

**Hochschule für angewandte Wissenschaften Hamburg
Fakultät Life Sciences**

**Ermittlung des Kalorienverbrauches mithilfe von
Atemgasmessungen bei unterschiedlich frequenten,
periodischen Körperbewegungen**

Bachelorarbeit

im Studiengang

Medizintechnik

vorgelegt von

Alexander Ehlert



Hamburg

am 28. Februar 2018

Erster Gutachter: Prof. Nicholas Bishop
Zweiter Gutachter: Stefan Schmücker

Die Abschlussarbeit wurde betreut und erstellt im Labor für Biomechanik sowie im Labor für Arbeit und Ergonomie der HAW Hamburg.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	ii
Tabellenverzeichnis	iii
Abkürzungsverzeichnis	iv
1 Einführung	1
2 Physiologische und technische Grundlagen	2
2.1 Muskulatur des unteren Bewegungsapparates	2
2.1.1 Hüftmuskulatur	2
2.1.2 Kniemuskulatur.....	2
2.1.3 Unterschenkelmuskulatur	3
2.2 Atmung	3
2.3 Energie in den Muskeln.....	3
2.4 Energieumsatz des Körpers.....	4
2.5 Funktion von Atemgasmessgeräten	4
2.5.1 Atemflussturbine.....	4
2.5.2 CO ₂ -Sensor	4
2.5.3 O ₂ -Sensor.....	5
3 Durchführung der Atemgasmessung	6
3.1 Versuchsaufbau.....	6
3.2 Durchführung.....	7
3.2.1 Versuchspersonsspezifische Vorbereitungen	7
3.2.2 Ruheumsatzmessung	8
3.2.3 Messung im Stehen	8
3.2.4 Messung im Sitzen	9
3.3 Nachbereitung	10
4 Messdaten	11
4.1 Versuchspersonendaten	11
4.2 Ruheumsatzmessung.....	11
4.3 Stehende Messung	12
4.4 Sitzende Messung.....	14
5 Auswertung der Messdaten	16
5.1 Interpretation der Messdaten	16
6 Zusammenfassung	18
Literaturverzeichnis	19
Erklärungen	20
A. Anhang	21
A.1 Versuchsablauf.....	21
A.2 Versuchsprotokolle	22
A.3 Technische Spezifikationen MetaMax® 3B	24

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3-1: Position der Versuchsperson bei der stehenden Messung	6
Abbildung 3-2: Atemmaske mit Volumenstrom- und Gassensor.....	8
Abbildung 3-3: Schwingbewegung der Versuchsperson im Stehen.....	9
Abbildung 4-1: Darstellung der stehenden Messung von Versuchsperson 1	13
Abbildung 4-2: Darstellung der stehenden Messung von Versuchsperson 2	13
Abbildung 4-3: Darstellung der sitzenden Messung von Versuchsperson 1	15
Abbildung 4-4: Darstellung der sitzenden Messung von Versuchsperson 2	15

Tabellenverzeichnis

Tabelle 4-1: körperliche Eigenschaften der Versuchspersonen.....	11
Tabelle 4-2: Ergebnisse zur Ruheumsatzmessung von Versuchsperson 1	12
Tabelle 4-3: Ergebnisse der Ruheumsatzmessung von Versuchsperson 2	12
Tabelle 4-4: Ergebnisse zur stehenden Messung von Versuchsperson 1.....	12
Tabelle 4-5: Ergebnisse der stehenden Messung von Versuchsperson 2	12
Tabelle 4-6: Ergebnisse zur sitzenden Messung von Versuchsperson 1	14
Tabelle 4-7: Ergebnisse der sitzenden Messung von Versuchsperson 2.....	14

Abkürzungsverzeichnis

M.	Muskulus
Vol.-%	Volumenprozent
ATP	Adenosintriphospat
VP	Versuchsperson
BMI	Body Mass Index

1 Einführung

Der menschliche Körper hat über Jahrtausende gelernt sich zu adaptieren und unter den widrigsten Bedingungen zu überleben. Menschen sind durch den zweibeinigen Gang zu außergewöhnlichen Ausdauerläufen im Stande und damit einer Vielzahl von anderen Lebewesen überlegen. Wir können tagelang ohne Nahrung überleben und ertragen extreme Temperaturen. Und vieles davon ist in einem hervorragenden Energiemanagement des Körpers begründet.

Wir haben gelernt unsere Nahrung effizient zu nutzen und so viele Kalorien wie möglich zu verwerten, während wir unsere Bewegungen so sparsam wie möglich gestalten. Hierzu gibt es bereits einige Untersuchungen von der Entwicklung unseres zweibeinigen Ganges aus den Primaten, über den Crossover-Punkt zwischen Gehen und Laufen hin zu den optimalen Schrittfrequenzen bei Ausdauerläufen. (Vgl. [1–4])

Doch wie weit sind unsere Bewegungen optimiert? Sind es nur die großen Bewegungsabläufe wie Rennen oder beginnt es bereits bei einem einfachen Beinschwingen oder gar nur ein Unterschenkelschwingen? Wenn der Körper bereits kleinste Bewegungen energetisch optimiert, wäre es wichtig bei zum Beispiel Prothesen darauf zu achten, die gegebenen Längen- und Gewichtsverteilungen im Bein nicht zu verändern, da jedes Ungleichgewicht den Körper zusätzlich belastet. Es wäre auch denkbar den gegenteiligen Effekt zu nutzen und sich absichtlich energetisch ungünstig zu bewegen, damit man einen höheren Kalorienverbrauch hat und dadurch abnehmen kann.

Doch dafür wäre es nützlich zu wissen, wie stark diese Unterschiede bei kleinen Bewegungen sind und ob es diese Unterschiede dort tatsächlich gibt.

Und darum drehen sich die Kernfragen dieser Arbeit:

Wählt der Körper eine energetisch optimierte Bewegungsform bei kleinen Bewegungen, kann man diese messen und wie stark wird die Energiebilanz davon beeinflusst?

2 Physiologische und technische Grundlagen

2.1 Muskulatur des unteren Bewegungsapparates

Im Folgenden werden die für das Verständnis dieser Arbeit nötigen Grundkenntnisse über die Muskeln und Gelenke des Beines vermittelt. Sinnvoll kann man die Muskulatur in Hüft-, Knie und Unterschenkelmuskulatur einteilen.

2.1.1 Hüftmuskulatur

Im groben kann man die Hüftmuskulatur in drei Untergruppen einteilen.

Die größte Gruppe der Hüftmuskulatur bilden die Gesäßmuskeln. Diese bestehen aus dem großen, mittleren und kleinen Gesäßmuskel (Musculus Glutaeus Maximus, Medius und Minimus). Sie sind nötig für die Laufbewegung. Der Große Gesäßmuskel sorgt unter anderem für das Abdrücken beim Bergauflaufen oder Treppensteigen. Der Mittlere und der kleine Gesäßmuskel stabilisieren hierbei das Hüftgelenk und verhindern dadurch ein zur Seite kippen des Oberkörpers. (vgl. [5] S.27)

Die nächste Gruppe der Hüftmuskulatur bilden die Schenkelanzieher, auch Adduktoren genannt. Dies ist eine Sammlung von Muskeln die am Schambein des Beckens ansetzen und dafür sorgen, das Bein nach innen zu führen. Sie werden bei Vorwärtsbewegungen aktiv und unterstützen die gerade Führung des Beines. (vgl. [5] S.28f)

Als dritte Gruppe gibt es die Hüftbeugermuskulatur. Sie besteht aus lediglich zwei Muskeln, dem großen Lendenmuskel (Musculus Psoas Major) und dem Darmbeinmuskel (Musculus Iliacus). Sie sind beide zusammen für das Anziehen des Beines zum Oberkörper hin zuständig. (vgl. [5] S.30f)

2.1.2 Kniemuskulatur

Die Muskulatur des Knies wird in Strecker und Beuger unterteilt.

Der größte Muskel der Strecker ist der gerade Oberschenkelmuskel (Musculus Rectus Femoris). Er entspringt am Becken und setzt an der Kniescheibe an. Hier kann er über Sehnen den Unterschenkel beugen.

