

**Überprüfung viel verwendeter Formeln zur Abschätzung des
Energie Grundumsatzes, der maximalen Herzfrequenz und der
maximalen Sauerstoffaufnahme bei Schweizer Probanden mit
unterschiedlichen anthropometrischen Voraussetzungen**

Abschlussarbeit zur Erlangung des
Master of Science in Sportwissenschaften
Option Gesundheit und Forschung

eingereicht von

Tim Zoller

an der
Universität Freiburg, Schweiz
Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät
Departement für Medizin

in Zusammenarbeit mit der
Eidgenössischen Hochschule für Sport Magglingen

Referent
Dr. Thomas Wyss

Betreuerin
Dr. Rahel Gilgen-Ammann

Au (SG), August 2018

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	3
1 Einleitung	4
1.1 Einführung in die Thematik	4
1.2 Energie Grundumsatz	9
1.3 Maximale Sauerstoffaufnahme	13
1.4 Maximale Herzfrequenz	17
1.5 Ziel und konkrete Fragestellung	19
2 Methode	20
2.1 Untersuchungsgruppe	20
2.2 Studiendesign	20
2.3 Erhebung	21
2.4 Indirekte Kalorimetrie und Herzfrequenzmessung	22
2.5 Datenauswertung	23
2.6 Bildung Untergruppen	24
3 Resultate	25
3.1 Energie Grundumsatz	25
3.2 Maximale Sauerstoffaufnahme	28
3.3 Maximale Herzfrequenz	31
4 Diskussion	34
4.1 Energie Grundumsatz	34
4.2 Maximale Sauerstoffaufnahme	36
4.3 Maximale Herzfrequenz	38
4.4 Stärken und Schwächen der Arbeit	40
4.5 Weiterführende Fragestellungen	41
5 Schlussfolgerung	42
Literatur	44
Anhang	49
A Fragebogen zur körperlichen Aktivität	49
B Informationsblatt für Teilnehmer	50
Dank	53

Zusammenfassung

Einleitung. Innerhalb der letzten Jahrzehnte nahm die körperliche Aktivität der Menschen zunehmend ab. Übergewicht, die Konsequenzen daraus, zählt heutzutage zu den grössten Problemen der Menschheit. In den letzten Jahren entstanden deshalb Formeln zur Bestimmung des Energie Grundumsatzes, der maximalen Herzfrequenz und der maximalen Sauerstoffaufnahme basierend auf anthropometrischen Daten. Ziel der Arbeit war deshalb, einige der relevantesten Formeln aus der Literatur mit einer heterogenen Gruppe zu validieren und zu bewerten.

Methode. 112 Probanden (Alter: 39.03 ± 11.1 Jahre; Grösse: 1.74 ± 0.08 m; Body Mass Index: $24.8 \text{ kg/m}^2 \pm 4.8 \text{ kg}$) nahmen an der Studie teil. Mittels indirekter Kalorimetrie wurde der Energie Grundumsatz und die maximale Sauerstoffaufnahme der Probanden erhoben. Zur Bestimmung der maximalen Herzfrequenz und der maximalen Sauerstoffaufnahme diente ein adaptierter all-out Bruce-Protokoll Rampentest auf dem Laufband. Diese Daten dienten als Referenzwerte. Die Formeln zur Bestimmung des Energie Grundumsatzes, der maximalen Herzfrequenz und der maximalen Sauerstoffaufnahme wurden mit diesen Referenzwerten auf ihre Genauigkeit überprüft.

Resultate. Mit jeder Formel zur Abschätzung des Energie Grundumsatzes resultierten signifikante Unterschiede zu den Referenzwerten ($p < 0.05$). Mit der Formel der WHO resultierten mit 68 % am meisten Werte innerhalb einer Toleranzlimite von ± 10 %. Die Formel von Rexhepi & Brestovci unterschied sich mit einem $p = 0.29$ als einzige der drei Formeln zur Bestimmung der maximalen Sauerstoffaufnahme nicht signifikant vom Referenzwert. Beide Formeln zur Bestimmung der maximalen Herzfrequenz unterschieden sich nicht signifikant zur Referenz. Mit der Formel von Tanaka resultierten kleinere Mittelwertdifferenzen und mit 64 % mehr Angaben innerhalb der Toleranzgrenze von ± 5 %.

Diskussion und Konklusion. Die Formel der WHO dürfte aufgrund der meisten Werte innerhalb einer Toleranzlimite von ± 10 % die genaueste Formel zur Bestimmung des Energie Grundumsatzes sein. Die Formel von Rexhepi & Brestovci war die einzige der drei Formeln die sich nicht signifikant zur Referenz unterschied. Allerdings gibt sie mit 32 % zu wenige Werte innerhalb der 10 % Toleranz an, um zum jetzigen Zeitpunkt von einem validen Modell auszugehen. Mit dem Modell von Tanaka resultierten kleinere Mittelwertdifferenzen und mehr Werte innerhalb der ± 5 % Toleranz im Vergleich mit der traditionellen Formel. Deshalb scheint die Formel von Tanaka für Schweizer Personen geeigneter zu sein, um die maximale Herzfrequenz abzuschätzen.

1 Einleitung

Im folgenden Kapitel werden die Relevanz, die theoretischen Hintergründe und die aktuellen Wissenslücken betreffend den Themata Energie Grundumsatz, maximale Sauerstoffaufnahme und maximale Herzfrequenz hergeleitet. Am Ende dieses Kapitels wurden Fragestellungen formuliert, welche mit Hilfe dieser Studie beantwortet wurden.

1.1 Einführung in die Thematik

Körperliche Aktivität und Bewegung gehörte über weite Strecken der Geschichte der Menschheit an. Landwirtschaft, Haushaltsarbeit, handwerkliche Berufe und Freizeitaktivitäten erforderten alle einen gewissen Betrag an körperlicher Aktivität. Innerhalb der letzten Jahrzehnte veränderte sich das Bewegungsverhalten der Menschheit jedoch stark. Die körperliche Aktivität nahm aus verschiedenen Gründen zusehends ab.

Heutzutage gehört körperliche Inaktivität weltweit zu einem der grössten Probleme der Menschheit (World Health Organisation, 2010). Gründe für den kontinuierlich wachsenden sedentären Lebensstil gibt es viele. Insbesondere der technologische Fortschritt über die letzten Jahrzehnte, der es erlaubte viele Arbeitsprozesse zu automatisieren, führte zu einem veränderten Bewegungsverhalten. Innerhalb von zwei Jahrzehnten stieg die Zahl von europäischen Jobs mit wenig körperlicher Aktivität von 55 % auf 67 % an (Abbildung 1).

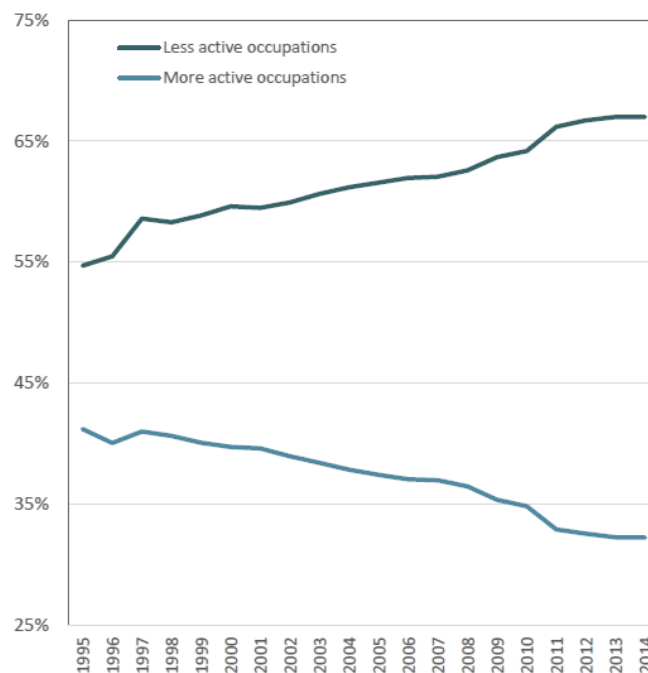


Abbildung 1. Anteil der Jobs bezogen auf körperliche Aktivität (International Sport and Culture Association, 2015, S. 11).

Heutzutage sind weltweit durchschnittlich 30 % der Bevölkerung nicht genügend körperlich aktiv. Insbesondere Menschen von Ländern mit hohem durchschnittlichen Einkommen sind unzureichend körperlich aktiv (Hallal u. a., 2012). Über die letzten Jahre entwickelte sich dieser Trend aber auch in Ländern mit mittlerem Einkommen (Hallal u. a., 2012). In Abbildung 2 ist der prozentuale Anteil von körperlicher Inaktivität bezogen auf Herkunft, Geschlecht und Einkommensklassen abgebildet. Menschen aus der östlichen mediterranen und amerikanischen Region sind global gesehen am wenigsten körperlich aktiv. Zugleich nimmt die Inaktivität mit zunehmendem Wohlstand zu. Ausserdem zeigt Abbildung 2, dass Frauen in sämtlichen Regionen auf der Welt weniger körperlich aktiv sind als Männer. Zunehmendes Alter ist bei beiden Geschlechtern ein weiterer Faktor, der die körperliche Aktivität negativ beeinträchtigt (Hallal u. a., 2012).

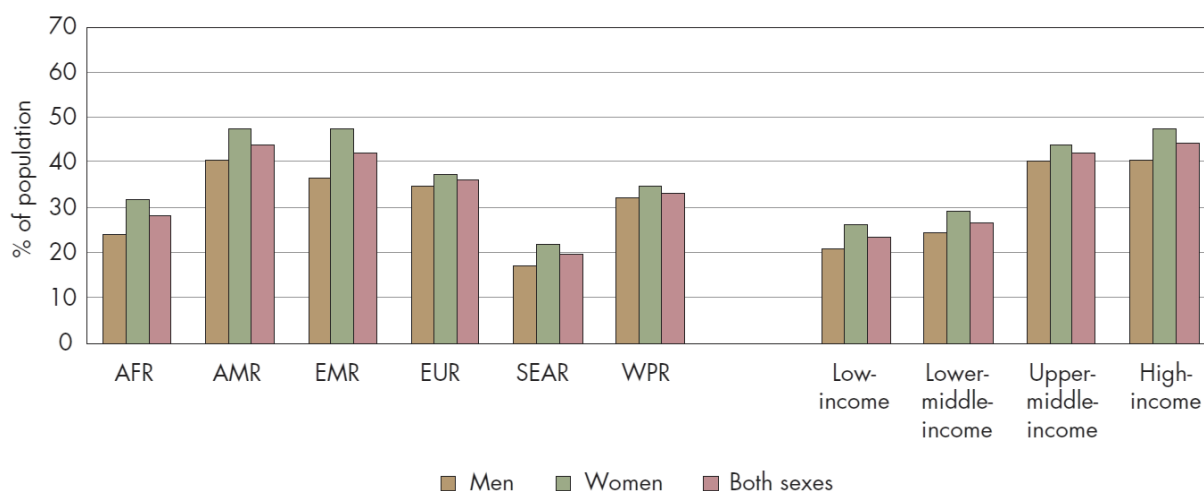


Abbildung 2. Prävalenz von körperlicher Inaktivität bei Erwachsenen ab 15 Jahren bezogen auf Herkunft, Geschlecht und Einkommensklassen. AFR = African Region, AMR = American Region, EMR = Eastern Mediterranean Region, EUR = European Region, SEAR = South-East Asia Region, WPR = Western Pacific Region (World Health Organisation, 2010, S. 18).

Auch die Schweizer Bevölkerung hat mit körperlicher Inaktivität zu kämpfen. Gemäss dem Bundesamt für Sport (2013) sind 35 % der Schweizer und Schweizerinnen ab einem Alter von 15 Jahren unzureichend körperlich aktiv oder ganz inaktiv.

Der sedentäre Lebensstil hat enorme Auswirkungen auf volkswirtschaftliche Kosten. Direkte und indirekte Kosten von nicht übertragbaren Krankheiten wie koronare Herzkrankheiten, Diabetes Typ 2 sowie Brust- und Darmkrebs belaufen sich in Europa auf über 80 Milliarden Euro pro Jahr (ISCA, 2015). Jährlich sterben weltweit ungefähr 3.2 Millionen Menschen aufgrund unzureichender Bewegung (WHO, 2010). In Europa ist ungenügend körperliche Aktivität für 10 % der vermeidbaren Todesfälle verantwortlich (ISCA, 2015). In der Schweiz zeigt sich ein

ähnliches Bild. Jährlich resultieren 2900 vorzeitige Todesfälle, 2.1 Millionen Erkrankungen und 2.4 Milliarden Franken direkte Behandlungskosten aufgrund körperlicher Inaktivität (Bundesamt für Sport, 2013).

Viele der Krankheiten, die für die Todesfälle verantwortlich sind, können durch ausreichend Bewegung vorgebeugt werden. Mit dem Ziel die kardiovaskuläre und muskuläre Fitness, Knochengesundheit sowie das psychische Wohlbefinden zu fördern, veröffentlichte das Bundesamt für Sport im Jahr 2013 Bewegungsempfehlungen für den Zeitraum von einer Woche für unterschiedliche Altersgruppen (Tabelle 1).

Tabelle 1

Bewegungsempfehlung für unterschiedliche Altersgruppen.

Kinder und Jugendliche	<ul style="list-style-type: none"> • Kinder und Jugendliche gegen Ende des Schulalters sollten sich mindestens 1 Stunde pro Tag mit mittlerer bis hoher Intensität trainieren. • Jüngere Kinder deutlich mehr als 1 Stunde pro Tag.
Frauen und Männer im erwerbsfähigen Alter	<ul style="list-style-type: none"> • Mindestens 2 ½ Stunden Bewegung pro Woche in Form von Alltagsaktivitäten oder Sport mit mindestens mittlerer Intensität. • Oder 1 ¼ Stunden Sport oder Bewegung mit hoher Intensität. • Auch Kombinationen von Bewegungen mit verschiedenen Intensitäten sind möglich, wobei jeweils 10 Minuten Bewegung mit hoher Intensität den gleichen gesundheitlichen Nutzen bringt wie 20 Minuten mit mittlerer Intensität.
Frauen und Männer im Pensionsalter	<ul style="list-style-type: none"> • Mindestens 2 ½ Stunden Bewegung pro Woche in Form von Alltagsaktivitäten oder Sport mit mindestens mittlerer Intensität. • Oder 1 ¼ Stunden Sport oder Bewegung mit hoher Intensität. • Auch Kombinationen von Bewegung mit verschiedenen Intensitäten sind möglich, wobei jeweils 10 Minuten Bewegung mit hoher Intensität den gleichen gesundheitlichen Nutzen bringt wie 20 Minuten mit mittlerer Intensität.

Anmerkung. Bundesamt für Sport BASPO, Bundesamt für Gesundheit BAG, Gesundheitsförderung Schweiz, bfu – Beratungsstelle für Unfallverhütung, Suva, Netzwerk Gesundheit und Bewegung Schweiz. Gesundheitswirksame Bewegung. Magglingen: BASPO 2013.

Werden diese Richtlinien des Bundesamts für Sport eingehalten, können viele Krankheiten vorgebeugt und eine bessere Lebensqualität erreicht werden. Einige gesundheitliche Effekte durch regelmässige körperliche Aktivität sind in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2

Gesundheitseffekte von Bewegung in verschiedenen Altersgruppen.

Gesundheitseffekte von Bewegung bei Kindern und Jugendlichen			
Herz, Kreislauf, Ausdauer	↑	Risikoprofil für Herz-Kreislauf Erkrankungen	↓
Muskelkraft	↑	Risikoprofil für Stoffwechselkrankheiten	↓
Gesundes Körpergewicht	↑	Angstverbundene Symptome	↓
Knochengesundheit	↑	Depressive Symptome	↓
Bei Erwachsenen			
Lebenserwartung	↑	Herz-Kreislauf-Erkrankungen	↓
Fitness	↑	Hirnschlag	↓
Gesundes Körpergewicht	↑	Bluthochdruck	↓
Knochengesundheit	↑	Diabetes Typ 2	↓
Psychisches Wohlbefinden	↑	Dickdarmkrebs	↓
Schlafqualität	↑	Brustkrebs	↓
Gesundheitsbezogene Lebensqualität	↑	Depressionen	↓
Zusätzlich bei älteren Erwachsenen			
Selbständigkeit	↑	Unfälle durch Stürze	↓
Denkfähigkeit	↑		
Legende			
Verbesserung der Gesundheitsaspekte	↑	Abnahme des Risikos für dieses Gesundheitsproblem	↓
Starke Evidenz	↑		
Mittlere Evidenz	↑		

Anmerkung. Bundesamt für Sport BASPO, Bundesamt für Gesundheit BAG, Gesundheitsförderung Schweiz, bfu – Beratungsstelle für Unfallverhütung, Suva, Netzwerk Gesundheit und Bewegung Schweiz. Gesundheitswirksame Bewegung. Magglingen: 2013

Übergewicht steht in starkem Zusammenhang mit diversen anderen Krankheiten wie zum Beispiel dem Auftreten von koronaren Herzkrankheiten, Diabetes Typ 2 und Brustkrebs (Arroyo-Rodríguez u. a., 2018; Boer, Wörner, Verlaan, & Leeuwen, 2017; Tavares, Bolina, Dias, Ferreira, & Santos, 2018). Im Jahr 2008 waren global gesehen 35 % der Erwachsenen ab 20 Jahren übergewichtig (Body Mass Index ≥ 25 kg/m²). Im Zeitraum zwischen 1980 – 2008 verdoppelte sich die Prävalenz an übergewichtigen Leuten beinahe.

