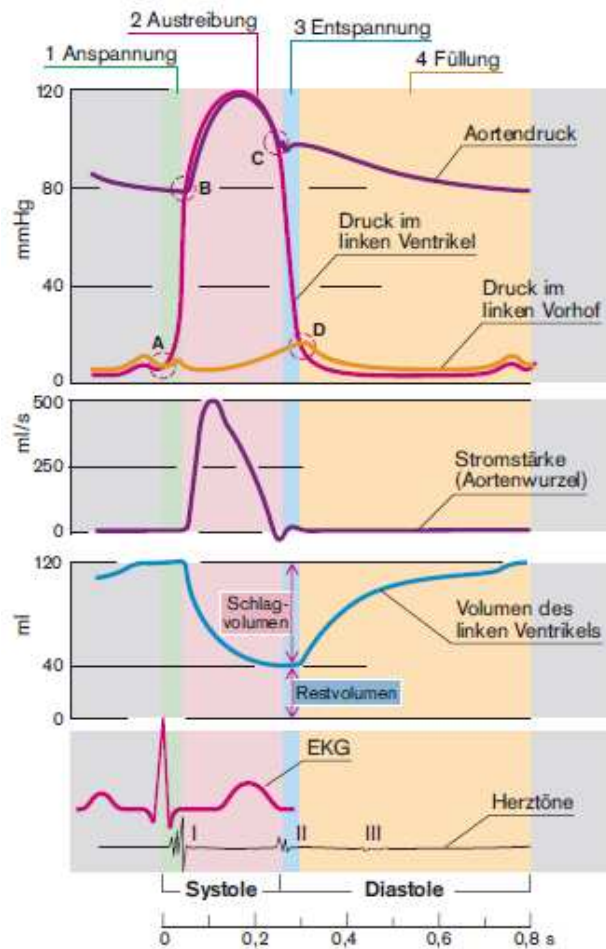


Abb.25: Herzzyklus in zeitlicher Korrelation von Druck, Fluss, Ventrikel-Volumen, EKG und Herztönen. (Klinke R. / Pape, H-C.: Physiologie, 2005)

Nach dem der Herzzyklus in allen seinen Phasen erläutert wurde werden in weiter Folge die Herzfrequenz und die dafür verantwortlichen Elemente der Reizleitung näher besprochen. Die Abfolge der Herzzyklen des Herzens pro Zeiteinheit spielt im Sport eine gewichtige Rolle. Die Herzfrequenz stellt für Leistungsdiagnostische Untersuchungen und in weiterer Konsequenz für die tägliche Trainingsarbeit im Leistungssport einen aussagekräftigen Parameter dar. Auch in dieser wissenschaftlichen Arbeit dient sie zur Beurteilung des Leistungsverhaltens. Die Herzfrequenz beschreibt die Anzahl der Herzzyklen pro Zeiteinheit (Minuten). Die Abfolge der Herzzyklen, des gesunden Herzens, ist von den im Sinusknoten (rechten Vorhof) erzeugten Impulsen abhängig. Diese als Sinusrhythmus bekannten Impulse beeinflussen unsere Herztätigkeit fundamental. Faktoren wie Lebensalter, Körpertemperatur, körperliche Belastung, psychischer Zustand und Herzgröße beeinflussen die Herzfrequenz. Bei gesunden Erwachsenen beträgt die Herzfrequenz in Ruhe etwa 70 Schläge in der Minute. (vgl. Klinke R. / Pape, H-C.: Physiologie, 2005)

Wie schon kurz angedeutet wurde sind elektrische Erregungen Voraussetzung für die Kontraktion der Herzmuskulatur. Klarer weiß sind auch in der glatten Muskulatur der Organe als auch in der Skelettmuskulatur elektrische Impulse für die Kontraktionen verantwortlich. Das Herz ist in seiner Kontraktion von den anderen Muskelsystemen unabhängig. Der Sinusknoten stellt den primären Schrittmacher des Herzens dar. Er wird als einziger Erregungsort im Herzen sowohl sympathisch als auch parasympathisch innerviert. Somit kann der Sinusknoten sowohl erregt als auch gehemmt werden. Die Anzahl der Aktionspotenzialänderungen im Sinusknoten entspricht bei einem gesunden Erwachsenen der Herzfrequenz. Grundsätzlich sind drei verschiedene Ionenkanäle für die Änderung der Aktionspotenziale und somit die Ausbreitung der Impulse verantwortlich. Natrium, Kalzium und Kalium Kanäle ermöglichen über unterschiedliche Öffnungszeiten ein Aktionspotential und somit auch die Reizleitung. Wie schon weiter in einem der ersten Kapitel dieser Arbeit erwähnt hat die Zelle des Menschen, also auch die Herzmuskelzelle, ein durch die unterschiedliche Verteilung von Natrium und Kalium Ionen hervorgerufenes elektrochemisches Potenzial. Dieses Potenzial wird durch die drei oben angeführten Ionenkanäle modifiziert wodurch es zu Veränderungen der Aktionspotenziale kommt. Der Sinusknoten besitzt ständig ablaufende rhythmische Aktionspotenziale. Das Zustandekommen des Aktionspotenzials ist durch eine sowohl zeitliche als auch potenzialabhängige Veränderung der Membran-Leitfähigkeit für Na^+ , Ca^{2+} und K^+ charakterisiert. Das Arbeitsmyokard besitzt in der Diastole ein Ruhemembranpotenzial das sich auf ca. -85mV beläuft. Das Ruhepotenzial entspricht grundsätzlich dem K^+ -Gleichgewichtspotenzial. (vgl. Deetjen / Speckmann, 2004)

Die Herzmuskelzellen reagieren auf Reize, die die Membran von -80mV bis auf ca. -65mV also sein so genanntes Schwellenpotenzial depolarisiert. Das Aktionspotenzial hat eine charakteristische Form. Hierbei unterscheidet man folgende Phasen (vgl. Deetjen / Speckmann, 2004):

- 1) die Depolarisation erfolgt sehr schnell und endet mit einem Überschießen des Potenzials zu positiven Werten dem sogenannten „Overshoot“
- 2) Plateauphase
- 3) Phase der Repolarisation also das Zurückkehren zum Ausgangsniveau

Die rasche Depolarisation kommt durch die vorübergehende Aktivierung also Öffnung der Natriumkanäle in der Membran zustande. Dabei kommt es zu einem lawinenartigen Na^+

Einstrom in die Zelle. Angetrieben wird dieser Influx (Einstrom) durch das hohe elektrochemische Potenzial für Natrium (Na^+ extrazellulär 145 mmol/l, intrazellulär 12 mmol/l; im Inneren der Zelle herrscht aufgrund von Ladungsunterschieden ein negatives Membranpotenzial). Der Natriumeinstrom bewirkt durch den sogenannten Overshoot eine Depolarisierung der Membran auf ca. +40 mV. Der Natrium-Einstrom dauert nur etwa 1–2 ms. Danach werden die Natriumkanäle wieder inaktiviert und können erst wieder nach einer Repolarisation der Membran geöffnet werden. (vgl. Deetjen / Speckmann, 2004)

Die Plateauphase folgt auf die rasche Depolarisation. Dabei kommt es zu einer Erhöhung der Membran-Leitfähigkeit für Kalzium. Mit diesem Mechanismus ist ein langsamer, depolarisierender Ca^{2+} -Einstrom in die Muskelfasern verbunden. Die Ca^{2+} Konzentration im extrazellulären Raum beträgt 1,25 mmol/l. Im Zytoplasma finden wir im ruhenden Muskel Werte rund die 0,1 $\mu\text{mol/l}$. Neben dem Membran-Potenzial erkennen wir also eine erhebliche chemische Triebkraft die für den Ca^{2+} -Einstrom durch die Myokardzellmembran verantwortlich ist.

Zu Beginn des Aktionspotenzials nimmt die K^+ Permeabilität (Durchlässigkeit) zunächst rasch ab, wodurch die durch den Na^+ Einstrom hervorgerufene Depolarisation begünstigt wird. Dies ändert sich in der Phase der Repolarisation wieder und führt zu einem K^+ -Ausstrom (Efflux) aus den Herzmuskelzellen, da während der Plateauphase die elektrische Triebkraft für K^+ Ionen geringer war als die chemische Triebkraft (K^+ extrazellulär 4 mmol/l, intrazellulär 150 mmol/l). (vgl. Deetjen / Speckmann, 2004)

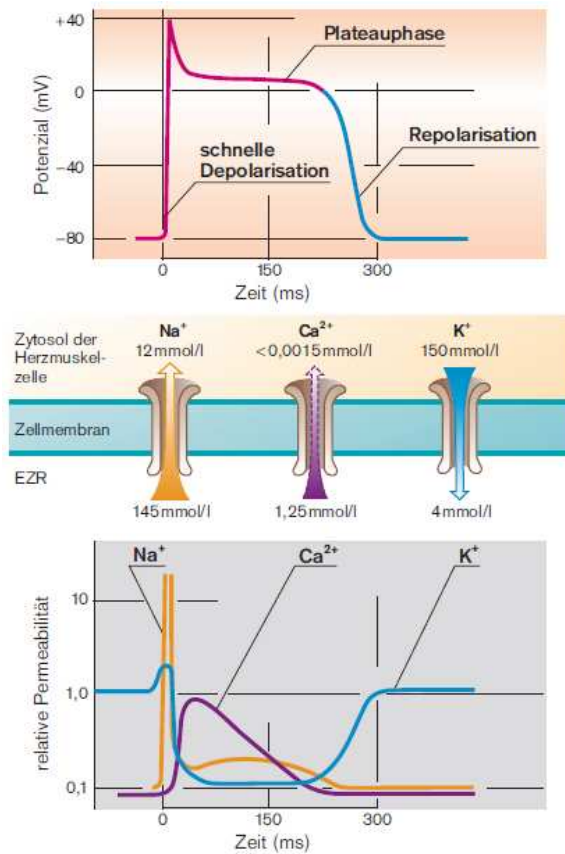


Abb. 26. Grundlagen für das Zustandekommen des Aktionspotenzials einer Herzmuskelzelle des Arbeitsmyokards. (Klinke R. / Pape, H-C.: Physiologie, 2005)

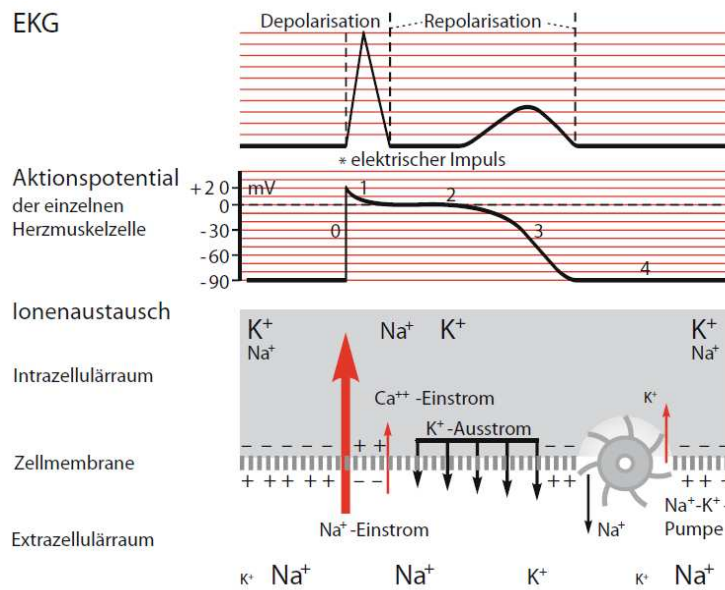


Abb. 27. Beziehung zwischen Ionenfluss und intrazellulären Aktionspotenzialen einer Herzmuskelzelle. (Gertsch, M.: Das EKG, 2006)

Nachdem wir die auf Ionen basierenden Mechanismen kurz beleuchtet haben werden wir uns in weiterem Verlauf des Kapitels mit der Reizleitung befassen.

Die aus dem Sinusknoten kommenden Reize werden zunächst über die Vorhofmuskulatur des Herzens zum Atrioventrikular-Knoten (AV-Knoten) weitergegeben. Der AV-Knoten stellt nach dem Sinusknoten das sekundäre Schrittmacher-Zentrum da. In weiterer Folge wird von dort eine Weiterleitung des Reizes durch das sogenannte HIS'sche-Bündel forciert. Danach wird über die Kammerschenkel und die Purkinje-Fasern laufend das Ventrikelmyokard erregt. Von jetzt an erregen sich die Herzmuskelzellen gegenseitig durch Ca^{2+} Einstrom über Gap Junctions (Zell-Zell-Verbindungen). Jeder dieser Herzabschnitte besitzt ein eigenes Aktionspotenzial. Da der Sinusknoten über die schnellste und vor allem ständig ablaufende Abfolge von Depolarisation, Plateauphase und Repolarisation verfügt, ist der Sinusknoten auch der primäre Schrittmacher des Herzens. Wie aus Abbildung 27 abzulesen ist, verfügt der AV-Knoten über das zweitschnellste Aktionspotenzial im Herz. Fällt der Sinusknoten nun aus wird die Erregung über den AV-Knoten gesteuert.

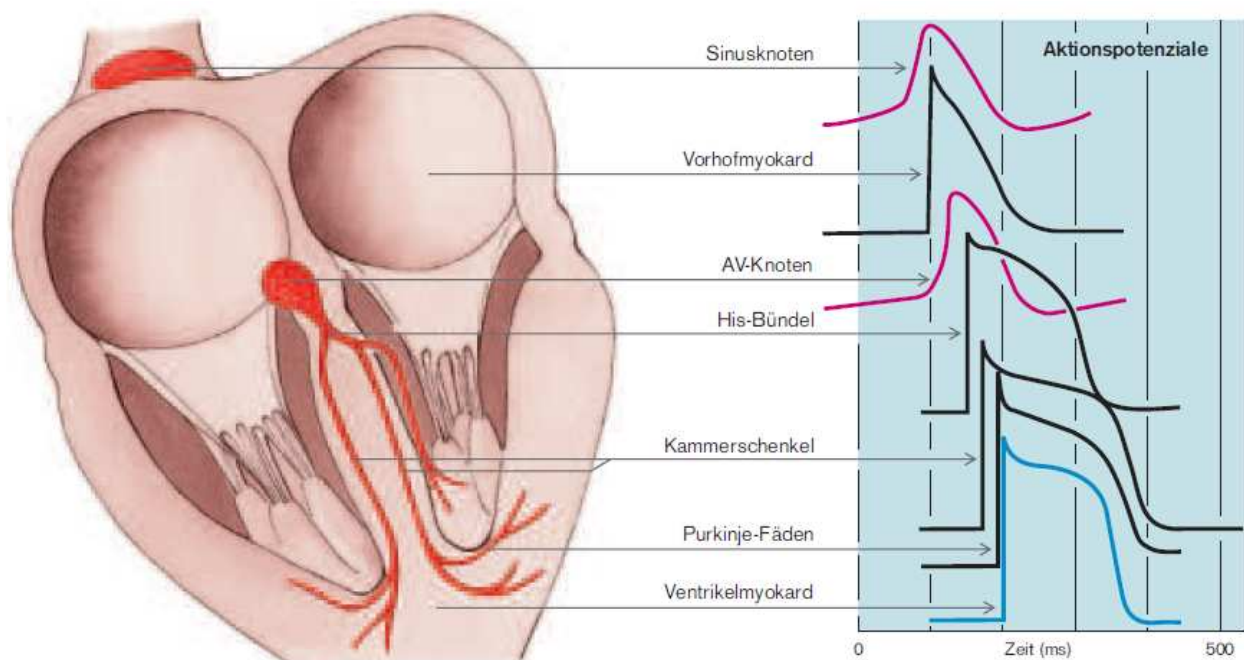


Abb. 28. Aktionspotenzial in den verschiedenen Herzabschnitten (Klinke R. / Pape, H-C.: Physiologie, 2005)

Die Erregungsleitungselemente haben unterschiedliche Geschwindigkeiten. Der AV-Knoten stellt dabei den langsamsten Überleitungsschritt da. Näheres ist aus der nächsten Graphik abzulesen. (vgl. Deetjen / Speckmann, 2004)

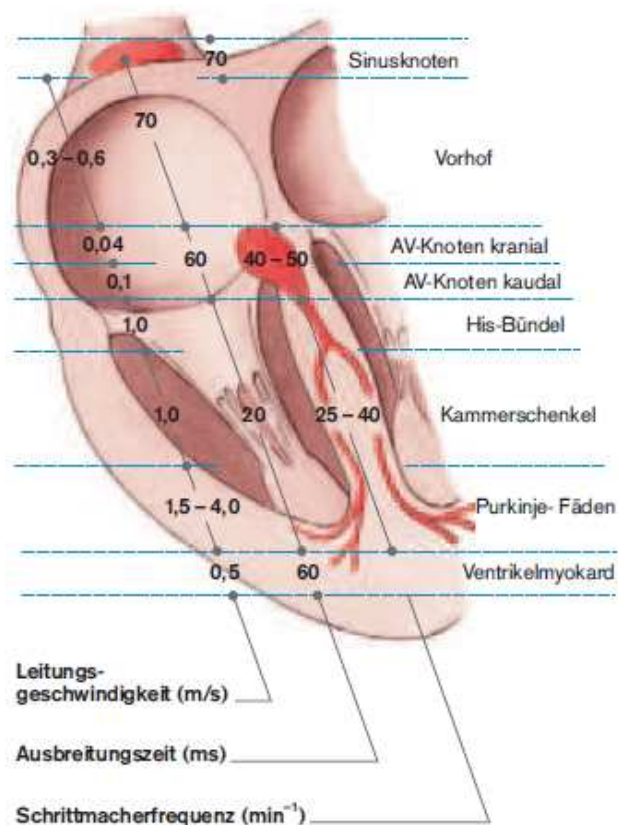


Abb. 29. Geschwindigkeit der Erregungsausbreitung (Klinke R. / Pape, H-C.: Physiologie, 2005)

Eine Steigerung der Herzschlag-Frequenz durch starke körperliche Belastung oder durch eine Erhöhung der Körperkerntemperatur wird in der Medizin als Tachykardie bezeichnet. Sinkt die Frequenz dagegen unter den in der Literatur oft beschriebenen Ruhe-Wert von 60 Schlägen/Minute ab spricht man von einer Bradykardie. Durch das Sinken oder besser die Abnahme der Herzfrequenz wird eine ökonomischere Herzarbeit bewirkt. So wird in der Physiologie beschrieben dass eine Senkung der Herzfrequenz um zehn Schläge pro Minute eine Sauerstoff und Energieeinsparung von ungefähr 15% zur Folge haben kann. Weiter hat die Abnahme der Frequenz eine Verlängerung der Diastole zur Folge die in weiterer Konsequenz durch die längere Erschlaffung der Herzmuskulatur eine Verbesserung der Durchblutung und damit auch eine günstigere Nährstoff- und Sauerstoffversorgung des Herzens zur Folge hat. (vgl. Klinke R. / Pape, H-C.: Physiologie, 2005)

Im gesamten Organismus kommt es auf Ebene der Neuralen-Ansteuerung von physiologischen Prozessen zu einer gegenseitigen Hemmung des Sympathikus und Parasympathikus.

Sympathikus

Der Sympathikus ist der Förderungs- oder Leistungsnerv des Herzens. Er wirkt aktivierend. Als seinen „Gegenspieler“ betrachten wir den Parasympathikus dessen Hauptnerv der zehnte Hirnnerv sprich der Nervus Vagus ist. Seine Aufgabe ist die Hemmung und Erholung. Somit entfaltet er eine dämpfende Wirkung. Nervenimpulse aus dem Herz gehen an das Zentralnervensystem weiter und so kann beispielsweise Sauerstoffmangel des Herzmuskels starke Schmerzen auslösen. Weiter kann durch die Dehnung des Brustkorbes bei der Einatmung die Blutzufuhr zum Herzen begünstigt werden. In der Phase der Inspiration kommt es demnach zu einer Erhöhung der Herzfrequenz, durch die das vermehrte Blutangebot bewältigt werden kann. Dieses Phänomen ist als respiratorische Arrhythmie bekannt.

Ausdauertraining löst Anpassungserscheinungen des Organismus und des Herzens aus. Diese wollen wir als bekannt voraussetzen und hier nur über eine Graphik auf die Herzhypertrophie eingehen. (vgl. Deetjen / Speckmann, 2004)

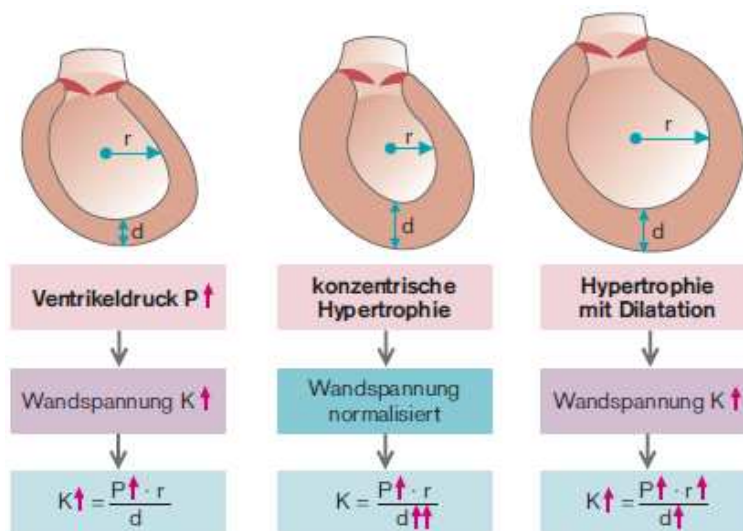


Abb. 30. Herzhypertrophie (Klinke R. / Pape, H-C.: Physiologie, 2005)

Da die Herzfrequenz einen ausgeprägten zirkadianen Rhythmus aufweist ist im Verlauf der Datenerhebung bei den getesteten Probanden sehr genau darauf geachtet worden das die durchgeführten Tests zur gleichen Uhrzeit stattfanden. Der zirkadiane Rhythmus basiert auf dem bereits erwähnten Wechselspiel zwischen Parasympathikus und Sympathikus. Herzfrequenz und Blutdruck nehmen bei Gesunden während des Schlafs in der Nacht ab.

2.6 Leistungsdiagnostische Verfahren

Grundsätzlich ist die Leistungsdiagnostik Voraussetzung für eine gezielte Trainingssteuerung. Um den Sportler kurz-, mittel- und langfristig zu seiner Höchstleistung zu verhelfen, bedarf es einer Analyse des individuellen sportmedizinischen und sportartspezifischen Leistungs-Ist-Zustandes.

„Leistungsdiagnostik beinhaltet das Erkennen, Benennen und Erfassen des individuellen Niveaus der Komponenten einer sportlichen Leistung oder eines sportlichen Leistungszustandes.“ (Weineck, 2007, S. 75)

Um die Trainingssteuerung zu optimieren, ist eine individuelle Trainingsplanung und Leistungsdiagnostik essentiell.

Man kann eine Vielzahl von leistungsdiagnostischen Verfahren unterscheiden:

- Beobachtung
- Interview bzw. Befragung
- Sportpsychologische Verfahren
- Sportmotorische Tests
- Funktionell, anatomische Verfahren
- Sportmedizinische (physiologische, biochemische und kardiologische) Verfahren
- Biomechanische Verfahren

Zu den primären Parametern in der Sportmedizin zählen das Blutlaktat und die Herzfrequenz. Des Weiteren spielt die Katecholamin- und Ammoniakbestimmung eine wichtige Rolle.

In der Leistungsdiagnostik unterscheidet man zwischen Hauptgütekriterien und Nebengütekriterien, um das jeweilige Verfahren auf ein Optimum zu bringen.

Zu den Hauptgütekriterien zählen die Gültigkeit bzw. Validität, die Zuverlässigkeit bzw. Reliabilität und die Objektivität eines Tests.

Unter Validität versteht man das Ausmaß, inwieweit der Test jene Parameter erfasst, die laut Fragestellung zu bestimmen sind.

Die Reliabilität gibt die Messgenauigkeit eines bestimmten Tests an.

Die Objektivität hat mit der Unabhängigkeit der verschiedenen Personen, die an dem jeweiligen leistungsdiagnostischen Verfahren beteiligt sind (Untersucher, Auswerter und Beurteiler), zu tun.

Vereint man diese Hauptgütekriterien, erhält man einen Gütekoeffizienten eines bestimmten

Tests, welcher als Orientierungshilfe für Sportler und Trainer dienen soll.

In der folgenden Abbildung sind Gütekoeffizienten für sportmotorische Tests aufgelistet.

Tab. 2: Gütekoeffizienten sportmotorischer Tests (Weineck, 2007, S.77)

Gütekoeffizient	Gültigkeit	Zuverlässigkeit	Objektivität
0,95–0,99	–	Ausgezeichnet	Ausgezeichnet
0,90–0,94	–	Sehr gut	Sehr gut
0,85–0,89	Ausgezeichnet	Annehmbar	Annehmbar
0,80–0,84	Sehr gut	Annehmbar	Annehmbar
0,75–0,79	Annehmbar	Schwach	Schwach
0,70–0,74	Annehmbar	Schwach	Schwach
0,65–0,69	Fraglich (annehmbar für sehr komplexe Tests)	Fraglich (annehmbar für Testbatterien)	Fraglich
0,60–0,64	Fraglich	Fraglich	Fraglich

Zu den Nebengütekriterien zählen laut Grosser/Starischka (1986) folgende Eigenschaften:

- Ökonomie
- Normiertheit
- Nützlichkeit
- Vergleichbarkeit

Wie ökonomisch ein Test wirklich ist, hängt von mehreren Faktoren ab. Es stellt sich die Frage, wie viel Zeit für den Test aufgewandt werden muss, wie viel Testmaterial und Testgeräte gebraucht werden, ob der Test einfach in der Handhabung ist, ob der Test als Gruppentest ebenfalls geeignet ist und ob die Auswertung viel Zeit und Rechenaufwand in Anspruch nimmt. Je geringer all diese Faktoren ausfallen, desto ökonomischer ist auch das Testverfahren. (vgl. Grosser/Starischka 1986).

Normierte Tests beziehen sich auf Testverfahren, für die bereits Referenzwerte vorhanden sind. Diese Referenzwerte können alters-, geschlechts-, sportart- und leistungsspezifisch vorliegen. Ferner werden diese Referenzwerte als Vergleichsparameter für einen

individuellen Testwert herangezogen. Daraus kann man schließen, ob der individuell durchgeführte Test schlechter, besser oder in der Norm der Referenzwerte liegt.

Die Nützlichkeit eines Tests sagt etwas darüber aus, ob die Kenntnis der getesteten psychophysischen Fähigkeiten wirklich von praktischem Nutzen ist.

Kann man den ausgewählten Test mit anderen Testverfahren, die ähnliche Gültigkeitsaussagen aufweisen, in Bezug setzen, so besitzt der Test eine bestimmte Vergleichbarkeit.

Vor- und Nachteile von leistungsdiagnostischen Tests (vgl. Grosser/Starischka 1986).

Beleuchten wir als Erstes die Vorteile leistungsdiagnostischer Verfahren:

- Durch leistungsdiagnostische Tests kommt es zu einer Beobachtung der Entwicklung der Leistungsfortschritte
- Ermittlung einzelner Leistungsfaktoren, egal ob technischer, konditioneller oder koordinativer Natur
- Die Überprüfbarkeit des individuellen Leistungsstandes der oben genannten einzelnen Leistungsfaktoren ist bei leistungsdiagnostischen Verfahren gegeben.
- Ausschalten des subjektiven Einflusses im Gegensatz zur Beobachtung
- Um die Effizienz der Trainingssteuerung zu garantieren, egal ob lang- oder mittelfristig, darf auf Teilkomponententests nicht verzichtet werden.
- Es kommen durch verschiedenen leistungsdiagnostischen Tests eventuelle Teildefizite ans Licht. Man kann mit Hilfe dieser Tests die Ursachen einer Leistungsstagnation aufdecken und diesbezügliche Maßnahmen setzen.

•Nun zu den Nachteilen, im speziellen bei Sportspieletests (vgl. Grosser/Starischka 1986).