Unterstützt wird er hierbei von den drei Vastusmuskeln (Musculus Vastus Lateralis, Intermedius und Medialis), welche ebenfalls an der Kniescheibe ansetzen. (vgl. [5] S.35)

Die drei Beuger der Kniemuskulatur nennt man ischiokrurale Muskulatur. Sie alle sorgen für die Beugung des Knies, so dass der Unterschenkel Richtung Gesäß geführt wird. Der zweiköpfige Schenkelmuskel (Musculus Biceps Femoris) kann zusätzlich für eine Drehung des Unterschenkels nach außen sorgen, der Halbsehnenmuskel (Musculus Semitendinosus) und der Plattsehnenmuskel (Musculus Semimembranosus) können beide eine Drehung nach innen verursachen. (vgl. [5] S.38)

2.1.3 Unterschenkelmuskulatur

Der wichtigste Muskel in der Unterschenkelmuskulatur ist der Wadenmuskel (Musculus Triceps Surae), welcher wiederum aus dem Zwillingswadenmuskel (Musculus Gastrocnemius) und dem Schollenmuskel (Musculus Soleus) besteht. Sie sorgen wie die ischiokrurale Muskulatur für eine Beugung des Unterschenkels. (vgl. [5] S.41)

2.2 Atmung

Während des Atemvorganges wird zunächst die sauerstoffreiche Umgebungsluft eingeatmet, anschließend wird der Sauerstoff in der Lunge aufgenommen, Kohlendioxid abgegeben und das Kohlendioxid haltige Luftgemisch wieder ausgeatmet.

Die Umgebungsluft ist ein Gasgemisch aus verschiedenen Elementen und etwa folgendermaßen zusammengesetzt: 78,1 Vol.-% Stickstoff (N₂), 20,9 Vol.-% Sauerstoff (O₂), 0,03Vol.-% Kohlendioxid und Kleinstanteile anderer Gase. Jedes dieser Gase hat einen sogenannten Partialdruck. Der allgemeine Luftdruck setzt sich aus den einzelnen Partialdrücken der Gase zusammen. Dieser Partialdruck hängt stets mit dem Volumenanteil des Gases zusammen. (vgl. [6] S.107)

Um eine möglichst große Oberfläche für den Gasaustausch in der Lunge zu erzeugen verzweigt sich die Lunge im Inneren in immer kleinere Gefäße, ähnlich einer Baumkrone. Die kleinsten und für die Atmung wichtigsten heißen Alveolen. Sie sind dünnwandige Bläschen am Ende der Verzweigungen mit einem Durchmesser von etwa 0,3 mm. Durch diese Verzweigung bringt es das Innere der Lunge auf eine Oberfläche von etwa 100 m². (vgl. [7] S.112)

Im Inneren der Lunge ist der Sauerstoffanteil der eingeatmeten Luft höher als der Sauerstoffanteil im Blut. Das bedeutet auch, dass der Partialdruck des Sauerstoffes in der eingeatmeten Luft höher ist. Gase streben stets einen Druckausgleich an, wodurch Sauerstoff durch die Wand der Alveolen in das Blut diffundiert, um diesen Ausgleich zu erreichen. In der entgegengesetzten Richtung findet dieser Vorgang mit dem Kohlendioxid statt. (vgl. [6] S.109)

Die ausgeatmete Luft ist demnach sauerstoffärmer und kohlendioxidreicher als die eingeatmete Luft.

2.3 Energie in den Muskeln

Die für die Bewegung der Muskeln notwendige Energie erhalten diese aus Adenosintriphosphat (ATP). Dieses entsteht, bei der Verwertung der Nahrung im Körper. Dabei werden den aufgenommenen Kohlenhydraten, welche aus Wasserstoff (H₂) und elektronenreichem Kohlenstoff (C) aufgebaut sind, mithilfe des positiv geladenen Sauerstoffes (O₂) aus dem Blut, ihre Elektronen entzogen. Durch diesen chemischen Prozess bildet sich Wasser (H₂O) und Kohlendioxid (CO₂). Die dabei freiwerdende Energie wird an das ATP gekoppelt. (vgl. [7] S.43)

2.4 Energieumsatz des Körpers

In diesem Bereich gibt es einige ähnliche Begriffe deren Unterscheidung jedoch äußerst wichtig ist.

Der Grundumsatz ist die grundlegende Energie die der Körper für die Lebenserhaltenden Vorgänge braucht. Er wird gemessen, indem Probanden zwölf Stunden keine Nahrung zu sich nehmen und vor Beginn der Messung zwei Stunden lang in Ruhe verbringen.

Der Ruheumsatz ist in der Regel etwa zehn Prozent höher als der Grundumsatz. Hier werden realere Ruhebedingungen abgebildet. Der Proband darf lediglich direkt vor der Messung keiner körperlichen Anstrengung unterlegen haben und etwa drei bis vier Stunden vor der Messung keine Nahrung zu sich genommen haben.

Oft benutzt wird auch der Begriff Ruhephase, welcher allerdings keine genaue Definition besitzt. Er bezeichnet lediglich die Zeiträume zwischen den Belastungstests in welchen sich die Versuchsperson zwar noch in dem Versuchsaufbau befindet, jedoch keine körperlichen Betätigung vollführen muss und sich entspannen kann. (vgl. [8] S.343)

2.5 Funktion von Atemgasmessgeräten

Das grundlegende Funktionsprinzip einer Spiroergometrie ist, über verschiedene Sensoren den Atemfluss, sowie den Sauerstoff- und Kohlendioxidanteil der Atemluft zu messen. Hierüber kann der Volumenstrom der einzelnen Gase berechnet werden. Die direkt gemessenen Werten heißen originäre Werte, die errechneten heißen abgeleitete Werte. (vgl. [8] S.27)

2.5.1 Atemflussturbine

Eine gängige Messmethode für den Atemfluss ist die Messung durch eine Turbine. Hierbei sitzt ein Flügelrad in einem Gehäuse, welches auf die Atemmaske der Versuchsperson gesteckt wird. Durch die Atmung des Probanden wird dieses Flügelrad in Rotation versetzt. In dem Gehäuse verbaute Lichtschranken messen zum einen die Geschwindigkeit der Rotation und zum anderen die Richtung derselben. Hieraus wird das Volumen des registrierten Atemzuges bestimmt. Wenn nun das gemessene Atemvolumen gegen die Zeit aufgetragen wird, erhält man den Atemfluss in Litern pro Minute. (vgl. [8] S.30)

2.5.2 CO₂-Sensor

Die CO₂-Messung im Atemfluss findet über einen Infrarotsensor statt. Kohlendioxid absorbiert infrarotes Licht. Es wird ein pulsierender Infrarotlichtstrahl in einer Gasküvette produziert und das Atemgas eingeleitet. Anhand des schwächer werdenden Strahles, kann man bestimmen wie viel Licht absorbiert wurde und daraus auf den Kohlendioxidanteil in der Luft schließen. (vgl. [8] S.28)

2.5.3 O₂-Sensor

Der Sauerstoff ist gut über eine galvanische Zelle zu messen. Dabei wird er durch eine Membran gefiltert und trifft auf die negativ geladene Seite der Zelle, die Kathode. Hier nimmt der Sauerstoff Elektronen auf während er an der Kathode vorbeiströmt. Diese fehlenden Elektronen fließen von der anderen Seite der Zelle, der Anode, hinüber um das Ungleichgewicht auszugleichen. Diesen Fluss kann man als Strom messen und somit aus der Stärke des Stromes auf den Anteil des Sauerstoffes in der Luft schließen. Das Funktionsprinzip ähnelt also stark dem einer Batterie. (vgl. [8] S.29)

3 Durchführung der Atemgasmessung

3.1 Versuchsaufbau

Für die Durchführung der Energieumsatzmessungen wird ein MetaMax® 3B Spiroergometer benutzt. Es ist ein portables Messgerät der Firma Cortex Biophysik GmbH. Für die spezifischen Gerätedaten sowie eine Montageanleitung für die Erstinbetriebnahme ist das Handbuch im Anhang zu finden.