Übergewicht entsteht durch das Zusammenspiel von mehreren Faktoren. Tiefes Bildungsniveau, ungesunde Ernährung, erbliche Veranlagung und unzureichende körperliche Aktivität begünstigen allesamt das Auftreten von Übergewicht oder Adipositas (WHO, 2010).

Ungesunde Ernährung im Sinne von Fast-food und inadäquater Mengen an Kilokalorien pro Tag (kcal/d) im Zusammenspiel mit ungenügender Bewegung führt in den meisten Fällen zu Übergewicht. Aufklärungskampagnen, vielfältige Vereinsangebote, Zugang zu mehreren tau-

senden Kilometern Wanderwege und Sportämter bilden wichtige Pfeiler in der Bewegungsförderung und Sensibilisierung von gesundheitsförderlichem Verhalten in der Schweiz (Hepa, 2013). Alle diese Massnahmen tragen dazu bei, die Gesundheit eines jeden Individuums durch körperliche Aktivität zu steigern. Der enorme technologische Fortschritt in den letzten Jahrzehnten führte nicht nur einen Wandel im Arbeitswesen herbei, sondern brachte auch einige Chancen mit sich. Technische Geräte wie Pedometer, Beschleunigungsmesser, Fitness-Tracker, Sportuhren, unzählige Apps etc. bieten je nach Gerät eine praktische und relativ günstige Möglichkeit zur Erfassung des Energieverbrauches bzw. der körperlichen Aktivität. Eine vielfach genutzte Richtlinie zur Aufrechterhaltung der körperlichen Gesundheit ist die 10'000 Schritte Regel pro Tag (Tudor-Locke u. a., 2011). Dank dieser Geräte, kann die Regel von 10'000 Schritten pro Tag sehr einfach überprüft werden. Die visuelle Rückmeldung über das Erreichen oder nicht Erreichen der Ziele kann motivierende Auswirkungen haben. Bravata u. a. (2007) zeigten, dass die Verwendung von Pedometern sich positiv auf das Bewegungsverhalten einer Person auswirkt. Ebenfalls positive Effekte vom Gebrauch von Pedometern auf die körperliche Aktivität zeigten Harris u. a. (2018). Sie veranschaulichten in ihrer Studie, dass eine zwölfwöchige Intervention das Bewegungsverhalten von Personen in Grossbritannien über drei bis vier Jahre nachhaltig verbesserte. Die Vielfalt an technologischen Hilfsmitteln ist enorm gross. Der Einsatzbereich reicht von Haushaltsarbeiten, in die Ernährungsbranche bis hin zum Breiten- und Leistungssport. Die Gadgets finden weltweit immer grösseren Anklang. Wie in Abbildung 3 ersichtlich ist, steigerte sich der weltweite Verkauf von Fitness-Trackern vom Jahr 2016 bis 2017 markant. Bis ins Jahr 2021 dürfte sich die Absatzzahl der Tracker im Vergleich zum Jahr 2018 nochmals um knapp 30 % steigern (Statista, 2018).



Abbildung 3. Verlauf und Prognose der weltweiten Absatzzahlen von Fitness-Trackern (Statista, 2018).

Mit den technischen Geräten lassen sich je nach Modell und Bedürfnis unterschiedliche Parameter erheben. Schrittzahl, maximale Herzfrequenz, tägliche Aktivität, Schlafrhythmus, Energie Grundumsatz und die maximale Sauerstoffaufnahme sind die häufigsten Parameter, welche mit den Geräten erhoben bzw. abgeschätzt werden. Mit Hilfe einiger dieser Angaben, lässt sich das Bewusstsein für eine gesunde Lebensführung steigern und das Problem der übergewichtigen Gesellschaft bekämpfen. Insbesondere der Energie Grundumsatz, die maximale Herzfrequenz und die maximale Sauerstoffaufnahme können wichtige Parameter zur Bekämpfung dieser Problematik sein. Deshalb werden in der Folge diese drei Parameter einzeln aufgegriffen, definiert und bestehende Literatur aufgeführt.

1.2 Energie Grundumsatz

Der Kalorienverbrauch einer Person unterteilt sich normalerweise in folgende drei Kategorien (Burke und Deakin, 2015):

- 1) **Energie Grundumsatz (EGR):** Der EGR gibt die Energie an, die der Körper im Ruhezustand braucht, um alle Systeme am Laufen zu halten. Bei einem sesshaften Individuum sind ca. 60-80 % des täglichen Energieverbrauchs auf den EGR zurückzuführen. Bei Ausdauerathleten, die über 1000 kcal/d durch sportliche Aktivitäten verbrennen, ist der EGR hingegen nur für ca. 40-50 % des täglichen Energieverbrauchs verantwortlich.

- 2) **Prozess der Nahrungsaufnahme (PN):** Der PN beschreibt die Energieausgabe über dem EGR, die auf Grund der Konsumation von Nahrung zustande kommt. Der PN setzt sich aus der Verdauung, der Absorption, dem Transport, dem Metabolismus und der Speicherung der Nahrung zusammen. Normalerweise ist der PN für 6-10 % der täglichen Energieausgabe verantwortlich. Er variiert jedoch je nach Zusammensetzung der Mahlzeiten.
- 3) **Körperliche Aktivität (KA):** Die KA ist die variabelste Grösse im Kalorienverbrauch und beinhaltet sämtliche Energie, die für körperliche Aktivitäten wie zum Beispiel Biken, Joggen, Schwimmen sowie tägliche Aktivitäten wie kochen, stehen, sich anziehen gebraucht wird. Demzufolge variiert der Wert der KA zwischen und innerhalb jedes Individuums enorm. Er kann für 10-50 % des ganzen Energieumsatzes verantwortlich sein.

Die präzise Bestimmung des Energieverbrauches in kcal/d kann für ein Individuum sehr hilfreich sein, um Gewicht bzw. Fettmasse zu verlieren oder ein gewünschtes Körpergewicht zu halten. Allerdings sind die Verfahren zur Bestimmung des Energieverbrauches hoch komplex und benötigen aufwändige Apparaturen. Eine der am häufigsten gebrauchten Methode ist die indirekte Kalorimetrie. Sie ist eine nicht invasive Methode und wird auf Grund ihrer Genauigkeit und Reproduzierbarkeit oft als Referenzwert ausgewählt (Pinheiro Volp, Esteves de Oliveira, Duarte Moreira Alves, Esteves, & Bressan, 2011). Die indirekte Kalorimetrie ermittelt den Energieverbrauch auf Grund von konsumiertem Sauerstoff und produziertem Kohlendioxid. Mit Hilfe des Verhältnisses zwischen produziertem Kohlendioxid (VCO_2) und eingeatmetem Sauerstoff (VO_2) kann auf den Energieverbrauch und die dafür verwendeten Substrate geschlossen werden (Pinheiro Volp u. a., 2011). Eine weitere Möglichkeit zur Ermittlung des täglichen Energieverbrauches ist die Doubly Labeled Water Methode. Sie ermöglicht eine äusserst genaue Bestimmung des totalen Energieverbrauches (TEE). Die Doubly Labeled Water Methode berechnet den Energieverbrauch über die Kohlendioxidabgabe. Markierte Wasserstoff- und Sauerstoffisotope werden mit einer bestimmten Menge Wasser oral eingenommen. Die Sauerstoffisotope binden sich an Kohlenstoffionen und werden via Kohlendioxid ausgeschieden. Die Wasserstoffisotope hingegen werden über diverse Flüssigkeiten wie Schweiß und Urin aus dem Körper entfernt. Dadurch werden die Sauerstoffisotope mit einer viel höheren Rate eliminiert als die Wasserstoffisotope. Die Berechnung der Kohlendioxidabgabe und des damit verbundenen Energieverbrauches erfolgt durch die Differenz zwischen den ausgeschiedenen und verbleibenden Isotopen (Pinheiro Volp u. a., 2011).

Da für beide dieser Methoden aufwändige Messverfahren notwendig sind, entstanden in den letzten Jahrzehnten immer wieder Formeln zur Bestimmung des EGR basierend auf anthropometrischen Daten. Da Fitness-Tracker weder die indirekte Kalorimetrie noch die Doubly Labeled Water Methode anwenden, basieren sie auf diesen anthropometrischen Formeln. In Tabelle 3 sind einige der bekanntesten Formeln zur Bestimmung des EGR dargestellt (D. Frankenfield, Roth-Yousey, & Compher, 2005). Die Formeln wurden für unterschiedliche Populationen, die sich im Alter, Ethnizität, Geschlecht, Aktivitätslevel und Gewicht zum Teil stark unterscheiden, entwickelt. Harris und Benedict (1919) waren Pioniere und veröffentlichten eine der ersten Formeln zur Abschätzung des EGR. Über den Lauf der Jahre entwickelte sich die Technologie weiter und es entstanden präzisere Messgeräte zur Erhebung und Abschätzung des tatsächlichen EGR. Deshalb wurden die Formeln aus Tabelle 3 immer wieder aufs Neue auf ihre Validität geprüft. Garrel, Jobin, & De Jonge (1996) validierten die Formeln aus Tabelle 3 anhand von indirekter Kalorimetrie Messungen mit 67 Teilnehmern (39 Männer, 28 Frauen, Herkunft nicht bekannt, Alter nicht bekannt, BMI 18-25 kg/m²). Am besten schnitt die Formel der WHO (1985) gefolgt von Owen u. a. (1986), Harris und Benedict (1919) und Mifflin u. a. (1990) ab. Gemäss den Autoren gibt die Formel der WHO zu 100 % den gemessenen Wert mit einer maximalen Abweichung von ± 10 % an. Die Formel von Harris und Benedict (1919), überschätzte den tatsächlichen Wert im Durchschnitt um 12 %. Dabei ist augenfällig, dass die Formel insbesondere für Menschen mit einem tiefen Grundumsatz (907-1218 kcal/d) nicht gut geeignet ist. Der tatsächlich gemessene Wert wird um 20 % überschätzt. Bei Individuen mit einem höheren Grundumsatz (1624-1958 kcal/d) wird der gemessene Wert um 8 % überschätzt. Ein ähnliches Bild zeigte sich bei der Formel von Owen u. a. (1986). Ihre Formel überschätzt die Werte im Durchschnitt und bei Leuten mit tiefen Grundumsatz um 7.4 % respektive um 19 %. Im Gegensatz zur Harris-Benedict Formel unterschätzt das Regressionsmodel von Owen bei Menschen mit hohem Grundumsatz den tatsächlichen Wert um 3.5 %. Die Formel von Mifflin-St. Jeor (1990) berechnete bei Männern bzw. bei Frauen zu 62 % respektive 39 % den erhobenen Wert innerhalb der Toleranzlimite von 10 %.

Tabelle 3

Verschiedene Formeln zur Abschätzung des Energie Grundumsatz (EGR) bei gesunden Erwachsenen Personen basierend auf anthropometrischen Angaben

Harris-Benedict (1919)	
Männer: $EGR \text{ (kcal/d)} = 66.47 + (13.75 \times Gw) + (5 \times Gr) - (6.76 \times A)$	
Frauen: $EGR \text{ (kcal/d)} = 655.1 + (9.56 \times Gw) + (1.85 \times Gr) - (4.68 \times A)$	
WHO (1985)	
Männer:	Frauen:
18-30 Jahre = $(15.3 \times Gw) + 679$	18-30 Jahre = $(14.7 \times Gw) + 496$
30-60 Jahre = $(11.6 \times Gw) + 879$	30-60 Jahre = $(8.7 \times Gw) + 829$
> 60 Jahre = $(13.5 \times Gw) + 487$	> 60 Jahre = $(10.5 \times Gw) + 596$
Owen u. a. (1986-87)	
Männer: $EGR \text{ (kcal/d)} = 879 + (10.2 \times Gw)$	
Frauen: $EGR \text{ (kcal/d)} = 795 + (7.18 \times Gw)$	
Mifflin-St. Jeor u. a. (1990)	
$EGR \text{ (kcal/d)} = (9.99 \times Gw) + (6.25 \times Gr) - (4.92 \times A) + (166 \times (\text{Geschlecht: M} = 1, \text{F} = 0)) - 161$	

Anmerkung. Gw = Kilogramm, Gr = Zentimeter, A = Alter

Die Formel von Harris-Benedict, Mifflin und Owen wurden im Jahr 2003 bei 22 übergewichtigen und 32 normal gewichtigen Männern sowie 25 übergewichtigen und 51 normal gewichtigen Frauen auf ihre Genauigkeit überprüft (D. C. Frankenfield, Rowe, Smith, & Cooney, 2003). Als Messmethode zur Erhebung des Referenzwertes, diente die indirekte Kalorimetrie. Die Autoren kamen zu folgenden Resultaten: Mit den Formeln von Mifflin-St. Jeor, Harris-Benedict und Owen resultierte bei 22, 33 bzw. 35 % der Probanden ein Wert von ± 10 % des effektiven Wertes. Dabei unterschieden sich die Abschätzungen von Harris-Benedict und Owen signifikant zu den Resultaten von Mifflin ($p < 0.05$). Bei den Probanden, die als nicht übergewichtig eingestuft wurden, resultierte mit den Formeln von Mifflin, Owen und Harris-Benedict zu 82, 73 und 69 % ein Wert innerhalb einer Abweichung von ± 10 %. Bei den Probanden mit Übergewicht schätzten die Formeln zu 70, 52, 64 % den richtigen Wert innerhalb des 10 % Bereichs ab.

Müller und Kollegen überprüften im Jahr 2004 die Validität der WHO Formel anhand von 2'528 Probanden im Alter von 5-91 Jahren. Ihre Resultate zeigten, dass die Formel bei Leuten mit einem tiefen EGR den tatsächlichen Wert systematisch überschätzt. Hingegen unterschätzt die Formel der WHO den richtigen Wert bei Leuten mit einem hohen EGR.

Im Jahr 2005 wurden alle Formeln aus Tabelle 3 in einem systematischen Review auf ihre Validität und Reliabilität überprüft (Frankenfield u. a., 2005). In ihr Review flossen 38 Artikel

von Leuten mit unterschiedlicher Ethnizität, Altersgruppen und Gewichtsklassen. Dabei stellte sich heraus, dass die Formel von Mifflin-St. Jeor (1990) die zuverlässigste und genaueste Formel zur Bestimmung des EGR ist. Sie schätzt die Werte von übergewichtigen und nicht übergewichtigen Menschen bei 70 % bzw. 80 % innerhalb der Abweichung von $\pm 10\%$ „korrekt“ ab. Wichtig im Bezug aufs Gewichtsmanagement ist, dass die Formel von Mifflin-St. Jeor die tatsächlichen Werte unterschätzte. Bei der Harris-Benedict Formel stellte sich heraus, dass sie die korrekten Werte überschätzt, was zu gravierenden Folgen im Gewichtsmanagement haben kann. Owen's Formel gibt bei Menschen mit einem BMI $< 25 \text{ kg/m}^2$ zu 73 % den richtigen Wert bei einer Toleranzlimite von $\pm 10\%$ an. Bei übergewichtigen Menschen resultieren hingegen nur zu 51 % die korrekten Werte innerhalb der 10 % Abweichung.

In den letzten Jahrzehnten wurden die aufgeführten Formeln immer wieder aufs Neue geprüft. Die Studien liefern aus diversen Gründen widersprüchliche Resultate. Um eine geplante Ernährungsintervention zur Reduktion des Gewichtes durchzuführen, ist eine genaue Angabe für den EGR, der in den meisten Fällen den grössten Teil des Energieverbrauches ausmacht, essentiell. Um möglichst kleine Abweichungen zum tatsächlichen Energieverbrauch zu erlangen, ist es empfehlenswert, die Formeln zu verwenden, die am besten zu den Eigenschaften des Individuums passen (D. Frankenfield u. a., 2005; Thompson & Manore, 1996; Burke & Deakin, 2015). Zum heutigen Zeitpunkt ist jedoch unklar, welche Formel die genauesten Abschätzungen des EGR bei übergewichtigen, normalgewichtigen, unter bzw. über 40 jährigen Personen aus der Schweiz liefert. Ein Teil dieser Studie zielt deshalb darauf ab, diese Wissenslücke zu schliessen und anschliessend Schweizer Personen eine Formel zur Bestimmung des individuellen EGR zu empfehlen.