:

- Es ist unmöglich, die Komplexität der Spilleistung zu erfassen
- Es kommt zu einer Ergebnisverzerrung, sobald Einstellung und Motivation der Spieler in Bezug auf verschiedene Testverfahren unterschiedlich stark ausgeprägt sind

Grenzen leistungsdiagnostischer Verfahren (vgl. Grosser/Starischka 1986).

Konditionelle Tests können nur Teilkomponenten der Spielfähigkeit, welche sehr komplex sind, analysieren und bewerten. Darum sollte es nicht zur Überschätzung einzelner leistungsdiagnostischer Untersuchungsverfahren kommen.

Folgende Punkte sollten bei einer objektiven Beurteilung und Interpretation beachtet werden:

- Konditionelle Fähigkeiten sind nicht der alleinige Bestandteil sportmotorischer Leistungen. Diese werden noch durch etliche andere Komponenten bestimmt, welche auch von der Persönlichkeit des Sportlers abhängig sind. Führt man Tests durch, um Schnelligkeits-, Kraft- und Ausdauerleistungen zu bestimmen, werden dabei immer nur Teilaspekte dieser Fähigkeiten gemessen.
- Es kann durch Bestimmen der Konditionsleistungen nur auf Teilfunktion der individuellen Sportlerpersönlichkeit geschlossen werden.
- Durch Konditionstests kann höchstens eine Grobdiagnose der einzelnen Komponenten der Kondition durchgeführt werden. Will man eine Feindiagnose erhalten, so ist dies mit kostspieligen Methoden (biomechanische, biochemische und sportmedizinische Verfahren) verbunden.
- Die Aussagekraft eines Konditionstest ist erst dann gegeben, wenn dieser mit gesicherten Erkenntnissen desselben Untersuchungsgegenstand in engem Zusammenhang steht. Durch Berücksichtigung und Simulierung der Struktur der jeweiligen sportmotorischen Leistung, werden brauchbare Ergebnisse ermöglicht.
- Es kann trotz konsequenten Beachtens der Durchführungskriterien bei jedem Untersuchungsverfahren zur Beeinflussung des Testergebnisses durch Störfaktoren (Testeffekt, zwischenzeitliches Geschehen u.ä.) kommen (vgl. Grosser/Starischka 1986, 15/16).

Grundsätzlich muss man zwischen dem sportmotorischen Test, den man ohne großen apparativen Aufwand durchführen kann und dem sportmedizinischen Test, der nur mit Hilfe einer Institution der Sportmedizin möglich ist, unterscheiden.

Nimmt man die leistungsdiagnostischen Verfahren mit sportmedizinischer Begleitung genauer unter die Lupe, so sollen diese eine optimale Trainingsgestaltung durch präzise Aussagen über den Leistungs-Ist-Zustand und die bisherige Entwicklung ermöglichen. Eventuell sollen auch Prognosen erstellt werden, welche durch Untersuchungsverfahren im Labor und Feld zustande kommen können. Voraussetzung für eine erfolgreiche Zusammenarbeit mit

sportmedizinischen Institutionen ist das Einverständnis und auch Verständnis von Trainern und Sportlern.

Grundsätzlich ist die bessere Reproduzierbarkeit und Standardisierbarkeit der große Vorteil von Laboruntersuchungen. Jedoch fehlt bei Labortests oft die Sportartspezifität und es können nicht alle Komponenten der Leistungsfähigkeit erfasst werden. (vgl. Weineck, 2007)

Genau das Gegenteil zeigt sich bei den Feldtests. Es ist oft ein schwieriges Unterfangen, den Feldtest zu standardisieren und reproduzieren. Die Sportartspezifität ist hingegen meistens gegeben, welche die Erfassung von Veränderungen vereinfacht. (vgl. Weineck, 2007)

Abschließend ist festzuhalten, dass die Leistungsdiagnostik in sehr engem Zusammenhang mit der Trainingsplanung und -steuerung steht. Ausgehend von der Planung werden leistungsdiagnostische Untersuchungsverfahren zur Hilfe genommen, um dann mit Hilfe der Trainingssteuerung ein vorgegebenes Leistungsziel zu erreichen.

2.7 Forschungsstand

Im folgenden Kapitel werden verschiedene internationale Artikel und Veröffentlichungen von Untersuchungen genauer unter die Lupe genommen, diskutiert und verglichen. Das Thema all dieser empirischen Studien ist der Einfluss von Kälte auf die Leistungsfähigkeit im Sport. Es soll jedoch hauptsächlich das Augenmerk auf Studien gelegt werden, die - wie auch diese Arbeit – im Speziellen das Precooling mit Kühlweste bzw. Ganzkörperkühlung erforschten und untersuchten.

Der Fakt, dass hohe Luftfeuchtigkeit und eine heiße Umgebungstemperatur die physische und psychische Leistungsfähigkeit beeinflussen, ist generell anerkannt (vgl. Maughan et al., 2007; Wendt et al., 2007). Dies trifft vor allem auf Sportarten zu, die dem Langzeitausdauerbereich angehören, wo hohe Temperaturen eine deutliche Beeinträchtigung hervorrufen (Quod et al., 2006). Großveranstaltungen im Sport, wie z.B. die Olympischen Spiele fanden unter heißen klimatischen Bedingungen statt (man erinnere sich z.B. an Atlanta 1996, Athen 2004 oder auch Peking 2008), was für die sportwissenschaftliche Erforschung von wesentlicher Bedeutung war und noch immer ist. Es gilt, Methoden zu finden und zu perfektionieren, welche das Leistungsniveau trotz hoher Außentemperaturen aufrecht erhalten. Pharmakologische Methoden sind in dieser Hinsicht natürlich inakzeptabel (vgl. Reilly et al., 2006) und sollen auch nicht Gegenstand dieser Diplomarbeit sein. Vielmehr sind physiologische bzw. trainingsmethodische Interventionen zur Hitzetoleranz erfolgsversprechend.

Wichtige Maßnahmen stellen ausreichende Flüssigkeitszufuhr und Hitzeadaptation dar, um ein Entgegenwirken der hitzebedingten Leistungsminderung zu erreichen (vgl. Maughan et al., 2007; Wendt et al., 2007). Die Manipulation der Körpertemperatur vor der Belastung entpuppt sich als nützliche Strategie, um eine Leistungsoptimierung unter Hitzebedingungen zu bewirken (vgl. Marino, 2002; Maughan & Shirreffs, 2004). Bereits vor 25 Jahren findet man Beiträge und Fachartikel (vgl. Schmidt & Brück, 1981; Hessemer et al. 1984; Iwanaga et al., 1989), in denen Manipulation der Körpertemperatur durch Kühlmaßnahmen zur Verbesserung der sportlichen Leistungsfähigkeit beschrieben werden.

Verschiedene Kühlmethoden wurden genauer unter die Lupe genommen, um zu klären ob eine längere Aufrechterhaltung der (Ausdauer) – Leistungsfähigkeit durch Verminderung der Körperkerntemperatur erreicht werden kann. Es besteht die Annahme, dass Ermüdungserscheinungen aufgrund einer Erhöhung der Körperkerntemperatur über eine

kritische Grenze hervorgerufen werden, und es in weiterer Folge zum Belastungsabbruch kommen kann. Darüber hinaus kann eine Überhitzung des Körpers ein Gesundheitsrisiko für den Athleten darstellen (vgl. Armstrong et al., 2007; Cheung, 2007; Brooderhood, 2008).

Die Studie von Webster et al., 2005 zeigte, dass es zu einer Verminderung der Rektaltemperatur um etwa 0,5°C bzw. der abdominalen Hauttemperatur um 0,1-0,4°C durch das Applizieren einer Kühlweste kam. Zusätzlich wurde bei dieser Studie (vgl. Webster et al., 2005) festgestellt, dass das Tragen einer Kühlweste während des Aufwärmens zu einer Ausdauerbelastung die Schweißrate um 10-23% verringerte. Um durchschnittlich 49 Sekunden erhöhte sich die Laufzeit bei einer Intensität von 95% der VO_{2max} .

Eine Arbeitsgruppe aus Japan (vgl. Hasegawa et al., 2006) führten eine Untersuchung mit untrainierten männlichen Testpersonen durch und erforschten die Auswirkungen der Verwendung einer Kühlweste bei zusätzlicher Flüssigkeitszufuhr bzw. Flüssigkeitsabstinenz. Die Testpersonen mussten einen Ausdauererprobungsversuch (60 Minuten bei 60% VO_{2max} unmittelbar gefolgt von 80% VO_{2max} bis zur Ausbelastung) bei Hitze (32° C und 70-80% Luftfeuchtigkeit) absolvieren.

Durch die Verwendung einer Kühlweste gemeinsam mit ausreichender Flüssigkeitszufuhr konnte eine signifikante Verbesserung ($p < 0,05$) festgestellt werden. Grund dafür war die Hinauszögerung der Zeitspanne bis zum Erreichen einer kritischen thermischen Grenze und damit eine Verminderung der Belastung des kardiovaskulären Systems.

Bei Uckert & Joch, 2007 kam es zum Vergleich der Wirkung von Aufwärmen mit Precooling durch Kühlweste als Vorbereitung für eine Ausdauerbelastung bei Hitzeeinwirkung (Laufbandtest). Die Autoren konnten eine signifikante Verbesserung der Leistung ($p < 0,05$) der Gruppe feststellen, die eine Kühlweste als Kühlungsmaßnahme bei der Belastungsvorbereitung trugen. Ferner stellte sich auch noch eine signifikante Verschlechterung der Leistungsfähigkeit unter Hitzebedingungen gegenüber der Kontrollgruppe heraus. Quod und seine Mitarbeiter führten 2008 eine Studie durch, wo zwei verschiedene Kühlmethoden (einerseits mit Kühlweste, welche eine Verminderung der Hauttemperatur als Ziel hatte, andererseits Kühlung durch Kaltwasserimmersion in Kombination mit Kühlweste, was ebenfalls eine Verminderung der Hauttemperatur als auch eine Verminderung der Körperkerntemperatur zur Folge haben sollte) zum Einsatz kamen. Es wurde die Leistungsfähigkeit beim Radzeitfahren (40 Minuten am Fahrradergometer) in einer Hitzekammer (Temperatur 34,3° C bzw. 41,2° C) unter Einfluss von Kälteapplikation untersucht. Beim Vergleich der Ergebnisse mit Kälteapplikation gegenüber dem Versuch ohne Kälteapplikation, stellten Quod und Mitarbeiter eine prozentuelle Steigerung der

Leistungsfähigkeit von 0,7% bei Verwendung der Kälteweste fest, was statistisch gesehen keine signifikante Verbesserung darstellt ($p=0,35$). Bei der kombinierten Kühlung, bei der Kühlweste und Kältewasserimmersion verwendet wurde, kam es zu einer Verbesserung der Zeitfahrleistung von 1,7%. Dies gilt sehr wohl als signifikante Steigerung der Leistungsfähigkeit ($p=0,009$). Die Autoren (vgl. Quod et al., 2008) schließen daraus in Bezug auf die Praxis, dass die Verminderung der Hauttemperatur durch Tragen einer Kühlweste noch nicht zu einer signifikanten Leistungssteigerung führt, die Kombinationskühlung jedoch eine deutliche Verbesserung der Ausdauerleistungsfähigkeit hervorruft.

Dass Kälteapplikationen nicht nur bei Langzeitausdauerbelastungen von Vorteil sein können, wurde von Marsh & Sleivert, (1999) nachgewiesen. Es kam zu einer randomisierten Versuchsanordnung mit Radrennfahrern, welche einen Maximaltest absolvierten, der 70 Sekunden andauerte. Vor dem Test mussten sich die Athleten einer 30-minütigen Immersion in kaltem Wasser unterziehen. Bei einer Luftfeuchtigkeit im Bereich von 80% und einer Umgebungstemperatur von 29° Celsius, konnte die Gruppe, die während der Aufwärmphase Kühlmaßnahmen durchführte, eine signifikante Leistungssteigerung ($p<0,005$) im Maximaltest erreichen (603 ± 60 Watt gegenüber 581 ± 57 Watt, was einer Verbesserung von $3,3 \pm 2,7\%$ entspricht). Die Kälteapplikation hatte physiologisch eine signifikante Verminderung ($p<0,05$) der Körperkern- sowie Hauttemperatur zur Folge. Die Auswertung der Herzfrequenz in der Aufwärmphase zeigte ebenfalls eine signifikante Verminderung ($p<0,05$) durch das Precooling. Beim Vergleich der Laktatkonzentrationen konnte kein signifikanter Unterschied festgestellt werden. Die Athleten wurden im Weiteren nach dem Empfinden der Belastung befragt und gaben an, dass die Anfangsphase (die ersten Sekunden der Belastung) als anstrengender, die Endphase durch das Precooling jedoch als leichter empfunden wurde.

Die erwähnten Leistungsverbesserungen führen Marsh & Sleivert, (1999) auf eine Vasokonstriktion der Haut aufgrund der Kälteapplikation zurück, was eine erhöhte Blutversorgung in der belasteten Muskulatur mit sich bringt.

Sleivert et al. fanden im Gegensatz dazu bei einer Untersuchung von 2001 keine Leistungssteigerungen, ja sogar Leistungseinbußen bei hochintensiven Belastungen, welche 45 Sekunden andauerten. Nach dem Einsatz von Kälteapplikation kam es zu einer signifikanten Verminderung der mittleren ($-4,1 \pm 3,8\%$) und maximalen Leistung ($-3,4 \pm 3,8\%$). Ohne vorangegangenes Aufwärmen wurden sogar noch signifikantere Leistungsminderungen im Vergleich mit der Kontrollgruppe von den Autoren (vgl. Sleivert et al., 2001) festgestellt (7,7% bzw. 7,6%).

Eine Studie von 2003, bei der Sprintantritte in einer Hitzekammer am Fahrradergometer innerhalb von 80 Minuten mit bzw. ohne Kälteeinfluss getestet wurden, konnten Duffield et al.,

(2003) keine signifikanten Verbesserungen mit Kälteapplikation in Form einer Kühlweste feststellen. Es wurde die Leistung, die Herzfrequenz, die Schweißrate, die Blutlaktatkonzentration und die subjektiv empfundene Ermüdung untersucht, und bei keinem der Parameter kam es zu signifikanten Veränderungen. Dass es keine signifikanten Unterschiede zu verzeichnen gab, könnte auch mit der kleinen Probandengruppe zusammenhängen.

Durch Wasserimmersion wurde die Körperkerntemperatur von Triathleten vor einem Schwimmwettkampf um 0,5° Celsius vermindert. Es kam jedoch zu keinen leistungssteigernden Effekten (vgl. Bolster et al., 1999).

Bei einer weiteren Studie untersuchten die Autoren (vgl. Wilson et al., 2002) die Wirkung auf die Ausdauerleistungsfähigkeit mittels Kombination aus zwei unterschiedlichen Wassertemperaturen (thermoneutral bzw. Kaltwasser). Es wurde aufgrund der Kaltwasserimmersion eine signifikant verminderte Schweißproduktion, ein signifikant verspätetes Einsetzen des Schwitzens und eine deutliche Verlängerung der Ausdauerzeit festgestellt.

1999 wurden von Kay et al. moderat trainierte Testpersonen unter Hitzebedingungen auf deren Ausdauerleistungsfähigkeit getestet. Es kam zu einer signifikanten Verbesserung der zurückgelegten Wegstrecke im 30-minütigen Radfahren aufgrund der Kälteimmersion (durchschnittlich wurden 900 Meter mehr zurückgelegt) und der daraus folgenden verbesserten Hitzetoleranz.

Unterschiedliche Kühlformen, genau genommen Immersion, Kühlweste und Eispackungen, wurden bei intermittierenden Sprintbelastungen am Fahrrad untersucht (vgl. Castle et al., 2006). Die Autoren stellten die Hypothese auf, dass es durch die verschiedenen Kühlformen zu einer Verringerung der Leistungsminderung käme. Der beste Effekt zeigte sich bei der Anwendung von Eispackungen auf den Beinen.

Einen positiven Effekt auf die Leistungsfähigkeit eines 30-minütigen Lauf bei heißer Außentemperatur (32° Celsius und 60% Luftfeuchtigkeit) konnten Booth et al., (1997) bei einer ihrer Studien feststellen. Als Ergebnis erhielten die Autoren bei vorangegangener Kühlung eine Verbesserung der zurückgelegten Wegstrecke um 304±166 Meter.

Keinen signifikanten Unterschied fanden Daanen et al., 2006 bei ihrer Untersuchung, wo die Autoren einerseits Kälteapplikationen am gesamten Körper, andererseits nur an einzelnen Körperteilen anwendeten.

Bei der Kühlung des Oberkörpers fanden Cheung & Robinson (2004) keine Leistungssteigerungen im Test von wiederholten Sprintbelastungen.

Eine weitere interessante Annahme verfassten Maughan et al., (2007), die behaupteten, dass

es durch Dehydration und Hitzestress zur Beeinträchtigung der Blut-Hirnschranke kommen könne und dies auch einen leistungsmindernden Faktor bei körperlicher Anstrengung darstellt.

1988 leiteten Olschewski, H. & Brück, K. eine Studie, in der eine Form der Kälteapplikation zum Einsatz kam.

Es wurden 7 Probanden am Fahrradergometer untersucht. Sie mussten einen Stufentest absolvieren. Die erste Stufe dauerte 16 Minuten und wurde mit einer Intensität von 40% der maximalen Sauerstoffaufnahme absolviert. Die nächste Stufe forderte eine Intensität von 80% der maximalen Sauerstoffaufnahme bis zur körperlichen Ausbelastung.

Dieser Stufentest wurde von jedem Probanden zweimal absolviert; das eine Mal mit Precooling (0 Grad Celsius Umgebungstemperatur) und das andere Mal ohne Precooling.

Die Ergebnisse sprechen für die Methode des Precooling. Bei Stufe 2, also bei 80% der maximalen Sauerstoffaufnahme verschob sich die Abbruchzeit der Tests mit Precooling im Schnitt um 12% nach hinten. Die Herzfrequenz war bei den Tests mit vorheriger Kälteapplikation signifikant niedriger. Satt 39% niedriger war die Wärme-Konduktion und die Schweißrate der „Kälte“-Gruppe.

Schon 1995 leiteten D.T. Lee und E.M. Haymes eine Studie in Florida State mit vierzehn männlichen Probanden. Es wurden zwei Lauftests mit hoher Intensität durchgeführt, wobei zwischen den beiden Läufen eine 30-minütige Erholungspause eingeschoben wurde. Während dieser Erholungspause hielten sich die Probanden einmal in einem Zimmer mit 24°C Raumtemperatur auf, das andere Mal in einem Zimmer mit 5°C Raumtemperatur. Nach der Erholungspause kam es zu einem Ausdauer-Ausbelastungstest (die Intensität wurde bei 82% der max. aeroben Kapazität angesetzt).

Die Autoren dieser Studie kamen zu drei interessanten Erkenntnissen:

- Im Test nach der 5°C – Erholungspause war ein signifikant niedrigerer Sauerstoffverbrauch zu verzeichnen
- In der 5°C - Erholungsphase war die Herzfrequenz der Probanden etwas höher. In den 15 Anfangsminuten der Belastung hingegen konnten die Autoren eine signifikant niedrigere Herzfrequenz feststellen. Zusätzlich kam es zu einer deutlich zeitlicheren Verlängerung der Ausbelastung, genau genommen um 21%.
- In Hinblick auf den Vergleich der Laktatproduktion kam es zu keinen signifikanten Unterschieden.

Man kann also zusammenfassend behaupten, dass das Precooling eine geringere

Beanspruchung des kardiovaskulären und des metabolischen Systems hervorruft.

Vor vier Jahren wurde eine Studie von Arngrímsson et al. (2004) veröffentlicht. Es wurden 17 Läufer, welche einen sehr guten Trainingszustand aufwiesen, getestet. Die Probanden mussten 5km auf dem Laufband zurücklegen. Der Lauftest fand bei einer Umgebungstemperatur von 32° C und 50% Luftfeuchtigkeit statt. Die fünf Kilometer am Laufband wurden zweimal von jedem Läufer absolviert. Zuvor wurde noch ein 38-minütiges Aufwärmprogramm absolviert. Das erste Mal absolvierten die Probanden das Aufwärmprogramm mit einem T-Shirt, das darauf folgende Mal mit einer Kühlweste.

Die Autoren stellten beim Test mit Kälteapplikation einen geringeren Körperkerntemperatur-Anstieg fest. Außerdem kam es beim Lauftest mit Precooling zu einer subjektiv geringeren empfundenen Wärmebelastung sowie einer niedrigeren Herzfrequenz. Auch bei der Endzeit kam es zu besseren Ergebnissen bei dem Test mit Precooling. Genau genommen konnten Arngrímsson et al. eine Verbesserung von 1,1% in der Laufzeit des 5km-Tests feststellen.

Aus dem Artikel „Methods, advantages, and limitations of body cooling for exercise performance“ von Marino (2002) geht hervor, dass das Precooling einen positiveren Effekt bei Ausdauerbelastungen von bis zu 30-40 Minuten hat als bei kurzen Ausdauerbelastungen oder Intervalltraining. Der Autor behauptet, dass vielmehr die Senkung der Hauttemperatur durch das Precooling hervorgerufen wird, als die Senkung der Körperkerntemperatur. Die Vermutung wird erläutert, dass durch die Hautgefäßverengung das wärmere Blut in den Kern wandert. Dadurch steigt die Körperkerntemperatur während des Precoolings eher an als das sie absinkt und erst nach Belastungsbeginn kommt es zu einer signifikanten Abnahme der Körperkerntemperatur. Marino beschreibt dieses Phänomen als „Nachsinken der Kerntemperatur“ und behauptet im weiteren, dass das Precooling nicht das Halten einer gegebenen Geschwindigkeit oder Intensität begünstigt, sondern dass sich die Mobilisation der Reserven, die ein Athlet am Ende einer intensiven Belastung aktivieren kann oder muss, verzögert.

Die Aussage von Marino wird durch eine Studie von Kay et al. (1999) bestätigt. Die Probanden wurden in Form von Kaltluft vorgekühlt und es wurde eine Steigerung von 16% in der Ausdauerzeit festgestellt. Interessant für die Verifizierung von Marinos Aussage war vor allem die Steigerung des Tempos am Ende des Tests. Aufgrund dieser Leistungssteigerung gegen Ende des Tests nimmt Marino an, es gäbe einen Mechanismus, der für eine Muskelreserve verantwortlich sei. Es konnten jedoch keine Untersuchungen gefunden

werden, die dies belegen.

Es ist nach Angaben von Marino nach einer Vorkühlung die Wärmespeicherungsrate erhöht und der entscheidende Vorteil liegt darin, dass die Anstiegsrate der Körperkerntemperatur gesenkt wird.

Studien von Lee and Haymes (1995), Booth et al. (1997) sowie Kay et al. (1999) untermauern die Hypothese der Verbesserung der Wärmespeicherkapazität.

Nun stellt sich die Frage, inwiefern die Praktikabilität der verschiedenen Precooling Methoden vorhanden ist. Hier leisteten die Wissenschaftler des AIS (Australian Institute of Sport) einen entscheidenden Beitrag, indem sie eine Kühlweste entwickelten. Zum ersten Einsatz dieser Kühlwesten kam es dann bei den Vorbereitungen auf die olympischen Spiele in Atlanta 1996.

43 Athleten, darunter Ruderer, Hockeyspieler, Leichtathleten, Geher und Straßenradrennfahrer sowie 7 Trainer des Nationalteams trugen die Kühlwesten während des Trainings. Ein (subjektiver) positiver Einfluss war von allen Beteiligten zu verzeichnen, vor allem als bei extrem hohen Außentemperaturen trainiert wurde. Der Hintergedanke des AIS mit der Entwicklung der Ice Jackets war das Ziel, die Hauttemperatur zu senken und eventuellen Überhitzungen vorzubeugen. Zusätzlich sollte durch das Senken der Hauttemperatur das thermoregulatorische System genutzt werden und so eine geringere Schweißrate erreicht sowie die Schwitzschwelle erhöht werden.

Während der olympischen Spiele nutzten 80% der Athleten aus Australien die Kälte-Westen. Da die Ice Jackets aber bei einigen Athleten Kopfschmerzen und Unbehagen auslösten, was auf die stark ansteigende Blutzufuhr zum Kopf zurückzuführen ist (vgl. Ranke-Heinemann, 2004), überarbeiteten die Wissenschaftler des Australian Institute of Sport gemeinsam mit Forschern aus Melbourne (RMIT University) die Jacken. Es wurden neue molekulare Materialien verwendet, welche die Ableitung der Wärme gewährleisten, dessen Temperaturniveau der normalen Hauttemperatur sehr nahe kommt. Dies erhöhte die Wirksamkeit der Kühlung und ist der Technologie der Jacken aus 1996 weitaus überlegen.



Abb. 31: Australisches Ruderteam 1996 in Atlanta (Sportscience, 1998)

Da ja auch im Rahmen dieser Arbeit Kühlwesten zur Verwendung kamen (detaillierte Erläuterung in Kapitel 4.4.5), wurden die Artikel über die Einführung und Weiterentwicklung der Ice Jackets als Abschluss dieses Kapitels gewählt.

3.Hypothesen

Aufgrund der zu Beginn dieser Arbeit besprochenen physiologischen Mechanismen und aufgrund der Erkenntnisse aus der Literatur stellen wir in weiterem Verlauf dieses Kapitels Hypothesen auf. Grundsätzlich versuchen wir die Erkenntnisse die für den Rudersport von essentieller Bedeutung sein könnten zu gewinnen. Viele der Hypothesen sind für beide der von uns durchgeführten Untersuchungsdesigns aufgestellt worden. Im Kapitel 5 „Ergebnisdarstellung“ wird auf jedes Testverfahren detailliert und separat Eingegangen und in weiterer Folge werden die Hypothesen bestätigt oder widerlegt.

Wie schon aus dem Titel der Arbeit „Precooling im Rudersport und dessen Auswirkungen auf die Ausdauerleistung und Wettkampfleistung“ hervorgeht ist das Ziel der Arbeit den Effekt einer lokalen Kälteapplikation mittels Kühlweste auf die Ausdauer und Wettkampfleistung im Rudern zu überprüfen. Im Hinblick auf dieses ambitionierte Ziel haben wir folgende allgemeine Grundhypothesen sinngemäß formuliert:

Das Precooling mittels Kühlweste verbessert die Ausdauerleistungsfähigkeit im Rudern.

Das Precooling mittels Kühlweste verbessert die Wettkampfleistung im Rudern.

Diese sehr allgemein aufgestellten Hypothesen können jedoch nur mit Hilfe von mehreren Teil-Hypothesen bestätigt oder verworfen werden. Aufgrund der Komplexität des Ausdauerbegriffs und der damit verbundenen Leistungsfähigkeit mussten mehrere Parameter zur Beurteilung herangezogen werden. In unseren Untersuchungen haben wir das Blutlaktat, die Herzfrequenz, die Körperkerntemperatur, die 500m Durchschnittszeit im 2000m All-Out-Test, die 2000m Endzeit und die Wattleistung im Stufentest ermittelt. Weiter haben wir aus den Stufentests die aerobe und anaerobe Schwelle ermittelt.

Hypothese 1

Der Temperaturanstieg des Körperkerns während einer Ausdauerbelastung ist durch das Precooling mittels Kühlweste niedriger als ohne Precooling.

Diese Hypothese geht von der Vermutung aus dass der Körperkerntemperatur-Anstieg nach durchgeführtem Precooling niedriger ist als unter Normalbedingungen. Des Weiteren führt

das zu der Annahme dass sich der Zeitverlauf für das Erreichen der kritischen Grenztemperatur erhöht und dadurch eine höhere Intensität länger aufrechterhalten werden kann.

Hypothese 2

Aufgrund des Precooling ist die Laktatproduktion im Stufentest niedriger als im Stufentest ohne Precooling niedriger.