Zu Beginn eines Versuchstages muss das MetaMax® 3B eingeschaltet werden und etwa 30 min aufwärmen. Anschließend wird der Volumenstromsensor über eine Pumpe kalibriert und über die Gassensoren müssen die aktuellen Umgebungsbedingungen gemessen werden. (vgl. [9] S.33ff, [10] S.32ff)

Für die Versuchsperson wird ein Podest bereitgestellt. Dieses besteht aus Zwei Teilen. Auf jeweils einem davon wird ein Bein der Versuchsperson platziert. Damit während der Messung eine ungestörte Schwingung mit dem schwachen Bein ausgeführt werden kann, wird zu diesen Zeitpunkten die rechte Hälfte des Podestes entfernt. Wenn dies nicht der Fall wäre, müsste die Versuchsperson sich mit ihrem Körper zur Seite lehnen, um das schwingende Bein anzuheben und würde dadurch zusätzliche Energie in der Rumpfmuskulatur verbrauchen.

Vor der Position des Probanden wird eine Haltevorrichtung aufgebaut. Hier kann man sich während des Stehens auf einem Bein abstützen. Diese Position wird auch in der Ruhemessung des Standes eingenommen.



Abbildung 3-1: Position der Versuchsperson bei der stehenden Messung

In der Nähe der Versuchsperson wird ein Smartphone mit einer Metronom-App vorbereitet. Für den Versuch ausgewählt wurde die App „Metronom Beats“ der Firma Stonekick. Eine Besonderheit dieser App ist, dass durch tippen des Displays eine Frequenz ermittelt werden kann.

3.2 Durchführung

Wenn der Versuchsaufbau vorbereitet ist müssen zunächst für jede Versuchsperson spezifische Werte ermittelt werden, bevor dann drei verschiedene Messungen durchgeführt werden können.

3.2.1 Versuchspersonsspezifische Vorbereitungen

Vor dem Versuchsbeginn müssen die der Versuchsperson eigenen Werte ermittelt werden. Die Person wird gewogen, außerdem werden Körpergröße, Alter, Geschlecht, Länge des Beines zum Hüftgelenk, Länge des Unterschenkels zum Kniegelenk, Umfang des Oberschenkels und der Umfang des Unterschenkels gemessen. Diese Daten werden im Bogen „Versuchsdurchführung“ eingetragen. Zur besseren Nachvollziehbarkeit sind die Bögen im Anhang der Arbeit hinterlegt.

Nachdem die Daten der Versuchsperson aufgenommen wurden, wird Sie gebeten sich auf die Versuchsposition zu begeben und mit ihrem schwachen Bein eine gleichmäßige Schwingung mit selbstgewählter Frequenz und Auslenkung durchzuführen. Das schwache Bein wird ermittelt, indem die Person sich aus dem normalen Stand nach vorne kippen lassen soll. Aus Reflex wird sie ein Bein nach vorne ziehen um einen Sturz zu vermeiden. Dies ist das dominante Bein.

Die Frequenz der Schwingung wird zum einen über tippen mithilfe der Metronom-App gemessen und zum anderen werden gleichzeitig die Schwingungen in einer Minute gezählt. Das Metronom wird dann auf den Mittelwert der beiden Messungen eingestellt und der Versuchsperson vorgespielt. Empfindet sie dieses Tempo als angenehm wird die ermittelte Frequenz notiert.

Zusätzlich wird die Frequenz um fünfzehn Prozent erhöht und verringert notiert.

Währenddessen wird die Auslenkung des Beines der Versuchsperson über Markierungen am Boden festgehalten und gemessen. Hierbei wurden absichtlich optische Markierungen am Boden gewählt und keine räumliche Begrenzung, um die Schwingung des Beines während des Messung nicht zu stören.

Ebenso wird die Frequenz der Schwingung im Sitzen gemessen und die Auslenkung markiert und notiert.

Sind alle notwendigen Werte ermittelt und Kalibrierungen abgeschlossen, wird der Versuchsperson eine Atemmaske angelegt. Auf diese wird der Volumenstromsensor aufgesteckt. An diesen wird abschließend noch die Zuleitung zum Gassensor angeschlossen, wie auf der folgenden Abbildung gut zu sehen ist.



Abbildung 3-2: Atemmaske mit Volumenstrom- und Gassensor

3.2.2 Ruheumsatzmessung

Zu Beginn des Versuchstages wird zunächst der Ruheumsatz der Versuchsperson gemessen. Hierzu legt sie sich auf eine Liege und es wird über 30 Minuten der Energieverbrauch des Körpers gemessen. Es sollte drauf geachtet werden, dass ruhige Bedingungen herrschen und Störquellen, die die Versuchsperson erschrecken oder ablenken könnten weitestgehend vermieden werden. Auf diese Weise kann man zur Ruhe kommen, der Puls wird gesenkt und der Energieverbrauch im Körper wird auf das notwendigste beschränkt. Es sollte außerdem darauf geachtet werden, dass die Versuchsperson innerhalb der letzten drei bis vier Stunden keine Nahrung zu sich genommen hat. Aus den gemessenen Kalorienverbrauchswerten kann der durchschnittliche Energieumsatz in Ruhe bestimmt werden.

3.2.3 Messung im Stehen

Die Bewegungsmessungen wechseln Phasen von Bewegung und Ruhe ab. Die Phasen der Bewegung finden jeweils bei einer anderen Frequenz statt. Die Reihenfolge dieser Frequenzen wird zwischen den Versuchstagen zusätzlich variiert.

Die Versuchsperson wird zunächst gebeten ruhig auf dem Podest zu stehen und sich dabei festzuhalten. So kann sie sich an die Position gewöhnen und zur Ruhe kommen. Nach sieben Minuten wird das Metronom eingeschaltet, eine Seite des Podestes entfernt und die Versuchsperson wird gebeten zum Takt des Metronoms zwischen den Auslenkungsmarkierungen zu Schwingen. In Abbildung 3-3 ist die Bewegung noch einmal grafisch dargestellt. Dies wird über ein Zeitintervall von fünf Minuten getan. Nach dieser Phase wird das Podest wieder aufgestellt, das Metronom abgeschaltet und die Versuchsperson soll erneut stehen.

Diese Phasen des Stehens werden durchgeführt, um sicher zu gehen, dass keine zunehmende Anstrengung aus anderen Muskelgruppen während des Versuches auftritt. Wenn die Versuchsperson im Laufe der Steh-Phasen immer wieder den gleichen Energieumsatz erreicht, kann man davon ausgehen, äußere Belastungen aus der Schwingbewegung ausgeschlossen zu haben.

Es folgen zwei weitere Bewegungsphasen abwechselnd mit Ruhephasen, wovon jede fünf Minuten dauert. Bei Probeläufen hat sich gezeigt, dass das Stehen auf einem Bein nach fünf Minuten zu anstrengend wird und die Versuchsdaten verfälscht.

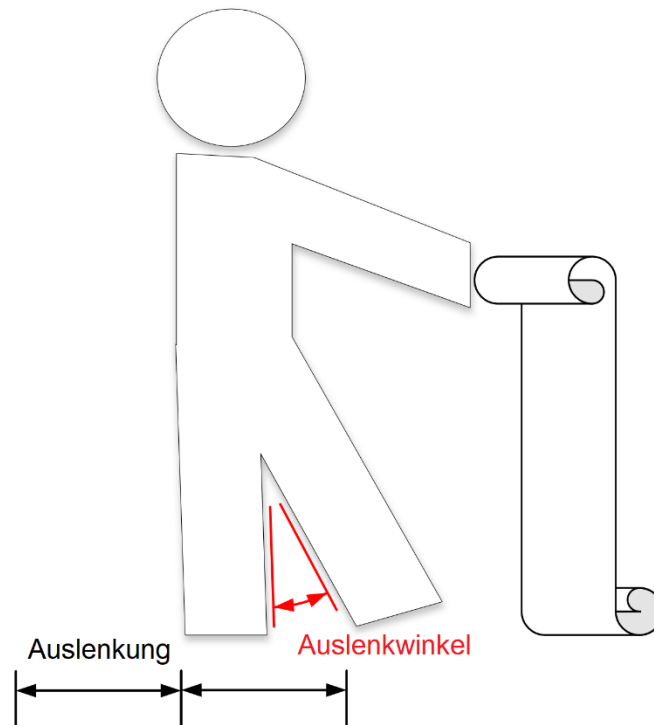


Abbildung 3-3: Schwingbewegung der Versuchsperson im Stehen

3.2.4 Messung im Sitzen

Der Versuchsablauf im Sitzen ist ähnlich des im Stehen. Die Versuchsperson wird auf die Kante einer Liege gesetzt, sodass sie frei mit den Beinen schwingen kann.