1.3 Maximale Sauerstoffaufnahme

Eine weitere Komponente für eine Gewichtsreduktion und der damit verbundenen gesünderen Lebensführung ist die körperliche Aktivität. Welche Substrate bei einer körperlichen Aktivität mehrheitlich zu Energiebereitstellung beitragen, hängt von der Frequenz, Intensität und Dauer der Aktivität und der Verfügbarkeit der Substrate ab (Burke und Deakin, 2015). Van Loon, Greenhaff, Constantin-Teodosiu, Saris und Wagenmakers (2001) zeigten mit ihrer Studie, dass die Oxidation der Substrate Intensitätsabhängig ist. In Abbildung 4 ist ersichtlich, dass Kohlenhydrat und Fettoxidation proportional mit der Intensität der Leistung (bis 55%) ansteigt. Wird die Intensität weiter erhöht, nimmt die Sauerstoffverfügbarkeit zur Oxidation der Fettsubstrate

ab. Deshalb steigt vor allem die Muskelglykogen und Plasmaglukose Oxidationsrate weiter an, wohingegen die Fettsäureoxidationsrate zunehmend abnimmt (Van Loon u. a., 2001).

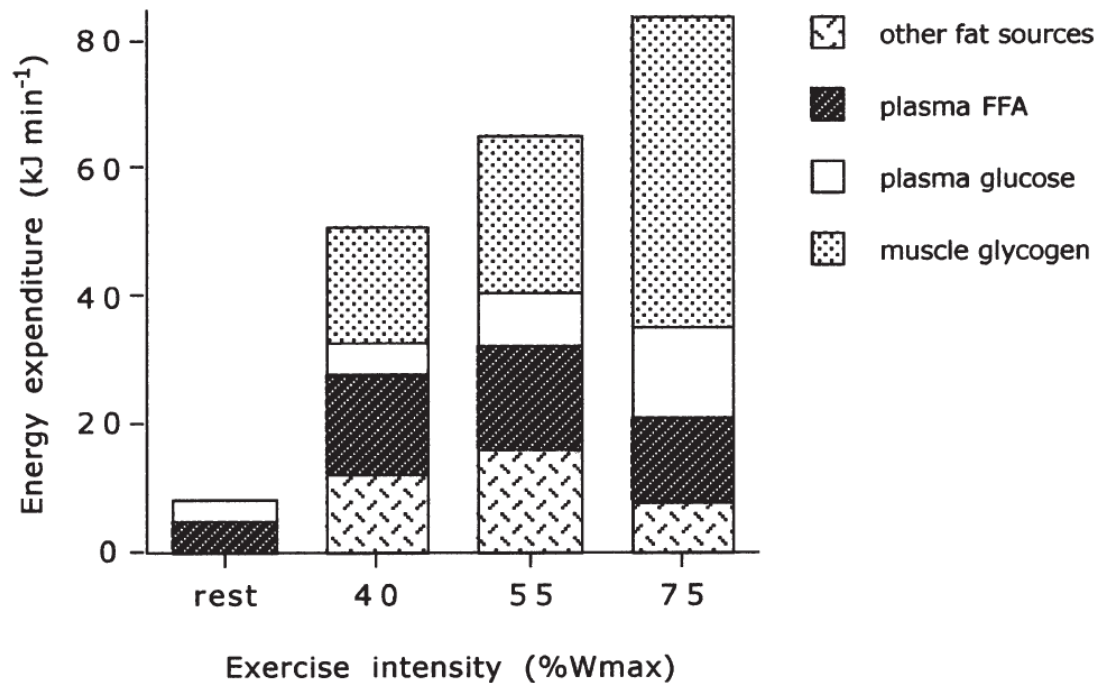


Abbildung 4. Verwendung unterschiedlicher Substrate in Abhängigkeit der Intensität von der körperlichen Aktivität. FFA = Freie Fettsäuren (Van Loon u. a., 2001, S. 301).

Effektiv Fett zu verstoffwechseln ist trainierbar und ermöglicht eine bessere Ausdauerleistungsfähigkeit und Gesundheit (Jeukendrup, 2005). Ein Wert zur Quantifizierung der Ausdauerfähigkeit ist der VO_{2max} Wert. Er beschreibt die maximale Menge an Sauerstoff, die über einen gewissen Zeitraum eingeatmet wird, via Lunge ins Blut diffundiert und von der aktiven Muskulatur hauptsächlich für die aeroben Energiegewinnung genutzt wird (Levine, 2008). Er wird in $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ angegeben. Je höher der VO_{2max} eines Individuums, desto besser seine Ausdauerleistungsfähigkeit.

Abbildung 5 zeigt die Fettoxidationsrate von trainierten und untrainierten Personen in Abhängigkeit der Intensität. Ausdauersportler haben im Vergleich zu untrainierten Menschen und Leuten mit Diabetes Typ 2 eine ausgeprägtere Kapazität, Fett als Energielieferant zu verwenden (Achten & Jeukendrup, 2003). Bei ihnen ist die Fettoxidation sowohl bei tiefen < 55 VO_{2max} als auch bei hohen > 70 VO_{2max} Intensitäten erhöht.

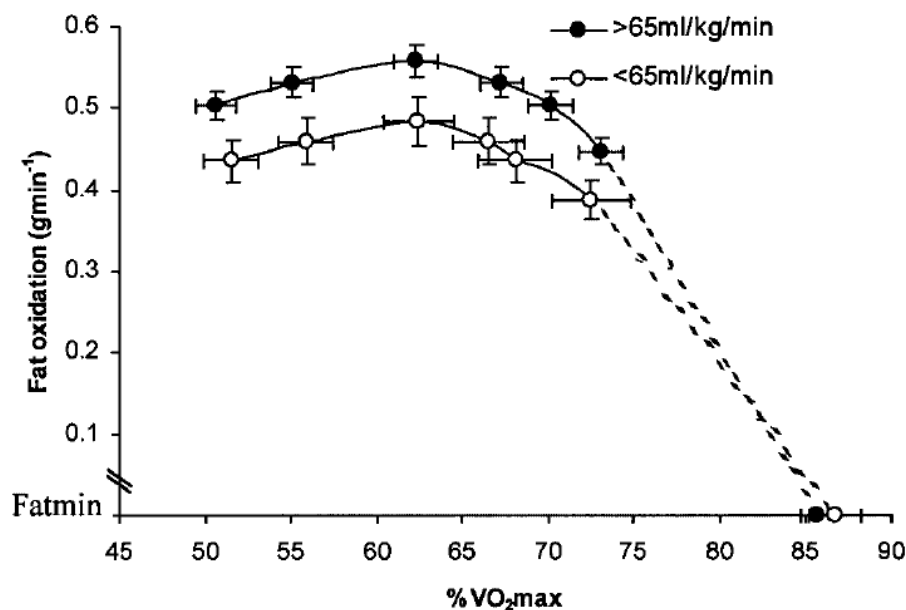


Abbildung 5. Fettoxidationsrate in Abhängigkeit der Intensität für Gruppen mit tiefen und hohen VO₂max Werten (A. E. Jeukendrup und J. Achten, 2003, S. 606).

Der Test zur Bestimmung der VO₂max erfordert eine maximale Ausbelastung des Körpers und es ist ein grosser technischer Aufwand zur Erhebung der Daten notwendig. Eine maximale Ausbelastung kann insbesondere bei untrainierten oder gesundheitlich eingeschränkten Personen problematisch sein. Jedoch ist es insbesondere bei diesen Personen von Interesse, ihre Dauerleistungsfähigkeit für beispielsweise eine kardiovaskuläre Prävention zu bestimmen (Tschopp u. a., 2000). Deshalb wurden in der Vergangenheit Regressionsmodelle entwickelt, die den VO₂max Wert basierend auf anthropometrischen Daten abschätzen. Die heutigen Fitness-Tracker basieren auf diesen Formeln. In Tabelle 4 sind einige bekannte Formeln aufgeführt.

Jackson u. a., (1990) verwendeten von insgesamt 2009 Probanden (Männer = 1814, Frauen = 195) das Geschlecht, Alter, Körperzusammensetzung und die körperliche Aktivität pro Woche, um eine Formel zur Abschätzung der Ausdauerfähigkeit zu erhalten. Gemäss den Autoren liefert ihre Formel für alle Personen ausser den sehr gut trainierten > 55 ml*kg⁻¹*min⁻¹ genaue und zuverlässige Daten zu Bestimmung des VO₂max Wertes ($r = 0.79$). Die körperliche Aktivität erklärt mit einem $\beta = 0.44$ den grössten Teil der Varianz. Die Beta-Werte der anderen unabhängigen Variablen waren ebenfalls statistisch signifikant ($p < 0.05$). Der BMI lieferte mit einem $\beta = -0.26$ den schlechtesten Wert zur Bestimmung des VO₂max. Shenoy, Tyagi, & Sandhu (2012), wendeten die Formel von Jackson u. a. (1990) bei 120 indischen Hochschulstudenten an (60 Frauen, 60 Männer, Alter: 22 ± 2.2 Jahre). Die Autoren kamen zum Schluss, dass die

Formel von Jackson den tatsächlich gemessenen $\text{VO}_{2\text{max}}$ Wert bei indischen Studenten überschätzt und demzufolge nicht geeignet ist.

Die Daten von rund 1500 Fussballspieler im Kosovo flossen in die Regressionsberechnungen von Rexhepi & Brestovci (2014) ein. Sie verwendeten für ihre Formel nur das Alter, Gewicht und die Ruheherzfrequenz als unabhängigen Variablen. Gemäss den Autoren ist ihre Formel in der Lage den $\text{VO}_{2\text{max}}$ Wert eines Individuums genau abzuschätzen ($r = 0.69$). Das Gewicht ist mit einem $\beta = 0.4$ der beste Prädiktor des $\text{VO}_{2\text{max}}$, gefolgt von der Ruheherzfrequenz mit einem $\beta = -0.35$.

Tabelle 4

Verschiedene Formeln zur Abschätzung der maximalen Sauerstoffaufnahme bei gesunden Erwachsenen Personen auf Grund anthropometrischer Daten

Jackson u. a., (1990)
Männer: $\text{VO}_{2\text{max}} (\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}) = 67.350 + (1.921 \times \text{PA-R}) - (0.381 \times \text{A}) - (0.754 \times \text{BMI})$
Frauen: $\text{VO}_{2\text{max}} (\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}) = 56.363 + (1.921 \times \text{PA-R}) - (0.381 \times \text{A}) - (0.754 \times \text{BMI})$
Rexhepi & Brestovci, (2014)
$\text{VO}_{2\text{max}} (\text{l} \cdot \text{min}^{-1}) = 3.542 + (-0.014 \times \text{A}) + (0.015 \times \text{Gw}) + (-0.011 \times \text{HR0})$
$\text{VO}_{2\text{max}} (\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}) = (3.542 + (-0.014 \times \text{A}) + (0.015 \times \text{Gw}) + (-0.011 \times \text{HR0})) \times 1000 / \text{G}$
Myers u. a., (2017)
$\text{VO}_{2\text{max}} (\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}) = 79.9 - (0.39 \times \text{A}) - (13.7 \times \text{Geschlecht; M} = 0, \text{F} = 1) - (0.127 \times (\text{G (lbs)}))$
$\text{VO}_{2\text{max}} (\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}) = 79.9 - (0.39 \times \text{A}) - (13.7 \times \text{Geschlecht; M} = 0, \text{F} = 1) - (0.127 \times (\text{Gw} \times 2.20462))$

Anmerkung. A = Alter, BMI = Body Mass Index, F = Frau, Gw = Kilogramm, HR0 = Ruheherzfrequenz, M = Mann, PA-R = körperliche Aktivität pro Woche. Die Formel von Rexhepi & Brestovci wurde so modifiziert, dass die Masseinheit der Resultate ebenfalls $\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ angegeben ist. In der Formel von Myers und Kollegen wurde das Gewicht der Probanden mit dem Faktor 2.20462 multipliziert, um das Gewicht in Pfund zu erhalten.

Im Jahr 2017 entwickelten Myers u. a. ein Regressionsmodell anhand vom Alter, Geschlecht und Gewicht. Dabei verwendeten sie Daten von 7759 Probanden (4601 Männer, 3158 Frauen, 45.9 ± 12.8 Jahre), welche vorwiegend aus Amerika stammten. Gemäss den Autoren liefert ihre Formel für beide Geschlechter, sämtliche Altersklassen (20-79 Jahre) und alle BMI Gruppen < 25 und $> 35 \text{ kg/m}^2$ eine genaue Vorhersage der $\text{VO}_{2\text{max}}$. Das Alter, Geschlecht und das Körpergewicht sind signifikante Prädiktoren, um das $\text{VO}_{2\text{max}}$ Abzuschätzen ($p < 0.001$). Mit einem $R^2 = 0.62$ erklären sie 62 % der Varianz. Dabei erklärt das Alter den grössten Teil der Streuung, gefolgt vom Geschlecht und dem Gewicht.

Shenoy und Kollegen zeigten bereits 2012, dass die entwickelten Formeln unter Umständen nur für sehr spezifische Ethnien oder anthropometrische Voraussetzungen geeignet sind. Die aufgeführten Formeln wurden allerdings noch nie bei denselben Probanden in derselben Studie auf ihre Genauigkeit überprüft. Folglich ist zum heutigen Zeitpunkt noch unklar, welche Formel die genauesten Abschätzungen der VO_{2max} bei übergewichtigen, normalgewichtigen, fitten und unfitten Personen aus der Schweiz liefert. Ein Teil dieser Studie zielt deshalb darauf ab, diese Wissenslücke zu schliessen und anschliessend Schweizer Personen eine Formel zur Bestimmung der individuellen VO_{2max} zu empfehlen.

1.4 Maximale Herzfrequenz

Um die Ausdauerleistungsfähigkeit und das VO_{2max} einer Person zu steigern, ist eine präzise Trainingsplanung essenziell. Intensität, Dauer und Frequenz müssen aufeinander abgestimmt werden. Ein Trainingsprogramm ohne genügend intensive Einheiten, wird die Ausdauerfähigkeit einer Person nicht relevant steigern (Gilman, 1996). Trainingseinheiten mit Intensitäten von 50-100 % vom VO_{2max} vermögen die Ausdauer zu verbessern. Allerdings verbessern Trainings mit Intensitäten $> 90\%$ VO_{2max} die Ausdauer am stärksten (Wenger & Bell, 1986). Zu häufige intensive Trainings hingegen, können zu Übertraining führen (Kuipers & Keizer, 1988). Deshalb wird empfohlen nur zu 20 % hochintensive Trainings zu absolvieren (Sleamaker & Browning, 1996). Athletiktrainer verwenden vielfach die Herzfrequenz als ein Mass zur Bestimmung der Intensität. Diese steigt mit steigendem VO_{2max} an. In einer Studie mit 162 Probanden (81 Frauen, 81 Männer, zwischen 18 und 34 Jahren) wurde das Verhältnis der Herzfrequenz und der VO_{2max} untersucht (Swain, Abernathy, Smith, Lee, & Bunn, 1994). Bei 63, 76, 89 und 92 % der maximalen Herzfrequenz (HF_{max}) befanden sich die Probanden bei VO_{2max} Werten von 40, 60, 80 und 85 %. Da zur Bestimmung der HF_{max} eine maximale körperliche Anstrengung und zugleich teure Apparaturen nötig sind, werden in der Literatur immer wieder dieselben Formeln verwendet, um die HF_{max} abzuschätzen (Tabelle 5).

Tabelle 5

Verschiedene Formeln zur Abschätzung der HF_{\max} bei gesunden erwachsenen Personen

Traditionelle Formel
220 – Alter
Tanaka, Monahan, & Seals, (2001)
208 – $0.7 \times \text{Alter}$

Camarda u. a. (2008), verwendeten HF_{\max} Werte von 2047 Personen (1091 Männer, 956 Frauen, Alter 12-69 Jahre, $BMI \leq 40 \text{ kg/m}^2$) um die Formel 220 – Alter und die Formel von Tanaka auf ihre Genauigkeit zu überprüfen. Beide Formeln erreichten einen guten Korrelationskoeffizienten von $r = 0.72$. Franckowiak, Dobrosielski, Reilley, Walston, & Andersen (2011), überprüften mit ihrer Studie beide Formeln aus Tabelle 5 an 173 übergewichtigen Probanden (29 Männer, 144 Frauen). Die Formel von Tanaka schätzte die HF_{\max} von sämtlichen Übergewichtskategorien ($BMI 25\text{-}40 \text{ kg/m}^2$) und Alterskategorien (20-60 Jahre) sehr genau ab. Die Formel 220 – Alter lieferte ebenfalls genaue Werte für alle Gewichtskategorien und Alterskategorien von 40-60 Jahren. Hingegen wurde die tatsächliche HF_{\max} bei Menschen jünger als 40 Jahre signifikant überschätzt ($p < 0.05$).