Mit dieser Hypothese versuchen wir den Einfluss des Kühlens auf die metabolischen Prozesse des Körpers zu bestätigen oder zu verwerfen. Hier stützen wir uns auf die Annahme dass die Muskulatur aufgrund von Kühlung vermehrt so genannte langsame myoglobinhaltige Muskelfasern für die Arbeit rekrutiert. Diese haben eine entscheidende Rolle im Laktatabbau und beeinflussen so den Laktatspiegel.

Hypothese 3

Die Herzfrequenz während der Ausdauerbelastung ist aufgrund des Precooling niedriger als die Herzfrequenz während der Ausdauerbelastung ohne vorherige Kühlung.

Körperprozesse laufen bei erhöhter Körpertemperatur schneller ab als bei niedrigeren Temperaturen. Eine Erhöhung der Körperkerntemperatur bringt unweigerlich eine zusätzliche Belastung des Organismus mit sich. Daraus kann der Schluss gezogen werden, dass sich diese Mehrbelastung auch in der Herzfrequenz widerspiegelt. Umgekehrt ist der Schluss zulässig das eine Erniedrigung der Körpertemperatur die Prozesse im Organismus verlangsamt und somit auch die Herzfrequenz beeinflusst. Während körperlicher Belastung stellt eine erhöhte Körpertemperatur eine zusätzliche Last für den Körper dar. Somit gehen wir davon aus dass kühlere Bedingungen leistungsfördernd wirken.

Hypothese 4

Die simulierte Wettkampfleistung im 2000m-All-Out-Test verbessert sich aufgrund der Kälteapplikation im Vergleich zum 2000m-All-Out-Test ohne Kälteapplikation.

Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass wie schon in den vorherigen Hypothesen erläutert, eine Erhöhung der Körperkerntemperatur zu einer zusätzlichen Belastung des Organismus führt. Im Fall des 2000m All-Out-Test ist von Interesse ob Kälteapplikation eine positive Auswirkung auf die **Endzeit** und **500m Durchschnittszeit** in der 2000m Wettkampfsimulation hat.

Hypothese 5

Die Laktatkonzentration während der Nachbelastung in der *Ausdauerbelastung* und im *2000m-All-Out-Test* ist unter Kälteapplikation niedriger als ohne Kälteapplikation.

Da sich unter erhöhter Körperkerntemperatur die Prozesse im Körper beschleunigen und auch die metabolischen End- und Zwischenprodukte vermehrt anfallen wird über eine standardisierte Nachbelastung versucht nach einer maximalen Ausbelastung den Laktatspiegel und die Herzfrequenz über Aktivität des Herzkreislauf-Systems zu senken. Ob Kälteapplikation hier einen positiven Einfluss hat ist Gegenstand dieser Hypothese.

Hypothese 6

Die Ausdauerleistung im Stufentest verbessert sich aufgrund des Precooling im Vergleich zum Stufentest ohne Precooling.

Auch hier gehen wir von einer Verlangsamung der metabolischen Prozesse unter Kälteeinfluss aus. Wir vergleichen die 2 und 4mol/l Schwellen nach Mader und versuchen heraus zu finden ob es zu messbaren Unterschieden in den von uns bestimmten Schwellen kommt.

4.Methodik

In den nächsten Kapiteln folgt eine Beschreibung der Gruppe der Probanden, des Testverfahrens sowie die verschiedenen Apparaturen und Materialien, die verwendet wurden.

4.1 Probanden

Zwölf gesunde, männliche Probanden (Alter: $21,4 \pm 1,7$ Jahre; Größe: $183,5 \pm 6,7$ cm; Gewicht: $78,7 \pm 8,6$ kg) welche zum Zeitpunkt der Untersuchung alle Mitglieder der österreichischen Rudernationalmannschaft (A- und B Kader in der Saison 2007 - 2008) waren erklärten sich freiwillig bereit an dieser Studie teilzunehmen, nachdem sie über das Ziel der Untersuchung und den Untersuchungsablauf genau informiert wurden. Bei allen Probanden wurden das Körpergewicht und die Körpergröße gemessen (siehe Tabelle 1). Anamnestisch erfolgte eine Erfragung des Alters (siehe Tabelle 1), sowie der wöchentlichen Trainingszeit, die mit 10-16 Stunden/Woche angegeben wurde. Alle Probanden waren sehr gut mit den durchgeführten Testformen am Ruderergometer vertraut, allerdings hatte keiner der Probanden zum Testzeitpunkt Vorerfahrung mit der Art der Kälteapplikation mittels Kühlweste. Die Probanden waren alle zwischen 19 und 25 Jahre alt.

Tab. 3: Veranschaulichung der anthropometrischen Daten der Probanden.

Proband	Alter	Geschlecht	Gewicht / kg	Körpergröße / cm
1	21	M	93	190
2	20	M	71	183
3	23	M	65	170
4	23	M	86,5	190
5	19	M	83	184
6	19	M	72	183
7	21	M	73,5	176
8	22	M	72	180
9	21	M	87	190
10	21	M	83	185
11	22	M	71,5	178
12	25	M	86	193

4.2 Testverfahren

Bei der vorliegenden Studie handelt es sich um eine Studie mit Cross-Over Versuchsanordnung. Dies bedeutet, dass die Ergebnisse desselben Probanden verglichen

wurden und keine Kontrollgruppe vorhanden war. Der Zeitraum des Wash-Out betrug zwei bis fünf Tage, d.h. die Athleten wurden innerhalb dieser Zeitspanne einmal mit und einmal ohne Kühlweste untersucht. Bezüglich der Kälteapplikation wurde randomisiert untersucht und per Los entschieden, ob zuerst mit oder ohne Weste getestet wurde.

4.3 Untersuchungsablauf

4.3.1 Stufentest

Jeder der zwölf Probanden musste zweimal innerhalb von maximal fünf Tagen (Wash-Out war auf 2-5 Tage festgelegt) einen Stufentest am Ruderergometer absolvieren.

Der Stufentest war folgendermaßen konzipiert:

Jede Stufe musste vier Minuten lang durchgerudert und der vorgegebene Wert an Watt eingehalten werden. Nach jeder absolvierten Stufe kam es zur Messung der Körperkerntemperatur sowie der Herzfrequenz. Des Weiteren wurde vom Ohrläppchen Blut abgenommen, um das Laktat zu messen. Während der Blutabnahme wurden alle relevanten ruderspezifischen Parameter aufgezeichnet (Schlagzahl und Watt-Durchschnitt der Stufe) und eventuelle Notizen über das Befinden des Probanden notiert. Kurz vor dem Start des Tests wurden die Ruhewerte (Laktat, Körperkerntemperatur und Herzfrequenz) gemessen.

Die erste Stufe wurde bei 100 Watt festgelegt und mit jeder weiteren Stufe wurde die erforderliche Wattmenge um 40 erhöht. Ferner wurden zwei Kriterien für den Abbruch des Tests festgelegt. Sobald der Proband den erforderlichen durchschnittlichen Watt-Wert nicht mehr halten konnte, wurde die Untersuchung abgebrochen. Das zweite Abbruchkriterium wurde erfüllt, sobald der Proband freiwillig den Test aufgrund körperlicher Erschöpfung abbrach.

Direkt nach dem Stufentest mussten die Probanden noch ein 15-minütiges Nachbelastungsprogramm absolvieren, bei dem es zu weiteren Messungen der verschiedenen Parameter (Herzfrequenz, Temperatur, Laktat, Schlagzahl, Wattdurchschnitt) kam. Die Messungen wurden nach Minute 3, 5, 10 und 15 durchgeführt.

Unterschied zwischen Stufentest mit Kühlweste und Stufentest ohne Kühlweste

Der Ablauf des Stufentests an sich war bei beiden Untersuchungen ident. Der große Unterschied lag in der Phase vor und nach dem Test.

Beim Test ohne Kühlweste fing der Proband direkt mit dem Stufentest bei 100 Watt an und absolvierte so viele Stufen wie möglich.

Bei der Untersuchung mit Kühlweste kam es zum sogenannten „Precooling“.

Der Proband zog sich die Kühlweste an und setzte sich dann auf einem Sessel. Die Temperatur der Kühlweste betrug beim Applizieren des Athleten ein bis zwei Grad Celsius. In den darauffolgenden 30 Minuten wurde der Proband aufgefordert, sich zu entspannen und Auskunft über sein Empfinden während des Precoolings zu geben. In festgesetzten Abständen wurde die Körperkerntemperatur und die Herzfrequenz gemessen. Die Messzeitpunkte waren auf Minute 15, 20, 25 und 30 festgelegt. Nach Ablauf der 30 Minuten absolvierte der Proband den Stufentest ohne Kühlweste bis zur körperlichen Ausbelastung. In der anschließenden 15-minütigen Cool-Down- bzw. Nachbelastungsphase zog der Proband die Kühlweste erneut an, und es kam bei Minute 3, 5, 10 und 15 zur Messung der relevanten Parameter (Laktat, Herzfrequenz, Körperkerntemperatur, Schlagzahl und Wattdurchschnitt).

4.3.2 Wettkampftest – 2000 m All-Out-Test

Der Ablauf des Tests passierte wie folgt. Vor dem Start des 2000m All-Out-Test absolvierte jeder Proband ein 30-minütiges Aufwärmprogramm. Kurz vor dem Aufwärmprogramm wurden alle relevanten Parameter gemessen und festgehalten (Herzfrequenz, Körperkerntemperatur und Laktat).

Während des „Einruderns“ wurde bei Minute 15, 20, 25 und 28 eine 10-30 Schläge dauernde Sprintserie in Wettkampfgeschwindigkeit durchgeführt und direkt danach die drei Parameter Herzfrequenz und Körperkerntemperatur gemessen.

Nach dem Aufwärmprogramm kam es zu einer weiteren Vorstart-Messung und dem Probanden wurde kurz Zeit gegeben, sich mental auf den Start zum Wettkampftest vorzubereiten.

Während des All-Out-Tests wurde das Ruderergometer darauf programmiert, alle 250 Meter Schlagzahl, Durchschnittswatt und die Zeit zu speichern. Die Werte der Herzfrequenz wurden alle 250 Meter von der Pulsuhr abgelesen und notiert.

Nach Beendigung der 2000m wurde ein Endstatus erhoben (Herzfrequenz, Körperkerntemperatur und Laktat). Danach absolvierte der Proband ein 15-minütiges Cool-Down Programm. Zu den Zeitpunkten 3, 5, 10 und 15 wurden ebenfalls alle wichtigen Parameter der Untersuchung gemessen und festgehalten.

Der Unterschied zwischen Wettkampf-Test mit Kühlweste gegenüber dem Test ohne Kühlweste lag darin, dass der Proband beim Test mit Kälteapplikation die Weste in der 30-minütigen Aufwärmphase und in der 15-minütigen Cool-Down-Phase trug.

Der prinzipielle Ablauf des gesamten Tests blieb bei beiden Untersuchungen gleich.

4.4 Apparaturenbesprechung

Im folgenden Kapitel werden sämtliche Elemente, Apparaturen, Geräte und Materialien erwähnt und deren technischen Eigenschaften beschrieben, die für die Durchführung der Untersuchungen der Probanden verwendet wurden.

4.4.1 Ruderergometer

Concept 2 Modell D

Vorab sollen kurz die Eigenschaften des verwendeten Ruderergometers besprochen werden, da die Durchführung der Untersuchungen nur am Land möglich war. Vergleicht man die Technik im Ruderboot mit dem Bewegungsablauf auf einem Ruderergometer, so ähneln sich beide prinzipiell sehr.

In der Auslage sind Sprung-, Knie- und Hüftgelenk gebeugt. Der Oberkörper berührt die Oberschenkel leicht, die Unterschenkel sind in senkrechter Position. Beide Arme sind gestreckt. Die Bewegung beginnt mit der Streckung der Beine, wobei Schulter und Oberkörper eingespannt sind und während des Beinstoßes Richtung Rücklage bewegt werden. Erst kommt erst zur Beugung der Arme, sobald die Hände auf Höhe der Knie sind.

Der Oberkörper sollte in leichter Rücklage stabilisiert werden. Der Griff wird Richtung unteren Rippenbogen gezogen und die Ellenbogen nahe am Oberkörper vorbeigeführt. Nach dem Durchzug werden die Arme wieder gestreckt, die Hände Richtung Knie geführt und der Oberkörper wird aus der Rücklage wieder aufgerichtet. Dann kommt es zu einem nach vorne rollen, welches mit gleichmäßiger Geschwindigkeit passieren sollte.

Nun im speziellen zum Gerät, das für die Untersuchungen verwendet wurde. Es handelt sich um ein Ruderergometer der Firma CONCEPT, die ihren Hauptsitz in Morrisville, Vermont in den Vereinigten Staaten von Amerika hat.

Der Concept 2 Modell D verfügt über einen Kettenzug mit Luftwiderstandssystem. Den Windwiderstand kann man von 1 (geringster Widerstand) bis 10 (höchster Widerstand) je nach individuellen Bedürfnissen einstellen. Der leicht abgewinkelte und ergonomische Handgriff ermöglicht eine komfortable Haltung für Arme, Schultern und Endzug-Position. Die Rollschiene ist aus Aluminium gefertigt und mit einer Edelstahloberfläche versehen. Der Ergometer verfügt des Weiteren über ein „Flexfoot System“, welches dem Ruderer eine individuelle Einstellung auf seine Schuhgröße ermöglicht. Mit Hilfe der eingebauten Rollen am Fuß des Gerätes kann der Ergometer leicht von einer Person bewegt werden. Der Trainingscomputer verfügt über eine LCD-Anzeige, welche folgende Werte erfassen und anzeigen kann:

- 1)Geruderte Zeit
- 2)Leistung (in Watt) pro Ruderschlag
- 3)Durchschnittliche Leistung (in Watt) der geruderten Strecke
- 4)Schlagfrequenz (Ruderschläge pro Minute)
- 5)Durchschnittsgeschwindigkeit
- 6)Distanz (Meter)
- 7)Gesamtleistung (Watt)
- 8)Kalkulierte Endzeit oder Entfernung bei vorprogrammierter Trainingseinheit

Der Concept 2 Modell D verfügt ebenso über einen Performance Monitor PM3 mit Log-Card, welcher folgende Eigenschaften aufweist:

- Automatischer Betrieb, d.h. sobald man anfängt zu rudern, wird der Monitor automatisch eingeschaltet.
- Die herausnehmbare Log-Card ermöglicht die Speicherung sämtlicher Trainingseinheiten von bis zu 5 verschiedenen Benutzern.
- Möglichkeit der Übertragung der Trainingsdaten auf PC oder Mac durch USB-Kabel
- Rudern gegen einen virtuellen Gegner, dessen Geschwindigkeit selbst einstellbar ist (Paceboat)
- Fünf Display-Optionen: Alle Daten, Kraftkurve, Pace Boat, Balkendiagramm und Großansicht

Die Gewichtsbelastung ist auf 120kg limitiert. Die Maße des Ergometers betragen 240cm in der Länge, 60cm in der Breite und 90cm in der Höhe. Es besteht die Möglichkeit, das Gerät zusammenzuklappen. Die Klappmaße betragen 90cm in der Länge, 72cm in der Breite und 135cm in der Höhe.

Das Eigengewicht des Geräts beträgt 28kg.



Abb. 32: Der Concept 2 Modell D in der Seitansicht (www.sharkfitness.ch)



Abb. 33: Der Concept 2 Modell D in zugeklappter Position (www.sharkfitness.ch)



Abb. 34: PM3-Monitor des Concept 2 Modell D mit Balkendiagramm und Kraftkurve (www.concept2.ch)



Abb. 35: PM3-Monitor des Concept 2 Modell D mit Paceboat und Splits (www.concept2.ch)



Abb. 36: Haltegriff in der Nahansicht des Concept 2 Modell D (www.concept2.ch)



Abb. 37: Das Schwungrad des Concept 2 Modell D in der Nahansicht (www.concept2.ch)

4.4.2 Herzfrequenzmessung

Für alle Untersuchungen wurde die Herzfrequenz mittels einer Puls-Uhr der Firma Polar (Firmensitz in Kempele, Finnland) erfasst. Es wurde das Modell S 610i verwendet, welches aus einem Brustgurt mit eingebauten Elektroden und einem integrierten Sender sowie einem Empfänger in Form einer Uhr besteht. Die elektrischen Impulse des Herzens werden vom Sender aufgenommen und dann an die Uhr übermittelt. Der Empfänger in der Uhr wandelt die gesendeten Daten zu lesbaren Zeichen um. Der Sender wird am Manubrium sterni (Brustbeinspitze) mittels verstellbaren Gummiband fixiert. Der Empfänger verfügt über ein computergesteuertes Programm, genauer heißt es Polar Precision performance SW, Version 4.01.029 und kann durch dessen Hilfe alle empfangenen Signale auswerten. Die Verbindung von Sender und Empfänger verläuft über ein elektromagnetisches Feld, wodurch die Messung drahtlos erfolgen kann.

Die Messung der Herzfrequenz wurde bei allen Untersuchungen zeitgleich mit Beginn des Tests (Stufentest bzw. 2000m-All out-Test) gestartet und bis zum Ende des jeweiligen Tests aufrecht erhalten.

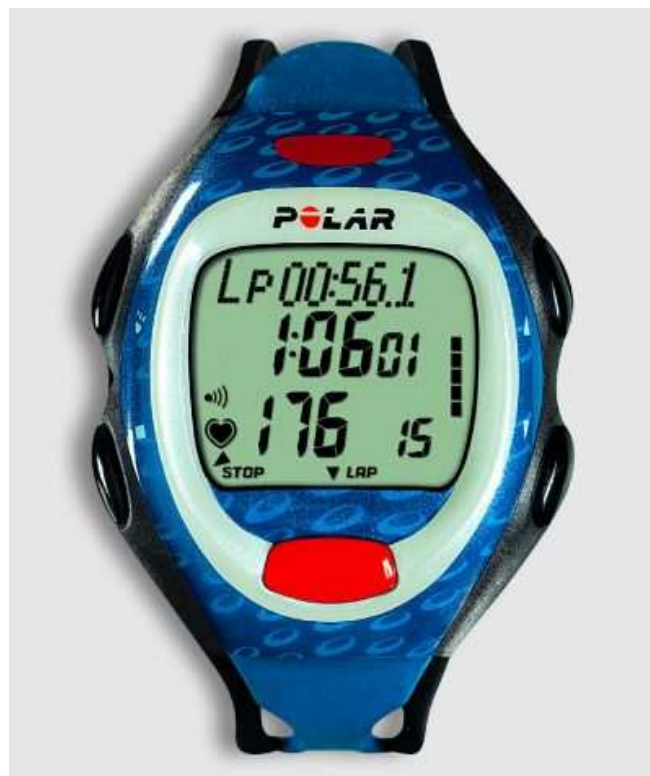


Abb. 38: Polar S 610i (www.ciao.de)

4.4.3 Laktatmessung

Zur Bestimmung des Laktats wurde die Methode der Blutabnahme am Ohrläppchen gewählt. Dies wurde aus mehreren Gründen der Methode der Blutabnahme an der Fingerbeere vorgezogen. Im Rudersport hat sich dieses Verfahren zur Standardmethode entwickelt und die Athleten sind diese Art von Untersuchung gewohnt. Zusätzlich beeinträchtigt es nicht das subjektive Empfinden der Hände und Finger, welches durch das Stechen der Fingerbeere eventuell der Fall wäre. Im Weiteren ist aus dem hyperämisierten Ohrläppchen ein Blutstropfen leichter zu gewinnen. Bei der Blutabnahme an der Fingerbeere kommt es vor, dass man "quetschen" muss, wodurch auch Gewebsflüssigkeit abgepresst wird und es zu einer Verfälschung des Ergebnisses kommen kann.

Bei der Methode, die für diese Studie angewandt wurde, wird das Ohrläppchen vor Abnahme der Blutproben mit einer durchblutungsfördernden Salbe eingeschmiert.

Danach wird das Ohrläppchen mit einer Lancette angestochen und ein bis zwei Tropfen Blut reichen, um eine gültige Probe zu erhalten. Zum Anstechen des Ohrläppchens wurden Lancetten der Firma Henry Schein verwendet. Die Proben werden dann in individuelle Gefäße mit Konservierungsmittel gefüllt, kurz geschüttelt und bis zur Auswertung im Kühlschrank aufbewahrt.

Zur Auswertung der Proben für diese Studie kamen zwei verschiedene Geräte zur Anwendung. Es wurde ein Gerät am Österreichischen Institut für Sportmedizin verwendet. Das ÖISM verfügt über das Analysegerät Biosen S-Line (siehe Abb. 42) der Firma EKF Diagnostic (Firmensitz in Berleben/Magdebur, Deutschland), welches zu den neuesten und modernsten Geräten auf diesem Gebiet zählt. Ferner wurden der Großteil der Blutproben direkt im Anschluss an die Untersuchungen am Ruderleistungszentrum 1220 Wien Steinspornbrücke mit dem Gerät Biosen 5030 (siehe Abb.41) der Firma EKF Diagnostic (Firmensitz in Berleben/Magdebur, Deutschland) analysiert und ausgewertet. Vor den offiziellen Untersuchungen wurde eine Serie von Proben in doppelter Ausführung genommen, um sicherzustellen, dass die zwei verschiedenen Analysegeräte zu denselben Ergebnissen kamen.



BIOSEN 5030

Abb. 39: Biosen 5030 (<http://ekf.ru>)



Abb. 40: Biosen S-Line (<http://medesa.testujeme.cz>)

Im folgenden Absatz werden noch ein einige technische Eckdaten zu den beiden Geräten erläutert.

Das Messprinzip bei beiden Laktatanalysegeräten funktioniert enzymatisch-amprometrisch. Der Messbereich rangiert von 0,5-40 mmol/Liter. Als Probenmenge werden 20µl vom Hersteller angegeben und die Probengefäße müssen ein Fassungsvermögen von 1,5 – 2,0 ml aufweisen. Das Analysegerät Biosen S-Line kann bis zu 160 Proben pro Stunde untersuchen und auswerten, das Biosen 5030 schafft bis zu 80-120 Proben pro Stunde.

Zeitpunkte der Laktatbestimmung

Für den Stufentest wurden folgende Messzeitpunkte eingehalten.

Vor Beginn des Stufentests erfolgte die Messung des Laktats in Ruhe. Anschließend wurde alle vier Minuten eine Messung vorgenommen und dann die nächste Watt-Stufe gefahren. Direkt nach Abbruch des Stufentests wurde ein weiteres Mal Blut abgenommen, um das Laktat direkt nach der Ausbelastung zu messen.

Im anschließenden Cool-Down (15-minütiges Ausrudern) wurde nach 3min, nach 5min, nach 10min und nach 15min eine Laktatbestimmung durchgeführt.

Für den 2000m All-out Test wurden folgende Messzeitpunkte eingehalten.

Vor Beginn des Wettkampftests wurde dem Probanden Blut am Ohr abgenommen, um den Ruhelaktatwert festzuhalten. Danach absolvierte der Proband das 30-minütige Aufwärmprogramm als Vorbereitung auf den 2000m-Test. Kurz vor dem Start kam es zu einer weiteren Laktatbestimmung. Direkt nach dem der Proband die 2000 Meter absolviert hatte, wurde wieder Blut vom Ohrläppchen abgenommen, um den Laktatwert direkt nach der Ausbelastung festzustellen.

Im anschließenden 15-minütigen Cool-Down Programm kam es zu weiteren Messungen nach Minute 3, 5, 10 und 15.

4.4.4 Temperaturmessung

Die Temperaturmessung wurde während den Untersuchungen mit einem Ohrthermometer der Firma Braun (Firmensitz in Kronberg im Taunus, Deutschland) durchgeführt. Genau genommen handelt es sich um das Modell ThermoScan IRT 4520 Typ 6022.

Die Messung erfolgte also im äußeren Gehörgang, dies entspricht annähernd der Gehirntemperatur (de Marées, 2003, S.537). Es ging darum, die Temperatur zu messen, die der der Thorax- und Bauchraumorgane, also dem Körperkern entspricht. Sowohl das Temperaturregulationszentrum im Hypothalamus als auch das Trommelfell werden aufgrund ihrer anatomischen Nahbeziehung von gemeinsamen Blutgefäßen versorgt. Aufgrund dieser Tatsache spiegelt die gemessene Temperatur im Ohr die Körperkerntemperatur am besten wider.

„Das Braun ThermoScan misst die Infrarot-Wärme, die vom Trommelfell und dem umliegenden Gewebe abgegeben wird. Um große Temperaturunterschiede zu vermeiden, wird die Messspitze auf eine Temperatur erwärmt, die nahe der des menschlichen Körpers liegt. Während der Temperaturmessung im Ohrkanal wird fortlaufend Temperatur aufgenommen. Die Messung wird beendet und das Ergebnis angezeigt, sobald eine exakte Messung sichergestellt ist.“ (Angabe der Bedienungsanleitung)

Es wurde die Messspitze in den Gehörgang eingeführt, und das so weit wie möglich. Nach der Einführung wurde die Taste zur Messung betätigt, nach ca. 4-8 Sekunden ertönte ein Signalton, welcher signalisierte, dass die Temperaturmessung abgeschlossen war.



Abb. 41: Braun Thermoscan IRT 4520 (www.east-west.ch)

Zeitpunkte der Temperaturmessung

Die Temperatur der Probanden wurde bei jeder Untersuchung vor Beginn des jeweiligen Tests in Ruhe gemessen.

Beim Stufentest ohne Kühlweste kam es nach jeder Stufe (gleichzeitig mit der Messung des Laktats im Blut) zu einer weiteren Messung der Körperkerntemperatur.

In der abschließenden Cool-Down Phase (15-minütiges Ausrudern) wurde die Temperatur nach 3min, nach 5min, nach 10min und nach 15min gemessen.

Wie schon in Kapitel 4.2 erwähnt, begann der Stufentest mit Kühlweste mit einer 30-minütigen Precooling-Phase, in welcher dem Probanden nach 15,20,25 und 30 Minuten die Körperkerntemperatur abgenommen wurde. Im anschließenden Stufentest kam es wie beim Test ohne Weste auch nach jeder Stufe zu einer weiteren Messung.

Die Messung der Körperkerntemperatur beim All-Out-2000m Test fanden mit und ohne Kühlweste zu den gleichen Zeitpunkten statt. Wie in Kapitel 4.3.2 schon erklärt, absolvierten die Probanden vor dem Wettkampftest eine 30-minütige Aufwärmphase. Vor dem Start des Aufwärmens in Ruhe und nach Minute 15, 20, 25 und 28 fand eine Messung der

Körperkerntemperatur statt. Vor dem Start und am Ende des All-Out Test kam es zu einer weiteren Messung. In der anschließenden Cool-Down Phase wurde die Körperkerntemperatur nach Minute 3, 5, 10 und 15 abgenommen.

Da die Körperkerntemperatur tageszeitlichen Schwankungen unterliegt (de Marées, 2003, S.538), wurden die Untersuchungen und Tests immer zur gleichen Tageszeit durchgeführt.

Temperaturmessung der Kühlweste

Um sicherzustellen, dass die Bedingungen für alle Probanden dieselben waren, wurde vorm Applizieren der Kühlweste die Temperatur dieser gemessen.

Dies wurde durch ein Multimeter der LUX bewerkstelligt. Das Multimeter kann den Bereich von -20 Grad Celsius bis $+1000$ Grad Celsius erfassen. Von 0 Grad Celsius bis $+400$ Grad Celsius beträgt die Genauigkeit laut Bedienungsanleitung $\pm 1\% \pm 3$ Nachkommastellen.

Um die Temperatur mit dem Multimeter zu messen, musste das Thermoelement in Form eines dünnen langen Kabels mit dem Multimeter verbunden werden. An der Spitze des Thermoelements befindet sich ein Sensor, mit dem an verschiedenen Stellen der Kühlweste die Temperatur geprüft werden konnte. Es wurden drei Messungen an drei verschiedenen Stellen der Weste vorgenommen, bevor der Proband diese zum Anziehen überreicht bekam.