Um eine Referenz für den Energieverbrauch in dieser Position zu finden, sitzt die Versuchsperson zunächst zehn Minuten ruhig. Im Vergleich zum Stehen, können die Bewegungsintervalle hier verlängert werden, da die Ausgangsposition deutlich weniger Belastung für die Versuchsperson bedeutet. Es sollte darauf geachtet werden, dass die Person sich kaum bewegt. Aufgrund der feinen Messung kann schon ein einfaches Aufrichten die Messungen beeinflussen.

Auch bei dieser Messung werden die Bewegungsphasen mit Ruhephasen abgewechselt, um den Probanden zwischen den wichtigen Messungen wieder auf das Ausgangsniveau zu bringen.

Sowohl Ruhe- als auch Bewegungsphasen sind sieben Minuten lang. Wie bei den stehenden Messungen wird die Reihenfolge der Bewegungsphasen variiert, sodass nach drei Versuchstagen jede der verschiedenen Schwingfrequenzen zu jedem Untersuchungszeitpunkt gemessen wurde.

Nach den drei Frequenzvariationen bei voller Auslenkung des Beines wird jeweils eine Messung der Bewegung in Eigenfrequenz durchgeführt, bei der die selbst gewählte Auslenkung der Versuchsperson halbiert wird. Hierüber soll ermittelt werden, ob der Energieverbrauch auch von der Auslenkung abhängt.

3.3 Nachbereitung

Nachdem alle Untersuchungen durchgeführt wurden, müssen die Daten gesichert werden. Die Auswertungssoftware MetaMax Studio ermöglicht hierfür ein Exportieren der Versuchsdaten als Excel Datei.

Wenn die Daten gesichert wurden, muss die Atemmaske desinfiziert werden und die restlichen Versuchsaufbauten wieder abgebaut.

4 Messdaten

Die Rohdaten werden nach Versuchspersonen getrennt und anschließend den jeweiligen Untersuchungen zugeordnet und dementsprechend aufbereitet. Auf diese Weise können die Untersuchungsergebnisse direkt an den Ergebnissen abgelesen werden.

Zu jeder Messung wird der Mittelwert sowie die Standardabweichung über den Energieverbrauch gebildet. Aus diesen Werten kann dann wiederum der Mittelwert und die gemittelte Standardabweichung über alle Versuchstage gebildet und im Folgenden dargestellt werden.

4.1 Versuchspersonendaten

Zu Beginn werden einige Daten zu der körperlichen Beschaffenheit der einzelnen Versuchspersonen aufgenommen.

Tabelle 4-1: körperliche Eigenschaften der Versuchspersonen

	<u>Versuchsperson 1</u>	<u>Versuchsperson 2</u>
Geschlecht	männlich	männlich
Geburtsdatum	1990	1990
Größe	183 cm	179 cm
Gewicht	118,2 kg	85 kg
BMI	35	27
Geschätzter Fitnesszustand	normal	trainiert

4.2 Ruheumsatzmessung

Die Ruheumsatzmessung stellt eine Referenzmessung dar, um zu beurteilen inwiefern der Umsatz durch die Bewegung beeinflusst wurde.

Es werden bei allen Messungen die Werte der jeweils ersten einhundert Sekunden verworfen, da die Versuchspersonen in diesem Zeitraum noch keinen repräsentativen Zustand erreicht haben. Die Daten in denen dieser Zeitraum mitinbegriffen ist befinden sich zum Vergleich im Anhang.

Es gibt verschiedene Formeln zur Berechnung des Grundumsatzes. Er dient als Orientierung für den Ruheumsatz. Eine der bekanntesten ist die Berechnung nach der Harris-Benedict-Formel. Sie unterscheidet zwischen Männern und Frauen und erstellt Erwartungswerte auf Basis der körperlichen Beschaffenheit.

Für Männer:

$$\text{Grundumsatz [kcal/d]} = 66,47 + (13,7 * \text{Körpergewicht [kg]}) + (5 * \text{Körpergröße [cm]}) - (6,8 * \text{Alter [Jahre]})$$

Für Frauen:

$$\text{Grundumsatz [kcal/d]} = 65,51 + (9,6 * \text{Körpergewicht [kg]}) + (1,8 * \text{Körpergröße [cm]}) - (4,7 * \text{Alter [Jahre]})$$

(vgl. [11])

Mithilfe der Harris-Benedict-Formel wird der Grundumsatz berechnet und zum Vergleich mit den Messwerten dargestellt.

Tabelle 4-2: Ergebnisse zur Ruheumsatzmessung von Versuchsperson 1

	durchschn. Verbrauch [kcal/d]	Standardabweichung [kcal/d]	Erwarteter Grundumsatz [kcal/d]
Ruheumsatz	2538,836	336,322	2417,21

Tabelle 4-3: Ergebnisse der Ruheumsatzmessung von Versuchsperson 2

	durchschn. Verbrauch [kcal/d]	Standardabweichung [kcal/d]	Erwarteter Grundumsatz [kcal/d]
Ruheumsatz	2020,366	198,056	1942,37

4.3 Stehende Messung

Bei dieser Messreihe wird zunächst für jede Ruhephase einzeln ein Mittelwert bestimmt sowie die Standardabweichung in diesem Intervall. Die ersten zwei Minuten jeder Ruhephase werden jeweils nicht beachtet, da die Versuchspersonen erneut noch keinen repräsentativen Zustand erreicht haben

Für jede der Bewegungsphasen wird analog verfahren. Hier werden keine Daten verworfen.

Abschließend wird über alle Versuchstage gemittelt, sodass für jede Bewegungsphase und die Ruhephasen Durchschnittsdaten vorliegen. Diese stellen sich folgendermaßen dar:

Tabelle 4-4: Ergebnisse zur stehenden Messung von Versuchsperson 1

	gewählte Frequenz [min ⁻¹]	durchschn. Verbrauch [kcal/d]	Standardabweichung [kcal/d]
Ruhephasenumsatz	-	2888,365	208,136
Eigenfrequenz	45	4372,422	461,322
schnelle Frequenz	52	5478,569	768,460
langsame Frequenz	38	4851,133	545,105

Tabelle 4-5: Ergebnisse der stehenden Messung von Versuchsperson 2

	gewählte Frequenz [min ⁻¹]	durchschn. Verbrauch [kcal/d]	Standardabweichung [kcal/d]
Ruhephasenumsatz	-	2247,349	279,590
Eigenfrequenz	40	3041,910	328,280
schnelle Frequenz	46	3125,222	432,869
langsame Frequenz	34	3294,665	477,236

Zur besseren Veranschaulichung werden Grafiken erstellt, die den durchschnittlichen Kalorienverbrauch für die jeweilige Frequenz darstellen. Die Standardabweichung ist als Fehlerbalken im Diagramm hinterlegt.

Es ist zusätzlich eine polynomische Trendkurve vom Grad zwei über die Messwerte gelegt, um den erwarteten Verlauf zu visualisieren.