Ähnliche Resultate liefern Roy und McCroy (2015) mit ihrer Studie in der 52 Probanden (18-25 Jahre, $BMI = 18.5\text{-}24.9 \text{ kg/m}^2$) teilnahmen. Sie kamen zum Schluss, dass Männer und untrainierte Personen höhere HF_{\max} Werte aufweisen, als Frauen und trainierte Personen. Zudem liefert gemäss den Autoren Tanaka's Formel akkurate Schätzungen zur HF_{\max} sowohl für aktive als auch für sedentäre Personen beider Geschlechter. Die traditionelle Formel (220 – Alter) hingegen gibt für aktive Leute ungenauere und für sedentäre gleich Schätzungen der HF_{\max} wie die Formel von Tanaka und Kollegen.

Im Jahr 2015 überprüfte Nikolaidis die traditionelle und die Formel von Tanaka bei Adoleszenten und jungen Erwachsenen (16-23 Jahre) Fussballspielern auf ihre Genauigkeit. Die Kernaussage von Nikolaidis war, dass keine der beiden Formeln akkurate Werte zur Abschätzung der HF_{\max} liefert. Die traditionelle Formel überschätzt die gemessenen Werte, wohingegen Tanakas Formel in beiden Altersgruppen die tatsächlichen Werte unterschätzt.

Machado und Denadai (2011) validierten die aufgeführten Formeln bei brasilianischen Kindern im Alter von 10-16 Jahren. Die Abschätzungen der traditionellen Formel waren signifikant höher ($p < 0.001$) als die gemessenen Werte bei jungen männlichen brasilianischen Kindern. Die Formel von Tanaka und Kollegen hingegen liefert im Durchschnitt genaue Vorhersagen der HF_{\max} . Allerdings wies auch sie eine Streuung von -17 bis +15 Schlägen pro Minute auf.

Die aufgeführte Literatur zeigt, dass beide Formeln bei Menschen mit unterschiedlichen anthropometrischen Voraussetzungen und Ethnien ungleiche Resultate liefern. Akkurate Abschätzungen der HF_{max} sind für gute Trainingsinterventionen und gezielte Trainingssteuerung aber essenziell. Deshalb sind alle Personen, die keinen Zugang zu teuren Apparaturen zur Bestimmung der HF_{max} haben, auf präzise Formeln zur Abschätzung der HF_{max} angewiesen. Zum heutigen Zeitpunkt ist jedoch unklar, welche Formel die genauesten Abschätzungen der HF_{max} bei übergewichtigen, normalgewichtigen, über 40 jährigen und unter 40 jährigen Personen aus der Schweiz liefert. Ein Teil dieser Studie zielt deshalb darauf ab, diese Wissenslücke zu schliessen und anschliessend Schweizer Personen eine Formel zur Bestimmung der individuellen HF_{max} zu empfehlen.

1.5 Ziel und konkrete Fragestellung

Die Literaturrecherche im obigen Kapitel hat aufgezeigt, dass bei den Formeln zur Bestimmung des Energie Grundumsatzes, der maximalen Herzfrequenz und der maximalen Sauerstoffaufnahme noch weiterer Forschungsbedarf besteht. Das Ziel dieser Arbeit ist es, die Genauigkeit viel verwendeter Formeln zur Abschätzung des EGR, VO_{2max} und der HF_{max} zu überprüfen und einen Teil der Forschungslücken zu schliessen. Hierfür wurden folgende konkrete Fragestellungen formuliert:

- a) Wie präzise schätzen die Formeln aus Tabelle 3 den EGR einer übergewichtigen, normalgewichtigen und oder unter bzw. über 40 jährigen Person aus der Schweiz ab?
- b) Wie präzise schätzen die Formeln aus Tabelle 4 die VO_{2max} einer fitten, unfitten und/oder über- bzw. normalgewichtigen Person aus der Schweiz ab?
- c) Wie präzise schätzen die Formeln aus Tabelle 5 die HF_{max} einer über- bzw. normalgewichtigen und/oder unter bzw. über 40 jährigen Person aus der Schweiz ab?

2 Methode

In Kapitel eins wurden die Forschungslücken und die theoretischen Hintergründe zum aktuellen Thema hergeleitet. Kapitel zwei dient dazu, das methodische Vorgehen zur Zielerreichung und Schliessung der Forschungslücke aufzuzeigen. Diesbezüglich wurde das Kapitel mehrfach gegliedert, um die einzelnen Teilschritte vom Ablauf der Studie genau zu beschreiben.

2.1 Untersuchungsgruppe

An der Untersuchung nahmen insgesamt 113 gesunde Probanden teil. Die Teilnahme an der Studie war freiwillig. Weil die Erhebung der Ruheherzfrequenz und der HF_{\max} bei einigen Probanden nicht wunschgemäss funktionierte, wurden für die Berechnungen der HF_{\max} lediglich 105 Probanden und für den $VO_{2\max}$ 101 Probanden berücksichtigt. Vor der Untersuchung wurden die Probanden mündlich und schriftlich über die Inhalte und Ziele der Studie aufgeklärt. Alle Probanden unterzeichneten vor Messbeginn eine Einverständniserklärung. In Tabelle 6 sind die anthropometrischen Zusammensetzungen der Probanden bei der jeweiligen Erhebung ersichtlich.

Tabelle 6

Anthropometrische Zusammensetzungen der Probanden

Erhebungen	n	Geschlecht	Alter	Grösse	Body Mass Index
Energie Grundumsatz	56	Frauen	38.30 ± 11.07	1.67 ± 0.06 m	24.14 ± 6.04 kg
	57	Männer	39.91 ± 11.17	1.79 ± 0.07 m	25.44 ± 4.62 kg
Maximale Sauerstoffaufnahme	52	Frauen	38.7 ± 11.05	1.69 ± 0.06 m	24.34 ± 4.8 kg
	53	Männer	39.4 ± 11.37	1.79 ± 0.06 m	25.54 ± 4.6 kg
Maximale Herzfrequenz	49	Frauen	38.1 ± 11.04	1.68 ± 0.06 m	24.51 ± 4.8 kg
	52	Männer	39.5 ± 11.45	1.80 ± 0.07 m	25.62 ± 4.6 kg

2.2 Studiendesign

Die Datenerhebung fand im Jahr 2015 in Magglingen (Schweiz) statt. Informationen zu den Messungen sowie ein Fragebogen zur persönlichen Einschätzung der körperlichen Aktivität (Jackson/Polar) und der PAR-Q wurden im Vorfeld den Probanden via E-Mail zugestellt. Die Teilnehmer wurden aufgefordert, mindestens einen Tag vor den Messungen keine koffein- und

alkoholhaltigen Getränke zu konsumieren. Ebenfalls sollten intensive körperliche Trainingseinheiten einen Tag vor den Erhebungen vermieden werden. Zehn Stunden vor der Partizipation an der Studie, durfte nichts mehr gegessen und getrunken werden. Für die Erhebung der Daten wurden die Teilnehmer mit einem Brustgurt zur Aufzeichnung der HF_{\max} und einem Spirometrie System zur Erhebung des EGR und der $VO_{2\max}$ ausgestattet. Die Spirometrie Daten für die EGR Erhebung wurden im 10-s Intervall aufgezeichnet. Die $VO_{2\max}$ Daten wurden bei jedem Atemzug aufgezeichnet. Der Brustgurt des Elektrokardiogramms zur Aufzeichnung der Herzfrequenz wurde vor dem Start der Messungen befeuchtet, um optimale Daten der Herzfrequenz zu erlangen.

2.3 Erhebung

Die Datenerhebung fand in einem stillen Raum bei einer Raumtemperatur von ca. 22 °C statt. Das Zimmer war ausgestattet mit einem Bett, Laufband (Mercury, h/p/cosmos sports & medical GmbH, Nussdorf-Traunstein, Deutschland), stationärem Spirometrie System (Cosmed Quark RMR, Rom, Italien), einer kalibrierten Waage (Seca, Hamburg, Deutschland) und einem Stadiometer (Seca, Hamburg, Deutschland). Zur Erhebung des Körpergewichts, der Grösse und dem Taillenumfang, zogen die Teilnehmer die Kleidung bis auf die Unterwäsche aus. Das Spirometrie System wurde vor jeder Erhebung gemäss den Wegleitungen des Herstellers kalibriert. Während der Vorbereitungsphase lag der Teilnehmer ruhig auf dem Bett und versuchte zu relaxen. Die Abdeckhaube des Cosmed Spirometer zur Ermittlung der Gaskonzentration wurde über den Kopf des Probanden platziert und als letztes Gerät eingeschaltet. Danach begann die Erhebung des EGR. Diese Erhebung fand jeweils am Morgen vor dem Frühstück statt. Die Teilnehmer waren wach und lagen ruhig für 15 Minuten auf dem Bett. Nach den EGR Messungen wurde die Abdeckhaube des Cosmed Spirometer von den Probanden entfernt.

Danach erhielten die Teilnehmer ein leichtes Frühstück (zwei Scheiben Brot und drei Deziliter Orangensaft oder Wasser), gefolgt von einer 15-minütigen Pause.

Für die Messungen des $VO_{2\max}$ und der HF_{\max} begaben sich die Probanden nach dem Frühstück und der Pause wieder in den Erhebungsraum. Das Cosmed Spirometer System wurde ein zweites Mal verwendet. Die Teilnehmer absolvierten ein 8-minütiges Aufwärmen auf dem Laufband. Dieses beinhaltete vier Minuten laufen gefolgt von vier Minuten rennen mit der entsprechenden Geschwindigkeit (Tabelle 7). Nach dem Aufwärmen pausierten die Probanden für zwei Minuten. Danach starteten die Messungen für den $VO_{2\max}$ und die HF_{\max} . Um repräsentative Daten zu erhalten, wurde ein adaptierter Bruce-Protokoll Rampentest (Bruce, Kusumi, & Hosmer, 1973) durchgeführt (Tabelle 7). Dieser eignet sich sowohl für Athleten als auch für

weniger fitte oder übergewichtige Personen. Die Formel von Jackson u. a. (1990) diente zur Abschätzung des VO_{2max} eines Teilnehmers und definiert zugleich das Einstiegslevel im Rampentest. Der Einstiegslevel wurde drei Stufen unterhalb des geschätzten Abbruchlevels festgelegt. Dank dieser Methode absolvierten alle Teilnehmer drei bis fünf Level des Protokolls. Die Probanden mussten bis zur kompletten Erschöpfung rennen. Nach Abbruch des Tests wurden die Teilnehmer nach der gefühlten Erschöpfung basierend auf der Borg-Skala (6-20) gefragt. Zusätzlich wurde die erbrachte Leistung (Geschwindigkeit, Zeit und Neigung) notiert.

Tabelle 7

Adaptierter Bruce Protokoll Rampentest zur Bestimmung der maximalen Sauerstoffaufnahme

Level	Zeit (min)	Geschwindigkeit (km/h)	Neigung (%)	Geschätztes VO_{2max} (ml/kg/min)	Aufwärmen laufen und rennen (km/h)	Start beim Level
1	0	2.7	0			
2	3	2.7	5			
3	6	2.7	10	15-20	3.0 und 7.5	1
4	9	4.0	12	20-25	3.0 und 7.5	1
5	12	5.5	14	25-30	3.5 und 8.0	2
6	15	6.8	16	30-40	4.0 und 9.0	3
7	18	8.0	18	40-50	4.5 und 10	4
8	21	8.8	20	50-60	5.0 und 12	5
9	24	9.6	22	60-70	5.0 und 14	6

2.4 Indirekte Kalorimetrie und Herzfrequenzmessung

Für die Erhebung des EGR und der VO_{2max} Daten diente das stationäre Cosmed Spirometrie System (Cosmed Quark RMR, Rom, Italien). Gemäss den Herstellern liefert das System zuverlässige und genaue Daten. Für die Erhebung des VO_{2max} wurde anstelle der Abdeckhaube eine Gesichtsmaske verwendet. Diese variierten in der Grösse und wurden individuell für jeden Probanden ausgewählt. Daraufhin wurde die Atemmaske mittels regulierbarem Kopf Netz am Probanden angebracht, damit möglichst keine Atemgase ausweichen konnten. Die Herzfrequenz wurde mit Hilfe eines adjustierbaren Polar Brustgurtes (Polar Electro Oy, Kempele, Finnland) und einem dazugehörigen Körpersensor erhoben. Eine interne Speicherkarte speicherte die Daten ab, welche anschliessend ins Excel exportiert werden konnten.

2.5 Datenauswertung

Der EGR wurde anhand der Formel von Weir (1949) berechnet.

$$\text{Energieverbrauch [kcal/d]} = (3.941 * V_{O2}) + (1.106 * V_{CO2}) * 1440$$

Für die Berechnungen des EGR wurden die Daten über eine Zeitspanne von fünf Minuten ab der siebten bis zur zwölften Minute gemittelt (Feurer & Mullen, 1986). Die ersten sieben Minuten wurden nicht verwendet, weil die Abdeckhaube gewöhnungsbedürftig ist und dadurch der EGR der Probanden hätte beeinflusst werden können. Die letzten drei Minuten wurden nicht für die Berechnungen in Betracht gezogen, weil sich die Probanden möglicherweise gedanklich schon auf das Ende eingestellt haben, was wiederum den EGR hätte beeinflussen können.

Gemäss Howley, Bassett, & Welch (1995) ist unklar, ob der höchste gemessene VO_2 -Wert auch tatsächlich dem VO_{2max} entspricht. Idealerweise bildet sich gegen Testende ein Plateau zur Bestimmung des VO_{2max} Wertes. Dieses wird definiert als ein Anstieg der Sauerstoffaufnahme von maximal 150 ml/min (Tschopp & Held, 2001). Tritt dieses Plateau nicht ein, müssen folgende sekundär Kriterien über eine maximale Ausbelastung entscheiden (Tschopp & Held, 2001):

- 1) Respiratorischer Quotient (RQ) ≥ 1.1
- 2) Borgskala ≥ 18 .

Des Weiteren empfiehlt das Bundesamt für Sport Baspo (2015), « VO_{2max} als den höchsten 30s-Mittelwert der Sauerstoffaufnahme zu wählen». Demzufolge wurden die aufgeführten Kriterien zur Bestimmung des VO_{2max} herangezogen.

Die erhobenen Daten der Systeme wurden auf den Laptop exportiert und mit Hilfe von Excel (Microsoft Excel für Windows, Microsoft Corporation, Redmond, USA) bearbeitet. Zusätzlich zu Excel wurde das Statistikprogramm R-Studio (R Version 3.5.0, R Development Core Team, Wien, Österreich) verwendet. Mit deskriptiver Statistik wurden für sämtliche Formeln sowie deren Untergruppen und Referenzangaben Mittelwerte, Standardabweichungen, Mittelwertdifferenzen und p -Werte berechnet. Boxplots dienten zur grafischen Veranschaulichung der Daten und deren Streuung. Mittels Shapiro-Wilk-Test wurden sämtliche Daten auf ihre Normalverteilung geprüft. Um den p -Wert der unterschiedlichen Formeln und den dazugehörigen Untergruppen zu berechnen, wurde bei nicht normalverteilten Daten der Friedman-Test mit anschliessendem post-hoc Test nach Dunn-Bonferroni durchgeführt. Bei normalverteilten Daten wurde eine gepaarte Anova Analyse mit anschliessendem post-hoc Test nach Dunn-Bonferroni

angewandt. Das Signifikanzniveau wurde auf $p = 0.05$ gesetzt. Des Weiteren wurden Toleranzniveaus für die Abweichungen der einzelnen Formeln zur ihrer Referenz bestimmt. Die Toleranz beim EGR wurde, wie in der verwendeten Literatur üblich, auf $\pm 10\%$ gesetzt, was bei einem Mittelwert von 1600 kcal/d etwas mehr als der Konsumation von einer Banane pro Tag entspricht. In der bestehenden Literatur zur Bestimmung der VO_{2max} und der HF_{max} wurde vielfach auch der Korrelationswert zu den Referenzdaten ermittelt. Für die Beantwortung der Fragestellungen dieser Studie, kann jedoch auf die Korrelationswerte verzichtet werden. In der Literatur gibt es für die VO_{2max} und die HF_{max} keine Empfehlungen bezüglich einer tolerierbaren Abweichung, weshalb selber welche bestimmt wurden. Beim VO_{2max} wurde das Toleranzniveau auf $\pm 10\%$ gesetzt. Dies bedeutete bei einem Mittelwert von 45 ml/kg/min eine Abweichung von 4.5 ml/kg/min. Bei der Abschätzung der HF_{max} wird eine Abweichung von ± 10 Schlägen pro Minute als tolerierbar definiert. Deshalb wurde das Toleranzniveau auf $\pm 5\%$ gesetzt. Um die Anzahl abgeschätzter Werte innerhalb der Toleranzlimiten von 5 respektive 10 % einzuordnen, wurde im Vorfeld folgende Einstufungen definiert: schlecht $< 50\%$, moderat 50 – 70 % und gut $> 70\%$.