Abb. 42: Multimeter der Firma LUX Modell DT-21 (www.its05.de)

Temperaturmessung und Temperaturerhaltung des Raumes

Für die Untersuchungen der Probanden wurde ein Raum am Ruderleistungszentrum 1220 Wien Steinspornbrücke ausgewählt. Es war wichtig, eine konstante Raumtemperatur zu halten, sodass die Bedingungen für alle Athleten dieselben waren. Zur permanenten Kontrolle der Temperatur wurde ein Gerät der Firma Mebus (Firmensitz in Solingen, Deutschland) verwendet.

Zur Erhaltung der gleichbleibenden Temperatur wurden zwei handelsübliche Heizstrahler verwendet der Firma Rowenta (Firmensitz der Dachfirma SEB in Ecully, Frankreich) und der Firma De Longhi (Firmensitz in Treviso, Italien). Ein Heizstrahler wurde direkt hinter das Ruderergometer positioniert, der zweite Heizstrahler stand rechts vom Ruderergometer. Alle Positionen der verschiedenen Geräte wurden genau markiert und bei jeder Untersuchung kontrolliert und eingehalten. Auf der linken Seite neben dem Ruderergometer befand sich das Raumthermometer um die Temperatur in unmittelbarer Nähe des Probanden zu messen.



Abb. 43: Heizstrahler der Firma Rowenta (www.ideal.de)



Abb. 44: Heizstrahler der Firma De Longhi (www.twenga.com)



Abb. 45: Digitales Thermometer Mebus (www.printus24home.de)

4.4.5 Kühlweste

Um die Probanden mittels Pre-Cooling zu testen, wurden spezielle Kühlwesten verwendet. Diese stammten von der Firma Arctic Heat (Firmensitz in Brisbane, Australien) und wurden für diese Studie vom Sportreferat der Vorarlberger Landesregierung zur Verfügung gestellt.

In die Arctic Heat Jacke ist ein spezielles, nicht giftiges, komplett biologisch abbaubares Viskose-Gel eingearbeitet, das Wasser aufnimmt. Es sind spezielle Kristalle, die sich bei Befeuchtung zu einem Gel entwickeln. Wesentlich ist, dass dieses Gel seine Temperatur für lange Zeit hält. Die Kühlweste hat eigene Taschen bzw. Kammern eingenäht, bei dem Modell der Untersuchungen dieser Studie sind es insgesamt sechzehn Kammern. Acht Kammern sind in die Vorderseite der Jacke eingearbeitet und acht Kammern an der Rückseite.

Es gibt verschiedene Methoden, die Kühlweste auf eine möglichst niedrige Temperatur zu bringen. Als erstes muss die Jacke in Wasser eingelegt werden, um die Kristalle in den Kammern in Gel umzuwandeln. Danach wird die Weste vorsichtig ausgewringt, um überschüssiges Wasser zu entfernen. Die Weste wird nun noch aufgehängt, um zu trocknen. Um die Jacke auf die gewünschte Temperatur zu kühlen, kann sie entweder in Eiswasser (dafür gibt man die Jacke in einen speziellen Reißverschlussbeutel) eingelegt werden oder man lagert sie in einem Kühlschrank bzw. Tiefkühlfach. Je nach Dauer der Lagerung wird die Kühlweste auf eine bestimmte Temperatur gekühlt bzw. tiefgefroren. Man muss jedoch aufpassen, dass die Jacke nicht zulange im Tiefkühlfach gelagert wird, da die Kammern dann zu stark verhärten und es sehr unangenehm wird, die Jacke zu tragen. Man sollte die Jacke dann leicht mit Wasser befeuchten, damit der Komfort wieder gewährleistet wird.

Es hängt von mehreren Faktoren ab, wie lange die Kühlweste ihre Temperatur behält. Die zwei Hauptkriterien sind Körpertemperatur und Raum- bzw. Außentemperatur.

Der Hersteller gibt folgende Zeiten an:

Nach Einlegen in Eiswasser sollte die Weste ca. 30-60 Minuten ihre Temperatur behalten.

Nach Lagerung im Tiefkühlfach für zwei oder mehr Stunden, bleibt die Kühlweste bis zu zwei Stunden kalt.

Sobald die Kühlweste aktiviert ist, wiegt sie zwischen 800 und 1000 Gramm.

Die Westen sind in verschiedenen Größen erhältlich. Für die Untersuchungen in dieser Studie wurden die zwei Größen L und XL verwendet. Die Westen werden mittels Zippverschluss geschlossen und sollten so eng wie möglich am Körper anliegen, ohne die Bewegungsfreiheit einzuschränken.



Abb. 46: Kühlweste Arctic Heat (www.arcticheat.com.au)



Abb. 47: Proband mit Arctic Heat Kühlweste Ansicht vorne



Abb. 48: Proband mit Arctic Heat Jacket Ansicht hinten



Abb. 49: Proband mit Arctic Heat Jacket Ansicht vorne

4.5 Statistik

Zur Auswertung der empirischen Untersuchungen wurde das Statistik-Programm SPSS zur Hilfe genommen. Es handelt sich hierbei um die Version 15.0 für Microsoft® Windows. Mit diesem Programm wurde sowohl die deskriptive Statistik, wie auch ein T-Test für gepaarte Stichproben durchgeführt. Als Signifikanzniveau wurde ein Wert von $p < 0,05$ angenommen. Detaillierte Angaben zu den verwendeten Verfahren sind im kommenden Abschnitt angeführt. Während der Untersuchungen wurde das Programm Microsoft® Excel für Mac, Version 10.0.0 (1316) als Hilfe zur Dateneingabe verwendet.

Ich möchte in diesem Kapitel die wichtigsten statistischen Begriffe erklären, welche für die Auswertung unserer Ergebnisse von Bedeutung waren.

Es handelt im Genaueren um folgende Begriffe:

- Hypothesenbildung
- Signifikanzprüfung und Irrtumswahrscheinlichkeit
- Maße für die Streuung
- Mittelwert
- Mittelwertsvergleich

4.5.1 Hypothesenbildung

Will man gezielte Erwartungen oder offene Fragestellungen wissenschaftlich erforschen, so bedarf dies einer Erstellung von Hypothesen. In der Prüfstatistik kommt es zur Formulierung zweier gegensätzlicher Hypothesen, genau genommen heißen diese dann Nullhypothese und Alternativhypothese (Willimczik, 1999, S. 101).

Bei der *Nullhypothese* wird die Aussage getroffen, es liege etwas *nicht* vor. Beispielsweise besteht nach Formulierung der Nullhypothese *kein* Unterschied beziehungsweise *kein* Zusammenhang zwischen verschiedenen Werten oder Personen. Nach Bühl et al. (2002) sagt die Nullhypothese aus, dass die Grundgesamtheit zweier Stichproben die gleiche ist und es nur zufällig zu einem Mittelwertsunterschied kommt.

Die Alternativhypothese wird nach Bühl et al. (2002) so beschrieben, dass zwei Stichproben unterschiedlichen Grundgesamtheiten entstammen und kein Zufall bezüglich des Mittelwertsunterschied besteht. Die Formulierung der Alternativhypothese von Willimczik

(1999) besagt, dass es sich hierbei um „den zur Nullhypothese alternativen Sachverhalt“ handelt. Es liegt also ein Zusammenhang oder Unterschied vor.

4.5.2 Signifikanzprüfung und Irrtumswahrscheinlichkeit

Ob nun ein Unterschied oder Zusammenhang vorliegt, hängt davon ab, wie die Signifikanzprüfung ausfällt. Diese ist abhängig von der Irrtumswahrscheinlichkeit (p). Wichtig hierbei sind sogenannte Signifikanzgrenzen, welche in Prozentwerten angegeben werden (vgl. Willimczik, 1999) und so die Grenzen festlegen, die für den Übergang von Nullhypothese zur Alternativhypothese entscheidend sind.

Die folgende Tabelle (vgl. Bühl et al., 2002) veranschaulicht, welche Grenzen für welche Bedeutung ausschlaggebend sind.

Tab. 4: Signifikanzgrenzen (nach BÜHL und ZÖFEL 2002)

Irrtumswahrscheinlichkeit p	Bedeutung
$p > 5\%$ (= $p > 0,05$)	nicht signifikant
$p \leq 5\%$ (= $p \leq 0,05$)	signifikant
$p \leq 1\%$ (= $p \leq 0,01$)	sehr signifikant
$p \leq 0,1\%$ (= $p \leq 0,001$)	hochsignifikant

4.5.3 Varianz und Standardabweichung

Varianz und Standardabweichung sind Maße für die Streuung und charakterisieren die Verteilungen genauer, wodurch es zu einer größeren Berücksichtigung von Extremwerten kommt. Berechnet wird die Standardabweichung über die Wurzel aus der Varianz (dargestellt in der folgenden Formel).

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

(www.hermes.ifkw.uni-muenchen.de)

Varianz und Standardabweichung nehmen Bezug auf den Mittelwert. Die Streuung der Grundgesamtheit ist dadurch optimal zu schätzen (Willimczyk, 1999, S.51). „Die Varianz wird berechnet aus der Summe der Abweichungsquadrate aller Messwerte von ihrem arithmetischen Mittel, dividiert durch die um 1 verminderte Zahl der Werte“ (Bühl et al., 2002, S.118).

4.5.4 Mittelwert

Durch das Berechnen von Kollektivmaßen wird eine Reduktion der Informationsfülle erreicht. Da das Ausmaß der Datenmengen bei einigen unserer Untersuchungen sehr groß war, musste eine solche Reduktion stattfinden. Das gängigste Maß dafür ist der Mittelwert.

„Der Mittelwert ist das arithmetische Mittel (\bar{x}) der Messwerte und berechnet sich daher aus der Summe der Messwerte geteilt durch ihre Anzahl“ (Bühl et al., 2002, S.118).

Als Empfehlung zur Verwendung des arithmetischen Mittels wird folgendes in der Literatur angegeben:

- die Verteilung ist in etwa symmetrisch
- mindestens eine Intervallskalierung liegt vor
- von der Stichprobe sind Verallgemeinerungen auf die Grundgesamtheit beabsichtigt

(vgl. Willimczyk, 1999, S. 46)

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

(www.mechtilde.de/diplom/mittelwert.png)

4.5.5 Mittelwertsvergleich

Das Vergleichen von Mittelwerten verschiedener Stichproben zählt zu den gängigsten Methoden der statistischen Analyse. Ganz wichtig hierbei ist, ob Mittelwertsunterschiede aufgrund zufälliger Schwankungen auftreten, oder nicht. Ein signifikanter Unterschied ist dann festzustellen, wenn dies nicht der Fall ist. In unseren Untersuchungen kam es bei der Auswertung der Ergebnisse mehrmals zum Vergleich zwei voneinander abhängigen Stichproben. Unter anderem aus dem Grund, da es sich um eine Cross-Over Studie handelt (die Ergebnisse desselben Probanden wurden verglichen). Hierfür wurde als Statistiktest der T-Test für abhängige Stichproben herangezogen. Voneinander abhängige Stichproben sind

solche, bei welcher jedem Wert der einen Stichprobe genau ein Wert der anderen Probe zugewiesen werden kann. Es kann mit Hilfe dieses Testverfahrens festgestellt werden, ob eine signifikante Veränderung der Messgrößen (Temperatur, Laktat, Herzfrequenz, Endzeit) aufgrund veränderter Bedingungen (mit bzw. ohne Kälteanwendung) zu verzeichnen ist oder nicht.

5. Ergebnisdarstellung

Im folgenden Kapitel kommt es zur Darstellung der erfassten Parameter. Da zwei unterschiedliche Untersuchungen durchgeführt wurden, werden die Ergebnisse auch getrennt voneinander dargestellt. Die Auswertungen der verschiedenen Untersuchungen beruhen alle auf einem fünf-prozentigem Niveau der Signifikanzprüfung.

Die Ergebnisdarstellung ist grob gesehen in die beiden Untersuchungsverfahren (Stufentest und All-Out-2000m-Test) unterteilt. Grund dafür ist neben der besseren Übersicht auch die Trennung unserer beiden Fragestellungen.

5.1 Ergebnisdarstellung Stufentest

5.1.1 Herzfrequenz

Wie in Kapitel 4.4.2 schon beschrieben, wurde die Herzfrequenzmessung mittels Pulsuhr kombiniert mit einem Brustgurt gemessen. Die Messungen fand direkt nach Beendigung jeder Stufe und nach Abbruch des Tests statt.

In der Abbildung 50 ist der durchschnittliche Anstieg der Herzfrequenz während des Stufentests zu erkennen. Die Grafik zeigt zwei Verläufe. Der in blau eingefärbte Verlauf kennzeichnet den Verlauf, bei dem kein Precooling stattfand. Der in rosa eingefärbte Verlauf veranschaulicht den durchschnittlichen Anstieg der Herzfrequenz, bei dem vor der Belastung ein 30-minütiges Precooling zum Einsatz kam.

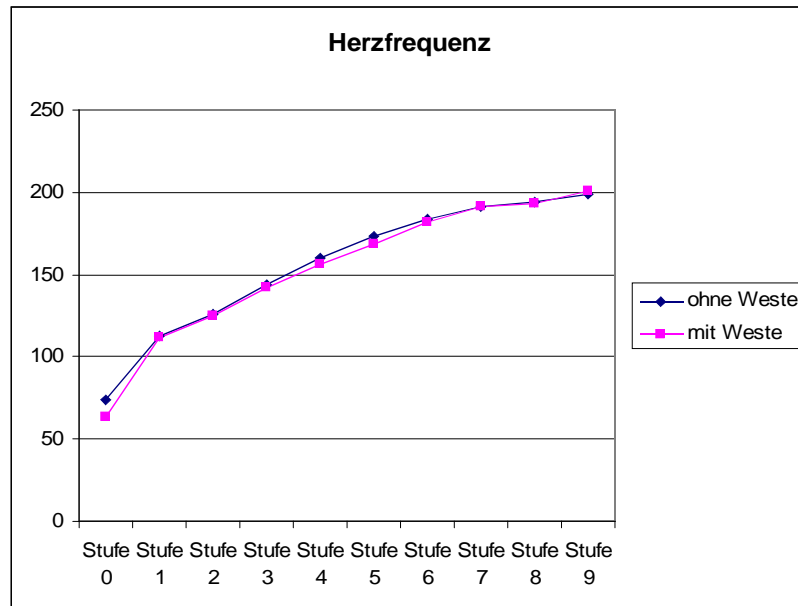


Abb. 50: Durchschnittlicher Herzfrequenz-Anstieg mit und ohne Precooling. Vergleich der arithmetischen Mittel für die einzelnen Stufen der Messung

Die X-Achse der Grafik stellt den zeitlichen Verlauf des Ausbelastungstests dar, während Y-Achse die Herzfrequenz in Schlägen pro Minute beschreibt. Wie man erkennen kann, verhalten sich die beiden Verläufe sehr ähnlich. Aus der Grafik ist ersichtlich, dass das Precooling keinen Einfluss auf die Herzfrequenz hat. Die entsprechenden t-Tests ergaben keine signifikanten Unterschiede zwischen dem Rudern mit- und ohne Weste.

Weitere Interpretationen und Erklärungen hierfür findet man im Kapitel 6, wo sich Hypothese 3 auf den Verlauf der Herzfrequenz bezieht.

Tabelle 5 zeigt eine genaue und detaillierte Darstellung der einzelnen Probanden bezüglich deren erreichten Stufen (ST) im Ausbelastungstest, der Mittelwerte (MW) der Herzfrequenz der gefahrenen Stufen, des maximalen (MAX) und minimalen (MIN) Herzfrequenzwertes und der Standardabweichung der Herzfrequenzwerte.

Tab. 5: Herzfrequenzwerte der Probanden ohne und mit Kühlweste während des Stufentests

Probanden	ST	MW	MAX	MIN	Standardabweichung
Proband A ohne Weste	9	166,55	201	120	29,85
Proband A mit Weste	9	169,22	204	120	29,76
Proband B ohne Weste	7	155,57	198	100	37,67
Proband B mit Weste	7	160,85	202	105	34,81
Proband C ohne Weste	7	160,85	192	116	26,30
Proband C mit Weste	7	161,42	194	116	27,74
Proband D ohne Weste	8	152,12	191	105	33,06
Proband D mit Weste	8	149,50	187	105	30,98
Proband E ohne Weste	8	157,14	197	106	32,29
Proband E mit Weste	9	158,55	200	103	35,99
Proband F ohne Weste	7	159,28	195	104	33,49
Proband F mit Weste	8	161,5	195	117	28,71
Proband G ohne Weste	7	152,00	190	107	32,87
Proband G mit Weste	8	155,37	192	105	33,42
Proband H ohne Weste	8	157,37	190	109	28,60
Proband H mit Weste	8	155,37	187	105	30,08
Proband I ohne Weste	8	164,87	196	116	31,18
Proband I mit Weste	8	161,87	193	112	31,43
Proband J ohne Weste	8	159,75	192	120	28,15
Proband J mit Weste	8	156,87	190	117	30,38
Proband K ohne Weste	7	160,00	195	125	27,90
Proband K mit Weste	8	161,12	198	120	30,12
Proband L ohne Weste	7	152,28	192	118	26,86
Proband L mit Weste	8	156,62	193	116	28,99

Betrachtet man die erreichten Stufen der Probanden, so ist zu erkennen, dass sieben der zwölf Athleten gleich viele Stufen gefahren sind, egal ob mit oder ohne Weste. Fünf Probanden konnten beim Ausbelastungstest mit vorangegangenen Precooling eine weitere Stufe erreichen. Bei Betrachtung der maximalen Herzfrequenzwerte der Athleten kann davon ausgegangen werden, dass es bei jedem Athleten zur tatsächlichen Ausbelastung im Stufentest kam. Die weiteren Werte (Mittelwert, minimalste Herzfrequenz und Standardabweichung) dient der allgemeinen Veranschaulichung und kann als zusätzliche Vergleichsmöglichkeit herangezogen werden.

Tabelle 6 zeigt die selben Parameter wie Tabelle 4, nur wird hier auf die Nachbelastung genauer eingegangen. Wie in Kapitel 4.2 schon beschrieben, kam es nach dem Ausbelastungstest zu einer 15-minütigen Nachbelastung im Sinne eines „Cool-Down“-Programmes.

Tab. 6: Herzfrequenzwerte der Probanden ohne und mit Kühlweste während der Nachbelastung des Stufentests

Probanden	ST	Mittelwert	MAX	MIN	Standardabweichung
Proband A ohne Weste	4	148,75	151	147	2,06
Proband A mit Weste	4	149,50	153	147	2,64
Proband B ohne Weste	4	139,00	145	130	6,30
Proband B mit Weste	4	148,25	154	142	5,05
Proband C ohne Weste	4	155,50	168	132	16,52
Proband C mit Weste	4	142,75	157	117	18,66
Proband D ohne Weste	4	118,75	125	107	8,01
Proband D mit Weste	4	133,25	150	110	16,76
Proband E ohne Weste	4	127,25	135	123	5,43
Proband E mit Weste	4	130,25	138	123	6,34
Proband F ohne Weste	4	129,25	133	126	2,98
Proband F mit Weste	4	146,00	152	139	6,97
Proband G ohne Weste	4	148,25	160	140	8,50
Proband G mit Weste	4	144,75	158	136	10,04
Proband H ohne Weste	4	131,25	150	115	18,87
Proband H mit Weste	4	120,50	130	112	8,42
Proband I ohne Weste	4	120,00	129	114	7,34
Proband I mit Weste	4	122,50	128	117	4,93
Proband J ohne Weste	4	121,50	126	118	4,12
Proband J mit Weste	4	130,50	135	124	4,79
Proband K ohne Weste	4	128,75	134	121	5,73
Proband K mit Weste	4	134,00	140	130	4,54
Proband L ohne Weste	4	131,75	140	127	5,90
Proband L mit Weste	4	131,25	143	125	8,09

Der Wert ST liegt bei allen Probanden bei 4, da es nach dem Stufentest zu vier weiteren Messzeitpunkten kam (nach 3, 5, 10 und 15 Minuten). Bis auf Proband C, D, G und H ist bei allen Athleten ein sehr nah aneinander liegender Minimal- und Maximal-Herzfrequenzwert zu erkennen.

5.1.2 Körperkerntemperatur

Wie in Kapitel 4.4.4 schon beschrieben, wurde die Körperkerntemperaturmessung mittels Ohrthermometer gemessen. Die Messungen fand direkt nach Beendigung jeder Stufe und nach Abbruch des Tests statt.

In Abbildung 51 ist der durchschnittliche Anstieg der Körperkerntemperatur während des Stufentests veranschaulicht. Auf der X-Achse ist die Stufenentwicklung dargestellt, während die Y-Achse die Temperatur in Grad Celsius beschreibt. Die Grafik zeigt zwei Verläufe. Der in blau eingefärbte Verlauf kennzeichnet den durchschnittlichen Anstieg der Körperkerntemperatur, bei dem kein Precooling stattfand. Die in rosa eingefärbte Linie ist jene Temperaturentwicklung, bei der vor der Belastung ein 30-minütiges Precooling zum Einsatz kam.

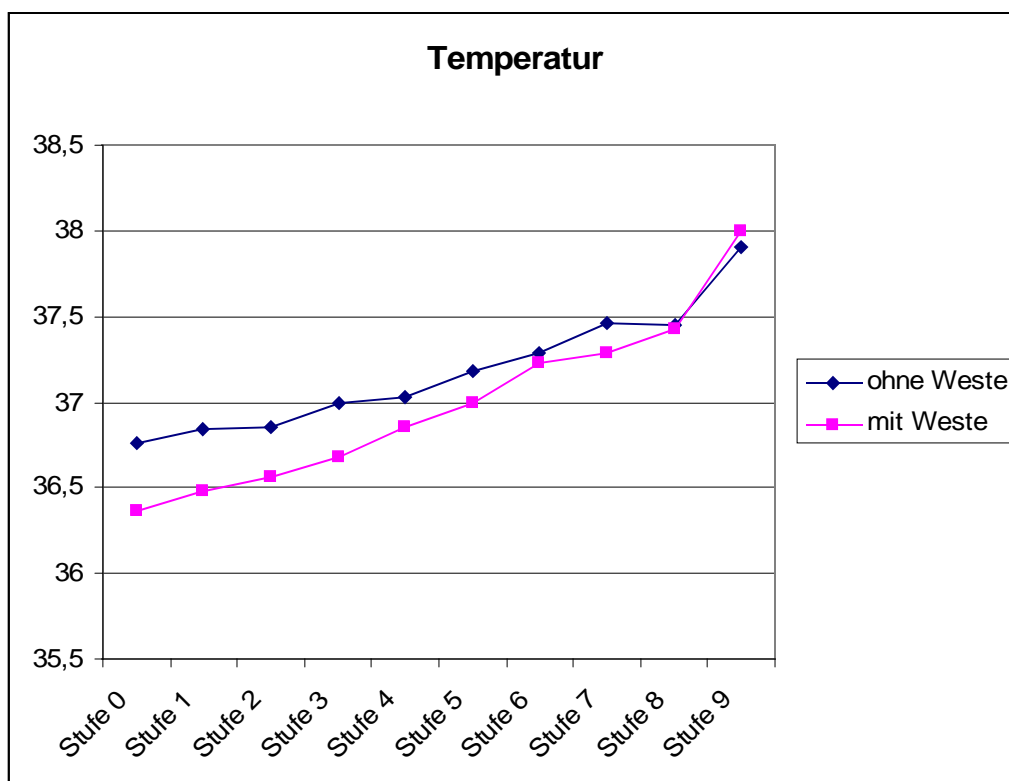


Abb. 51: Anstieg der durchschnittlichen Körperkerntemperatur mit und ohne Precooling. Vergleich der arithmetischen Mittel für die einzelnen Stufen der Messung

Tabelle 7 zeigt die statistische Auswertung des Vergleichs der Mittelwerte der Körperkerntemperaturen mit und ohne Precooling für jede Stufe des Ausbelastungstests. Es wurde bei dieser Analyse der T-Test für abhängige Stichproben herangezogen.

Tab. 7: T-Tests für abhängige Stichproben für die einzelnen Stufen der Messung

		Gepaarte Differenzen				T	df	Sig. (2-seitig)	
		Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler	95% Konfidenzintervall der Differenz				
								Untere	Obere
Paaren 1	TEMP0 - TEMP0W	,39167	,43996	,12700	,11213	,67120	3,084	11	,010
Paaren 2	TEMP1 - TEMP1W	,36667	,40751	,11764	,10775	,62558	3,117	11	,010
Paaren 3	TEMP2 - TEMP2W	,30000	,39312	,11348	,05022	,54978	2,644	11	,023
Paaren 4	TEMP3 - TEMP3W	,30833	,42950	,12399	,03544	,58122	2,487	11	,030
Paaren 5	TEMP4 - TEMP4W	,18333	,36390	,10505	-,04788	,41455	1,745	11	,109
Paaren 6	TEMP5 - TEMP5W	,19167	,30588	,08830	-,00268	,38601	2,171	11	,053
Paaren 7	TEMP6 - TEMP6W	,06667	,34989	,10101	-,15564	,28898	,660	11	,523
Paaren 8	TEMP7 - TEMP7W	,17500	,45751	,13207	-,11569	,46569	1,325	11	,212
Paaren 9	TEMP8 - TEMP8W	-,05000	,25100	,10247	-,31341	,21341	-,488	5	,646

Die Stufen 0 bis 3 zeigen signifikante Temperaturunterschiede zwischen Ruderern mit und ohne Weste. Weitere Details sind im Kapitel 6 beschrieben.

Tabelle 8 stellt genaue und detaillierte Werte der einzelnen Probanden bezüglich deren erreichten Stufen (ST) im Ausbelastungstest, der Mittelwerte (MW) der Körperkerntemperatur der gefahrenen Stufen, des maximalen (MAX) und minimalen (MIN) Körperkerntemperaturwertes und der Standardabweichung der Temperaturwerte dar.

Tabelle 8: Körperkernemperaturwerte der Probanden ohne und mit Kühlweste während des Stufentests

Probanden	ST	Mittelwert	MAX	MIN	Standardabweichung
Proband A ohne Weste	9	37,19	37,9	36,3	0,51
Proband A mit Weste	9	37,23	37,9	36,2	0,50
Proband B ohne Weste	8	37,17	37,4	36,8	0,26
Proband B mit Weste	8	37,06	37,8	36,5	0,40
Proband C ohne Weste	8	37,86	38,3	37,4	0,34
Proband C mit Weste	8	37,51	38,3	36,5	0,68
Proband D ohne Weste	9	37,08	37,6	36,7	0,34
Proband D mit Weste	9	37,70	38,3	37,4	0,33
Proband E ohne Weste	9	37,70	38,0	36,9	0,39
Proband E mit Weste	9	37,24	38,1	36,7	0,51
Proband F ohne Weste	8	37,17	37,7	36,9	0,24
Proband F mit Weste	9	36,83	37,8	36,4	0,54
Proband G ohne Weste	8	36,87	37,3	36,6	0,24
Proband G mit Weste	9	36,82	37,5	36,3	0,40
Proband H ohne Weste	9	36,63	36,7	36,5	0,07
Proband H mit Weste	9	36,31	36,7	35,8	0,33
Proband I ohne Weste	9	36,78	37,2	36,5	0,27
Proband I mit Weste	9	36,38	37,1	35,9	0,41
Proband J ohne Weste	9	37,02	37,4	36,7	0,29
Proband J mit Weste	9	36,55	37,2	36,2	0,35
Proband K ohne Weste	8	36,93	37,3	36,7	0,21
Proband K mit Weste	9	36,67	37,1	36,6	0,31
Proband L ohne Weste	8	36,87	37,3	36,5	0,31
Proband L mit Weste	9	36,37	36,9	36,0	0,30

Die gefahrenen Stufen (ST) wurden ja schon bei Tabelle 5 beschrieben und interpretiert. Auffallend an Tabelle 8 ist der Minimalwert (MIN) der Probanden beim Ausbelastungstest mit Precooling. Bis auf Proband D weisen alle anderen Athleten ein leichte bis deutliche Körperkerntemperatursenkung auf im Vergleich zum Wert ohne Kälteapplikation auf. Am deutlichsten zu erkennen ist dieser Unterschied bei Proband C (0,9° C geringer mit Precooling als ohne). Sieht man sich die Maximalwerte (MAX) der Körperkerntemperatur an, so ist es auch interessant, dass nur bei 4 von 12 Athleten ein niedrigerer Max-Wert beim Stufentest mit Precooling festzustellen ist. Die restlichen acht Probanden haben entweder gleiche (3 von 12) oder sogar höhere Maximalwerte (5 von 12).