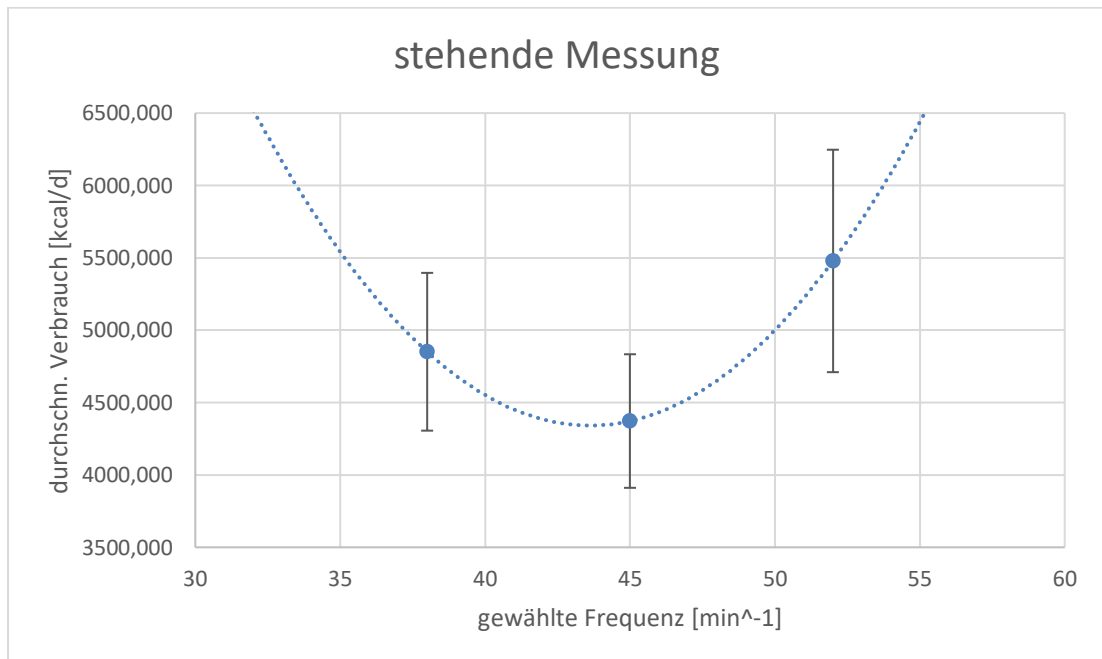


Abbildung 4-1: Darstellung der stehenden Messung von Versuchsperson 1

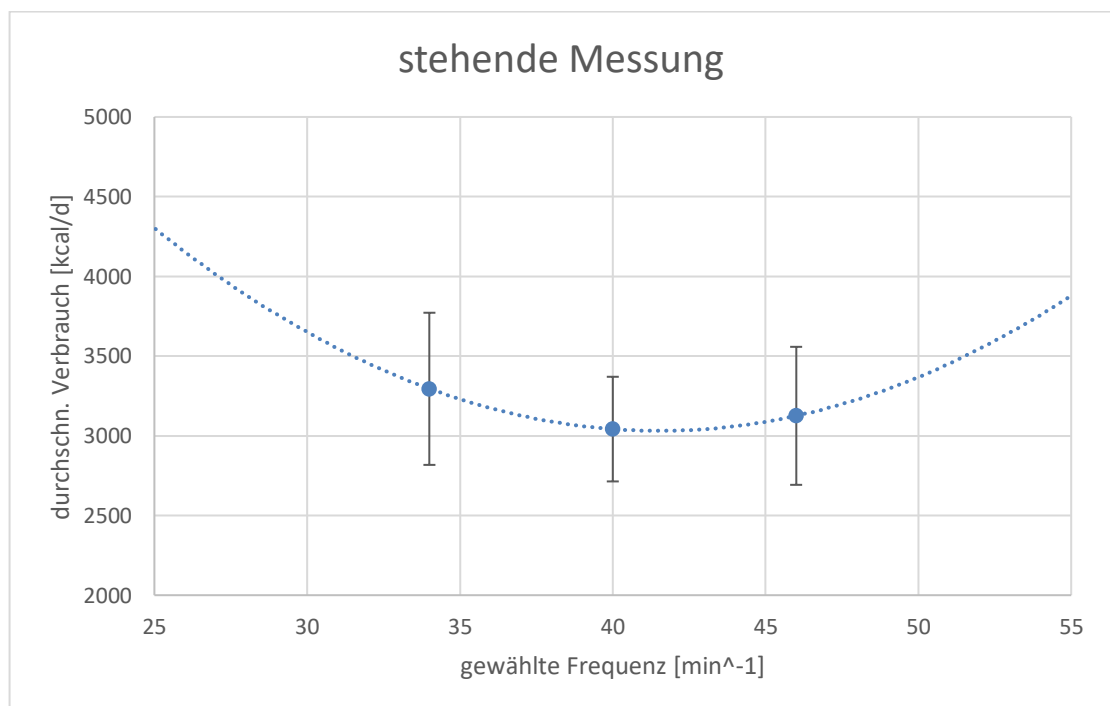


Abbildung 4-2: Darstellung der stehenden Messung von Versuchsperson 2

4.4 Sitzende Messung

Die Auswertung der Messwerte aus der sitzenden Messung erfolgt identisch zu der Auswertung der stehenden Messung.

Zusätzlich wird hier jedoch die Untersuchung zu der Schwingung mit der halben selbstgewählten Auslenkung aufgeführt.

Tabelle 4-6: Ergebnisse zur sitzenden Messung von Versuchsperson 1

	gewählte Frequenz [min ⁻¹]	durchschn. Verbrauch [kcal/d]	Standardabweichung [kcal/d]
Ruheumsatz	-	2557,113	162,189
Eigenfrequenz	55	2979,550	188,962
schnelle Frequenz	63	3376,899	260,782
langsame Frequenz	47	3142,347	255,579
halbe Auslenkung	55	2733,590	192,690

Tabelle 4-7: Ergebnisse der sitzenden Messung von Versuchsperson 2

	gewählte Frequenz [min ⁻¹]	durchschn. Verbrauch [kcal/d]	Standardabweichung [kcal/d]
Ruheumsatz	-	2274,763	209,796
Eigenfrequenz	59	2360,533	140,448
schnelle Frequenz	68	2442,677	199,624
langsame Frequenz	50	2492,431	225,620
halbe Auslenkung	59	2325,629	161,327

Ähnlich wie bei der stehenden Messung werden Grafiken erzeugt um den Verlauf des Kalorienverbrauches über die Schwingfrequenz darzustellen. Die Werte sind größtenteils niedriger als beim Stand, deswegen wurden andere Achsenauflösungen genutzt.