2.6 Bildung Untergruppen

Bei der Bildung der Untergruppen wurde darauf geachtet, dass die separierten Gruppen ungefähr gleichviele Probanden beinhalteten und gleichzeitig eine repräsentierbare Grösse darstellten.

Bei übergewichtigen und sedentären Personen stellt der EGR den grössten Teil des Tagesumsatzes dar. Deshalb wurden die Probanden beim EGR nach BMI in zwei Gruppen unterteilt. Dabei galt der BMI 25 als Schnittstelle. Veränderung der Körperzusammensetzung und des Metabolismus mit zunehmendem Alter waren Gründe für die Unterteilung der Probanden in Gruppen von unter bzw. über 40 jährige.

Gemäss Setty und Kollegen (2013) hat der BMI einen negativen Einfluss auf das VO_{2max} . Aus diesem Grund wurden die Probanden beim VO_{2max} ebenfalls nach BMI unterteilt. Die zweite Unterteilung erfolgte bei 50 ml/kg/min und separierte die Probanden nach Fitnesslevel.

Die HF_{max} nimmt mit zunehmenden Alter kontinuierlich ab (Hossack & Bruce, 1982; Tanaka u. a., 2001). Deshalb wurden die Probanden wiederum in die Gruppen von unter bzw. über 40 jährige eingeteilt. Die zweite Unterteilung bei der HF_{max} erfolgte wie vorab bei einem BMI von 25. Dies weil insbesondere für übergewichtige Menschen genaue Angaben für die HF_{max} nötig sind, um Trainingsinterventionen mit der passenden Intensität zu steuern.

3 Resultate

In diesem Kapitel werden die Resultate der erhobenen Daten präsentiert. Dazu wurden die drei Parameter in drei Unterkapitel gegliedert. Zu jedem der drei erhobenen Parameter wurde eine Tabelle mit Mittelwertangaben und Mittelwertdifferenzen erstellt. Mittels Boxplot wurden die erhobenen und die abgeschätzten Daten zum EGR, $VO_{2\max}$ und der HF_{\max} grafisch veranschaulicht. Zum Schluss wurden die abgeschätzten Werte innerhalb der Toleranzlimiten von 5 respektive 10 % wiederum tabellarisch präsentiert.

3.1 Energie Grundumsatz

In Tabelle 8 sind die Mittelwertdifferenzen der ausgewählten Formeln und dem Referenzwert mit dem Signifikanzniveau dargestellt. Alle Formeln, mit Ausnahme der WHO bei der Gruppe (Alter > 40), unterschieden sich signifikant zum Referenzwert ($p < 0.05$). Mit der Formel der WHO resultierten die kleinsten Mittelwertdifferenzen. Die grössten Mittelwertdifferenzen resultierten aus der Formel von Owen. Jede Formel unterschätzte den gemessenen Wert in sämtlichen Gruppen. Zwischen den Formeln unterschieden sich die Mittelwerte der WHO und Harris-Benedict ebenfalls signifikant zu den Mittelwerten von Mifflin-St. Jeor und Owen ($p < 0.001$).

Tabelle 8

Mittelwertdifferenz zwischen den ausgewählten Formeln zur Bestimmung des Energie Grundumsatzes und des Referenzwertes.

		Referenzwert [kcal/d]		Harris-Benedict [kcal/d]		WHO [kcal/d]		Owen [kcal/d]		Mifflin-St. Jeor [kcal/d]				
Gruppe	n	Mw ± SA	Mw ± SA	Δ Harris-Benedict-Referenz	Δ Prozen-tual	Mw ± SA	Δ WHO -Referenz	Δ Prozen-tual	Mw ± SA	Δ Owen -Referenz	Δ Prozen-tual	Mw ± SA	Δ Mifflin-St. Jeor-Referenz	Δ Prozen-tual
Alle	112	1732 ± 348	1637 ± 294 *	-95	-5 %	1657 ± 291 *	-75	-4 %	1504 ± 264 *	-228	-13 %	1571 ± 266 *	-161	-9 %
Alter < 40	61	1802 ± 333	1682 ± 281 *	-120	-7 %	1672 ± 297 *	-130	-7 %	1497 ± 251 *	-305	-17 %	1614 ± 245 *	-188	-10 %
Alter > 40	51	1646 ± 345	1580 ± 297 *	-66	-4 %	1632 ± 280	-14	-1 %	1505 ± 276 *	-141	-9 %	1516 ± 278 *	-130	-8 %
BMI < 25	63	1564 ± 235	1475 ± 188 *	-89	-6 %	1496 ± 189 *	-68	-4 %	1369 ± 184 *	-195	-12 %	1429 ± 199 *	-135	-9 %
BMI > 25	49	1949 ± 352	1845 ± 273 *	-104	-5 %	1862 ± 268 *	-87	-4 %	1677 ± 249 *	-272	-14 %	1751 ± 230 *	-198	-10 %

Anmerkung. Alle Werte sind als Mittelwert ± Standardabweichung (Mw ± SA) angegeben. Signifikanter Unterschied zum Referenzwert: * $p < 0.05$; Der p -Wert resultiert aus dem Post-hoc-Test nach Dunn-Bonferroni.

Zur grafischen Veranschaulichung der Resultate aus Tabelle 8 sind die Verteilungen der ausgewählten Formeln und des Referenzwerts über sämtliche Probanden grafisch mittels Boxplot dargestellt (Abbildung 6). Zusätzlich ist der p -Wert der einzelnen Formeln in der Grafik notiert. In der Abbildung ist ersichtlich, dass mit der Formel der WHO annähernd ein identischer Boxplot im Vergleich zur Referenz resultierte. Mit dem Modell von Owen resultierte eine kleinere Streuung und ein tieferer Median verglichen mit dem Referenzboxplot. Der Ausreisser links oben in der Grafik wurde mit jeder Formel unterschätzt.

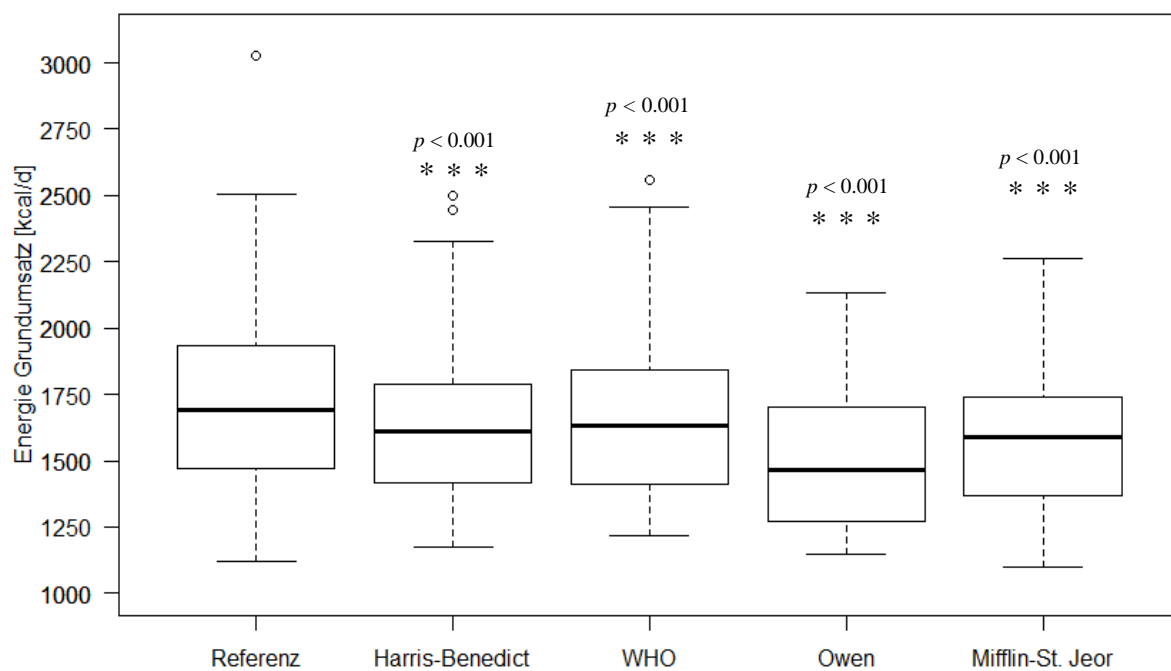


Abbildung 6. Boxplot zur grafischen Darstellung der Unterschiede von den verschiedenen Formeln zum Referenzwert bei sämtlichen Probanden. Der p -Wert resultiert aus dem Post-hoc-Test nach Dunn-Bonferroni.

Tabelle 9 zeigt zu wieviel Prozent die einzelnen Formeln den erhobenen Referenzwert innerhalb einer Toleranzlimite von $\pm 10\%$ abschätzten. Unter Berücksichtigung der 10% Toleranzlimite resultierte über alle Probanden gesehen, mit den Formeln Harris-Benedict und WHO eine 68% Übereinstimmung mit dem Referenzwert. Mit der Formel von Owen und Mifflin-St. Jeor resultierte zu 33% respektive 54% eine Übereinstimmung mit dem Referenzwert. In jeder der gebildeten Untergruppen resultierten am meisten Werte innerhalb der Toleranzlimite von $\pm 10\%$ mit der Formel der WHO. Die Formel von Owen erzielte über alle Gruppen die tiefste Übereinstimmung mit den Referenzwerten.

Tabelle 9

Prozentuale Übereinstimmung der abgeschätzten Werte der einzelnen Formeln zum Referenzwert innerhalb einer Abweichung von $\pm 10\%$.

Gruppe	n	Harris-Benedict	WHO	Owen	Mifflin-St. Jeor
Alle	112	68 %	68 %	33 %	54 %
Alter < 40	61	62 %	62 %	21 %	52 %
Alter > 40	51	74 %	75 %	47 %	57 %
BMI < 25 kg/m ²	63	70 %	70 %	30 %	55 %
BMI > 25 kg/m ²	49	65 %	65 %	37 %	53 %

3.2 Maximale Sauerstoffaufnahme

In Tabelle 10 sind die Mittelwertdifferenzen mit dem entsprechenden Signifikanzniveau für die Formeln zur Abschätzung der VO_{2max} angegeben. Mit der Formel von Rexhepi & Brestovci resultierten in jeder Gruppe die kleinsten Mittelwertdifferenzen gefolgt von der Formel von Jackson und Myers. Bei der Formel von Rexhepi & Brestovci resultierten ausschliesslich bei der Gruppe $VO_{2max} < 50$ ml/kg/min signifikante Unterschiede zur Referenz ($p < 0.001$). Die Formel von Jackson und Myers unterschieden sich in jeder Gruppe signifikant zum Referenzwert ($p < 0.001$). Die Formel von Rexhepi & Brestovci überschätzte die effektiven Werte grösstenteils. Die Formel von Jackson und Myers unterschätzten die erhobenen Werte.

Tabelle 10

Mittelwertdifferenz bei diversen Gruppen zwischen den ausgewählten Formeln zur Bestimmung des maximalen Sauerstoffaufnahme und des Referenzwertes.

		Referenzwert [ml/kg/min]		Jackson [ml/kg/min]		Myers [ml/kg/min]			Rexhepi & Brestovci [ml/kg/min]		
Gruppe	n	Mw ± SA	Mw ± SA	Δ Jackson - Referenz	Δ Prozentual	Mw ± SA	Δ Myers - Referenz	Δ Prozentual	Mw ± SA	Δ Rexhepi & Brestovci - Referenz	Δ Prozentual
Alle	101	45.5 ± 10.5	38.6 ± 9.1 *	-6.9	-15%	36.7 ± 7.7 *	-8.8	-19%	47.3 ± 8.0	1.8	4%
< 50 ml/kg/min	36	39.2 ± 7.0	34.1 ± 7.0 *	-5.1	-13%	33.1 ± 5.6 *	-6.1	-16%	44.2 ± 7.4 *	5.0	13%
> 50 ml/kg/min	65	56.6 ± 5.3	46.7 ± 6.5 *	-9.9	-18%	43.1 ± 6.6 *	-13.5	-24%	52.7 ± 5.7	-3.9	-7%
BMI < 25	55	50.9 ± 9.0	41. 8 ± 8.9 *	-9.1	-18%	39.5 ± 7.4 *	-11.4	-22%	53.0 ± 5.4	2.1	4%
BMI > 25	46	38.9 ± 8.4	34. 8 ± 7.6 *	-4.1	-11%	33.3 ± 6.5 *	-5.6	-14%	40.3 ± 3.9	1.4	4%

Anmerkung. Alle Werte sind als Mittelwert ± Standardabweichung (Mw ± SA) angegeben. Signifikanter Unterschied zum Referenzwert: * $p < 0.05$; Der p -Wert resultiert aus dem Post-hoc-Test nach Dunn-Bonferroni.

Betreffend der $\text{VO}_{2\text{max}}$ Abschätzung, sind die Unterschiede der ausgewählten Formeln zur Referenzmethode über sämtliche Probanden grafisch mittels Boxplot dargestellt (Abbildung 7). Aus der Abbildung ist ersichtlich, dass mit der Formel von Rexhepi & Brestovci ein fast identischer Median und eine sehr ähnliche Streuung bei den fitten Probanden resultierte. Die tieferen Werte hingegen werden mit der Formel von Rexhepi & Brestovci überschätzt. Mit der Formel von Jackson und Myers resultierten ähnliche Streuungsbilder wie die Referenz angibt. Es ist jedoch ersichtlich, dass die erhobenen Werte systematisch unterschätzt werden.

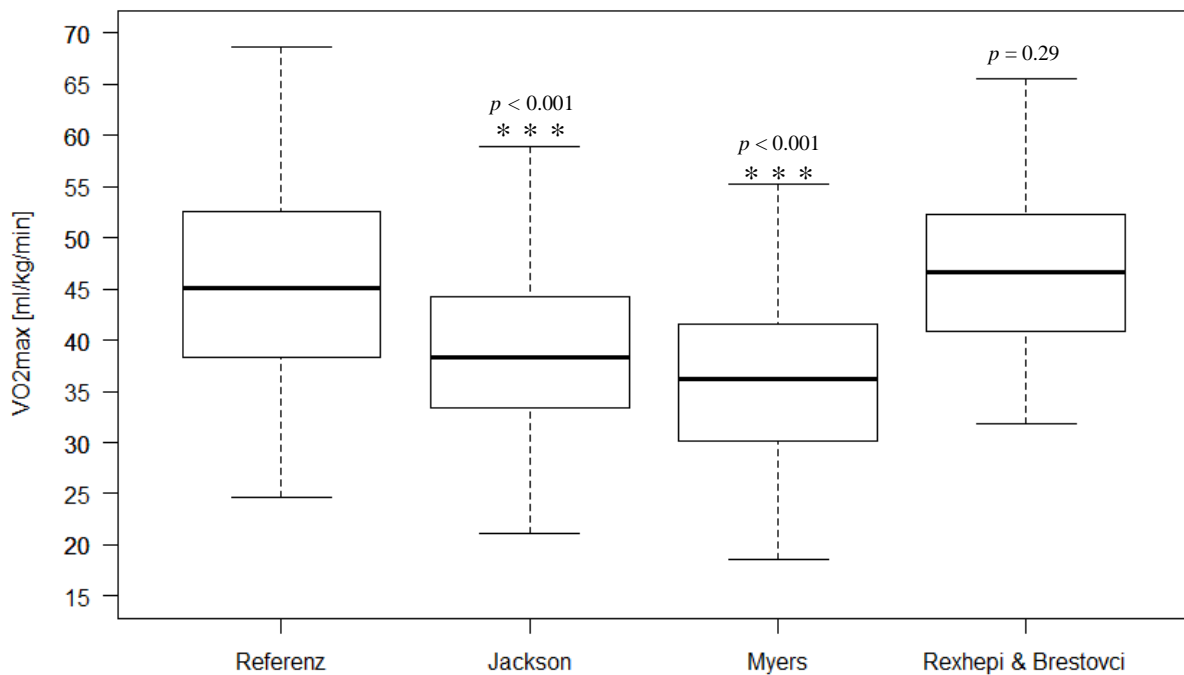


Abbildung 7. Boxplot zur grafischen Darstellung der Unterschiede von den verschiedenen Formeln zum Referenzwert bei sämtlichen Probanden. Der p -Wert resultiert aus dem Post-hoc-Test nach Dunn-Bonferroni.