Tabelle 9 stellt dieselben Parameter wie Tabelle 7 dar, nur beziehen sich hier alle Werte auf die Nachbelastung. Wie in Kapitel 4.2 schon beschrieben, kam es nach dem Ausbelastungstest zu einer 15-minütigen Nachbelastung im Sinne eines „Cool-Down“-Programmes.

Tab. 9: Körperkerntemperaturwerte der Probanden ohne und mit Kühlweste während der Nachbelastung des Stufentests

Probanden	ST	Mittelwert	MAX	MIN	Standardabweichung
Proband A ohne Weste	4	37,52	37,7	37,4	0,15
Proband A mit Weste	4	37,62	37,9	37,3	0,27
Proband B ohne Weste	4	37,22	37,6	36,6	0,47
Proband B mit Weste	4	37,37	38,0	36,8	0,50
Proband C ohne Weste	4	38,25	38,6	38,0	0,25
Proband C mit Weste	4	37,82	38,4	37,3	0,51
Proband D ohne Weste	4	37,50	37,9	37,3	0,28
Proband D mit Weste	4	37,70	38,1	37,3	0,33
Proband E ohne Weste	4	37,40	37,8	36,8	0,43
Proband E mit Weste	4	37,60	38,5	37,0	0,73
Proband F ohne Weste	4	37,37	37,6	37,3	0,15
Proband F mit Weste	4	37,12	37,6	36,6	0,41
Proband G ohne Weste	4	36,92	37,4	36,6	0,34
Proband G mit Weste	4	36,75	37,4	36,4	0,45
Proband H ohne Weste	4	36,80	37,1	36,5	0,29
Proband H mit Weste	4	36,75	37,0	36,5	0,28
Proband I ohne Weste	4	36,97	37,3	36,7	0,27
Proband I mit Weste	4	36,87	37,3	36,0	0,35
Proband J ohne Weste	4	37,20	37,5	37,0	0,21
Proband J mit Weste	4	36,95	37,3	36,7	0,26
Proband K ohne Weste	4	37,27	37,4	37,1	0,12
Proband K mit Weste	4	36,90	37,1	36,7	0,18
Proband L ohne Weste	4	36,17	37,7	37,0	0,12
Proband L mit Weste	4	36,72	37,0	36,5	0,20

Der Wert ST liegt bei allen Probanden bei 4, da es nach dem Ausbelastungstest zu vier zusätzlichen Messzeitpunkten kam (nach 3, 5, 10 und 15 Minuten). Bezüglich Maximal- und Minimalwerte sind keine Auffälligkeiten zu erkennen.

5.1.3 Laktat

In unseren Untersuchungen ist die Beobachtung der Entwicklung der Laktatkonzentration unter verschiedenen Bedingungen von wichtiger Bedeutung, da diese Werte Rückschlüsse auf die Leistungsfähigkeit und Regenerationsfähigkeit gibt. In diesem Kapitel wird die Blutlaktatkonzentrationsentwicklung während des Stufentests, sowie in der Nachblastung genauer unter die Lupe genommen.

Abbildung 52 stellt den Anstieg während der Belastung im Stufentest mit und ohne Precooling dar. Der in blau gefärbte Verlauf steht für die Entwicklung der Blutlaktatkonzentration ohne Kälteapplikation und die in rosa gefärbte Kurve für den Laktatkonzentrationsanstieg, wo eine Kühlweste zur Anwendung kam.

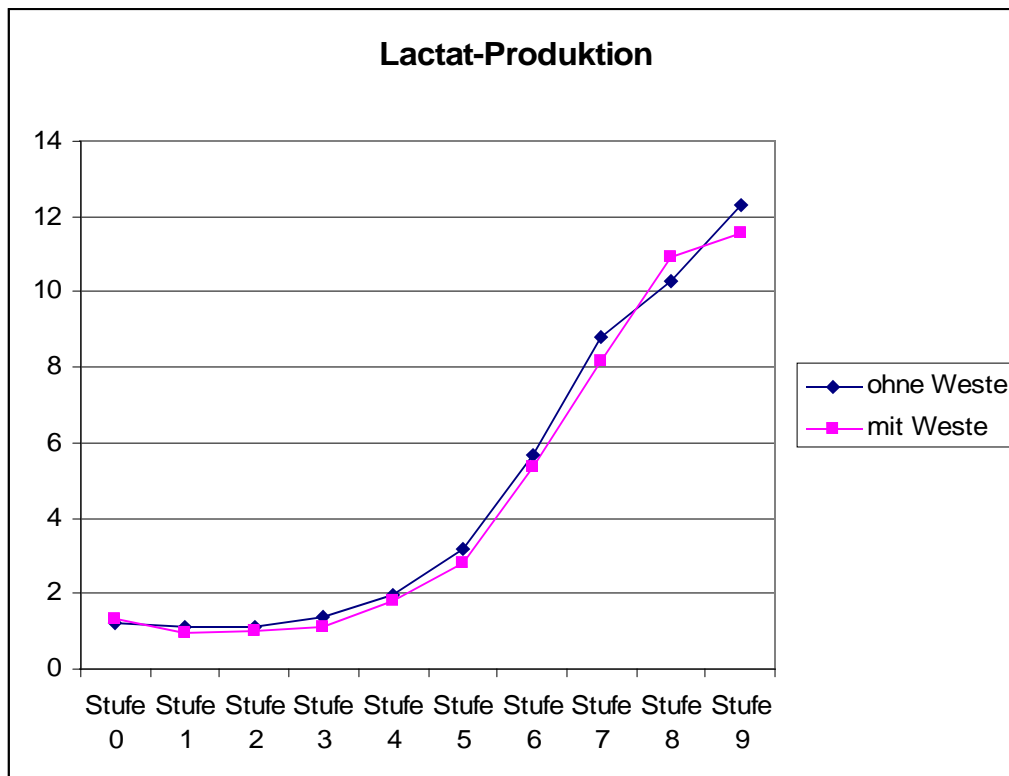


Abb. 52: Durchschnittlicher Laktat-Anstieg mit und ohne Precooling

Abbildung 52 stellt auf der X-Achse den Verlauf der Stufen es Ausbelastungstest dar. Auf der Y-Achse wird die Blutlaktatkonzentration in mmol/l veranschaulicht. Es ist klar zu erkennen, dass mit Ausnahme von Stufe 8 die Mittelwerte der Laktatkonzentration mit Precooling deutlich niedriger sind als ohne Kälteapplikation. Weitere Diskussion und Interpretationen sind im Kapitel 6 nachzulesen.

Tabelle 10 zeigt die statistische Auswertung des Vergleichs der Mittelwerte der Laktatkonzentration mit und ohne Precooling für jede Stufe des Ausbelastungstests. Es wurde bei dieser Analyse der T-Test für abhängige Stichproben herangezogen.

Tab. 10: T-Test für abhängige Stichproben für Laktat im Stufentest bei jeder Stufe

Test bei gepaarten Stichproben									
		Gepaarte Differenzen					T	df	Sig. (2-seitig)
		Mittelwert	Standard-abweichung	Standardfehler des Mittelwertes	95% Konfidenzintervall der Differenz				
					Untere	Obere			
Paaren 1	Lactat0 - Lactatw0	,07833	,24199	,06986	-,23209	,07542	-1,121	11	,286
Paaren 2	Lactat1 - Lactatw1	,16417	,25988	,07502	-,00095	,32928	2,188	11	,051
Paaren 3	Lactat2 - Lactatw2	,11667	,27516	,07943	-,05816	,29150	1,469	11	,170
Paaren 4	Lactat3 - Lactatw3	,24333	,22709	,06556	,09905	,38762	3,712	11	,003
Paaren 5	Lactat4 - Lactatw4	,19250	,28249	,08155	,01301	,37199	2,361	11	,038
Paaren 6	Lactat5 - Lactatw5	,34917	,36550	,10551	,11694	,58139	3,309	11	,007
Paaren 7	Lactat6 - Lactatw6	,28417	,73200	,21131	-,18093	,74926	1,345	11	,206
Paaren 8	Lactat7 - Lactatw7	,62250	,89054	,25708	,05668	1,18832	2,421	11	,034
Paaren 9	Lactat8 - Lactatw8	-,22600	2,57961	1,15364	-3,42901	2,97701	-,196	4	,854

Die Messungen 4, 5, 6 und 8 ergaben signifikante Unterschiede im Hinblick auf die Laktatkonzentration, wobei mit Ausnahme von Messung 8 Personen mit Weste stets niedrigere Laktatkonzentrationen aufweisen als Sportler ohne Weste. Weitere Details sind im Kapitel 6 nachzulesen.

Tabellle 11 zeigt eine detaillierte Darstellung der einzelnen Probanden bezüglich deren erreichten Stufen (ST) im Ausbelastungstest, der Mittelwerte (MW) der Blutlaktatkonzentrationswerte der gefahrenen Stufen, des maximalen (MAX) und minimalen (MIN) Blutlaktatkonzentrationswertes und der Standardabweichung der Laktatwerte.

Tab. 11: Laktatwerte der Probanden ohne und mit Kühlweste während des Stufentests

Probanden	ST	Mittelwert	MAX	MIN	Standardabweichung
Proband A ohne Weste	9	4,40	12,30	1,60	3,68
Proband A mit Weste	9	4,08	10,50	1,10	3,64
Proband B ohne Weste	7	3,96	10,04	0,97	3,44
Proband B mit Weste	7	2,96	09,44	0,70	3,22
Proband C ohne Weste	7	4,55	10,43	0,75	3,97
Proband C mit Weste	7	4,64	11,12	0,83	4,13
Proband D ohne Weste	8	4,39	13,70	0,92	4,50
Proband D mit Weste	8	3,38	09,50	0,60	3,37
Proband E ohne Weste	8	3,22	09,60	1,00	3,03
Proband E mit Weste	9	4,26	12,64	0,98	4,32
Proband F ohne Weste	7	3,58	09,82	0,76	3,27
Proband F mit Weste	8	3,21	09,74	0,81	3,14
Proband G ohne Weste	7	4,46	11,94	0,81	4,50
Proband G mit Weste	8	5,31	12,78	0,80	5,00
Proband H ohne Weste	8	4,25	10,39	1,34	3,47
Proband H mit Weste	8	4,27	11,12	1,29	3,65
Proband I ohne Weste	8	4,27	11,20	1,55	3,62
Proband I mit Weste	8	4,02	12,40	0,90	4,08
Proband J ohne Weste	8	3,48	09,80	0,83	3,35
Proband J mit Weste	8	3,68	12,00	0,72	4,17
Proband K ohne Weste	7	3,06	10,20	0,87	3,48
Proband K mit Weste	8	3,71	10,64	0,68	3,95
Proband L ohne Weste	7	3,61	09,95	1,10	3,41
Proband L mit Weste	8	4,36	11,32	0,95	4,04

Obwohl wie in der statistischen Auswertung des Vergleichs der Mittelwerte der Laktatkonzentration beschrieben, die Werte bei einigen Stufen signifikant niedriger sind, ist bei den Maximalwerten (MAX) festzustellen, dass immerhin acht der zwölf Athleten bei dem Ausbelastungstest mit vorherigem Applizieren der Kälteweste am Belastungsende höhere Konzentrationen aufweisen, als beim Test ohne Weste. Dies kann damit zusammenhängen, dass eine höhere Stufe erreicht wurde oder auch etwas länger innerhalb derselben Stufe gefahren wurde. Vier der zwölf Probanden weisen niedrigere Maximalwerte der Laktakonzentration auf. Weitere Vergleiche und Interpretationen sind im Kapitel 6 erläutert, wo auf Hypothesen und Ergebnisse näher eingegangen wird.

Abbildung 53 veranschaulicht die Entwicklung des Laktatkonzentrationsabbaus während der 15-minütigen Nachbelastung.

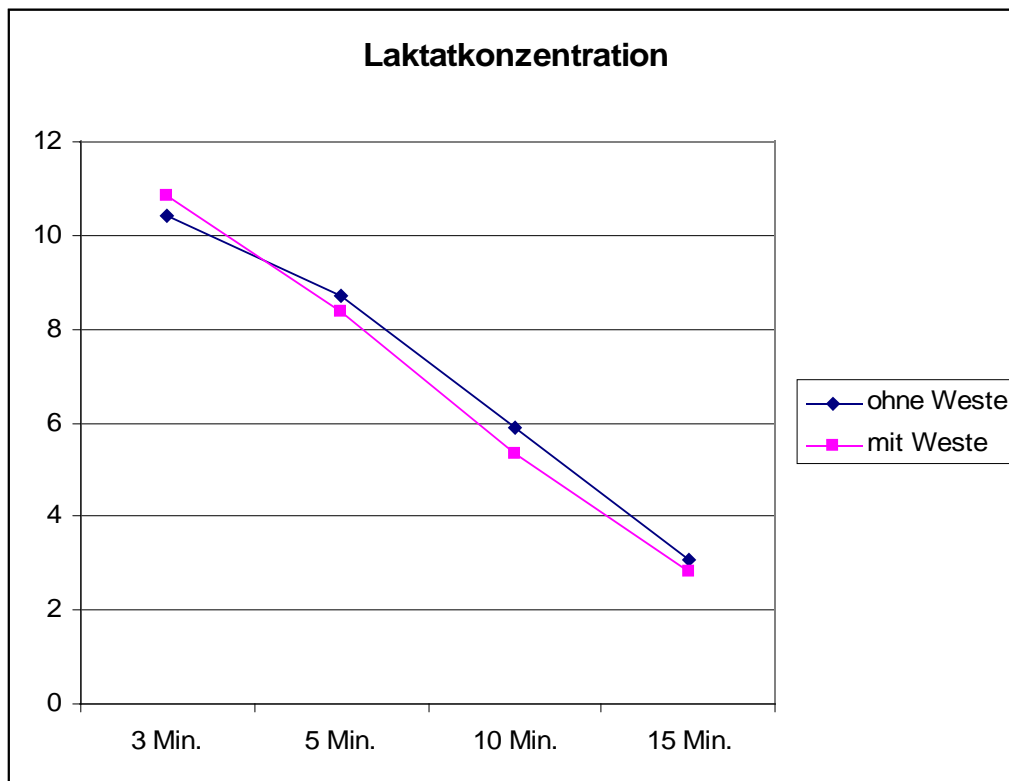


Abb. 53: Laktatverhalten in der Nachbelastung des Stufentests mit und ohne Precooling

In der Nachbelastungsphase des Stufentests kam es zu vier Messungen der Blutlaktatkonzentration. Die X-Achse der Grafik beschreibt den zeitlichen Verlauf der Nachbelastung. Die Y-Achse veranschaulicht die Laktatkonzentrationswerte in mmol/l. Für weitere Details ist auf Kapitel 6 hinzuweisen.

Tabelle 12 stellt dieselben Parameter wie Tabelle 11 dar, nur werden hier alle Werte der Nachbelastung in Bezug auf die Blutlaktatkonzentration. Den Athleten wurde während der 15-minütigen Nachbelastung insgesamt viermal Blut am Ohrläppchen abgenommen, um bei Minute 3, 5, 10 und 15 in der Cooldown-Phase die Konzentration der Laktats im Blut zu messen.

Tab. 12: Laktat Cooldown Stufentest

	ST	Mittelwert	MAX	MIN	Standardabweichung
Proband A ohne Weste	4	7,67	12,4	4,0	3,73
Proband A mit Weste	4	6,50	11,10	2,70	3,96
Proband B ohne Weste	4	6,40	9,89	1,84	3,34
Proband B mit Weste	4	5,24	8,85	1,78	3,29
Proband C ohne Weste	4	5,00	9,87	2,20	3,56
Proband C mit Weste	4	5,57	9,79	2,55	3,14
Proband D ohne Weste	4	7,70	11,12	3,14	3,68
Proband D mit Weste	4	4,75	8,47	1,78	2,96
Proband E ohne Weste	4	7,67	10,20	3,50	2,93
Proband E mit Weste	4	8,87	12,81	4,35	3,55
Proband F ohne Weste	4	5,11	8,40	2,01	2,84
Proband F mit Weste	4	5,57	8,90	2,36	2,98
Proband G ohne Weste	4	6,60	10,73	2,07	4,03
Proband G mit Weste	4	6,99	11,42	2,10	4,37
Proband H ohne Weste	4	7,20	10,23	3,51	3,20
Proband H mit Weste	4	7,09	10,75	3,20	3,40
Proband I ohne Weste	4	7,27	10,50	3,30	3,19
Proband I mit Weste	4	7,37	11,20	3,1	3,56
Proband J ohne Weste	4	8,36	10,42	4,2	2,90
Proband J mit Weste	4	8,87	13,30	3,80	3,96
Proband K ohne Weste	4	8,38	12,00	4,10	3,36
Proband K mit Weste	4	7,83	11,34	3,87	3,20
Proband L ohne Weste	4	6,26	9,80	2,43	3,13
Proband L mit Weste	4	7,78	12,70	2,70	4,30

Es wurden nach dem Stufentest noch 15 Minuten im Rahmen eines Nachbelastungsprogramms einmal mit und einmal ohne Kühlweste „ausgerudert“. Beim Vergleich der einzelnen Athleten und deren zwei Nachbelastungen, können bei den Maximal- und Minimalwerte keine Auffälligkeiten beobachtet werden. Fünf der Maximalwerte der Laktatkonzentration im Nachbelastungstest mit Kühlweste sind im Vergleich zum Test ohne Kühlweste niedriger, sieben der Maximalwerte fallen mit Kühlweste höher aus. Bei den Minimalwerten verhält es sich genau umgekehrt zu den Maximalwerten. Sieben der Minimalwerte bei der Nachbelastung ohne Weste sind höher und fünf niedriger als in der Nachbelastungsuntersuchung ohne Kühlweste.

5.2 Ergebnisdarstellung 2000m-All-Out-Test

5.2.1 Herzfrequenz

Die Herzfrequenzmessung wurde bei der Durchführung des 2000m-All-Out-Tests wie in Kapitel 4.4.2 detaillierter beschrieben, mittels Pulsuhr kombiniert mit einem Brustgurt festgehalten. Die Messungen wurden während des standardisierten 30-minütigen Aufwärmprogramms (wo auch die Kälteweste zum Einsatz kam) durchgeführt, genau genommen kam es zu fünf verschiedenen Messungen während dieser halben Stunde (bei Minute 15, 20, 25, 28 nach einer und direkt vor dem Start zum Wettkampftest). Zusätzlich kam es zu einer Messung nach Absolvierung des 2000m-All-Out-Test und zu vier weiteren Messzeitpunkten im anschließenden 15-minütigen Nachbelastungs-Cooldown-Programm. Genauere Details bezüglich des Testverfahrens sind im Kapitel 4.2 beschrieben.

Tabelle 13 zeigt eine Auflistung aller zwölf Probanden mit beiden 2000m-All-Out-Tests. Die Parameter, die dargestellt werden, sind die Anzahl der Messzeitpunkte (MZ), die Mittelwerte der Herzfrequenz, die Maximal- und Minimalwerte der Herzfrequenz und die Standardabweichung der Herzfrequenzwerte.

Tab. 13: Puls Aufwärmen 2000m

	MZ	Mittelwert	MAX	MIN	Standardabweichung
Proband A ohne Weste	5	173,0	180	168	4,47
Proband A mit Weste	5	171,2	176	161	6,34
Proband B ohne Weste	5	161,8	180	108	30,46
Proband B mit Weste	5	162,8	181	105	32,41
Proband C ohne Weste	5	154,8	163	148	5,54
Proband C mit Weste	5	152,4	161	140	8,56
Proband D ohne Weste	5	165,4	171	155	6,22
Proband D mit Weste	5	164,8	170	153	6,97
Proband E ohne Weste	5	169,8	178	154	9,33
Proband E mit Weste	5	167,6	175	152	9,07
Proband F ohne Weste	5	172,6	178	156	9,37
Proband F mit Weste	5	169,0	174	153	9,02
Proband G ohne Weste	5	169,8	177	154	9,28
Proband G mit Weste	5	167,0	175	150	9,92
Proband H ohne Weste	5	168,0	178	148	11,74
Proband H mit Weste	5	163,4	173	147	9,81
Proband I ohne Weste	5	165,0	176	136	16,77
Proband I mit Weste	5	162,4	173	140	12,93
Proband J ohne Weste	5	164,2	173	145	11,25
Proband J mit Weste	5	161,0	170	142	11,18
Proband K ohne Weste	5	169,6	177	153	9,71
Proband K mit Weste	5	168,6	175	151	9,96
Proband L ohne Weste	5	164,8	176	148	10,44
Proband L mit Weste	5	160,6	169	145	9,28

Die Maximalwerte (MAX) in Tabelle 13, welche ja während des 30-minütigen Aufwärmprogramms gemessen wurden, siedeln sich im submaximalen Bereich an. Sie reichen von 161 bis 181. Bei den Minimalwerte (MIN) weisen eine größere Spannweite auf. Proband B hat bei weitem den niedrigsten Minimalwert (105). Der Reste der Minimalwerte reicht von 136 bis 168.

Tabelle 14 zeigt dieselben Parameter wie Tabelle 13, es wurden aber hier alle Werte aus dem 15-minütigen Nachbelastungsprogramm, welches im Anschluss an den 2000m-All-Out-Test gefahren wurde, gemessen. Es kam in diesem Nachbelastungsprogramm zu vier Messzeitpunkten (MZ), genau genommen bei Minute 3, 5, 10 und 15.

Tab. 14: Puls Cooldown 2000m

	MZ	Mittelwert	MAX	MIN	Standardabweichung
Proband A ohne Weste	4	147,25	150	145	2,62
Proband A mit Weste	4	140,25	145	135	4,27
Proband B ohne Weste	4	134,75	138	132	2,75
Proband B mit Weste	4	133,0	136	128	3,55
Proband C ohne Weste	4	152,25	157	145	5,25
Proband C mit Weste	4	151,25	155	148	2,98
Proband D ohne Weste	4	156,00	160	153	2,94
Proband D mit Weste	4	151,75	158	142	6,84
Proband E ohne Weste	4	136,25	140	130	4,34
Proband E mit Weste	4	135,50	146	129	7,41
Proband F ohne Weste	4	140,25	145	137	3,40
Proband F mit Weste	4	140,25	142	138	1,70
Proband G ohne Weste	4	149,25	158	145	5,96
Proband G mit Weste	4	149,00	160	143	7,52
Proband H ohne Weste	4	134,75	145	128	7,27
Proband H mit Weste	4	131,25	142	125	7,45
Proband I ohne Weste	4	146,25	154	142	5,31
Proband I mit Weste	4	147,75	153	145	3,59
Proband J ohne Weste	4	137,75	142	133	3,77
Proband J mit Weste	4	153,50	158	150	3,41
Proband K ohne Weste	4	150,25	156	147	4,03
Proband K mit Weste	4	148,75	160	143	7,67
Proband L ohne Weste	4	146,75	151	143	3,50
Proband L mit Weste	4	147,75	150	146	1,70

Im Vergleich zu Tabelle 12 weisen die Werte der Tabelle 13 eine deutlich niedrigere Standardabweichung auf. Diese bewegt sich zwischen 1,40 und 7,45.

5.2.2 Körperkerntemperatur

Die Körperkerntemperaturmessung wurde mittels Ohrthermometer gemessen (genauere Details in Kapitel 4.4.4). Es kam beim Aufwärmprogramm, welches direkt vor dem 2000m-All-Out-Test stattfand, zu sechs verschiedenen Messzeitpunkten (MZ), wobei eine Messung vor Beginn der Belastung, vier Messungen in regelmäßigen Abständen (Minute 15, 20 ,25, 28) und die letzte Messung direkt vor dem Start zum Wettkampftest stattfanden.

Tabelle 15 zeigt eine Auswahl an gemessenen Werten während des 30-minütigen Warmups. Dabei stehen die Abkürzungen MAX für den Maximalwert, der für den jeweiligen Athleten im jeweiligen Wettkampftest (entweder mit oder ohne Kühlweste) gemessen wurden. MIN steht für den niedrigsten gemessenen Wert der sechs verschiedenen Messzeitpunkte.

Tab. 15 :Temperatur Aufwärmen 2000m

	MZ	Mittelwert	MAX	MIN	Standardabweichung
Proband A ohne Weste	6	37,33	37,6	36,6	0,40
Proband A mit Weste	6	37,15	37,4	36,9	0,21
Proband B ohne Weste	6	37,18	37,3	36,9	0,14
Proband B mit Weste	6	36,91	37,1	36,8	0,14
Proband C ohne Weste	6	37,60	37,7	37,5	0,08
Proband C mit Weste	6	36,96	37,4	36,8	0,22
Proband D ohne Weste	6	37,36	37,7	36,6	0,41
Proband D mit Weste	6	36,86	37,1	36,6	0,17
Proband E ohne Weste	6	37,48	37,8	36,8	0,40
Proband E mit Weste	6	36,96	37,1	36,8	0,13
Proband F ohne Weste	6	37,40	37,8	36,7	0,42
Proband F mit Weste	6	36,93	37,2	36,6	0,24
Proband G ohne Weste	6	37,25	37,6	36,6	0,32
Proband G mit Weste	6	36,96	37,2	36,7	0,22
Proband H ohne Weste	6	36,81	36,9	36,6	0,11
Proband H mit Weste	6	36,65	36,9	36,4	0,16
Proband I ohne Weste	6	36,81	37,0	36,5	0,17
Proband I mit Weste	6	36,63	36,8	36,4	0,13
Proband J ohne Weste	6	37,16	37,4	36,8	0,21
Proband J mit Weste	6	36,93	37,1	36,7	0,13
Proband K ohne Weste	6	36,83	37,0	36,6	0,13
Proband K mit Weste	6	36,91	37,1	36,6	0,19
Proband L ohne Weste	6	36,93	37,2	36,4	0,29
Proband L mit Weste	6	36,66	36,8	36,4	0,16

Bis auf eine Ausnahme (Proband C im Test ohne Kühleweste) befinden sich alle Minimalwerte (MIN) der Körperkerntemperatur unter 37° Celsius. Die Maximalwerte reichen von 36,8° C – 37,8° C.

In Tabelle 16 sind die gemessenen Werte während des abschließenden Nachbelastungsprogramms zu betrachten. Es kam beim Cooldown-Programm, welches direkt im Anschluss an den 2000m-All-Out-Test durchgeführt wurde, zu vier verschiedenen Messzeitpunkten (MZ).