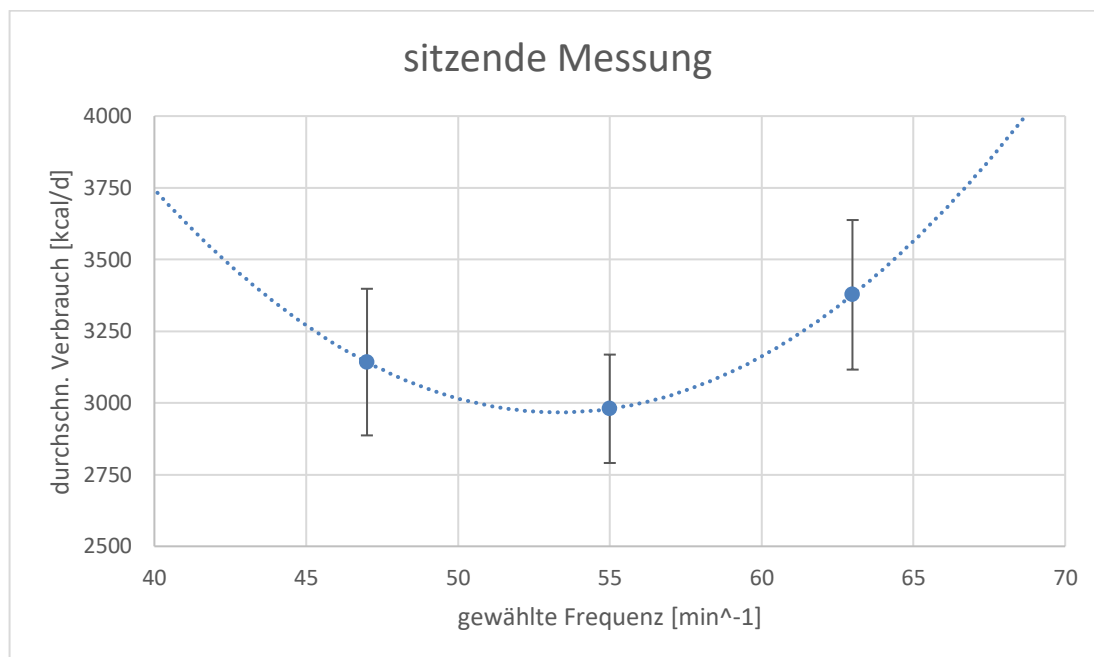


Abbildung 4-3: Darstellung der sitzenden Messung von Versuchsperson 1

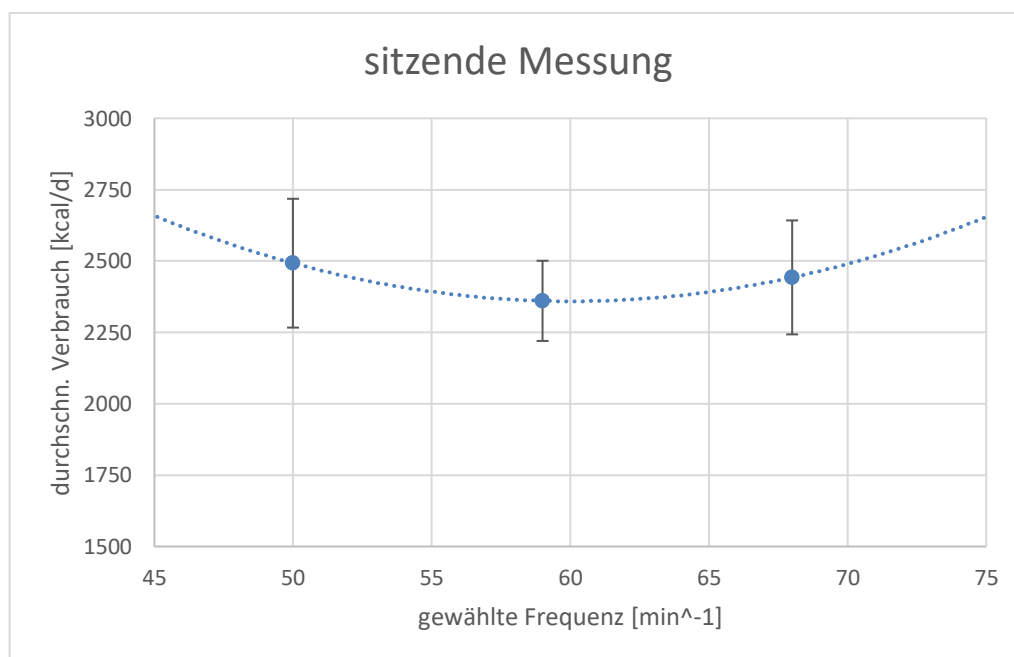


Abbildung 4-4: Darstellung der sitzenden Messung von Versuchsperson 2

Sämtliche Daten, die nicht auf diesen Seiten aufgeführt und veranschaulicht wurden befinden sich im Anhang dieser Arbeit.

5 Auswertung der Messdaten

5.1 Interpretation der Messdaten

Wie in der Einführung gesagt, war das Ziel dieser Arbeit unter anderem zu zeigen, dass schon kleine Bewegungen vom Körper selbst auf die energetisch günstigste Weise ausgeführt werden.

Ein Blick auf die Grafiken und Tabellen würde diese These zunächst unterstützen. Man sieht deutlich, dass bei jeder untersuchten Bewegungsform die von der Versuchsperson selbst gewählte Art und Weise die geringste Anstrengung bedeutete.

Der Ruheumsatz lag jeweils nur etwa vier bis fünf Prozent über dem zuvor berechneten Wert für den Grundumsatz. Die Messung war also ausreichend genau und kann gut verwendet werden. Durch den langen Messzeitraum konnten auch Störungen und unregelmäßiges Atmen durch einschlafen, größtenteils neutralisiert werden.

Die Ruheumsatzmessung bestätigt, dass das Gerät und die Versuchspersonen grundsätzlich für die Untersuchung geeignet sind.

Bei der stehenden Messung sind beide Probanden in den Ruhephasen der Messungen immer wieder auf ähnliche Niveaus herabgesunken. Ein abdriften der Werte durch die Anstrengung des ruhigen Stehens, tritt vereinzelt auf, aber über alle Werte hinweg, ist die Standardabweichung mit weniger als zehn Prozent Schwankung vergleichsweise gering. Es ist also davon auszugehen, dass jede Bewegungsphase in einem ähnlichen körperlichen Zustand begonnen wurde und sie somit untereinander vergleichbar sind.

Durch das abwechseln der Frequenzen zwischen den Versuchstagen wird auf eine zusätzliche Vergleichbarkeit geachtet. Dadurch kann beispielsweise der Wert für die beschleunigte Schwingung nicht dadurch verfälscht werden, dass er stets am Ende der Messreihe aufgenommen wurde, als die körperliche Erschöpfung einsetzte. Jeder Wert wurde einmal zu jedem Zeitpunkt der körperlichen Verfassung der Versuchsperson gemessen.

Bei beiden Probanden steigt der Energieverbrauch mit der Änderung der Frequenz, egal ob langsamer oder schneller. Deutlich ist, dass bei Versuchsperson 1 diese Steigerung bedeutend größer ist, als bei Versuchsperson 2. So steigt der Kalorienverbrauch bei Versuchsperson 1 zur schnellen Frequenz um 25 Prozent und zur langsameren Frequenz um immerhin 11 Prozent. Bei Versuchsperson 2 sind es zur schnelleren Schwingung lediglich 2,7 Prozent und zur langsameren etwa 8 Prozent anstieg. Auch die Standardabweichung bei der zweiten Versuchsperson ist geringer, der Körper passt sich also schneller an die Bedingungen an und hält den Verbrauch konstanter. Eine Begründung für diese Unterschiede könnten die körperlichen Verfassungen der Probanden sein. Beide sind männlich, im selben Alter und etwa gleich groß, jedoch unterscheiden sie sich maßgeblich in ihrem Fitnesszustand. Während der erste Proband stark übergewichtig ist und laut eigener Einschätzung in einem normalen Fitnesszustand ist der zweite Proband normalgewichtig und macht regel-

mäßig Sport. Der Körper ist also trainierter im Umgang mit Belastungen und wahrscheinlich auch durch die Untersuchungen weniger angestrengt worden.

Auch bei der sitzenden Messung sind diese Unterschiede zu sehen. Während der langsamen Schwingung erhöht sich bei beiden Probanden der Kalorienverbrauch um etwa 5,5 Prozent, bei der schnellen Schwingung steigt er jedoch bei Versuchsperson 1 um 13,3 Prozent wohingegen Proband 2 mit einem Anstieg von lediglich 3,4 Prozent weniger angestrengt wird.

Betrachtet man die Trendlinien in den Diagrammen, fällt auf, dass Versuchsperson 1 seine Ausgangsfrequenz etwas schneller als das theoretische Minimum gewählt hat. So ist es logisch, dass von dieser schon hohen Frequenz nochmals schneller zu werden anstrengender ist als die Frequenz zu senken.

Bei Versuchsperson 2 ist es eher umgekehrt. Sie wählt ihre eigene Frequenz eher zu niedrig, somit sind im weiteren Versuchsverlauf stets die niedrigen Frequenzen anstrengender als die hohen Frequenzen.

Die Versuchsreihe mit der halben Auslenkung hat gezeigt, dass es für beide Versuchspersonen energiesparender war, die Auslenkung zu halbieren. Der Energieumsatz hängt also wohl auch in gewisser Weise von der Auslenkung des Beines ab, was aber nicht weiter untersucht wurde, sodass es schwer ist etwas aus den Ergebnissen herauszulesen.

6 Zusammenfassung

Begonnen mit der Fragestellung, ob bereits kleinere Bewegungen, wie das bloße Schwingen mit einem Bein oder sogar nur dem Unterschenkel, vom Körper energetisch optimiert ausgeführt werden und ob diese Optimierung auch in einem Versuch zu zeigen ist wurde zunächst ein Probeversuch entworfen. Es wurden Ruheumsätze von Versuchspersonen gemessen und deren Energieverbrauch bei einer Selbstgewählten Schwingung sowie einer künstlich beschleunigten oder verlangsamtten Schwingung.

Dieser Probeversuch hat gezeigt, dass es wahrscheinlich ist, dass die Fragestellung positiv beantwortet werden kann. Der Energieverbrauch der Versuchspersonen zeigt stets ein Minimum in der Nähe der selbstgewählten Schwingung und war auch generell gut zu erfassen.