Tabelle 11 zeigt zu wieviel Prozent die Formeln den erhobenen Wert mit einer Abweichung von $\pm 10\%$ abschätzten. Über die Gesamtheit der Probanden lieferte das Modell von Rexhepi & Brestovci mit 32 % am meisten Werte innerhalb des Toleranzniveaus. Mit der Formel von Jackson resultierten mit 40 respektive 48 % am meisten Werte innerhalb der gesetzten Abweichung für die Gruppen $< 50 \text{ ml/kg/min}$ und $\text{BMI} > 25 \text{ kg/m}^2$. Die Formel von Myers gab bei den Gruppen $> 50 \text{ ml/kg/min}$ und $\text{BMI} < 25 \text{ kg/m}^2$ am wenigsten Werte innerhalb der 10 % Toleranzlimite an.

Tabelle 11

Prozentuale Übereinstimmung der abgeschätzten Werte der einzelnen Formeln zum Referenzwert innerhalb einer Abweichung von $\pm 10\%$.

Gruppe	n	Jackson	Myers	Rexhepi & Brestovci
Alle	101	31 %	22 %	32 %
< 50 ml/kg/min	65	40 %	30 %	30 %
> 50 ml/kg/min	36	16 %	5 %	33 %
BMI < 25 kg/m ²	55	18 %	7 %	33 %
BMI > 25 kg/m ²	46	48 %	39 %	28 %

3.3 Maximale Herzfrequenz

Tabelle 12 präsentiert die Mittelwertdifferenzen der beiden Formeln in den gebildeten Gruppen. Beide Formeln unterschieden sich in jeder der gebildeten Gruppen nicht signifikant zur Referenz. Mit der Formel von Tanaka resultierten in jeder gebildeten Gruppe Mittelwertdifferenzen, die sich um weniger als ± 1 Herzschlag pro Minute unterscheiden. Die kleinste Differenz mit -0.3 Schlägen pro Minute ergab sich bei der Gruppe BMI < 25 kg/m². Die grösste Differenz resultierte bei den Personen die älter als 40 Jahre alt waren. Mit der traditionellen Formel unterschieden sich die Mittelwerte um maximal 1 %. Mit 0.1 Schlägen pro Minute erfolgte die kleinste Differenz bei den Personen mit einem BMI < 25 kg/m². Die grösste Abweichung resultierte bei den Probanden, die älter als 40 Jahre alt waren.

Tabelle 12

Mittelwertdifferenz bei diversen Gruppen zwischen den ausgewählten Formeln zur Bestimmung der maximalen Herzfrequenz und des Referenzwertes.

		Referenzwert [S/min]	traditionelle Formel [S/min]			Tanaka [S/min]		
Gruppe	n	Mw ± SA	Mw ± SA	Δtraditionelle Formel - Referenz	Δ Prozentual	Mw ± SA	Δ Tanaka - Referenz	Δ Prozentual
Alle	105	180.7 ± 13.5	180.9 ± 11.2	0.2	0 %	180.6 ± 7.8	-0.1	0 %
Alter < 40	57	187.4 ± 9.30	189.9 ± 5.30	0.5	1 %	187.0 ± 3.7	-0.4	0 %
Alter > 40	48	172.7 ± 13.1	170.6 ± 5.40	-2.1	-1 %	173.4 ± 3.7	0.7	0 %
BMI < 25	59	181.5 ± 13.6	181.6 ± 11.4	0.1	0 %	181.2 ± 8.0	-0.3	0 %
BMI > 25	46	179.6 ± 13.5	180.0 ± 10.9	0.4	0 %	180.0 ± 7.6	0.4	0 %

Anmerkung. Alle Werte sind als Mittelwert ± Standardabweichung (Mw ± SA) angegeben. Es wurden keine signifikanten Unterschiede zum Referenzwert gefunden.

Betreffend Abschätzung der HF_{\max} , sind die Verteilungen der ausgewählten Formeln und des Referenzwerts über sämtliche Probanden mittels Boxplot veranschaulicht (Abbildung 8). Ebenfalls wurde der p -Wert der Formeln in der Grafik notiert. Mit beiden Formeln resultierte ein sehr ähnlicher Median wie mit der Referenzmethode. Im Vergleich zur Referenz resultierten mit beiden Formeln in beide vertikalen Richtungen geringere Streuungen. Die Ausreisser links unten in der Grafik wurden von beiden Formeln überschätzt.

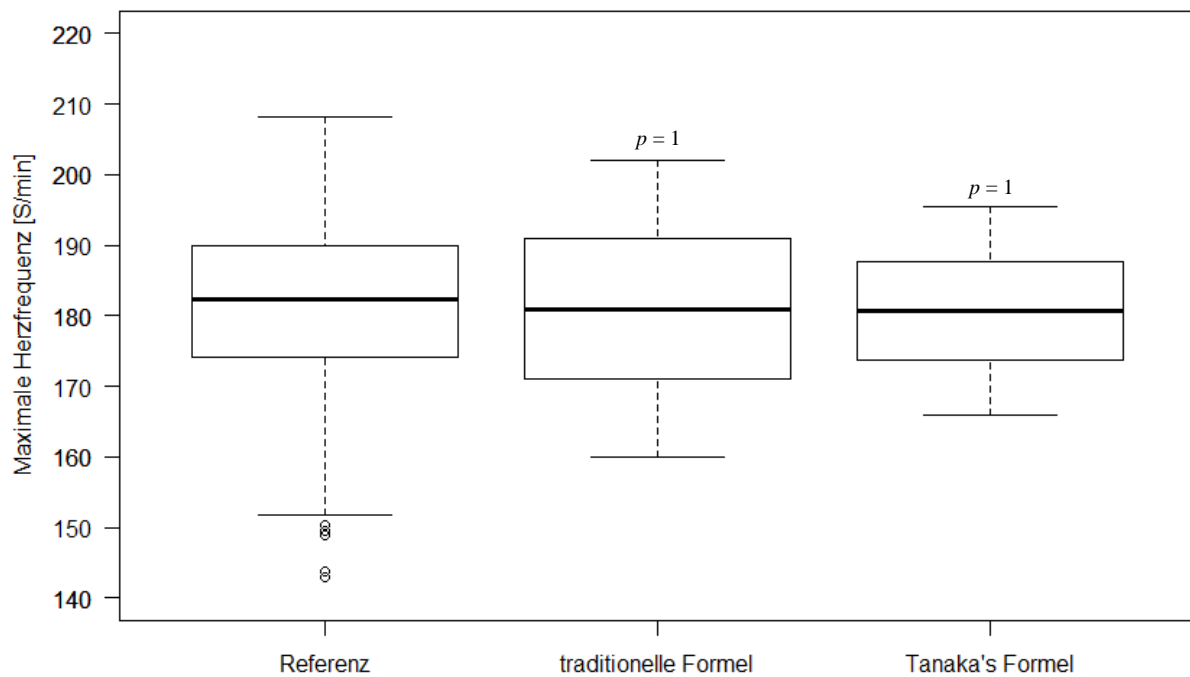


Abbildung 8. Boxplot zur grafischen Darstellung der Unterschiede von den verschiedenen Formeln zum Referenzwert bei sämtlichen Probanden.

Tabelle 13 zeigt die Werte der einzelnen Formeln die den erhobenen Wert mit einer Toleranz von $\pm 5\%$ abschätzten. Über die Gesamtheit der Probanden und in jeder der gebildeten Gruppen lieferte das Modell von Tanaka mehr Werte innerhalb des Toleranzniveaus als die traditionelle Formel. Bei der traditionellen und der Formel von Tanaka lagen bei den unter 40 jährigen Probanden mit 61 % resp. 72 % am meisten Werte innerhalb der Toleranzlimite. Bei den über 40 jährigen Probanden resultierten mit 48 % resp. 54 % für beide Formeln die kleinsten Übereinstimmungen.

Tabelle 63

Prozentuale Übereinstimmung der abgeschätzten Werte der beiden Formeln zum Referenzwert innerhalb eine Abweichung von $\pm 5\%$.

Gruppe	n	traditionelle Formel	Tanaka
Alle	105	55 %	64 %
Alter < 40	57	61 %	72 %
Alter > 40	48	48 %	54 %
BMI < 25 kg/m ²	59	52 %	64 %
BMI > 25 kg/m ²	46	59 %	63 %

4 Diskussion

Das Ziel dieser Studie war vielverwendete Formeln zur Abschätzung des EGR, der $\text{VO}_{2\text{max}}$ und der HF_{max} bei Schweizer Probanden auf ihre Genauigkeit mit der indirekten Kalorimetrie als Referenzmethode zu überprüfen. Im folgenden Kapitel werden die Resultate dieser Studie diskutiert, interpretiert und die formulierten Fragestellungen beantwortet.

4.1 Energie Grundumsatz

Die vier auserwählten Formeln zur Abschätzung des EGR lieferten unterschiedlich gute Resultate. Die Mittelwerte der vier Formeln über die Gesamtheit der Probanden unterschieden sich allesamt signifikant zum Referenzwert ($p < 0.05$). Aus der Formel der WHO resultierte mit -4 % die kleinste Mittelwertdifferenz, gefolgt von Harris-Benedict (-5 %), Mifflin-St. Jeor (-9 %) und Owen (-13 %). Ebenfalls signifikant unterschiedlich sind die Mittelwerte von Mifflin-St. Jeor und Owen zu den Mittelwerten der WHO und Harris-Benedict ($p < 0.001$). Diese Tendenz setzte sich in den gebildeten Untergruppen fort. Sämtliche Mittelwerte der gebildeten Untergruppen, ausser die der über 40 Jahre alten Probanden der WHO, unterschieden sich signifikant zur Referenz ($p < 0.05$). Mit der Formel von Owen resultierten für jede Untergruppe die grössten Mittelwertdifferenzen gefolgt von Mifflin-St. Jeor, Harris-Benedict und der WHO. Die Mittelwerte der gebildeten Untergruppen von Harris-Benedict und der WHO unterschieden sich ebenfalls signifikant zu den Werten von Mifflin-St. Jeor und Owen ($p < 0.001$). Die Resultate der Mittelwertdifferenzen werden von den Resultaten der Tabelle 9 unterstützt.

Obwohl sich die Mittelwerte der Formeln von Harris-Benedict und der WHO zum Teil signifikant zur Referenz unterschieden, lieferten sie viel öfters genauere Abschätzungen des EGR als die beiden anderen Formeln. Mit den Formeln der WHO und von Harris-Benedict resultierten in knapp 70 % der Fälle, Werte innerhalb der Abweichung von ± 10 %. Diese Werte dürfen unter Berücksichtigung der einfachen Handhabung dieser Formeln und der erstellten Eingliederung im Vorfeld als moderat bis gut eingestuft werden. Mit den Formeln von Owen und Mifflin-St. Jeor resultierten nur in ca. 30 % respektive 50 % der Fälle, Werte innerhalb der Toleranz von ± 10 %. Somit lieferten diese beiden Formeln schlechte respektive moderate Resultate. Aufgrund der aufgeführten Resultate scheint es plausibel anzunehmen, dass insbesondere die Formeln der WHO und Harris-Benedict geeignet sind, den EGR einer Person aus der Schweiz adäquat abzuschätzen. Hingegen dürften die Formeln von Owen und Mifflin-St. Jeor nicht geeignet sein, den EGR einer Schweizer Person abzuschätzen. Aufgrund der minimal geringeren

Mittelwertdifferenzen und leicht mehr Werten innerhalb der Toleranzlimite von $\pm 10\%$ ist die Formel der WHO gegenüber der Formel von Harris-Benedict zu favorisieren.

Die Resultate dieser Studie gehen zum Teil einher mit den Resultaten von Garrel und Kollegen (1996), die mit ihrer Studie ebenfalls die Formel der WHO als genauestes Modell ausmachten. Jedoch resultierte bei ihnen aus der Formel der WHO zu 100 % ein Wert innerhalb der Toleranz von $\pm 10\%$, was ein erheblicher Unterschied zu den 68 % dieser Studie darstellt. Ein Teil dieses Unterschieds dürfte damit zu erklären sein, dass in ihrer Studie die Probanden mit 22.6 kg/m^2 einen tieferen BMI aufwiesen als die Probanden dieser Studie. Die Resultate dieser Studie zeigen, dass bei tieferem BMI mehr Werte in die Toleranzlimite von $\pm 10\%$ fallen. Zudem waren in ihrer Studie bei der Formel von Owen mit 88 % am zweitmeisten Werte innerhalb der Toleranz von $\pm 10\%$, gefolgt von Harris-Benedict (52 %) und Mifflin-St. Jeor (51 %). Diese Resultate unterscheiden sich in ihrer Rangordnung und in den prozentualen Werten erheblich zu den Resultaten dieser Studie. Ein weiterer Unterschied zur Studie von Garrel und Kollegen (1996) zeigt sich in der Unter- bzw. Überschätzung der tatsächlichen Werte. Während in dieser Studie die Formeln die gemessenen Werte der Probanden allesamt unterschätzten, überschätzten sie die Werte in der Studie von Garrel und Kollegen (1996).

In der Studie von Frankenfield und Kollegen im Jahr 2005 unterschätzte die Formel von Mifflin-St. Jeor den Mittelwert, was sich mit den Resultaten dieser Studie deckt. Jedoch lieferte ihre Studie widersprüchliche Resultate in Bezug auf die Formeln von Harris-Benedict und Owen, die in ihrer Studie den Mittelwert überschätzten. Des Weiteren machten die Autoren das Modell von Mifflin-St. Jeor als genauestes der drei Modelle aus, was nicht mit den Resultaten dieser Studie übereinstimmt. Die Formel von Harris-Benedict schnitt in der vorliegenden Studie viel besser ab, als die Formel von Mifflin-St. Jeor.

Im Jahr 2003 überprüften die Autoren Frankenfield und Kollegen die Formeln von Mifflin-St. Jeor, Harris-Benedict und Owen auf ihre Genauigkeit. Sie kamen zum Schluss, dass die drei Formeln bei Probanden mit einem $\text{BMI} > 25 \text{ kg/m}^2$ grössere Schwierigkeiten hatten, den richtigen Wert innerhalb der Toleranz von $\pm 10\%$ abzuschätzen, als bei Probanden mit einem $\text{BMI} < 25 \text{ kg/m}^2$. Diesbezüglich stimmen die Resultate dieser Studie mit den Resultaten von Frankenfield und Kollegen (2003) überein. Allerdings resultierten in ihrer Studie mit der Formel von Mifflin-St. Jeor mit 78 % am meisten Werte innerhalb der Toleranz von $\pm 10\%$, weshalb sie diese Formel als genaueste ausmachten. In der vorliegenden Studie resultierten mit der Formel von Mifflin-St. Jeor jedoch nur zu knapp 50 % Werte innerhalb der gesetzten Toleranz.

Owen und seine Kollegen und die Autoren der WHO verwenden für ihre Berechnungen des EGR nur das Gewicht, wohingegen die Autoren der anderen beiden Formeln zusätzlich das Alter und die Grösse der Probanden in ihr Modell miteinfließen lassen. Da aus den Formeln der WHO und Harris-Benedict gute Werte, aus den Formel von Owen und Mifflin-St. Jeor schlechte Resultate resultieren, ist es schwierig auszumachen, welche miteinbezogenen anthropometrischen Faktoren der einzelnen Formeln entscheidend sind, um genaue Werte zu erhalten. Aus diesem Grund dürfte es sich lohnen, in einem weiteren Schritt die β – Werte der miteinbezogenen anthropometrischen Daten zu bestimmen. Damit könnte die erklärte Varianz der einzelnen Faktoren bestimmt werden und auf ihre Wichtigkeit geschlossen werden.

Die Teils diskrepanten Resultate dieser Studie zu der Literatur, dürften aufgrund mehrerer Faktoren entstanden sein. Zum einen unterschieden sich die Probanden zwischen den Studien in Anzahl, Herkunft sowie anthropometrischer Zusammensetzung. Des Weiteren ist in den meisten Studien nicht angegeben, welche Formeln zur Bestimmung des Referenzwertes verwendet wurden. Dies dürfte insbesondere einen Einfluss auf die Genauigkeit der einzelnen Formeln haben. Ebenfalls ist vielfach nicht bekannt, über welche Zeitdauer und mit welcher Apparatur/Methode der EGR der Probanden gemessen wurde.

Unter Berücksichtigung der Literatur sowie der aktuellen Resultate dieser Studie, darf davon ausgegangen werden, dass die Formel der WHO die akkuratesten Werte zur Bestimmung des EGR bei einer Schweizer Person liefert. Dabei scheint weder das Alter noch der BMI einen Einfluss auf die Genauigkeit der Formel zu haben. Deshalb ist für übergewichtige, normalgewichtige sowie unter bzw. über 40 jährige Person aus der Schweiz empfehlenswert, die Formel der WHO zur Bestimmung des individuellen EGR zu verwenden. Mit knapp 70 % abgeschätzter Werte innerhalb des Toleranzbereichs von $\pm 10\%$ darf von einer guten Formel zur Bestimmung des EGR ausgegangen werden. Nichtsdestotrotz muss man sich im Klaren sein, dass unter Umständen grosse Abweichungen entstehen können. Aus diesem Grund sollten die Werte der Formel lediglich als Anhaltspunkt verwendet werden.