Tab. 17: Temperatur Cooldown 2000m

	ST	Mittelwert	MAX	MIN	Standardabweichung
Proband A ohne Weste	4	37,55	37,6	37,5	0,05
Proband A mit Weste	4	37,27	37,8	36,9	0,37
Proband B ohne Weste	4	37,05	37,3	36,8	0,23
Proband B mit Weste	4	37,15	37,3	37,1	0,10
Proband C ohne Weste	4	38,25	38,5	38,0	0,20
Proband C mit Weste	4	37,75	37,8	37,5	0,20
Proband D ohne Weste	4	37,62	37,7	37,6	0,05
Proband D mit Weste	4	37,17	37,3	37,0	0,15
Proband E ohne Weste	4	37,77	37,8	37,5	0,05
Proband E mit Weste	4	37,27	37,4	37,1	0,15
Proband F ohne Weste	4	37,82	37,9	37,8	0,05
Proband F mit Weste	4	37,30	37,4	37,2	0,11
Proband G ohne Weste	4	37,77	37,9	37,6	0,12
Proband G mit Weste	4	37,20	37,3	37,1	0,11
Proband H ohne Weste	4	37,00	37,1	36,9	0,11
Proband H mit Weste	4	37,05	37,1	37,0	0,05
Proband I ohne Weste	4	37,50	37,6	37,4	0,08
Proband I mit Weste	4	36,97	37,1	36,8	0,12
Proband J ohne Weste	4	37,60	37,7	37,5	0,08
Proband J mit Weste	4	37,12	37,2	37,1	0,05
Proband K ohne Weste	4	37,52	37,6	37,4	0,09
Proband K mit Weste	4	37,07	37,2	36,9	0,15
Proband L ohne Weste	4	37,55	37,6	37,5	0,05
Proband L mit Weste	4	36,90	37,0	36,8	0,08

Die Maximalwerte (MAX) weisen alle Temperaturen über 37° Celsius auf, sie rangieren zwischen 37,0° und 38,5° Celsius. Proband C weist bei weitem die höchsten Temperaturen in dieser Studie auf. Er ist auch derjenige, der beim Aufwärmprogramm zum 2000m-All-Out-Test als einziger einen Temperaturminimalwert von über 37 Grad hatte und in der Nachbelastungsphase als niedrigsten gemessenen Wert (MIN) 38° Celsius zu verbuchen hat. Die restlichen Minimalwerte (MIN) ergaben eine Messspanne von 0,6 Grad (36,8° – 37,6°).

5.2.3 Laktat

In diesem Kapitel werden die gemessenen Werte der Blutlaktatkonzentration während der Nachbelastungsphase des 2000m-All-Out-Tests dargestellt und erklärt. Genauere Details zur Methode der Messung sind im Kapitel 4.4.3 beschrieben.

Die Messungen fanden insgesamt zu sieben verschiedenen Zeitpunkten statt. Nach der Messung des Ruhewerts kam es zu einer weiteren Messung kurz vor dem Start zum 2000m-All-Out-Test. Direkt nach dem Absolvieren der 2000m wurde wieder die Konzentration des Laktat im Blut über das Ohrläppchen gemessen. In der anschließenden Nachbelastung (15 minütige Cooldownphase) wurden die vier letzten Messungen (bei Minute 3, 5, 10 und 15) durchgeführt.

Abbildung 54 veranschaulicht den Abbau des Laktats der Athleten in der 15-minütigen Nachbelastungsphase. Die blaue Linie zeigt Entwicklung der Laktatkonzentration bei der Untersuchung, wo keine Kühlweste zum Einsatz kam. Die in rosa gefärbte Linie hingegen stellt die Laktatkonzentrationsentwicklung in der Nachbelastungsphase dar, bei der die Athleten eine Kühlweste trugen.

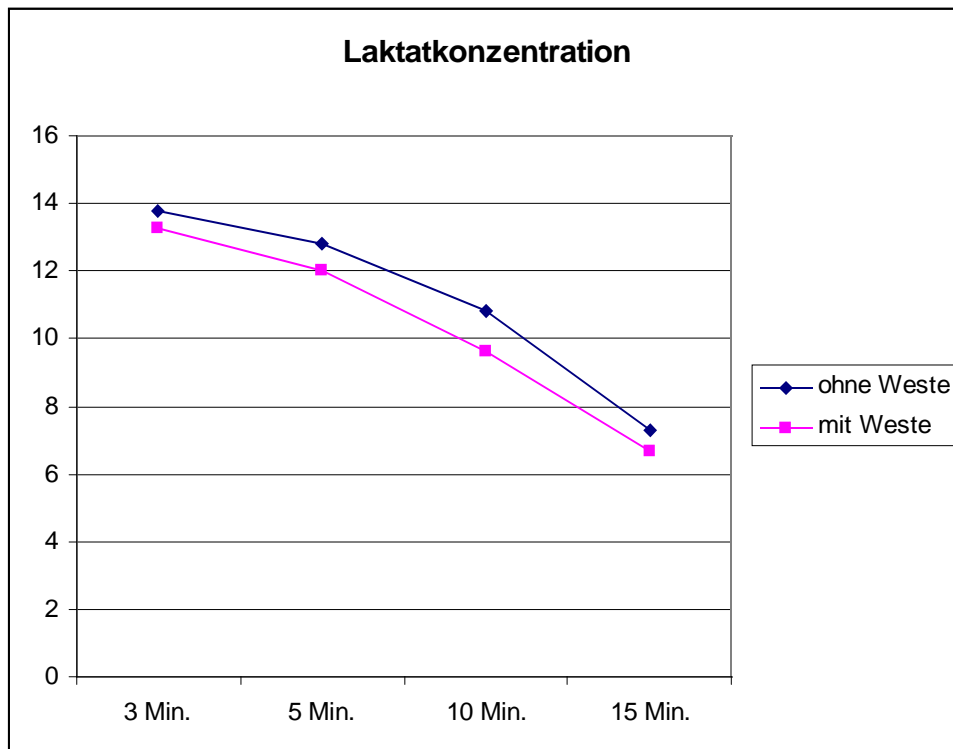


Abb. 54: Laktatverhalten in der Nachbelastung des 2000m All-Out-Tests

Die X-Achse stellt den zeitlichen Verlauf der Nachbelastung dar. Die Konzentration des Laktat im Blut wird auf der Y-Achse in mmol/l veranschaulicht. Es ist klar zu erkennen, dass die Mittelwerte der Messungen im Test mit Kälteapplikation (rosa) niedriger sind als im Test ohne Kälteanwendung (blau). Die Messungen bei Minute 5, 10 und 15 weisen sogar einen statistisch signifikanten Unterschied auf.

Tabelle 18 veranschaulicht die analytische Darstellung des T-Test bei gepaarten Stichproben in Bezug auf die Mittelwerte der Blutlaktatkonzentrationen während der Nachbelastung des 2000m All-Out-Test.

Tab. 18: T-Test bei gepaarten Stichproben für die Nachbelastung des 2000m All-Out-Test

Test bei gepaarten Stichproben									
		Gepaarte Differenzen					T	df	Sig. (2-seitig)
		Mittelwert	Standard-abweichung	Standardfehler des Mittelwertes	95% Konfidenzintervall der Differenz				
					Untere	Obere			
Paaren 1	coolx3 - coolxw3	,50083	,87283	,25196	-,05373	1,05540	1,988	11	,072
Paaren 2	coolx5 - coolxw5	,76000	,92994	,26845	,16915	1,35085	2,831	11	,016
Paaren 3	coolx10 - coolxw10	1,18500	1,25842	,36327	,38544	1,98456	3,262	11	,008
Paaren 4	coolx15 - coolxw15	,64000	,55067	,15896	,29012	,98988	4,026	11	,002

Es kommt beim Vergleich der Mittelwerte zu Differenzen, wobei die Unterschiede der zweiten, dritten und vierten Messung signifikant sind. Weitere Beschreibungen und Interpretationen sind im Kapitel 6 bei Hypothese 5 zu finden.

Tabelle 19 stellt die Details der einzelnen Probanden und deren Werte bezüglich Laktatkonzentration während der Nachbelastung dar. Die Mittelwerte, Maximal- (MAX), Minimalwerte (MIN) und die Standardabweichung werden tabellarisch veranschaulicht.

Tab. 19: Laktat Cooldown 2000m

	ST	Mittelwert	MAX	MIN	Standardabweichung
Proband A ohne Weste	4	9,58	13,95	4,77	4,13
Proband A mit Weste	4	7,73	11,64	3,78	3,69
Proband B ohne Weste	4	9,90	13,50	4,60	3,99
Proband B mit Weste	4	9,44	13,00	4,40	3,91
Proband C ohne Weste	4	11,08	13,20	8,75	1,98
Proband C mit Weste	4	10,77	13,11	8,52	1,90
Proband D ohne Weste	4	11,98	14,28	8,09	2,70
Proband D mit Weste	4	10,97	13,47	7,68	2,59
Proband E ohne Weste	4	13,16	15,20	8,74	2,98
Proband E mit Weste	4	13,65	14,35	8,23	2,95
Proband F ohne Weste	4	8,56	10,76	5,51	2,31
Proband F mit Weste	4	8,48	11,15	5,21	2,54
Proband G ohne Weste	4	10,42	12,14	7,54	2,07
Proband G mit Weste	4	9,90	11,93	6,97	2,20
Proband H ohne Weste	4	10,95	13,45	8,36	2,19
Proband H mit Weste	4	11,45	14,12	8,24	2,69
Proband I ohne Weste	4	11,30	14,90	5,43	4,13
Proband I mit Weste	4	8,94	13,10	4,32	3,80
Proband J ohne Weste	4	11,50	14,90	7,60	3,39
Proband J mit Weste	4	10,51	14,43	6,23	3,75
Proband K ohne Weste	4	12,55	14,43	9,76	2,01
Proband K mit Weste	4	12,27	14,45	9,43	2,14
Proband L ohne Weste	4	13,03	15,42	8,76	2,94
Proband L mit Weste	4	11,67	14,47	6,93	3,34

Die Mittelwerte der Laktatkonzentration in der Cooldownphase mit Kühlweste sind bis auf zwei Ausnahmen (Proband E und H) niedriger als in der Nachbelastung ohne Kälteapplikation. Die Maximalwerte (MAX) rangieren von 10,76 mmol/l bis 15,42 mmol/l, wobei auf die Kälteanwendung bezogen neun der zwölf Messungen mit Kühlweste niedriger ausfallen als ohne. Sieht man sich die Minimalwerte (MIN) genauer an, so ist zu erkennen, dass alle zwölf Messwerte in der Nachbelastung mit Kälteapplikation niedriger sind als in der Nachbelastungsphase, wo keine Kühlweste zum Einsatz kam. Die Werte reichen von 3,78 mmol/l bis 9,76 mmol/l. Weitere Details und Interpretationen werden in Kapitel 6 behandelt.

5.2.4 Ergebnisdarstellung der 2000m Endzeit im Wettkampftest

Zur statistischen Analyse wurden die Endzeiten in Sekunden umgerechnet. Dann wurden die Mittelwerte beider Tests (mit und ohne Kälteanwendung) miteinander verglichen.

Tabelle 20 und 21 veranschaulicht die statistische Auswertung der 2000m Endzeiten.

Tab. 20: Mittelwerte der Endzeiten des 2000m All-Out-Tests in Sekunden

		Statistiken	
		ohne Weste	mit Weste
N	Gültig	12	12
	Fehlend	0	0
Mittelwert		391,3667	388,4583

Tab. 21: T-Test bei gepaarten Stichproben für die Endzeit des 2000m All-Out-Tests

		Test bei gepaarten Stichproben				T	df	Sig. (2-seitig)	
		Gepaarte Differenzen							
		Mittelwert	Standard-abweichung	Standardfehler des Mittelwertes	95% Konfidenzintervall der Differenz				
Paaren 1	o2000m - o2000mw	2,90833	1,94022	,56009	Untere	Obere	5,193	11	,000

Es ist festzuhalten, dass die Durchschnittszeit der absolvierten 2000 Meter beim Test mit Precoolingmaßnahmen signifikant niedriger ist als ohne vorheriger Kälteapplikation.

Tabelle 22 stellt die Endzeiten der einzelnen Athleten und deren Endzeiten aus beiden 2000m All-Out-Tests dar.

Tab. 22: Endzeiten der 2000m All-Out-Tests

	2000m - Endzeit
Proband A ohne Weste	06:29,3
Proband A mit Weste	06:24,5
Proband B ohne Weste	06:45,0
Proband B mit Weste	06:39,8
Proband C ohne Weste	06:41,9
Proband C mit Weste	06:38,5
Proband D ohne Weste	06:26,8
Proband D mit Weste	06:25,2
Proband E ohne Weste	06:27,1
Proband E mit Weste	06:25,2
Proband F ohne Weste	06:29,4
Proband F mit Weste	06:28,1
Proband G ohne Weste	06:35,4
Proband G mit Weste	06:33,4
Proband H ohne Weste	06:31,3
Proband H mit Weste	06:35,4
Proband I ohne Weste	06:25,2
Proband I mit Weste	06:22,7
Proband J ohne Weste	06:24,9
Proband J mit Weste	06:23,4
Proband K ohne Weste	06:27,7
Proband K mit Weste	06:28,0
Proband L ohne Weste	06:32,4
Proband L mit Weste	06:27,3

Anhand Tabelle 22 ist zu erkennen, dass bis auf zwei Ausnahmen (Proband H & K) alle Endzeiten des 2000m All-Out-Tests, die mit Precooling gefahren wurden, niedriger sind als jene, wo keine vorherige Kälteapplikation zur Anwendung kam. Weitere Interpretationen und Erläuterungen bezüglich der Wettkampfzeiten sind in Kapitel 6 unter Hypothese 4 zu finden.

6. Diskussion der Hypothesen und Ergebnisse

Dieses Kapitel erfolgt analog und chronologisch der Struktur der in Kapitel 3 aufgestellten Hypothesen. Anhand der Hypothesen werden die ermittelten Ergebnisse für jede Untersuchungsmethode (Stufentest und 2000m-All-Out-Test) einzeln und detailliert besprochen. Die Überprüfung der jeweiligen Nullhypothese erfolgt grundsätzlich unter Berücksichtigung der kleinen Stichprobengröße, so dass im Zweifelsfall (bei einer absehbaren Tendenz einer positiven Wirkung der Kälteanwendung) nach genauem Abwägen die Entscheidung getroffen wird, die Alternativhypothesen mit einer adäquaten Argumentation, eingeschränkt anzunehmen.

Diskussion der 1. Hypothese für den Stufentest:

Hypothese 1

Die Temperatur des Körperkerns während einer Ausdauerbelastung ist durch das Precooling mittels Kühlweste niedriger als ohne Precooling.

Aufgrund des Vergleichs der Mittelwerte beider Temperaturanstiege für die einzelnen Stufen kann die Alternativhypothese H1 angenommen werden. Demnach ist aus den erhobenen und statistisch verarbeiteten Werten klar ersichtlich dass die Temperatur nach einer 30 Minuten dauernden Kühlung niedriger ist als ohne vorhergehender Kühlung. Ein besonderes Augenmerk sollten wir hier auf die Werte an den Messzeitpunkten 0 (Ruhe-Wert direkt vor Beginn des Stufentests), 1 (Nach der ersten Stufe), 2 (nach der zweiten Stufe) und 3 (Messung nach der dritten Stufe) gelegt werden. Wie auch in der Grafik ersichtlich und in weiterer Folge im T-Test für gepaarte Stichproben bestätigt zeigt sich in diesen Messungen ein signifikanter Unterschied zwischen den erhobenen Werten mit und ohne Precooling. Ab dem Messzeitpunkt vier ist statistisch keine Signifikanz mehr zu nachzuweisen. Aus Abbildung 51 ist gegen Ende des Stufentests ein steilerer Anstieg der Temperatur bei Probanden mit vorheriger Kühlung zu erkennen als bei Probanden ohne vorherige Kühlung. Im Weiteren zeigt der Mittelwert der Temperaturen am letzten Messpunkt auch einen höheren Endwert bei Probanden mit vorheriger Kühlung auf. Wenn man jetzt bedenkt dass die gekühlten Probanden fast alle den Stufentest länger absolviert haben, lässt sich daraus schließen dass eine geringe Körperkerntemperatur zu Beginn (Messung 0-3) des Stufentests eine Leistungsreserve bei der maximalen Ausbelastung darstellt. Ähnliche Zusammenhänge

wurden in der Studie von Kay et al. (1999) dargestellt: Der Autor verwies darauf, dass Athleten zu einem späteren Zeitpunkt, im Verlaufe der sportlichen Leistung, Reserven mobilisieren können. Dabei folgte der Autor der Annahme, dass es einen Mechanismus gäbe, durch den eine Muskelreserve verfügbar sei. Auf welchen Mechanismus dies zurückzuführen sei, müsse jedoch noch belegt werden (Marino, 2001).

Zu den Erhebungen der Temperatur ist noch hinzufügen dass bei einigen Probanden, bei der ersten Stufe im Test, ein Nachsinken der Temperatur ohne weiterer Kühlung zu erkennen war. Statistisch war dies jedoch nicht relevant. Einen ähnlichen Effekt hat sowohl Marino, (2001) als auch Hessemer et al. (1986) beobachtet. Marino führt diesen Effekt auf die Senkung der Hauttemperatur durch das Precooling zurück. Die Senkung der Körperkerntemperatur ist laut Marino, 2001 zu vernachlässigen. Dem schließen wir uns jedoch nicht an da wir die Meinung vertreten dass die Kühlung mittels Kühlweste, aufgrund der geringen Fläche, keine reine Wirkung auf die Haut hat. Marino geht weiter davon aus dass durch die Hautgefäßverengung das wärmere Blut in den Kern wandert. Dadurch steigt die Körperkerntemperatur während des Precoolings eher an als das sie absinkt und erst nach Belastungsbeginn kommt es zu einer signifikanten Abnahme der Körperkerntemperatur. Marino beschreibt dieses Phänomen als „Nachsinken der Kerntemperatur“. Das Nachsinken ist uns auch aufgefallen wobei eine Körperkerntemperatur Erhöhung während des Precooling von uns nicht zu verzeichnen war.

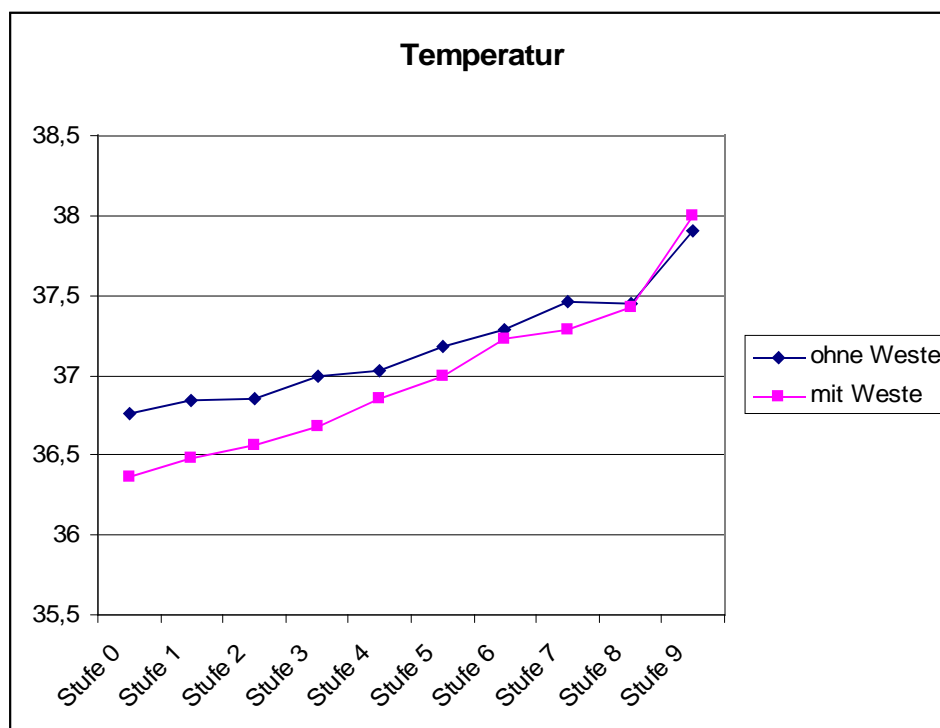


Abb. 55: Anstieg der durchschnittlichen Körpertemperatur mit und ohne Weste. Vergleich der arithmetischen Mittel für die einzelnen Stufen der Messung.

Tab. 23 : T-Tests für abhängige Stichproben für die einzelnen Stufen der Messung

Test bei gepaarten Stichproben

		Gepaarte Differenzen					T	df	Sig. (2-seitig)
		Mittelwert	Standard- abweichung	Standardfehler	95% Konfidenzintervall der Differenz				
					Untere	Obere			
Paaren 1	TEMP0 - TEMP0W	,39167	,43996	,12700	,11213	,67120	3,084	11	,010
Paaren 2	TEMP1 - TEMP1W	,36667	,40751	,11764	,10775	,62558	3,117	11	,010
Paaren 3	TEMP2 - TEMP2W	,30000	,39312	,11348	,05022	,54978	2,644	11	,023
Paaren 4	TEMP3 - TEMP3W	,30833	,42950	,12399	,03544	,58122	2,487	11	,030
Paaren 5	TEMP4 - TEMP4W	,18333	,36390	,10505	-,04788	,41455	1,745	11	,109
Paaren 6	TEMP5 - TEMP5W	,19167	,30588	,08830	-,00268	,38601	2,171	11	,053
Paaren 7	TEMP6 - TEMP6W	,06667	,34989	,10101	-,15564	,28898	,660	11	,523
Paaren 8	TEMP7 - TEMP7W	,17500	,45751	,13207	-,11569	,46569	1,325	11	,212
Paaren 9	TEMP8 - TEMP8W	-,05000	,25100	,10247	-,31341	,21341	-,488	5	,646

Die Stufen 0 bis 3 zeigen signifikante Temperaturunterschiede zwischen Ruderern mit- und ohne Precooling.

Hypothese 2:

Aufgrund des Precooling ist die Laktatproduktion im Stufentest niedriger als im Stufentest ohne Precooling niedriger.

Diese Hypothese kann durch die Ergebnisse der Mittelwertvergleiche angenommen werden. Die Laktatproduktion während der Untersuchung nach lokal applizierter Kälte mittels Kühlweste weist zu den Messzeitpunkten, (4, 5, 6 und 8) einen signifikant Unterschied auf. Bis auf die Messung 8 ist dabei das Laktat der gekühlten Probanden immer, wenn auch nicht immer signifikant, niedriger. Zu ähnlichen Ergebnissen kamen Joch und Ückert (2001 / 2003) in einer Studie. Die Autoren führten intervallisierte Ausdauer tests mit Precooling in einer Kältekammer durch. In drei Zeitstufen wurden von ihnen geringe bis signifikant erniedrigte Laktatwerte nach gewiesen. Ferner ist eine mögliche Ursache des erniedrigten Laktats unter Kältebedingungen auch in der erniedrigten Hauttemperatur und die dadurch bedingte bessere Blutversorgung der Muskulatur (Vergrößerung des Blutvolumens) zu suchen. Dieses Faktum kommt als positiver Auslöser im Stufentest in Frage.

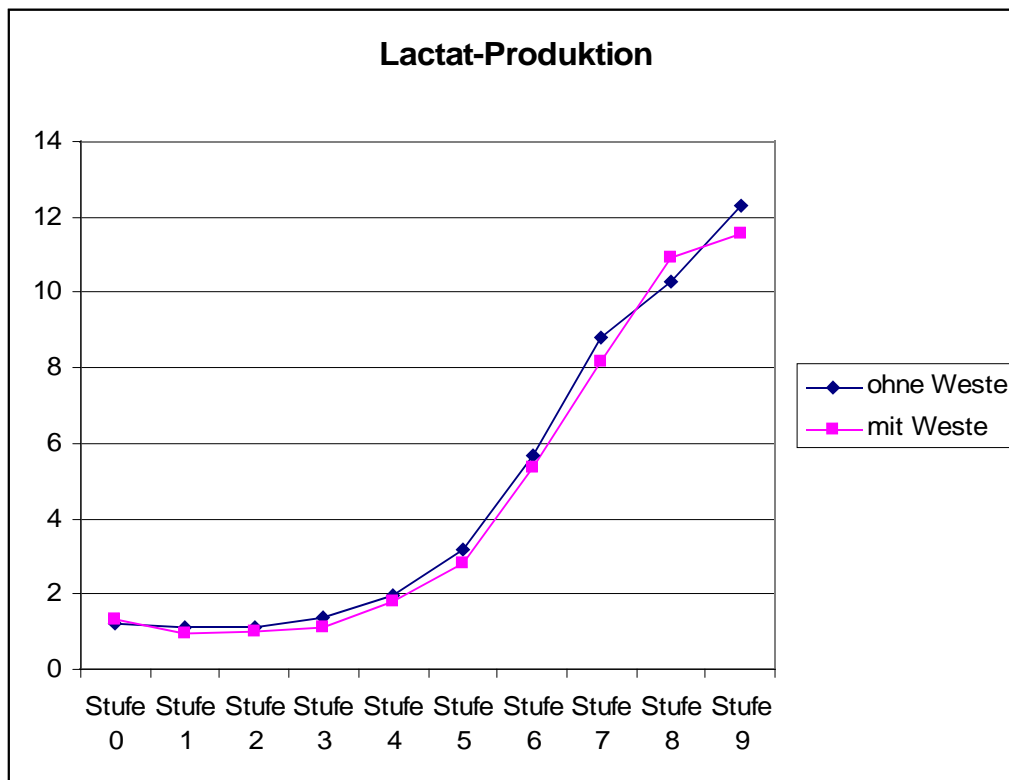


Abb. 56: Durchschnittlichen Laktat Anstieg mit und ohne Weste. Vergleich der arithmetischen Mittel für die einzelnen Stufen der Messung.

Tab. 24: T-Test für abhängige Stichproben für Laktat im Stufentest bei jeder Stufe.

		Gepaarte Differenzen					T	df	Sig. (2-seitig)
		Mittelwert	Standard-abweichung	Standardfehler des Mittelwertes	95% Konfidenzintervall der Differenz				
					Untere	Obere			
Paaren 1	Lactat0 - Lactatw0	-,07833	,24199	,06986	-,23209	,07542	-1,121	11	,286
Paaren 2	Lactat1 - Lactatw1	,16417	,25988	,07502	-,00095	,32928	2,188	11	,051
Paaren 3	Lactat2 - Lactatw2	,11667	,27516	,07943	-,05816	,29150	1,469	11	,170
Paaren 4	Lactat3 - Lactatw3	,24333	,22709	,06556	,09905	,38762	3,712	11	,003
Paaren 5	Lactat4 - Lactatw4	,19250	,28249	,08155	,01301	,37199	2,361	11	,038
Paaren 6	Lactat5 - Lactatw5	,34917	,36550	,10551	,11694	,58139	3,309	11	,007
Paaren 7	Lactat6 - Lactatw6	,28417	,73200	,21131	-,18093	,74926	1,345	11	,206
Paaren 8	Lactat7 - Lactatw7	,62250	,89054	,25708	,05668	1,18832	2,421	11	,034
Paaren 9	Lactat8 - Lactatw8	-,22600	2,57961	1,15364	-3,42901	2,97701	-,196	4	,854

Die Messungen 4, 5, 6 und 8 ergaben signifikante Unterschiede im Hinblick auf die Laktatkonzentration, wobei mit Ausnahme von Messung 8 Personen mit Weste stets niedrigere Laktatkonzentrationen aufweisen als Sportler ohne Weste.

Hypothese 3:

Die Herzfrequenz während der Ausdauerbelastung ist aufgrund des Precooling niedriger als die Herzfrequenz während der Ausdauerbelastung ohne vorherige Kühlung.

Die Nullhypothese wird angenommen. Es besteht beim Vergleich der Mittelwerte kein signifikanter Unterschied. Die Herzfrequenz ist nach dem Precooling nicht signifikant niedriger. Grundsätzlich ist zu sagen dass es bei einer Ruhenden Person unter Einfluss von Kälte zu einer Erhöhung der Herzfrequenz aufgrund von Kältezittern kommt. Das Precooling ist als Ruhephase zu betrachten. Offensichtlich hatte das Precooling aufgrund der hohen Temperaturen im Untersuchungsraum (um die 30°C) einen angenehmen Einfluss auf die Probanden der jedoch kein Kältezittern auslöste. Trotz des signifikanten Temperatur Unterschieds im Stufentest wirkt sich die Kälte offensichtlich nicht auf die Herzfrequenz aus.