Die Fehlertoleranz ist immer noch relativ hoch. Wenn es bei Energieunterschieden von etwa 80 Kilokalorien eine Standardabweichung von über 300 Kalorien gibt, ist das Ergebnis nicht repräsentativ. Trotzdem zeigten die Mittelwerte der Messungen das erhoffte Verhalten und das bei beiden Versuchspersonen.

Aber um eine wirklich fundierte Aussage zu treffen, müsste eine größer angelegte Studie durchgeführt werden, die sowohl mehrere Versuchspersonen als auch mehrere verschiedene Frequenzen untersucht.

Bei der Durchführung der Arbeit, hat man gemerkt wie die Erfahrung gewachsen ist und verschiedene Schwachstellen offensichtlich wurden, die dann aber, um der identischen Ausgangbedingungen willen, nicht mehr korrigiert werden konnten.

Der Versuch war für die Probanden zu belastend und langwierig, die Versuchsumgebung nicht immer kontrolliert genug und die Probanden zu ähnlich.

Aber die Untersuchung bildet eine gute Grundlage für weitere Untersuchungen, denn trotz der noch nicht idealen Versuchsbedingungen wurden gute Werte erzielt.

Man kann also sagen, dass der Körper generell eine sehr energiesparende Form der Bewegung wählt, auch wenn er nicht unbedingt den perfekten Punkt trifft. Wie viel Energie man dadurch spart hängt dann im genauen von der Beschaffenheit der Person ab.

Literaturverzeichnis

- [1] Bramble DM, Lieberman DE. Endurance running and the evolution of Homo 2004;432:345–52.
- [2] McDonnell J, Willson JD, Zwetsloot KA, Houmard J, DeVita P. Gait biomechanics of skipping are substantially different than those of running. J Biomech 2017;64:180–5. doi:10.1016/j.jbiomech.2017.09.039.
- [3] Kung SM, Fink PW, Legg SJ, Ali A, Shultz SP. What factors determine the preferred gait transition speed in humans? A review of the triggering mechanisms. Hum Mov Sci 2018;57:1–12. doi:10.1016/j.humov.2017.10.023.
- [4] Van Oeveren BT, De Ruiter CJ, Beek PJ, Van Dieën JH. Optimal stride frequencies in running at different speeds. PLoS One 2017;12:1–12. doi:10.1371/journal.pone.0184273.
- [5] Wirhed R. Sportanatomie und Bewegungslehre. 2. Auflage. Stuttgart: Schattauer Verlagsgesellschaft mbH; 1988.
- [6] Huppelsberger J, Walter K. Kurzlehrbuch Physiologie. 3. Auflage. Stuttgart: Georg Thieme Verlag KG; 2009.
- [7] Silbernagl S, Despopoulos A. Taschenatlas Physiologie. 8. Auflage. Stuttgart: Georg Thieme Verlag KG; 2012.
- [8] Kroidl RF, Schwarz S, Lehnigk B, Fritsch J. Kursbuch Spiroergometrie. 3. Auflage. Stuttgart: Georg Thieme Verlag KG; 2015.
- [9] Handbuch MetaMax® 3B. Revision a. Leipzig: Cortex Biophysik GmbH; 2014.
- [10] Handbuch Kalibrierung. Revision a. Leipzig: Cortex Biophysik GmbH; 2012.
- [11] Cavelti M. sportunterricht.ch: Energie:
URL: <https://www.sportunterricht.ch/Theorie/Energie/energie.php> (accessed February 25, 2018 7:52 PM).

Erklärungen

Hamburg, 28. Februar 2018

Ich, Alexander Sebastian Ehlert (Student der Medizintechnik an der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, Matrikelnummer [REDACTED]), versichere, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit ohne fremde Hilfe selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe. Wörtlich oder sinngemäß aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quelle kenntlich gemacht. Die Arbeit wurde in dieser oder ähnlicher Form noch keiner Prüfungskommission vorgelegt.

Ort, Datum

Unterschrift

A. Anhang

A.1 Versuchsablauf

Energieverbrauch bei periodischen Bewegungen Versuchsablauf

1. Gerät kalibrieren
2. Eigenfrequenz und Auslenkung des Probanden aufnehmen (stehen und sitzen)
3. Versuchsablauf erklären
4. Zu messende Auslenkungen markieren
5. Ruheumsatzmessung
6. Teil 1 – Bewegung des ganzen Beines bei verschiedenen Frequenzen
 - a. (15 min) Umsatz im Stehen
 - b. (5 min) Eigenbewegung +0 %/ -15 %/ +15 %
 - c. (7 min) Stehen
 - d. (5 min) Eigenbewegung +15 %/ +0 %/ -15 %
 - e. (7 min) Stehen
 - f. (5 min) Eigenbewegung -15 %/ +15 %/ +0 %
 - g. (7 min) Stehen
7. Teil 2 – Bewegung des Unterschenkels bei verschiedenen Frequenzen
 - a. (10 min) Umsatz im sitzen
 - b. (7 min) Eigenbewegung +0 %/ -15 %/ +15 %
 - c. (7 min) Sitzen
 - d. (7 min) Eigenbewegung +15 %/ +0 %/ -15 %
 - e. (7 min) Sitzen
 - f. (7 min) Eigenbewegung -15 %/ +15 %/ +0 %
 - g. (7 min) Sitzen
8. Teil 3 – Bewegung des gesamten Beines bei verschiedenen Auslenkungen
 - a. (7 min) Sitzen
 - b. (7 min) Eigenbewegung /2
 - c. (7 min) Sitzen
9. Daten sichern
10. Atemmaske reinigen

A.2 Versuchsprotokolle

Proband:						
Name	A.E.	Beinlänge		94,5 cm		
Geburtsjahr	1990	Unterschenkellänge		48 cm		
Gewicht	118,2 kg	Oberschenkelumfang		65 cm		
Größe	183 cm	Unterschenkelumfang		41,5 cm		
Parameter:						
	sitzend	stehend				
gewählte Eigenfrequenz	55 min ⁻¹	55 min ⁻¹		Versuchstag 1	06.02.2018	
gewählte Auslenkung	25 cm	39 cm		Versuchstag 2	08.02.2018	
Frequenz + 15%	63 min ⁻¹	52 min ⁻¹		Versuchstag 3	09.02.2018	
Frequenz -15%	47 min ⁻¹	38 min ⁻¹				
halbe Auslenkung	12,5 cm	19,5 cm				
Versuchsablauf:						
Vorbereitung - Ruheumsatzmessung						
	Startzeit 1	Endzeit 1	Startzeit 2	Endzeit 2	Startzeit 3	Endzeit 3
	14:18	14:48	09:18	09:48	10:58	11:28
Teil 1 – Bewegung des ganzen Beines bei verschiedenen Frequenzen						
	Startzeit 1	Endzeit 1	Startzeit 2	Endzeit 2	Startzeit 3	Endzeit 3
a. Umsatz im Stehen	14:53	15:08	09:58	10:13	11:32	11:47
b. Frequenz 1	15:08	15:13	10:13	10:18	11:47	11:52
c. Umsatz im Stehen	15:13	15:20	10:18	10:25	11:52	11:59
d. Frequenz 2	15:20	15:25	10:25	10:30	11:59	12:04
e. Umsatz im Stehen	15:25	15:32	10:30	10:37	12:04	12:11
f. Frequenz 3	15:32	15:37	10:37	10:42	12:11	12:16
g. Umsatz im Stehen	15:37	15:44	10:42	10:49	12:16	12:23
Teil 2 – Bewegung des Unterschenkels bei verschiedenen Frequenzen						
	Startzeit 1	Endzeit 1	Startzeit 2	Endzeit 2	Startzeit 3	Endzeit 3
a. Umsatz im Sitzen	11:36	11:51	10:54	11:04	12:27	12:37
b. Frequenz 1	11:51	12:01	11:04	11:11	12:37	12:44
c. Umsatz im Sitzen	12:01	12:11	11:11	11:18	12:44	12:51
d. Frequenz 2	12:11	12:21	11:18	11:25	12:51	12:58
e. Umsatz im Sitzen	12:21	12:31	11:25	11:32	12:58	13:05
f. Frequenz 3	12:31	12:41	11:32	11:39	13:05	13:12
g. Umsatz im Sitzen	12:41	12:51	11:39	11:46	13:12	13:19
Teil 3 – Bewegung des gesamten Beines bei verschiedenen Auslenkungen						
	Startzeit 1	Endzeit 1	Startzeit 2	Endzeit 2	Startzeit 3	Endzeit 3
a. Umsatz im Sitzen	-	-	-	-	-	-
b. Eigenauslenkung /2	13:33	13:40	11:46	11:53	13:19	13:26
c. Umsatz im Sitzen	13:40	13:47	11:53	12:00	13:26	13:33