4.2 Maximale Sauerstoffaufnahme

Zur Abschätzung des VO_{2max} bei Schweizer Probanden wurden die Formeln von Jackson, Myers und Rexhepi & Brestovci herbei gezogen. Von den drei Formeln vermochte einzig die Formel von Rexhepi & Brestovci ansatzweise zu überzeugen. Die Mittelwerte ihrer Formel unterschieden sich einzig für die Probanden $< 50\text{ ml/kg/min}$ signifikant zur Referenz ($p < 0.01$).

Dies resultierte in Mittelwertdifferenzen von 13 %. Für die restlich gebildeten Gruppen resultierten Abweichungen von 4 – 7 %, was als akkurate Abschätzungen der $\text{VO}_{2\text{max}}$ gedeutet werden können. Die Formeln von Jackson und Myers unterschieden sich in jeder Gruppe signifikant zu Referenz ($p < 0.001$). Die Mittelwertdifferenzen von -11 bis -18 % bzw. -14 bis -24 % zeigen eindeutig die Tendenz, dass die beiden Formeln wohl nicht für die Abschätzung der $\text{VO}_{2\text{max}}$ einer Schweizer Person geeignet sind. Insbesondere mit der Formel von Myers resultierten sehr hohe Mittelwertdifferenzen.

Diese Resultate werden teils durch die Resultate aus Tabelle 10 untermauert. Mit der Formel von Myers resultierten mit 22 % über die Gesamtheit der Probanden am wenigsten Werte innerhalb der Toleranz von ± 10 %. Sie schnitt damit am schlechtesten der drei verwendeten Formeln ab. Aber auch mit den Formeln von Jackson und Rexhepi & Brestovci resultierten mit 31 respektive 32 % über die Gesamtheit der Probanden zu wenig Werte innerhalb der Abweichung von ± 10 %, um von guten Modellen zur Bestimmung der $\text{VO}_{2\text{max}}$ zu sprechen.

Die Resultate dieser Studie widersprechen grösstenteils den Resultaten aus vorangegangenen Studien. Entgegen den Beanspruchungen von Jackson und Kollegen (1990) sowie Myers und Kollegen (2017), gute Modelle zur Abschätzung der $\text{VO}_{2\text{max}}$ entwickelt zu haben, scheinen ihre Formeln nicht geeignet zu sein, die maximale Sauerstoffaufnahme eines Individuums aus der Schweiz genau abzuschätzen. Insbesondere die Formel von Myers lieferte zu hohe Mittelwertdifferenzen und zu wenige Werte innerhalb der gesetzten Toleranz von ± 10 %, um von einer geeigneten Formel auszugehen.

Eine ähnliche Tendenz zwischen der Studie von Jackson und dieser Studie zeigt sich einzig bei den Probanden mit einer $\text{VO}_{2\text{max}} > 50$ ml/kg/min. Sowohl in ihrer als auch in dieser Studie (-18 %) waren die Mittelwertdifferenzen in dieser Gruppe am grössten und weisen darauf hin, dass diese Formel für gut trainierte Personen nicht geeignet ist die $\text{VO}_{2\text{max}}$ akkurat abzuschätzen. Diese These wird mit lediglich 16 % geschätzter Werte innerhalb des Toleranzbereichs von ± 10 % untermauert.

Hingegen scheint die Formel von Rexhepi & Brestovci, wie von den Autoren proklamiert, eine akzeptablere Formel zu Bestimmung der $\text{VO}_{2\text{max}}$ zu sein. Mit mehrheitlich sehr tiefen Mittelwertdifferenzen und keinen signifikanten Unterschieden zur jeweiligen Referenz, ist ihre Formel sehr interessant. Allerdings widersprechen die tiefen Resultate (32 %) innerhalb des Toleranzbereichs von ± 10 % den guten Ergebnissen bei den Mittelwertdifferenzen.

Auf Grund der unterschiedlichen Parameter, die in die einzelnen Formeln miteinfließen, ist sehr schwierig auszumachen, welche von ihnen entscheidend sind, um genaue Werte zu erhalten. Da jedoch alle drei Formeln das Alter und einen gewichtsbezogenen Parameter beinhalten,

könnte der Ruheherzfrequenz von Rexhepi & Brestovci eine entscheidende Rolle zugeschrieben werden. Diese Vermutung wird von den Resultaten von Rexhepi & Brestovci unterstützt. Mit einem β -Wert von -0.35 erklärte die Ruheherzfrequenz in ihre Studie am zweit meisten der Varianz.

Gründe für die unterschiedlichen Resultate dürfte es wiederum mehrere geben. Zum einen unterschieden sich die Probanden der drei Studien in ihrer Anzahl und Herkunft und Anthropometrie. Dass die Herkunft einen entscheidenden Faktor sein kann, zeigte bereits Shenoy, Tyagi, & Sandhu (2012) mit ihrer Studie, in der sie die Formel von Jackson bei indischen Studenten anwendeten und zum Schluss kamen, dass sie zur Bestimmung der VO_{2max} bei indischen Studenten nicht geeignet ist. Des Weiteren ist in den Studien nicht genau beschrieben, wie das VO_{2max} ermittelt bzw. welche Kriterien erfüllt werden mussten, damit ein Wert als VO_{2max} anerkannt wurde. Ebenfalls war in den Studien nicht angegeben, was vor der Intervention gegessen und getrunken wurde und in welchem Zeitraum vor der Intervention keine Trainingseinheit durchgeführt werden durfte. Insbesondere der Zeitraum und die Art zur letzten Trainingseinheit können sich negativ auf die Tagesform und somit auf das Endresultat auswirken.

Die Resultate dieser Studie zeigen eine klare Tendenz, dass die Autoren Rexhepi & Brestovci wohl das beste Modell zur Abschätzung der VO_{2max} einer Person aus der Schweiz entwickelt haben. Die kleinsten Mittelwertdifferenzen (4 %) und die meisten Werte innerhalb des Toleranzbereichs (32 %) über die Gesamtheit der Probanden sprechen für ihr Modell. Zusätzlich unterschied sich ihre Formel mehrheitlich nicht signifikant zur Referenz. Allerdings fielen mit 32 % zu wenig Werte innerhalb der Toleranzlimite von ± 10 %, um von einem moderaten bis gutem Modell auszugehen. Aus dem Boxplot ist ersichtlich, dass ihr Modell insbesondere bei den sehr tiefen VO_{2max} Werten < 35 ml/kg/min Mühe hat, den effektiven Wert anzugeben. Diese Resultate dürften mitunter Schuld sein, weshalb mit der Formel von Rexhepi & Brestovci nur zu 32 % der gemessene Wert innerhalb der gesetzten Toleranz abgeschätzt wurde. Deshalb kann zum heutigen Zeitpunkt keine der drei Formeln einer Schweizer Person empfohlen werden, um die individuelle VO_{2max} abzuschätzen.

4.3 Maximale Herzfrequenz

Die Mittelwerte der beiden Formeln zur Bestimmung der HF_{max} unterschieden sich für sämtliche Gruppen nicht signifikant zum Referenzwert. Werden die Mittelwertdifferenzen in Betracht gezogen, wird ersichtlich wie geringfügig die beiden Formeln die gemessenen Werte für jede der gebildeten Gruppen über- bzw. unterschätzten. Es resultierten für beide Formeln maximale

Differenzen von -1 % bis 1 %. Diese Resultate sprechen eindeutig dafür, dass beide Formeln geeignet sind, um die HF_{\max} einer Schweizer Person abzuschätzen. Weil mit der Formel von Tanaka für praktisch alle Gruppen noch etwas geringfügigere Abweichungen entstanden, dürfte ihr Modell gegenüber der traditionellen Formel leicht im Vorteil sein. Diese These wird durch die Resultate aus Tabelle 13 unterstützt. Mit 64 % gegenüber 55 % über die Gesamtheit der Probanden resultierten mit der Formel von Tanaka mehr Werte innerhalb des Toleranzniveaus von $\pm 5\%$ als mit der traditionellen Formel. Auch in den gebildeten Untergruppen erfolgten mit der Formel von Tanaka mehr Werte innerhalb der Abweichung von $\pm 5\%$ als mit der traditionellen Formel. Auf Grund der aufgeführten Resultate verpassten es beide Formeln als gut eingestuft zu werden.

Bei einer 40 jährigen Person resultieren aus den beiden Formeln identische Werte. Deshalb war interessant zu vergleichen, wie sich die Werte der beiden Formeln bei den Altersbezogenen Gruppen verhalten. Die Resultate der Formeln verliefen in entgegengesetzte Richtung.

Überschätzt das traditionelle Modell den tatsächlichen Wert bei unter 40 jährigen, unterschätzt die Formel von Tanaka die Werte bei unter 40 jährigen. Bei über 40 jährigen Personen unterschätzte die traditionelle Formel den tatsächlichen Wert, wohingegen die Formel von Tanaka die Werte überschätzte.

Die Resultate dieser Studie untermauern die Tendenzen, die in der Literatur zu finden sind. Roy und McCrory (2015) kamen ebenfalls zum Schluss, dass sich die Mittelwerte beider Formeln über die Gesamtheit der Probanden nicht signifikant zu den gemessenen Werten unterscheiden. Dabei resultierten in ihrer Studie mit der Formel von Tanaka genauere Resultate als mit der traditionellen Formel. Ebenfalls ähnliche Resultate wie sie in dieser Studie zu finden sind, erhielten die Autoren Franckowiak und Kollegen im Jahr 2011. Gemäss den Autoren unterscheiden sich beide Formeln für BMI Klassen bis 40 kg/m^2 nicht signifikant zu den gemessenen Werten. Allerdings resultierten in ihrer Studie signifikante Unterschiede zwischen der traditionellen Formel und dem Referenzwert bei den unter 40 jährigen Probanden. Diese Resultate werden nicht von den Resultaten der vorliegenden Studie gestützt. Bei beiden Formeln resultierten mehr Werte innerhalb des gesetzten Toleranzniveaus von $\pm 5\%$ bei den unter 40 jährigen Probanden als bei den über 40 jährigen Probanden. Deshalb wurden die Resultate der über 50 jährigen Personen in dieser Studie betrachtet aber nicht aufgeführt. Mit beiden Formeln resultierten mitunter die grössten Mittelwertdifferenzen bei den über 50 jährigen Personen.

Auch keine signifikanten Unterschiede der beiden Formeln zu ihrer gemessenen Referenz konnten Camarda und Kollegen (2008) ausfindig machen. Ebenfalls zeigten sie mit ihrer Studie, dass beide Formeln sehr ähnliche Resultate liefern und sich ihre Werte nur geringfügig

Unterscheiden. Diese Ergebnisse decken sich mit den Resultaten dieser Studie und können dementsprechend bestätigt werden.

Aufgrund der Resultate dieser Studie und der Resultate der Literatur, kann davon ausgegangen werden, dass beide Formeln für die meisten Menschen gute Werte zur Abschätzung der HF_{\max} liefern. Die kleineren Mittelwertdifferenzen, die besseren Werte innerhalb des Toleranzniveaus von $\pm 5 \%$ sowie die kohärenteren Studienergebnisse in der Literatur sprechen dafür, dass die Formel von Tanaka besser ist, die HF_{\max} einer Person aus der Schweiz abzuschätzen. Deshalb ist für übergewichtige, normalgewichtige, unter bzw. über 40 jährigen Person aus der Schweiz empfehlenswert, die Formel von Tanaka zur Bestimmung des individuellen HF_{\max} zu verwenden. Jedoch ist es für Athleten und Personen die auf sehr präzise Angaben angewiesen sind, weiterhin empfehlenswert die HF_{\max} unter Laborbedingungen zu erheben. Denn die beiden Formeln wiesen trotz guter Resultate teils Abweichungen von mehr als ± 15 Schlägen aus. Diese Differenz kann erhebliche Auswirkung auf die Trainingssteuerung und Trainingsintensität haben. Trainings mit falschen Trainingsintensitäten können zu Übertraining oder Unterforderung führen, womit der gewünschte Trainingseffekt ausbleiben würde.

4.4 Stärken und Schwächen der Arbeit

Diese Studie fand unter standardisierten Bedingungen statt, womit die Gütekriterien mit einem hohen Mass erfüllt werden konnten. Die verwendeten Messgeräte zur Erhebung der Daten waren von hoher Qualität. Dadurch wurde eine qualitativ gute Datenerhebung gewährleistet. Eine weitere Stärke der Studie ist die heterogene Zusammensetzung der Probanden. Es konnten Untergruppen gebildet werden, die genügend Probanden aufwiesen und sich in ihrer Anzahl nur geringfügig unterschieden. Jedoch fehlten Probanden im Alter von über 60 Jahren bzw. unter 18 Jahren genauso wie genügend Probanden mit einem BMI von über 30 kg/m^2 . Ebenfalls nahmen an der Studie zu wenig Probanden mit einer $VO_{2\max}$ von über 60 ml/kg/min teil um aussagekräftige Resultate zu Leistungssportler zu liefern. Allerdings ist anzunehmen, dass diese Athleten mehrheitlich regelmässig auf ihre Leistungsfähigkeit überprüft werden und das Interesse einer Abschätzung eher geringfügig ist. Eine weitere Stärke dieser Studie ist, dass nur Formeln verwendet wurden, die selbstmessbare Parameter beinhalten, womit sie sehr gut von jeder interessierten Person verwendet werden können.

4.5 Weiterführende Fragestellungen

Diese Studie überprüfte die Formeln zur Abschätzung des EGR, VO_{2max} und der HF_{max} bei Erwachsenen Schweizern und Schweizerinnen auf ihre Genauigkeit. Kinder, Adoleszente und Senioren nahmen allerdings nicht an der Studie teil. Der Anteil an übergewichtigen Kindern und Jugendlichen nahm in den letzten Jahren kontinuierlich ab. Nichtsdestotrotz ist Übergewicht bei Kindern, Jugendlichen und Senioren immer noch ein grosses Problem in der Schweiz. Denn mit 16.7 % gilt immer noch knapp jedes sechste Kind bzw. jeder sechste Adoleszente als übergewichtig (Gesundheitsförderung Schweiz, 2017). Ein noch prekäreres Bild zeigt sich bei den Senioren die über 60 Jahre alt sind. Jede dritte Frau über 60 Jahre ist übergewichtig. Bei den Männern sind es sogar über 40 %, die zu viel Gewicht haben (Bundesamt für Statistik, 2012). Um diese Probleme anzugehen, dürfte es von grossem Interesse sein, die Formeln zur Bestimmung des EGR bei Gruppen von Kindern bzw. Senioren zu validieren und in der Praxis zu etablieren. Ebenfalls sollten die Formeln zur Bestimmung der VO_{2max} und der HF_{max} bei Gruppen von Senioren validiert werden. Denn nur mit genauen Angaben dieser beiden Parameter können Trainingseinheiten präzise geplant werden und somit ein autonomes Leben bis ins hohe Alter gewährleistet werden. Zudem zeigten die Resultate, dass die beiden Formeln zur Bestimmung der HF_{max} insbesondere bei den älteren Personen grosse Abweichungen aufweisen. Auf Grund der unterschiedlichen Metabolismen zwischen Frau und Mann, würde es ebenfalls Sinn ergeben, die Formeln zur Bestimmung des EGR geschlechterspezifisch zu untersuchen. Die schlechten Resultate der Formeln zur Bestimmung der VO_{2max} bei Schweizer Probanden zeigt, dass in einem weiteren Schritt eine Formel basierend auf den Daten von Schweizer Probanden entwickelt werden sollte, um die VO_{2max} genauer abzuschätzen.

5 Schlussfolgerung

Über die Gesamtheit der Probanden und in den gebildeten Untergruppen, unterschieden sich in praktisch jedem Fall alle Formeln zur Bestimmung des EGR signifikant zu den entsprechenden Referenzwerten ($p < 0.05$). Auffallend ist, dass die Formeln die gemessenen Werte signifikant unterschätzten. In Bezug auf Ernährungsinterventionen und Gewichtsmanagement ist sicher von Vorteil, werden die tatsächlichen Werte unter- statt überschätzt. Mit Mittelwertdifferenzen von $< 4 \%$ sowie Angaben von 68% innerhalb des Toleranzbereichs von $\pm 10 \%$ schloss die Formel der WHO gegenüber den anderen Modellen besser ab. Die soliden Resultate der Formel der WHO gepaart mit der unkomplizierten Applikationsmöglichkeit des Modells sprechen für die Verwendbarkeit der Formel bei Schweizer Personen. Für Menschen, die einen Richtwert ihres EGR erhalten wollen und dabei auf eine billige, einfache Methodik zurückgreifen wollen, empfiehlt es sich deshalb die Formel der WHO zu verwenden. Für seriöse Ernährungsinterventionen zur Optimierung des Gewichts sollte aber weiterhin auf genaue Messungen zurückgegriffen werden.