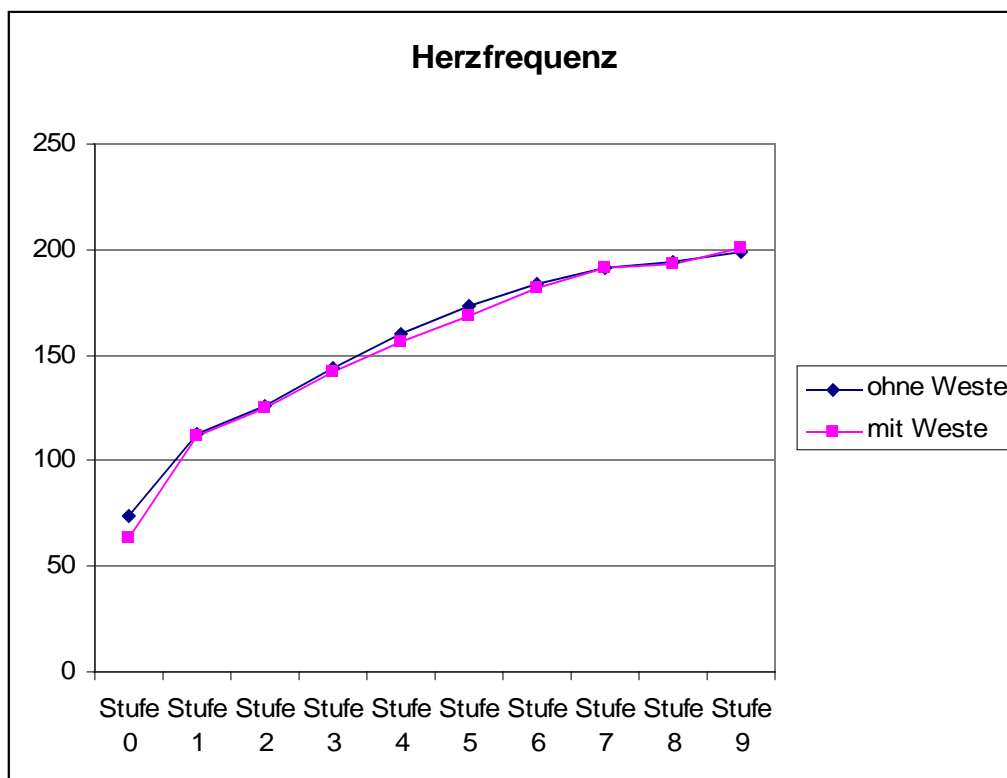


Abb. 57: Durchschnittlicher Herzfrequenz Anstieg mit und ohne Weste. Vergleich der arithmetischen Mittel für die einzelnen Stufen der Messung. Aus der Grafik ist ersichtlich, dass das Precooling keinen Einfluss auf die Herzfrequenz hat. Die entsprechenden T-Tests ergaben keine signifikanten Unterschiede zwischen dem Rudern mit- und ohne Weste.

Hypothese 4:

Die simulierte Wettkampfleistung im 2000m All-Out-Test verbessert sich aufgrund der Kälteapplikation im Vergleich zum 2000m All-Out-Test ohne Kälteapplikation.

Für den 2000m All-Out-Test wird die Nullhypothese verworfen und die Alternativhypothese angenommen. Es besteht ein signifikanter Unterschied in der Wettkampfleistung. Sowohl die 500m Durchschnittszeit als auch die 2000m Endzeit weisen im Vergleich der Mittelwerte einen signifikanten Unterschied auf. Bemerkenswert ist dabei das der 2000m All-Out-Test, wie in der Methodik beschrieben, trotz einer geringen Wash-Out Phase von lediglich 2-5 Tagen und der erfolgten Randomisierung der Probanden bei jedem Probanden eine Verbesserung der Endzeit gezeigt hat. Trainingseffekte sind somit auszuschließen. Unserer Meinung nach ist einer der Gründe für die Leistungsverbesserung eine Vasokonstriktion der Haut und damit eine veränderte Blutverteilung. (Klinke, 2005) Ferner ist ein psychologischer Aspekt nicht außer Acht zu lassen. Da dieser Parameter nicht Gegenstand der Untersuchung waren, können wir dazu keine klare empirische Datenlage liefern. Jedoch wollen wir uns auf die Studie Marsh & Seivert, (1999) beziehen, die auch Leistungssteigerungen in Leistungstests nachgewiesen haben.

Marsh & Seivert, (1999) haben nachgewiesen, dass Kälteapplikationen nicht nur bei Langzeitausdauerbelastungen von Vorteil sein können. Sie führten einen randomisierten Maximaltest mit Radrennfahrern durch. Dieser Maximaltest dauerte 70 Sekunden. Vor dem Test mussten sich die Athleten einer 30-minütigen Immersion in kaltem Wasser unterziehen. Es konnte eine signifikante Leistungssteigerung im Maximaltest bewiesen werden.

Auch Marsh & Seivert, (1999) führten die Leistungsverbesserung auf eine Vasokonstriktion der Haut aufgrund der Kälteapplikation zurück. Zusätzlich gehen sie jedoch davon aus dass die Vasokonstriktion eine erhöhte Blutversorgung in der belasteten Muskulatur mit sich bringt. Ein weiterer Punkt den wir für die Leistungsverbesserung mitverantwortlich machen ist die Tatsache dass es aufgrund des Precooling zu einer Leistungsreserve kommt die auf eine geringe Starttemperatur der Probanden zurück zu führen ist. Marino formulierte dazu 2001 in seinem Artikel „Methods, advantages, and limitations of body cooling for exercise performance“ die Theorie des Nachsinkens der Körperkerntemperatur. Dabei wandert durch die Hautgefäßverengung das wärmere Blut in den Körperkern. In weiterer Folge steigt die Körperkerntemperatur während des Precoolings eher an als das sie absinkt und erst nach Belastungsbeginn kommt es zu einer signifikanten Abnahme der Körperkerntemperatur. Marino, (2001) behauptet weiter dass das Precooling nicht das Halten einer gegebenen Geschwindigkeit oder Intensität begünstigt, sondern dass sich die Mobilisation der Reserven,

die ein Athlet am Ende einer intensiven Belastung aktivieren kann oder muss, verzögert. Eine ähnliche Beobachtung haben wir auch gemacht. Ein Großteil unserer Probanden hat im All-Out-Test ihren 500m Schnitt auf der zweiten Streckenhälfte im Vergleich zum All-Out-Test ohne Precooling, halten oder sogar verbessern können. Wodurch es zu den Verbesserten Endzeiten auf 2000m gekommen ist. Weiter stellt Marino, 2001 die These auf dass Vorkühlen einen positiven Effekt auf das zentrale Nervensystem hat und somit einen leistungsverbessernden Faktor darstellt. Wenn man als erhöht Aktivierung des ZNS eine vermehrte Mobilisierung im Endspurt verstehen will können wir dieser These nur zustimmen.

Tab. 25: Mittelwerte 500m Durchschnittszeit in Sekunden.

		Statistiken	
		ohne Weste	mit Weste
N	Gültig	12	12
	Fehlend	0	0
	Mittelwert	97,8917	97,0750

Tab. 26: T-Test bei gepaarten Stichproben für die 500m Durchschnittszeit in Sekunden.

		Test bei gepaarten Stichproben							
		Gepaarte Differenzen							
		Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes	95% Konfidenzintervall der Differenz		T	df	Sig. (2-seitig)
					Untere	Obere			
Paaren 1	o500m - o500mw	,81667	,55076	,15899	,46673	1,16660	5,137	11	,000

Die Durchschnittszeit bei 500 m ist bei Sportlern mit Weste signifikant niedriger als bei Ruderern ohne Weste.

Tab. 27: Mittelwerte 2000m Endzeit in Sekunden.

		Statistiken	
		ohne Weste	mit Weste
N	Gültig	12	12
	Fehlend	0	0
	Mittelwert	391,3667	388,4583

Tab. 28: Durchschnittszeit bei 2000m.

Test bei gepaarten Stichproben

	Gepaarte Differenzen					T	df	Sig. (2-seitig)
	Mittelwert	Standard-abweichung	Standardfehler des Mittelwertes	95% Konfidenzintervall der Differenz				
				Untere	Obere			
Paaren 1 o2000m - o2000mw	2,90833	1,94022	,56009	1,67557	4,14109	5,193	11	,000

Die Durchschnittszeit bei 2000 m ist bei Sportlern mit Weste signifikant niedriger als bei Ruderern ohne Weste.

Hypothese 5:

Die Laktatkonzentration während der Nachbelastung in der *Ausdauerbelastung* und im *2000m All-Out-Test* ist unter Kälteapplikation niedriger als ohne Kälteapplikation.

Um die Erholungsfähigkeit nach einem Stufentest oder 2000m All-Out-Test zu untersuchen haben wir das Laktatverhalten als Parameter herangezogen. Für den Stufentest haben sich keine signifikanten Unterschiede ergeben. Somit wird für den Stufentest die Nullhypothese angenommen. Die Laktatkonzentration ist in der Nachbelastung im Stufentest nach Precooling nicht niedriger als ohne Precooling.

Für die Laktatkonzentration in der Nachbelastung des 2000m All-Out-Tests können wir aufgrund der signifikanten Unterschied im Vergleich der Mittelwerte die Alternativhypothese annehmen. Es besteht also ein signifikanter Unterschied in der Laktatkonzentration in der Nachbelastung unter Kälteanwendung im Vergleich zur Nachbelastung ohne Kühlung.

Welche Auswirkungen Kühlung in Bezug auf die Erholungsfähigkeit hat ist noch nicht restlos geklärt. Wir gehen davon aus dass es in erster Linie auf die Dauer der Belastung ankommt wie schnell sich der Organismus erholt. Da der Stufentest doch erheblich länger als der 2000m Wettkampftest dauert ist dieses Faktum bei der Diskussion der doch sehr Unterschiedlichen Ergebnisse zu berücksichtigen. Im Weiteren vermuten wir dass sich ein psychologischer Effekt aufgrund der Kühlung einstellt und dieser in weiterer Folge eine direkte Auswirkung auf die gewählte Intensität der Nachbelastung hat. Unsere Beobachtung hat ergeben dass die Nachbelastungsintensität von beinahe allen Probanden unter Kälteeinfluss höher angesetzt wurde als ohne Kühlweste. Leider haben wir dazu keine signifikanten Zahlen erhoben. Dieser und weitere Kritikpunkte werden aber in der Methodenkritik noch genauer besprochen. Diese erhöhte Nachbelastungsintensität kann einen Einfluss auf die Durchblutung der Muskulatur haben. Wobei sich in natürlich die Frage aufwirft warum dieser Effekt nur nach den All-Out-Test zu erkennen ist. Ferner wollen wir wie schon oben erwähnt auf Marsh & Sleivert, (1999) verweisen. Die Autoren weisen auf eine

erhöht Blutversorgung in der belasteten Muskulatur bei Vasokonstriktion der Hautgefäße hin. Daraus ist der Schluss zulässig dass eine Erhöhung der Muskeldurchblutung auch einen positiven Effekt auf die Laktateliminationsrate über den Cori-Zyklus (Löffler) hat. Auch Hessemer et al., (1984) gehen von einer höheren Muskeldurchblutung und damit einer geringere Laktatproduktion beziehungsweise einer höheren Laktatelimination im Muskel aus.

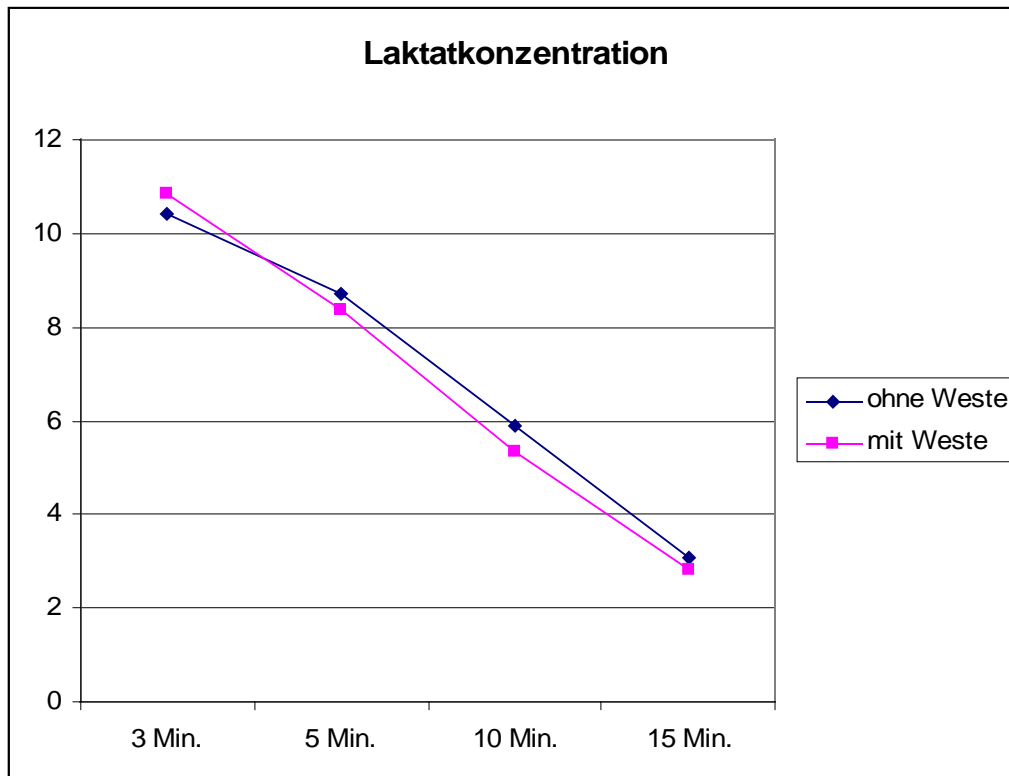


Abb. 58: Laktatverhalten in der Nachbelastung des Stufentests mit und ohne Kühlweste. Es sind keine signifikanten Unterschiede zu erkennen.

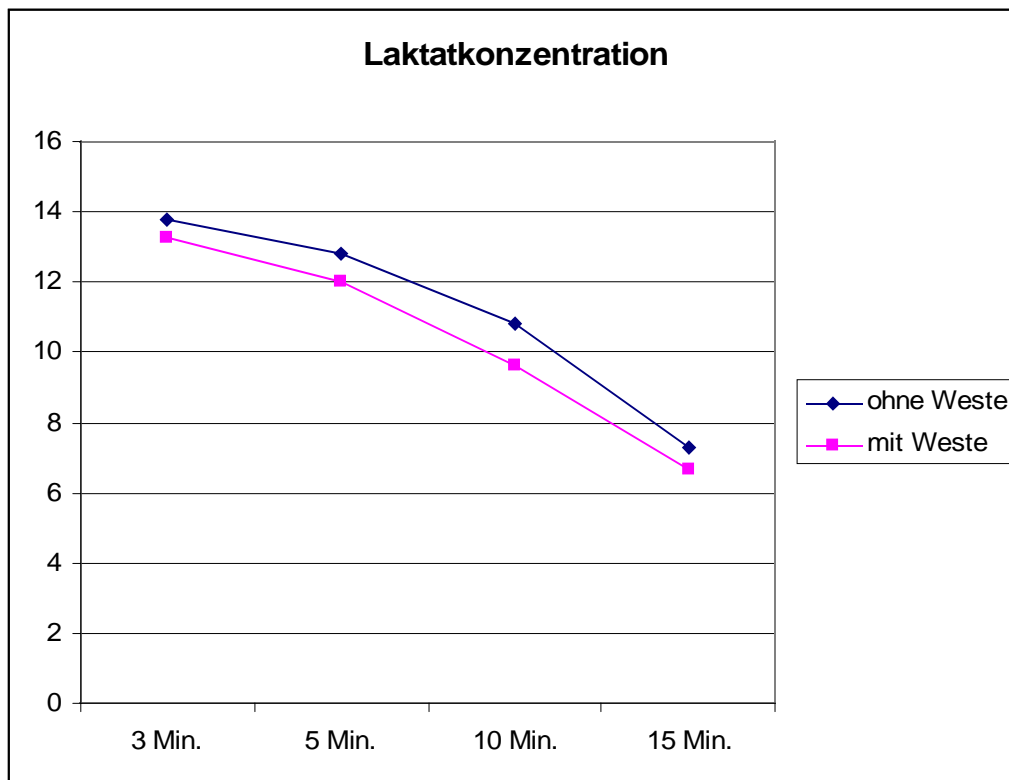


Abb. 59: Laktatverhalten in der Nachbelastung des 2000m All-Out-Tests mit und ohne Kühlweste. Es sind signifikanten Unterschiede zu erkennen.

Tab. 29: T-Test bei gepaarten Stichproben für die Nachbelastung des 2000m All-Out-Tests

Test bei gepaarten Stichproben

		Gepaarte Differenzen					T	df	Sig. (2-seitig)
		Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes	95% Konfidenzintervall der Differenz				
					Untere	Obere			
Paaren 1	coolx3 - coolxw3	,50083	,87283	,25196	-,05373	1,05540	1,988	11	,072
Paaren 2	coolx5 - coolxw5	,76000	,92994	,26845	,16915	1,35085	2,831	11	,016
Paaren 3	coolx10 - coolxw10	1,18500	1,25842	,36327	,38544	1,98456	3,262	11	,008
Paaren 4	coolx15 - coolxw15	,64000	,55067	,15896	,29012	,98988	4,026	11	,002

Die Unterschiede sind bei der 2., 3. und 4. Messung signifikant, wobei Personen mit Weste niedrigere Werte aufweisen.

Hypothese 6:

Die Ausdauerleistung im Stufentest verbessert sich aufgrund des Precooling im Vergleich zum Stufentest ohne Precooling.

Neben der aeroben und anaeroben Schwelle, die wir im Kapitel Ergebnisdarstellung aufgelistet haben interessiert und die Dauer der Stufentest. Da jeder Proband nach unseren in den Methoden aufgeführten Abbruchkriterien beobachtet wurde kam es im Stufentest zu unterschiedlichen Testdauern. Wir vergleichen hier die Mittelwerte der Testdauer in Sekunden.

Aufgrund der signifikanten Unterschiede im Vergleich der Mittelwerte der Probanden mit und ohne Precooling nehmen wir die Alternativhypothese an. Es besteht also ein signifikanter Unterschied in der Ausdauerleistung.

Dieser Unterschied lässt sich auf die schon in den oberen Hypothesen dargestellten Mechanismen zurückführen. Ein Trainingseffekt ist aufgrund des kurzen Wash-Out auszuschließen. Vielmehr haben wir es mit physiologischen Prozessen zu tun. Blutversorgung und Aktivierung des ZNS spielen hier eine entscheidende Rolle.

Tab. 30: Mittelwerte der gefahrenen Zeit im Stufentest mit und ohne Weste in Sekunden

Statistik bei gepaarten Stichproben

		Mittelwert	N	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes
Paaren 1	zeit	1727,9167	12	148,95787	43,00043
	zeitmw	1832,7500	12	137,18211	39,60106

Tab. 31: T-Test bei gepaarten Stichproben für die Gesamtzeit im Stufentest in Sekunden

Test bei gepaarten Stichproben

		Gepaarte Differenzen				T	df	Sig. (2-seitig)	
		Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes	95% Konfidenzintervall der Differenz				
					Untere				Obere
Paaren 1	zeit - zeitmw	-104,833	78,01146	22,51997	-154,399	-55,26722	-4,655	11	,001

Die Ausdauerleistung im Stufentest ist bei Precooling signifikant höher als bei Personen, die keine Weste tragen.

7.Methodenkritik

Im folgenden Kapitel möchten wir durch Reflexion unserer Erfahrungen, die wir im Laufe unserer Untersuchungen gemacht haben, einige Anregungen und Verbesserungsvorschläge beschreiben und erklären.

Zu all diesen Vorschlägen ist zu bemerken, dass wir keine Rücksicht auf den Aspekt finanzieller Mittel genommen haben, sondern unabhängig davon unsere Ideen und Vorschläge erläutern wollen.

Methodenkritische Aspekte

Ein wesentlicher Aspekt in Hinsicht auf die Leistungsdiagnostik ist das Erfassen der spirometrischen Parameter. Falls die Mittel zur Verfügung stünden, wäre das Aufzeichnen der spirometrischen Werte eine sehr interessante Ergänzung. Dazu ist ein mobiles Spirometer von Nöten, da es sonst zu Schwierigkeiten mit der Kompatibilität mit dem Ruderergometer kommen kann. Im Hinblick auf die Untersuchung mit Precooling wären Veränderungen der VO_{2max} und des respiratorischen Quotienten (RQ) zwei interessante zu untersuchende Parameter.

Der nächste Punkt bezieht sich auf einen der ruderspezifischen Parameter. Beim 2000m All-Out-Test wäre eine noch bessere Vergleichbarkeit gegeben, sobald man mehrere Schnittzeiten protokolliert. Es stellt sich natürlich die Frage, ob der zusätzliche Zeitaufwand neue Erkenntnisse mit sich bringt. Es wäre jedoch sehr interessant, dies in eine weitere Untersuchung einzubauen.

Eine weitere Idee wäre die Änderung des Kühlungsablaufes bzw. eine Ergänzung der Kühlung. Diese Idee bezieht sich auf den Stufentest. Man könnte den Athleten auch über den gesamten Untersuchungszeitraum (30min Precooling, Ausbelastungstest, und Nachbelastung) die Kühlweste tragen lassen bzw. zwei Kühlwesten verwenden. Der Proband würde dann die erste Weste fürs Precooling verwenden, die zweite Kühlweste während des Stufentests tragen (währenddessen wird die erste Weste wieder auf Temperatur gebracht), und in der Nachbelastung wieder die erste Weste tragen. Es wäre spannend, herauszufinden, ob dies einen signifikanten Unterschied mache oder nicht.

Ein weiterer methodenkritischer Punkt ist die Raumtemperatur. Wir konnten direkt beim Ergometer eine konstante Temperatur (27-30°C) bewerkstelligen, jedoch wäre es durchaus interessant, eine noch deutlich höhere Temperatur (ca. 36-39°C) zu simulieren. Nimmt man die Wettkämpfe im Juli und August als Referenz, was ja im Rudersport als Zeitpunkt der Hauptsaison festgelegt ist (in diesen Monaten finden Weltmeisterschaften, Weltcupfinali oder auch Olympische Spiele statt), so ist es durchaus realistisch eine Temperatur im Bereich von 36-39 Grad Celsius zu simulieren.

Bezüglich der Umgebungstemperatur wären Feldtests natürlich noch realitätsnäher, jedoch besteht hierbei die Schwierigkeit in der Konstanz der äußerlichen Bedingungen (Sonne, Wind, Temperatur). Der Aspekt der Sonneneinstrahlung wäre jedoch unheimlich interessant, da die Ruderwettkämpfe am Wasser oft unter direkter Sonneneinstrahlung stattfinden.

Neben der konstanten Umgebungstemperatur kommt der Einfluss der Luftfeuchtigkeit hinzu. Ein Messgerät wäre für weitere Untersuchungen durchaus interessant, wobei in unserem Testraum eine konstante Luftfeuchtigkeit vorhanden war. Tests in einer Klimakammer würden es ermöglichen, Einflüsse verschiedener Luftfeuchtigkeiten zu unterscheiden.

In unseren Untersuchungen kam es ausschließlich zur Messung der Körperkerntemperatur. Eine weitere interessante Messgröße wäre die Hauttemperatur, welche definitiv in zusätzlichen Untersuchungen eingebaut werden könnte. Vor allem der Unterschied zwischen Körperkerntemperatur und Hauttemperatur unter Einfluss von Kälteapplikation, wäre sicher spannend zu untersuchen.

In unserer Studie wurden Teile des Oberkörpers gekühlt, genau genommen der Brust-, Bauch- und Rückenbereich. Ein Vergleich mit Verwendung einer Kältekammer wäre von hoher wissenschaftlicher Relevanz, da dadurch der gesamte Körper gekühlt wird und es sicher spannend wäre, herauszufinden, ob dadurch ein signifikanter Unterschied im Vergleich zu den Untersuchungen mit Kühlweste zustande käme. Eine Schwierigkeit in der Verwendung der Kältekammer wäre wahrscheinlich der Aspekt der Praktikabilität.

Eine weitere Messgröße könnte die Messung der Schweißrate und der Schweißproduktion sein. In Kapitel 2.7. werden einige Studien erwähnt, die diese Messgröße in deren Untersuchungen mit einbauen.

Zur Messung des Laktats ist darauf hinzuweisen, sehr auf die steigende Schweißproduktion zu achten, da der Schweiß das Testergebnis bzw. die Laktakonzentration deutlich verfälschen kann. Wir haben darum äußerst genau darauf geachtet, den gesamten Schweiß vor Abnahme des Blutes zu entfernen.

Unsere Gruppe der Probanden setzte sich aus 12 männlichen Athleten zusammen, die alle Teil des Nationalteams (A- oder B-Kader) der Saison 2007 und 2008 waren. Es wurde keine Rücksicht auf Leicht- oder Schwergewicht genommen. Für uns war es schon eine Herausforderung, 12 männliche Probanden zu finden, die unseren Kriterien entsprachen. Unter der Voraussetzung, dass man einen großen Pool an Athleten zur Verfügung hat, wäre ein interessanter Aspekt, die Untersuchungsgruppen in Leicht- und Schwergewicht zu unterteilen. Eine analoge Untersuchung mit ausschließlich weiblichen Athleten wäre sicherlich auch eine Bereicherung für den aktuellen Forschungsstand. Sehr interessant wäre es auch, das gesamte Nationalteam in die Untersuchungen einzubauen.

Zur Arbeitsaufteilung zu unserer Studie ist zu bemerken, dass diese von beiden Seiten hervorragend funktioniert hat. Bei den direkten Untersuchungen an den Probanden übernahm Michael Zyskowski das Abnehmen des Blutes am Ohrläppchen und das ordnungsgemäße Sichern der Proben. Tobias Sigmund kümmerte sich um die Messung der Körperkerntemperatur und übernahm die Protokollarbeit bezüglich Herzfrequenz sowie aller ruderspezifischen Parameter (Schlagzahl, Watt, etc.). Nachdem ersten Test entwickelte sich eine tolle Dynamik und Ökonomie der Arbeitsvorgänge, wie wir sie uns besser gar nicht vorstellen hätten können. An dieser Stelle ist auch zu bemerken, dass die Probanden sehr kooperativ waren.

Organisationskritische Aspekte

Wie vorher schon angesprochen, war es durchaus schwierig, unter Berücksichtigung der Kriterien zur Auswahl der Probanden, genügend Athleten zu finden. Dies würde höchstwahrscheinlich um einiges leichter und unkomplizierter werden, sobald eine direkte Zusammenarbeit mit dem Verband zustande käme. Dadurch hätte man einen viel besseren Zugang bezüglich dem Erreichen von Athleten und es könnten die Testversuche im Rahmen der von Verband vorgeschriebenen Kaderleistungstests erfolgen. Leider müssen wir anmerken, dass der österreichische Ruderverband kein Interesse an einer Zusammenarbeit

zeigte.

Da unsere Wash-Out-Zeit nur 2-5 Tage betrug, war es zum Teil nicht einfach, den eigenen Zeitplan mit dem der Athleten zu koordinieren. Auch der Fakt, dass jeder der Probanden insgesamt 4 verschiedene Termine zur Untersuchung wahrnehmen musste, stellte sich oft als schwer überwindbare Hürde dar. Ein guter Lösungsvorschlag für dieses Problem wäre die Erhöhung der Anzahl der Probanden. Damit könnte eine Unterteilung der Probanden in zwei Gruppen vorgenommen werden und jeder Athlet hätte nur mehr zwei Tests (entweder Ausbelastungs- oder Wettkampftest) zu absolvieren.

Unser Untersuchungszeitraum befand sich genau in der Übergangssaison der Athleten. Dies stellte sich nicht als 100 % optimal heraus, da wir merkten, dass bei manchen Probanden schon etwas „die Luft draußen war“. Wir wollen damit sagen, dass es vielleicht günstiger wäre, die Untersuchungen in der Vorbereitungsphase der Athleten einzubauen. Dies hätte den Vorteil, dass die Athleten regeneriert aus der Übergangsphase kommen und so eventuell leistungsfähiger wären. Wobei an dieser Stelle zu sagen ist, dass es bei keinem der Probanden an Motivation fehlte. Ein Grund dafür war sicherlich der Fakt, dass keiner von ihnen jemals Erfahrung mit Kühlwesten gemacht hatte, und dadurch auch selber auf die Ergebnisse gespannt waren.