Anhang

Proband:						
Name	P.K.	Beinlänge		92cm		
Geburtsjahr	1990	Unterschenkellänge		43cm		
Gewicht	85kg	Oberschenkelumfang		52,5cm		
Größe	179,5cm	Unterschenkelumfang		42cm		
Parameter:						
	sitzend	stehend				
gewählte Eigenfrequenz	59 min ⁻¹	40 min ⁻¹			Versuchstag 1	01.02.2018
gewählte Auslenkung	15cm	30cm			Versuchstag 2	06.02.2018
Frequenz + 15%	68 min ⁻¹	46 min ⁻¹			Versuchstag 3	08.02.2018
Frequenz -15%	50 min ⁻¹	34 min ⁻¹				
halbe Auslenkung	7,5cm	15cm				
Versuchsablauf:						
Vorbereitung - Ruheumsatzmessung						
	Startzeit 1	Endzeit 1	Startzeit 2	Endzeit 2	Startzeit 3	Endzeit 3
	10:03	10:23	10:10	10:40	12:14	12:44
Teil 1 – Bewegung des ganzen Beines bei verschiedenen Frequenzen						
	Startzeit 1	Endzeit 1	Startzeit 2	Endzeit 2	Startzeit 3	Endzeit 3
a. Umsatz im Stehen	10:25	10:40	10:42	10:57	12:47	13:02
b. Frequenz 1	10:40	10:45	10:57	11:02	13:02	13:06
c. Umsatz im Stehen	10:45	10:55	11:02	11:09	13:06	13:13
d. Frequenz 2	10:55	11:00	11:09	11:14	13:13	13:18
e. Umsatz im Stehen	11:00	11:10	11:14	11:21	13:18	13:25
f. Frequenz 3	11:10	11:15	11:21	11:26	13:25	13:30
g. Umsatz im Stehen	11:15	11:25	11:26	11:33	13:30	13:37
Teil 2 – Bewegung des Unterschenkels bei verschiedenen Frequenzen						
	Startzeit 1	Endzeit 1	Startzeit 2	Endzeit 2	Startzeit 3	Endzeit 3
a. Umsatz im Sitzen	11:36	11:51	11:57	12:07	13:43	13:53
b. Frequenz 1	11:51	12:01	12:07	12:14	13:53	14:00
c. Umsatz im Sitzen	12:01	12:11	12:14	12:21	14:00	14:07
d. Frequenz 2	12:11	12:21	12:21	12:28	14:07	14:14
e. Umsatz im Sitzen	12:21	12:31	12:28	12:35	14:14	14:21
f. Frequenz 3	12:31	12:41	12:35	12:42	14:21	14:28
g. Umsatz im Sitzen	12:41	12:51	12:42	12:49	14:28	14:35
Teil 3 – Bewegung des gesamten Beines bei verschiedenen Auslenkungen						
	Startzeit 1	Endzeit 1	Startzeit 2	Endzeit 2	Startzeit 3	Endzeit 3
a. Umsatz im Sitzen	10:12	10:22	-	-	-	-
b. Eigenauslenkung /2	10:22	10:29	10:36	10:43	14:35	14:42
c. Umsatz im Sitzen	10:29	10:36	10:43	10:50	14:42	14:49

A.3 Technische Spezifikationen MetaMax® 3B



Hardware - Handbuch

MetaMax® 3B / MetaMax® 3X mit MetaSoft®Studio-Software

2 Technische Spezifikationen

2.1 MetaMax® Basisgerät

MetaMax® 3B und MetaMax® 3X sind mobile Spiroergometrie-Geräte. Der MetaMax® 3B arbeitet nach dem Breath-by-Breath- und der MetaMax® 3X nach dem Mischkammer-Messverfahren. Die Sauerstoff- und Kohlendioxid-Konzentrationen in der Atemluft, sowie die Ventilation und die Herzfrequenz werden kontinuierlich bestimmt und von den Basis-Geräten an den PC übermittelt und mit Hilfe der Software ausgewertet.

2.1.1 Physikalische Größen

Gerät	Größe (L/B/H)	2 Gehäuseschalen, je 120 x 110 x 45 mm
Gewicht		570 g (ohne Batterie)
CPU		16 bit Prozessor, 20 MHz, Flash Memory
Datenspeicher		8 MB Daten
Leitungslängen	Volumenstromsensor	0,6 m
	Kopfhörer	0,6 m

2.1.2 Sensoren

		MetaMax® 3B	MetaMax® 3X
Volumensensor	Typ	Triple-V-Turbine, digital	Triple-V-Turbine, digital
	Bereich	0,05 – 20 l/s	0,05 – 20 l/s
	Auflösung	14 ml	14 ml
	Genauigkeit	± 2 %	± 2 %
O ₂ -Sensor	Typ	elektrochemische Zelle	elektrochemische Zelle
	Bereich	0 - 25 % O ₂ , optional 0 – 100 % O ₂	0 - 25 % O ₂ , optional 0 – 100 % O ₂
	t ₉₀ -Zeit	≥ 100 ms	500 ms
	Genauigkeit	± 0,1 Vol %	± 0,1 Vol %
CO ₂ -Sensor	Typ	Infrarot (NDIR)	Infrarot (NDIR)
	Bereich	0 – 13% CO ₂	0 – 13% CO ₂
	t ₉₀ -Zeit	≥ 100 ms	≥ 100 ms
	Genauigkeit	± 0,1 Vol %	± 0,1 Vol %
Drucksensor	Typ	Silizium	Silizium
	Bereich	200 – 1050 mbar	200 – 1050 mbar
	Genauigkeit	± 1,8 %	± 1,8 %
Herzfrequenz		Polar®-Herzfrequenzmonitor	

Hardware - Handbuch

MetaMax[®] 3B / MetaMax[®] 3X mit MetaSoft[®] Studio-Software



2.1.3 Batterie

Interner Akku	Größe (LxBxH)	70 x 38 x 20 mm
	Gewicht	80 g
	Typ	Lithium-Ionen (kompatibel zu CANON BP911/914/015)
	Kapazität	2200 mA
	Leistung	ca. 3 Stunden
	Spannung	7,2 V nominal

2.1.4 Telemetrie-Empfänger

Telemetrie-Empfänger	Typ	bidirektional, 19200 Baud
	Frequenz	433 - 435 MHz; manuelle oder automatische Frequenzwahl
	ERP	≤ 20 mW
	Sendart	F 1 D
Reichweite		max. 1.000 m
Größe (L/B/H)		150 x 80 x 45 mm
Gewicht		200 g
Schnittstelle		RS232 zum Anschluss an PC oder Notebook

2.1.5 Umgebungs- und Einsatzbedingungen

Temperatur	-10 °C – +40 °C
Druck	500 – 1050 mbar
Feuchtigkeit	0 – 99 % rel. Feuchte (nicht kondensierend)
Stromversorgung	7,2 V, 2,2 Ah (Lithium-Ionen-Akku)
Aufwärmzeit	30 Minuten

2.1.6 Transport und Lagerung

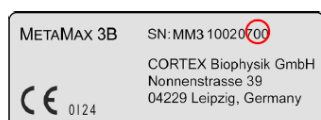
Transport

Temperatur	-50 °C - +70 °C
Feuchte	0 - 99 % (nicht kondensierend)
Druck	500 - 1200 mbar

Lagerung

Temperatur	+2 °C - +25 °C
Feuchte	0 - 60 % (nicht kondensierend)
Druck	500 - 1200 mbar

2.1.7 Geräte-Identifikation



Die rot markierte Zahl zeigt Ihnen das Baujahr Ihres Gerätes.