Materialkritische Aspekte

Zu den Geräten und Materialien, die uns zur Verfügung standen, ist zu bemerken, dass sich diese alle in hervorragendem Zustand befanden. Wir möchten uns an dieser Stelle noch ein Mal beim Zentrum für Sportwissenschaften, bei der Vorarlberger Landesregierung und dem Ruderleistungszentrum Steinspornbrücke (1220 Wien) herzlichst bedanken.

Bezüglich der Kühlwesten ist zu sagen, dass uns zwei Größen (L und XL) zur Verfügung standen, was für unsere Probandengruppe ausreichend war. Geht man davon aus, eine größere Versuchsgruppe zu testen, wäre jedoch eine gesamte Auswahl an Größen (S und M) von Nöten. Ferner könnte eine Kühltruhe sehr nützlich sein, sobald man mehrere Westen gleichzeitig auf die gewünschte Temperatur kühlen wolle. Optimal wären zwei Exemplare jeder Größe (also insgesamt acht Kühlwesten), damit der Testvorschlag aus Kapitel 7.1 realisiert werden könnte (eine Weste wird für Precooling und Nachbelastung verwendet und die andere Weste für den Stufentest).

Der Ruderergometer, welcher für unsere Untersuchungen zur Verwendung kam, war in sehr gutem Zustand. Es wurde natürlich immer dasselbe Gerät verwendet, um gleiche Bedingungen für alle Tests zu gewährleisten. Optimal wäre natürlich ein ganz neues und unbenütztes Modell.

8.Ausblick

Im letzten Kapitel dieser Arbeit werde Ideen und Vorschläge für zukünftige Forschung und Arbeit im Bereich Precooling erläutert. Es werden die Erfahrungen und das Feedback, das von den Probanden zurückkam, in diesem Abschnitt miteinbezogen.

Eine sehr interessante und durchaus aufwendige Idee wäre, eine Bootsklasse über den gesamten Zeitraum einer Saison zu begleiten. Als Beispiel könnte das Nationalteam herangezogen werden, da ja auch im Rahmen dieser Studie ausschließlich Nationalkaderathleten der Saison 2007/2008 getestet wurden. Es könnte also der B-Kader des Rudernationalteams von einem 2er-Gespann begleitet werden, welches über den Verlauf einer Saison die Auswirkungen des Precoolings auf die Trainings- und Wettkampfleistung untersucht und festhält. Als Kontrollgruppe könnte der A-Kader des Nationalteams dienen. Da während der Saison regelmäßige Leistungstests stattfinden (in der Regel alle sechs Wochen), könnten diese Tests optimal vom externen Forschungsteam genutzt werden. Es entstünde dadurch weder ein zusätzlicher Zeitaufwand noch eine zusätzliche Belastung für die Athleten und es ist sehr wahrscheinlich, dass der Trainerstab großes Interesse an den ergänzenden Testergebnissen zeige.

Ein weiterer spannender Aspekt des Precoolings wäre die Implementierung der verschiedenen Kühlmethoden in den Trainingsalltag und die Dokumentation deren Auswirkungen. Diese Idee sollte sich auf keinen Fall nur auf den Rudersport beschränken, sondern auch alle möglichen anderen Disziplinen erforschen, bei denen die Körper- und Umgebungstemperatur eine relevante Rolle spielen. Als Beispiel kann hier das Training am Radergometer angeführt werden, welches in vielen Disziplinen (Skirennlauf, Radsport, Triathlon, etc.) von Bedeutung ist. Die Auswirkungen in physiologischer und psychologischer Hinsicht wären sicherlich ein interessantes Forschungsthema. Auch die Frage, ob sich bei regelmäßiger Verwendung der Kühlapplikation ein Gewöhnungseffekt einstelle, wäre von praktischem Nutzen.

Als abschliessende Anregung werden die verschiedenen lokalen Variationen der Kälteapplikation im Sinne des Precoolings erläutert. Neben der Kühlweste haben ein paar Anbieter auch andere „Kühlkleidung“ in ihrem Sortiment. Als Vergleich gegenüber der Kühlweste könnte das Precooling mittels Stirnband, Halsband oder auch Nackenumschlag

herangezogen werden. Inwiefern es zu Unterschieden in der Leistungs- bzw. Regenerationsfähigkeit käme, wäre sicherlich eine Bereicherung für den aktuellen Forschungsstand.

9. Verzeichnisse

9.1 Literaturverzeichnis

- Arngrímsson, S., Pettitt, D., Stueck M., Jorgensen D. & Cureton K. (2004). Cooling vest worn during active warm-up improves 5-km run performance in the heat. *Journal of applied physiology*, 96 (5), 1867-1874.
- Armstrong, L., Casa, D., Maresh, C. & Ganio, M. (2007). Caffeine, fluid-electrolyte balance, temperature regulation, and exercise-heat tolerance. *Exercise and sport science review*, 35 (3), 135-140
- Bishop, D. (2003). Warm up II: performance changes following active warm up and how to structure the warm up. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 33 (7), 483-498.
- Bluestein, M. (1998). An evaluation of the wind chill factor: its development and applicability. *Journal of biomechanical engineering*, 120 (2), 255-258.
- Bolster, D., Trappe, S., Short, K., Scheffield-Moore, M., Parcell, A., Schulze, K. & Costill, D. (1999). Effects of precooling on thermoregulation during subsequent exercise. *Medicine and science in sports and exercise*, 31 (2), 251-257.
- Booth, J., Marino, F. & Ward, J. (1997). Improved running performance in hot humid conditions following whole body precooling. *Medicine and science in sports and exercise*, 29 (7), 943-949.
- Brotherhood, J. (2008). Heat stress--a challenge for sports science in Australia. *Journal of science and medicine in sport/Sports medicine Australia*, 11 (1), 1-2.
- Brotherhood, J. (2008). Heat stress and strain in exercise and sport. *Journal of science and medicine in sport / Sports medicine Australia*, 11 (1), 6-19.
- Busse, M., Maassen, N., Braumann, M. & König, T. (1987). Neuorientierung in der Leistungsdiagnostik: Laktat als Glykogenindikator. *Leistungssport*, 5, 33-37.
- Castle, P., Macdonald, A., Philip, A., Webborn, A., Watt, P. & Maxwell, N. (2006). Precooling leg muscle improves intermittent sprint exercise performance in hot, humid conditions. *Journal of applied physiology*, 100 (4), 1377-1384.
- Cantley, L. (1981). Structure and Mechanism of the (Na-K)-ATPase. *Top Bioenergie*, 11, 201-237
- Cheung, S. & Robinson, A. (2004). The influence of upper-body pre-cooling on repeated sprint performance in moderate ambient temperatures. *Journal of sports sciences*, 22 (7), 605-612.
- Daanen, H., van Es, E. & de Graaf, J. (2006). Heat strain and gross efficiency during endurance exercise after lower, upper, or whole body precooling in the heat. *International journal of sports medicine*, 27 (5), 379-388.
- Deetjen, P., Speckmann, E. & Hescheler, J. (2004). Physiologie (4. Aufl.). München: Urban & Fischer.

- Dickhuth, H. (2000). Einführung in die Sport- und Leistungsmedizin. In Sport und Sportunterricht (Bd.16). Schorndorf: Karl Hofmann.
- Duffield, R., Dawson, B., Bishop, D., Fitzsimons, M. & Lawrence, S. (2003). Effect of wearing an ice cooling jacket on repeat sprint performance in warm/humid conditions. *British Journal of sports medicine*, 37 (2), 164-169.
- Gertsch, M. (2006). Das EKG. Auf einen Blick und im Detail (1.Aufl.). Heidelberg: Springer Medizin.
- Grosser, M. & S. Starischka. (1986). Konditionstests (2. Aufl.). München, Wien, Zürich: BLV
- Hasegawa, H., Takatori, T., Komura, T. & Yamasaki, M. (2006). Combined effects of pre-cooling and water ingestion on thermoregulation and physical capacity during exercise in a hot environment. *Journal of sports sciences*, 24 (1), 3-9.
- Hatefi, Y. (1985). The mitochondrial electron transport and oxidative phosphorylation system. *Annual Review. Biochemie*, 54,1015-1069
- Heck, H. (1990). Laktat in der Leistungsdiagnostik. Wissenschaftliche Schriftreihe des deutschen Sportbundes. Schorndorf: Karl Hofmann.
- Heck, M. & Fresenius, M. (2007). Repetitorium Intensivmedizin: Vorbereitung auf die Prüfung "Intensivmedizin" (3. Aufl.). Berlin: Springer.
- Hensel, H. (1981). Thermal reception and temperature regulation. London: Academic Press
- Hessemer, V., Langusch, D., Brück, L., Bödeker, R. & Breidenbach, T. (1984). Effect of slightly lowered body temperatures on endurance performance in humans. *Journal of applied physiology: respiratory, environmental and exercise physiology*57(6), 1731-1737.
- Hohmann, A., Lames, M. & Letzelter, M. (2006). Einführung in die Trainingswissenschaft (5. Aufl.). Wiebelsheim: Limpert.
- Hollmann, W. & Hettinger, T. (2000). Sportmedizin. Grundlagen für Arbeit, Training und Präventivmedizin (4.Aufl.), Stuttgart: Schattauer.
- Horn, F., Moc, I., Schneider, M., Grillhösl, C., Berghold, S. & Lindenmeier, G. (2005). Biochemie des Menschen. Das Lehrbuch für das Medizinstudium (3. Aufl.). Stuttgart, New York: Thieme
- Israel, S. (1977). Das Erwärmen als Startvorbereitung. *Medizin und Sport*, 17, 386 - 389.
- Iwanaga, K., Yamasaki, K., Yasukouchi, A., Watanuki, S., Sato, H. & Sato, M. (1989). Effect of precooling on heat tolerance of resting men in a hot environment: comparison with seasonal effect on it. *The Annals of physiological anthropology = Seiri Jinruigaku Kenkyukai kaishi* 8 (3),151-154.
- Kay, D., Taaffe, D. & Marino, F. (1999). Whole-body pre-cooling and heat storage during self-paced cycling performance in warm humid conditions. *Journal of sports sciences*, 17 (12), 937-944.
- Klinke, R., Pape, H.C. & Silbernagl, S. (2005). Physiologie (5. Aufl.). Stuttgart, New York: Thieme.
- Krebs, H.A. & Johnson W.A. (1937): The role of citrit acid in intermediate metabolism in animal tissues. *Enzymologia*, 4 (1), 148-156.
- Krebs, H.A. (1970): The history of the tricarboxylic acid cycle. *Perspectives in Biology and Medicine*, 14 (1), 154-170.

- Lee, D. & Haymes, E. (1995). Exercise duration and thermoregulatory responses after whole body precooling. *Journal of applied physiology*, 79 (6), 1971-1976.
- Löffler, G., Petrides, P. & Heinrich, P. (2006). *Biochemie & Pathobiochemie* (8. Aufl.). Berlin: Springer
- Marino, F. (2002). Methods, advantages, and limitations of body cooling for exercise performance. *British journal of sports medicine*, 36 (2), 89-94.
- Marsh, D. & Sleivert, G. (1999). Effect of precooling on high intensity cycling performance. *British Journal of sports medicine*, 33 (6), 393-397.
- Marino, F., Lambert, M. & Noakes, T. (2004). Superior performance of African runners in warm humid but not in cool environmental conditions. *Journal of applied physiology*, 96 (1), 124-130.
- Mader, A., Lieden, H., Heck, H., Philippi, H., Rost, R., Schürich, P. & Hollman, W. (1976). Zur Beurteilung der sportartspezifischen Ausdauerleistungsfähigkeit im Labor. *Sportarzt und Sportmedizin*, 27 (4), 80-88, (5), 109-112.
- Maughan, R., Shirreffs, S. & Watson, P. (2007). Exercise, heat, hydration and the brain. *Journal of the American College of Nutrition*, 26 (5), 604-612.
- Morrison, T. (1977). *Human Physiology*. New York: Holt, Rinehart & Winston.
- Morrison, S., Nakamura, K. & Madden, C. (2008). Central control of thermogenesis in mammals. *Experimental Physiology*, 93 (7), 773-797.
- Olschewski, H. & Brück, K. (1988). Thermoregulatory, cardiovascular, and muscular factors related to exercise after precooling. *Journal of applied physiology*, 64 (2), 803-811.
- Quod, M., Martin, D. & Laursen, P. (2006). Cooling athletes before competition in the heat: comparison of techniques and practical considerations. *Sports Medicine (Auckland N.Z.)*, 36 (8), 773-797.
- Reilly, T., Drust, B. & Gregson, W. (2006). Thermoregulation in elite athletes. *Current opinion in clinical nutrition and metabolic care*, 9 (6), 666-671.
- Romanovsky, A. (2007). Thermoregulation: some concepts have changed. Functional architecture of the thermoregulatory system. *American journal of physiology, Regulatory, integrative and comparative physiology*, 292 (1), 37-46.
- Schmidt, V. & Brück, K. (1981). Effect of a precooling maneuver on body temperature and exercise performance. *Journal of applied physiology: respiratory, environmental and exercise physiology*, 50 (4), 772-778.
- Simon, E., Pierau, F. & Taylor, D. (1986). Central peripheral thermal control of effectors in homothermic temperature regulation
- Silva, J. (2006). Thermogenic mechanisms and their hormonal regulation. *Physiological reviews*, 86 (2), 435- 464
- Sleivert, G., Cotter, J., Roberts, W. & Febbraio, M. (2001). The influence of whole-body vs. torso precooling on physiological strain and performance of high-intensity exercise in the heat. *Comparative biochemistry and physiology. Part A, Molecular and integrative physiology*, 128 (4), 657-666.
- Stegmann, H., Kindermann, W. & Schnabel, A. (1981). Lactate kinetics and individual anaerobic threshold. *International journal of sports medicine*, 2 (3), 160-165.

Uckert, S. & Joch, W. (2007). Effects of warm-up and precooling on endurance performance in the heat. *British Journal of sports medicine*, 41 (6), 380-384.

Webster, J., Holland, E., Sleivert, G., Laing, R. & Niven, B. (2005). A light-weight cooling vest enhances performance of athletes in the heat. *Ergonomics*, 48 (7), 821-837.

Weineck, J. (2007). Optimales Training. Leistungsphysiologische Trainingslehre unter besonderer Berücksichtigung des Kinder- und Jugendtrainings (15. Aufl.). Balingen: Spitta.

Wendt, D., van Loon, L. & Lichtenbelt, W. (2007). Thermoregulation during exercise in the heat: strategies for maintaining health and performance. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 37 (8), 669-682.

Wilson, T., Johnson, S., Petajan, J., Davis, S., Gappmaier, E., Luetkemeier, M. & White, A. (2002). Thermal regulatory responses to submaximal cycling following lower-body cooling in humans. *European Journal of applied physiology*, 88 (1-2), 67-75.

9.2Abbildungsverzeichnis

- Abb. 01: Regelkreis der Temperaturregulation
- Abb. 02: Temperaturempfindliche Neuronen in Rückenmark und Haut
- Abb. 03: Temperaturfeld des Körpers
- Abb. 04: Durchschnittliche Temperaturentwicklung bei allgemeinem Warmlaufen auf dem Laufband
- Abb. 05: Schematische Darstellung der verschiedenen Formen von Ausdauerleistungsfähigkeit
- Abb. 06: Struktur des Adenosin-Tri-Phosphat
- Abb. 07: Energiebereitstellung in Abhängigkeit von der Belastungsdauer
- Abb. 08: Darstellung der Glykolyse
- Abb. 09: Darstellung des Cori-Zyklus
- Abb. 10: Übersicht der Acetyl-CoA Gewinnung aus Pyruvat
- Abb. 11: Schema der β – Oxidation
- Abb. 12: Direkter oder indirekter Umbau der Aminosäuren zu Acetyl-CoA
- Abb. 13: Schema des Zitratzyklus
- Abb. 14: β – Oxidation
- Abb. 15: Aufbau der Mitochondrien
- Abb. 16: Ionenverteilung im Mitochondrium
- Abb. 17: Atmungskette und oxidative Phosphorylierung
- Abb. 18: Darstellung der Bestimmungsmethode der aerob-anaeroben Schwelle bei einem Blutlaktwert von 4mmol/l
- Abb. 19: Laktatverhalten im Bereich der aeroben-anaeroben Schwelle bei stufenförmiger Laufbandbelastung von Sportlern aus verschiedenen Sportarten
- Abb. 20: Bestimmung der „individuellen anaeroben Schwelle“
- Abb. 21: Laktatkurven eines Probanden während mehrerer Versuche mit konstanter Belastung am Drehkurbelergometer
- Abb. 22: Laktat-Leistungs-Kurven eines Sportlers nach zweitägiger Trainingspause und nach Glykogenverarmung
- Abb. 23: Blutfluss durch das Herz
- Abb. 24: Ventilebenenmechanismus. Schematische Darstellung für das rechte Herz
- Abb. 25: Herzzyklus in zeitlicher Korrelation von Druck, Fluss, Ventrikel-Volumen, EKG und Herztönen
- Abb. 26: Grundlagen für das Zustandekommen des Aktionspotenzials einer Herzmuskelzelle des Arbeitsmyokards
- Abb. 27: Beziehung zwischen Ionenfluss und intrazellulären Aktionspotenzialen einer Herzmuskelzelle
- Abb. 28: Aktionspotenzial in den verschiedenen Herzabschnitten
- Abb. 29: Geschwindigkeit der Erregungsausbreitung

Abb. 30: Herzhypertrophie

Abb. 31: Australisches Ruderteam 1996 in Atlanta

Abb. 32: Der Concept 2 Modell D in der Seitansicht

Abb. 33: Der Concept 2 Modell D in zugeklappter Position

Abb. 34: PM3-Monitor des Concept 2 Modell D mit Balkendiagramm und Kraftkurve

Abb. 35: PM3-Monitor des Concept 2 Modell D mit Paceboat und Splits

Abb. 36: Haltegriff in der Nahansicht des Concept 2 Modell D

Abb. 37: Das Schwungrad des Concept 2 Modell D in der Nahansicht

Abb. 38: Polar S 610i

Abb. 39: Biosen 5030

Abb. 40: Biosen S-Line

Abb. 41: Braun Thermoscan IRT 4520

Abb. 42: Multimeter der Firma LUX Modell DT-21

Abb. 43: Heizstrahler der Firma Rowenta

Abb. 44: Heizstrahler der Firma De Longhi

Abb. 45: Digitales Thermometer Mebus Art.-Nr. 88098

Abb. 46: Kühlweste Arctic Heat

Abb. 47: Proband mit Arctic Heat Kühlweste Ansicht vorne

Abb. 48: Proband mit Arctic Heat Jacket Ansicht hinten

Abb. 49: Proband mit Arctic Heat Jacket Ansicht vorne

Abb. 50: Durchschnittlicher Herzfrequenz-Anstieg mit und ohne Precooling

Abb. 51: Anstieg der durchschnittlichen Körperkerntemperatur mit und ohne Precooling

Abb. 52: Durchschnittlicher Laktat-Anstieg mit und ohne Precooling

Abb. 53: Laktatverhalten in der Nachbelastung des Stufentests mit und ohne Precooling

Abb. 54: Laktatverhalten in der Nachbelastung des 2000m All-Out-Tests

Abb. 55: Anstieg der durchschnittlichen Körpertemperatur mit und ohne Weste

Abb. 56: Durchschnittlichen Laktat Anstieg mit und ohne Weste

Abb. 57: Durchschnittlicher Herzfrequenz Anstieg mit und ohne Weste

Abb. 58: Laktatverhalten in der Nachbelastung des Stufentests mit und ohne Kühlweste

Abb. 59: Laktatverhalten in der Nachbelastung des 2000m All-Out-Tests mit und ohne Kühlweste

9.3 Tabellenverzeichnis

- Tab. 01: Energiebilanz für ein Mol Glukose aerob und anaerob
- Tab. 02: Gütekoeffizienten sportmotorischer Tests
- Tab. 03: Veranschaulichung der anthropometrischen Daten der Probanden
- Tab. 04: Signifikanzgrenzen
- Tab. 05: Herzfrequenzwerte der Probanden ohne und mit Kühlweste während des Stufentests
- Tab. 06: Herzfrequenzwerte der Probanden ohne und mit Kühlweste während der Nachbelastung des Stufentests
- Tab. 07: T-Tests für abhängige Stichproben für die einzelnen Stufen der Messung
- Tab. 08: Körperkernemperturwerte der Probanden ohne und mit Kühlweste während des Stufentests
- Tab. 09: Körperkernemperturwerte der Probanden ohne und mit Kühlweste während der Nachbelastung des Stufentests
- Tab. 10: T-Test für abhängige Stichproben für Laktat im Stufentest bei jeder Stufe
- Tab. 11: Laktatwerte der Probanden ohne und mit Kühlweste während des Stufentests
- Tab. 12: Laktat Cooldown Stufentest
- Tab. 13: Puls Aufwärmen 2000m
- Tab. 14: Puls Cooldown 2000m
- Tab. 15: Puls Cooldown 2000m
- Tab. 16: Temperatur Aufwärmen 2000m
- Tab. 17: Temperatur Cooldown 2000m
- Tab. 18: T-Test bei gepaarten Stichproben für die Nachbelastung des 2000m All-Out-Test
- Tab. 19: Laktat Cooldown 2000m
- Tab. 20: Mittelwerte der Endzeiten des 2000m All-Out-Tests in Sekunden
- Tab. 21: T-Test bei gepaarten Stichproben für die Endzeit des 2000m All-Out-Tests
- Tab. 22: Endzeiten der 2000m All-Out-Tests
- Tab. 23: T-Tests für abhängige Stichproben für die einzelnen Stufen der Messung
- Tab. 24: T-Test für abhängige Stichproben für Laktat im Stufentest bei jeder Stufe
- Tab. 25: Mittelwerte 500m Durchschnittszeit in Sekunden
- Tab. 26: T-Test bei gepaarten Stichproben für die 500m Durchschnittszeit in Sekunden
- Tab. 27: Mittelwerte 2000m Endzeit in Sekunden
- Tab. 28: Durchschnittszeit bei 2000m
- Tab. 29: T-Test bei gepaarten Stichproben für die Nachbelastung des 2000m All-Out-Tests
- Tab. 30: Mittelwerte der gefahrenen Zeit im Stufentest mit und ohne Weste in Sekunden
- Tab. 31: T-Test bei gepaarten Stichproben für die Gesamtzeit im Stufentest in Sekunden

Anhang

Abstract

Der Fakt, dass hohe Luftfeuchtigkeit und eine hohe Umgebungstemperatur die physische und psychische Leistungsfähigkeit beeinflussen, ist generell anerkannt. Dies trifft vor allem auf Sportarten zu, die dem Langzeitausdauerbereich angehören, wo hohe Temperaturen eine deutliche Beeinträchtigung hervorrufen.

Ziel dieser Arbeit ist es, die Wirkung von Kälteapplikation mittels einer Kühlweste auf die Ausdauerleistungsfähigkeit bzw. die Wettkampfleistung im Rudern empirisch zu untersuchen. Die dahinter stehenden wissenschaftlichen Fragestellungen sind folgende:

Kommt es durch das 30 Minuten dauernde Applizieren von Kälte mittels Kühlweste vor einem Stufentest am Ruderergometer zu einer Verbesserung der Ausdauerleistungsfähigkeit?

Kommt es durch die 30 Minuten dauernde Applikation von Kälte mittels Kühlweste während des Aufwärmprozesses zu einer Verbesserung der Wettkampfleistung im 2000m All-Out-Test am Ruderergometer?

Die Testverfahren, die in dieser Arbeit zur Anwendung kamen, beinhalteten das Tragen einer Kühlweste während des standardisierten und 30 Minuten dauernden Aufwärmens zum 2000m All-Out-Test oder einer 30-minütigen Kälteapplikation (Precooling), ohne Aufwärmphase, vor Beginn des Stufentests. Nach den jeweiligen Tests wurde den Athleten ein 15 Minuten langes, standardisiertes Ausrudern (Cooldown) verordnet. Um die Wirkung der Methode zu verifizieren, wurden verschiedene physiologische Parameter erfasst und einer statistischen Auswertung unterzogen.

Es wurde mittels statistischer Auswertung der Untersuchungsergebnisse festgestellt, dass durch das Precooling teilweise signifikante Unterschiede bezüglich des Temperaturanstieges während des Stufentests zu verzeichnen waren. Die Entwicklung der Laktatkonzentration im Blut wies teilweise signifikante Unterschiede zugunsten des Stufentest mit Precooling auf. In Hinblick auf das Verhalten der Herzfrequenz wurden keine signifikanten Unterschiede im Stufentest festgestellt. Die 2000m Endzeiten wiesen im Mittel signifikante Unterschiede zugunsten des Wettkampftest mit Precooling auf. Weitere signifikante Unterschiede wurden beim Laktatkonzentrationsabbau während der Nachbelastung im Rahmen des 2000m All-Out-Test festgestellt. Abschließend ist festzuhalten, dass die Ausdauerleistung im Stufentest mit Precooling signifikant höher ausfiel, als beim Stufentest ohne Kälteapplikation.

Es ist zu hinterfragen, warum es zu einer eventuellen Leistungssteigerung aufgrund des Precooling kommt. Dies kann Folge der Vasokonstriktion der Haut sein oder auch die

psychologische Komponente, die im Sport immer eine Rolle spielt. Ferner wird auch angenommen, dass durch verschiedene Arten von Kälteapplikationen nicht das Halten einer gegebenen Geschwindigkeit oder Intensität begünstigt, sondern dass sich die Mobilisation der Reserven, die ein Athlet am Ende einer intensiven Belastung aktivieren kann oder muss, verzögert.

Es wird nach Auswerten der Ergebnisse die Meinung vertreten, dass Precooling sehr wohl Einfluss auf die Leistungsfähigkeit haben kann. Vor allem die signifikante Verbesserung der Wettkampfzeit unter standardisierten Bedingungen lässt auf eine hohe Relevanz für die Arbeit im Hochleistungssport schließen.

The fact that high humidity and a high surrounding temperature affects physical and psychological abilities is generally accepted (Maughan et al., 2007; Wendt et al., 2007). This is particularly true of endurance sports, where high temperatures constitute a clear impairment. (Quod et al., 2006).

The goal of this thesis is empirically to investigate how applying cold with a cooling vest affects stamina in general and the ability to compete in rowing in particular. The scientific questions behind the study are the following:

Does the thirty-minute application of cold using the cooling vest before a level test on the rowing machine lead to an improvement in stamina?

Does the thirty-minute application of cold using the cooling vest during the warm-up process lead to an improvement in competitive abilities in the 2000m All-Out-Test on the rowing machine?

The testing methods used for this thesis consist of wearing a cooling vest during the standardized, thirty-minute warm-up period for the 2000m All-Out-Test or a thirty-minute cold application (pre-cooling) without a warm-up phase before the level test. After the respective tests, the athletes were compelled to take a mandatory, standard fifteen-minute cool-down. In order to verify the effects of these methods, various physiological parameters were set and subjected to statistical analysis.

Through the statistical analysis of the results of the investigation it was determined that due to the pre-cooling, significant differences regarding an increase in temperature during the level test were sometimes observed. The development of the concentration of lactate in the blood sometimes showed significant differences favoring a level test with pre-cooling. With respect to the relationship with heart frequency, no significant differences were established. The end times for the 2000m on average demonstrated significant differences favoring competitions

with pre-cooling. Within the context of the 2000m All-Out-Test, additional, significant differences were demonstrated in the decomposition of the concentration of lactate during the cool-down. In conclusion, stamina in the level test with pre-cooling was significantly higher than level tests without cold application.

The reasons why pre-cooling could possibly lead to an increase in stamina must be examined. It may be due to the vasoconstriction of the skin or also to the psychological components that always play a roll in sports. Furthermore, it is also assumed that the various methods of cold application do not make it easier to maintain a specific speed, rather they delay the mobilization of the reserves that an athlete can or must activate at the end of an intense strain.

An analysis of the results produces the opinion that pre-cooling can definitely have an influence on stamina. In particular, the significant improvement in competition times under standard conditions suggests a higher relevance of the thesis in top-level sport.