Von den drei Formeln zur Bestimmung der individuellen VO_{2max} unterschied sich einzig das Modell von Rexhepi & Brestovci über die Gesamtheit der Probanden nicht signifikant zum Referenzwert ($p < 0.29$). Zusätzlich resultierte aus ihrer Formel mit 4% die kleinste Mittelwertdifferenz, was wiederum eindeutig für ihr Modell spricht. Mit der Formel von Jackson und Myers resultierten mit 15% resp. 19% erheblich grössere Mittelwertdifferenzen. Mit lediglich 32% geschätzter Werte innerhalb des Toleranzbereichs von $\pm 10 \%$, ist aber auch das Modell von Rexhepi & Brestovci mit Vorsicht zu interpretieren. Abweichungen von $\pm 10 \%$ waren mehr die Regel als die Ausnahme. Deshalb kann keine der untersuchten Formeln empfohlen werden, um die individuelle VO_{2max} abzuschätzen.

Beide Formeln zur Abschätzung der individuellen HF_{max} unterschieden sich in keiner der gebildeten Gruppen signifikant zum Referenzwert. Insbesondere die Formel von Tanaka überzeigte in jeder Gruppe mit $p = 1$. Mit Mittelwertabweichungen von weniger als 1% in jeder Gruppe resultierten aus dem Modell von Tanaka gegenüber der traditionellen Formel leicht besser ab. Über die Gesamtheit der Probanden resultierten mit der Formel von Tanaka 64% der Abschätzungen innerhalb des Toleranzbereichs von $\pm 5 \%$ und somit 9% mehr als mit der traditionellen Formel. Deshalb ist für Schweizer Personen die ein Anhaltspunkt ihrer HF_{max} erhalten wollen empfehlenswert, die Formel von Tanaka zu verwenden. Nichtsdestotrotz muss man sich im Klaren sein, dass unter Umständen Abweichungen von ± 15 Schlägen auftreten

können. Insbesondere Personen über dem 50. Lebensjahr müssen mit grösseren Abweichungen rechnen.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass für den EGR und die HF_{\max} mit den Formeln der WHO und Tanaka zwei Modelle gefunden wurden, die diese beiden Parameter bei Schweizer Probanden in den meisten Fällen relativ genau abschätzen. Die Formeln zur Bestimmung der $VO_{2\max}$ hingegen, verfehlten es gute Resultate zu liefern, weshalb eine Formel für Schweizer Probanden entwickelt werden sollte.

Literatur

- Achten, J., & Jeukendrup, A. (2003). Maximal Fat Oxidation During Exercise in Trained Men. *International journal of sports medicine*, 24, 603–608. doi.org/10.1055/s-2003-43265
- Arroyo-Rodríguez, C., Brito-Zurita, O. R., Sandoval-Navarrete, S., Solis-Vásquez, R., Ornelas-Aguirre, J. M., Olea-Hernández, C., Castelan-Ojeda, A. M. (2018). Risk factors for three-vessel coronary artery disease in patients of Northwest Mexico. *Archivos De Cardiologia De Mexico*. doi.org/10.1016/j.acmx.2018.02.009
- Boer, M. C. de, Wörner, E. A., Verlaan, D., & Leeuwen, P. A. M. van. (2017). The Mechanisms and Effects of Physical Activity on Breast Cancer. *Clinical Breast Cancer*, 17(4), 272–278. doi.org/10.1016/j.clbc.2017.01.006
- Borg, G. A. (1982). Psychophysical bases of perceived exertion. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 14(5), 377–381.
- Bravata, D. M., Smith-Spangler, C., Sundaram, V., Gienger, A. L., Lin, N., Lewis, R., Sirard, J. R. (2007). Using pedometers to increase physical activity and improve health: a systematic review. *JAMA*, 298(19), 2296–2304. doi.org/10.1001/jama.298.19.2296
- Bruce, R. A., Kusumi, F., & Hosmer, D. (1973). Maximal oxygen intake and nomographic assessment of functional aerobic impairment in cardiovascular disease. *American Heart Journal*, 85(4), 546–562. doi.org/10.1016/0002-8703(73)90502-4
- Burke, L., & Deakin, V. (2015). Clinical Sports Nutrition. Australien: McGraw-Hill Education.
- Bundesamt für Statistik. (2012). *Übergewicht*. Zugriff unter <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/gesundheit/determinanten/uebergewicht.html>
- Camarda, S. R. de A., Tebexreni, A. S., Páfaró, C. N., Sasai, F. B., Tambeiro, V. L., Juliano, Y., De, T. L. (2008). Comparação da frequência cardíaca máxima medida com as fórmulas de predição propostas por Karvonen e Tanaka. *Arquivos Brasileiros de Cardiologia*, 91(5), 311–314. doi.org/10.1590/S0066-782X2008001700005
- Feurer, I., & Mullen, J. L. (1986). Bedside Measurement of Resting Energy Expenditure and Respiratory Quotient via Indirect Calorimetry. *Nutrition in Clinical Practice*, 1(1), 43–49. doi.org/10.1177/088453368600100106
- Franckowiak, S. C., Dobrosielski, D. A., Reilley, S. M., Walston, J. D., & Andersen, R. E. (2011). Maximal Heart Rate Prediction in Adults that are Overweight or Obese. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association*, 25(5), 1407–1412. doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181d682d2

- Frankenfield, D. C., Rowe, W. A., Smith, J. S., & Cooney, R. N. (2003). Validation of several established equations for resting metabolic rate in obese and nonobese people. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 103(9), 1152–1159. doi.org/10.1016/S0002-8223(03)00982-9
- Frankenfield, D., Roth-Yousey, L., & Compher, C. (2005). Comparison of Predictive Equations for Resting Metabolic Rate in Healthy Nonobese and Obese Adults: A Systematic Review. *Journal of the American Dietetic Association*, 105(5), 775–789. doi.org/10.1016/j.jada.2005.02.005
- Garrel, D. R., Jobin, N., & De Jonge, L. H. M. (1996). Should We Still Use the Harris and Benedict Equations? *Nutrition in Clinical Practice*, 11(3), 99–103. doi.org/10.1177/011542659601100399
- Gesundheitsförderung Schweiz. *Vergleichendes Monitoring der Gewichtsdaten von Kindern und Jugendlichen in der Schweiz*. Zugriff unter https://gesundheitsfoerderung.ch/assets/public/documents/de/5-grundlagen/publikationen/ernaehrung-bewegung/faktenblaetter/Faktenblatt_023_GFCH_2017-09_-_Vergleichendes_BMI-Monitoring.pdf
- Gilman, M. B. (1996). The Use of Heart Rate to Monitor the Intensity of Endurance Training: *Sports Medicine*, 21(2), 73–79. doi.org/10.2165/00007256-199621020-00001
- Hallal, P. C., Andersen, L. B., Bull, F. C., Guthold, R., Haskell, W., Ekelund, U., & Lancet Physical Activity Series Working Group. (2012). Global physical activity levels: surveillance progress, pitfalls, and prospects. *Lancet (London, England)*, 380(9838), 247–257. doi.org/10.1016/S0140-6736(12)60646-1
- Harris, T., Kerry, S. M., Limb, E. S., Furness, C., Wahlich, C., Victor, C. R., Cook, D. G. (2018). Physical activity levels in adults and older adults 3-4 years after pedometer-based walking interventions: Long-term follow-up of participants from two randomised controlled trials in UK primary care. *PLoS Medicine*, 15(3), e1002526. doi.org/10.1371/journal.pmed.1002526
- Hepa.ch (2013). Gesundheitswirksame Bewegung. Grundlagendokument. Zugriff unter <http://www.hepa.ch/de/bewegungsempfehlungen.html>
- Hossack, K. F., & Bruce, R. A. (1982). Maximal cardiac function in sedentary normal men and women: comparison of age-related changes. *Journal of Applied Physiology*, 53(4), 799–804. doi.org/10.1152/jappl.1982.53.4.799
- Howley, E. T., Bassett, D. R., & Welch, H. G. (1995). Criteria for maximal oxygen uptake: review and commentary. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 27(9), 1292–1301.

- International Sport and Culture Association (2015). The Economic Costs of Physical Inactivity in Europe (June 2015). Zugriff unter [http://inactivity-time-bomb.nowwemove.com/downloadreport/The%20Economic%20Costs%20of%20Physical%20Inactivity%20in%20Europe%20\(June%202015\).pdf](http://inactivity-time-bomb.nowwemove.com/downloadreport/The%20Economic%20Costs%20of%20Physical%20Inactivity%20in%20Europe%20(June%202015).pdf)
- Jackson, A. S., Blair, S. N., Mahar, M. T., Wier, L. T., Ross, R. M., & Stuteville, J. E. (1990). Prediction of functional aerobic capacity without exercise testing. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 22(6), 863–870.
- Jeukendrup, A. E. (2005). Fettverbrennung und körperliche Aktivität. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 56(9).
- Kooiman, T. J. M., Dontje, M. L., Sprenger, S. R., Krijnen, W. P., van der Schans, C. P., & de Groot, M. (2015). Reliability and validity of ten consumer activity trackers. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, 7, 24. doi.org/10.1186/s13102-015-0018-5
- Kuipers, H., & Keizer, H. A. (1988). Overtraining in elite athletes. Review and directions for the future. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 6(2), 79–92.
- Levine, B. D. (2008). $\dot{V}O_2$, max: what do we know, and what do we still need to know? *The Journal of Physiology*, 586(Pt 1), 25–34. doi.org/10.1113/jphysiol.2007.147629
- Machado, F. A., & Denadai, B. S. (2011). Validade das equações preditivas da frequência cardíaca máxima para crianças e adolescentes. *Arquivos Brasileiros de Cardiologia*, 97(2), 136–140. doi.org/10.1590/S0066-782X2011005000078
- Miller, W. C., Wallace, J. P., & Eggert, K. E. (1993). Predicting max HR and the HR- $\dot{V}O_2$ relationship for exercise prescription in obesity. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 25(9), 1077–1081.
- Müller, M. J., Bösy-Westphal, A., Klaus, S., Kreymann, G., Lührmann, P. M., Neuhäuser-Berthold, M., Steiniger, J. (2004). World Health Organization equations have shortcomings for predicting resting energy expenditure in persons from a modern, affluent population: generation of a new reference standard from a retrospective analysis of a German database of resting energy expenditure. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 80(5), 1379–1390. doi.org/10.1093/ajcn/80.5.1379
- Myers, J., Kaminsky, L. A., Lima, R., Christle, J. W., Ashley, E., & Arena, R. (2017). A Reference Equation for Normal Standards for $\dot{V}O_2$ Max: Analysis from the Fitness Registry and the Importance of Exercise National Database (FRIEND Registry). *Progress in Cardiovascular Diseases*, 60(1), 21–29. doi.org/10.1016/j.pcad.2017.03.002
- Nikolaidis, P. (2015). Maximal heart rate in soccer players: Measured versus age-predicted. *Biomedical Journal*, 38(1), 84. doi.org/10.4103/2319-4170.131397

- Pinheiro Volp, A. C., Esteves de Oliveira, F. C., Duarte Moreira Alves, R., Esteves, E. A., & Bressan, J. (2011). Energy expenditure: components and evaluation methods. *Nutrición Hospitalaria*, 26(3). Zugriff unter <http://www.redalyc.org/resumen.oa?id=309226772002>
- Rexhepi, A. M., & Brestovci, B. (2014). Prediction of vo2max based on age, body mass, and resting heart rate. *Human Movement*, 15(1), 56–59. doi.org/10.2478/humo-2014-0003
- Roy, S., & Mccrory, J. (2015). Validation of Maximal Heart Rate Prediction Equations Based on Sex and Physical Activity Status. *International Journal of Exercise Science*, 8(4), 318–330.
- Setty, P., Padmanabha, B., & Doddamani, B. (2013). Correlation between obesity and cardio respiratory fitness. *International Journal of Medical Science and Public Health*, 2(2), 300. doi.org/10.5455/ijmsph.2013.2.298-302
- Shenoy, S., Tyagi, B. S., & Sandhu, J. S. (2012). Concurrent validity of the non-exercise based VO2max prediction equation using percentage body fat as a variable in asian Indian adults. *Sports Medicine, Arthroscopy, Rehabilitation, Therapy & Technology: SMARTT*, 4, 34. <https://doi.org/10.1186/1758-2555-4-34>
- Sleamaker, B & Browning, R. (1996). *Serious Training for Endurance Athletes 2nd* (2 edition). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Statista (2018). Prognose zum Absatz von Fitness-Trackern weltweit von 2016 bis 2021 (in Millionen Stück). Zugriff unter <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/421270/umfrage/absatz-von-fitness-trackern-weltweit/>
- Swain, D. P., Abernathy, K. S., Smith, C. S., Lee, S. J., & Bunn, S. A. (1994). Target heart rates for the development of cardiorespiratory fitness. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 26(1), 112–116.
- Tanaka, H., Monahan, K. D., & Seals, D. R. (2001). Age-predicted maximal heart rate revisited. *Journal of the American College of Cardiology*, 37(1), 153–156. doi.org/10.1016/S0735-1097(00)01054-8
- Tavares, D. M. D. S., Bolina, A. F., Dias, F. A., Ferreira, P. C. D. S., & Santos, N. M. de F. (2018). Overweight in rural elderly: association with health conditions and quality of life. *Ciencia & Saude Coletiva*, 23(3), 913–922. doi.org/10.1590/1413-81232018233.25492015
- Tschopp, M., Held, T., Villiger, B., Marti, B. (2001). Qualitätsstandards in der Ausdauerleistung Diagnostik. *Schweizerische Zeitschrift für „Sportmedizin und Sporttraumatologie“*, 49(2), 57-66.

- Tudor-Locke, C., Craig, C. L., Brown, W. J., Clemes, S. A., De Cocker, K., Giles-Corti, B., ... Blair, S. N. (2011). How many steps/day are enough? For adults. *The International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 8, 79. doi.org/10.1186/1479-5868-8-79
- Van Loon, L. J. C., Greenhaff, P. L., Constantin-Teodosiu, D., Saris, W. H. M., & Wagenmakers, A. J. M. (2001). The effects of increasing exercise intensity on muscle fuel utilisation in humans. *The Journal of Physiology*, 536(Pt 1), 295–304. doi.org/10.1111/j.1469-7793.2001.00295.x
- Weir, J. B. de V. (1949). New methods for calculating metabolic rate with special reference to protein metabolism. *The Journal of Physiology*, 109(1–2), 1–9. doi.org/10.1113/jphysiol.1949.sp004363
- Wenger, H. A., & Bell, G. J. (1986). The Interactions of Intensity, Frequency and Duration of Exercise Training in Altering Cardiorespiratory Fitness: *Sports Medicine*, 3(5), 346–356. doi.org/10.2165/00007256-198603050-00004
- World Health Organization. (2010). Global recommendations on physical activity for health. Zugriff unter <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK305057/>
- World Health Organization. (2010). Global status report on noncommunicable diseases 2010. Zugriff unter http://www.who.int/nmh/publications/ncd_report_full_en.pdf

Anhang

A Fragebogen zur körperlichen Aktivität

Wie schätzen Sie Ihre körperliche Aktivität ein? Kreuzen Sie die zutreffende Beschreibung an.

Ich verrichte nicht regelmässig organisierte Freizeit-, Sport- oder sonstige körperliche Aktivitäten.		
0 Punkte	Ich vermeide zu Fuss zu gehen oder sonstige Bewegung (zum Beispiel: Ich nutzte immer den Aufzug; ich nehme wenn immer möglich das Auto, anstelle zu Fuss zu gehen)	
1 Punkt	Ich gehe gerne zu Fuss, nehme regelmässig die Treppen, bewege mich gelegentlich so, dass meine Atemfrequenz erhöht ist oder ich ins Schwitzen komme.	
Ich verrichte regelmässig moderate Freizeitaktivitäten oder arbeitsbedingte körperliche Aktivitäten (zum Beispiel: Golf, Reiten, Fitness-Übungen, Gymnastik, Tischtennis, Bowling, Gewichtheben, Gartenarbeiten).		
2 Punkte	10-60 Minuten pro Woche.	
3 Punkte	Mehr als 1 Stunde pro Woche.	
Ich verrichte regelmässig intensive körperliche Aktivitäten (zum Beispiel: Joggen, Schwimmen, Radfahren, Rudern, Seilspringen) oder anstrengende Sportsportarten (zum Beispiel: Tennis, Basketball, Handball)		
4 Punkte	Ich jogge weniger als 2 km pro Woche oder betreibe weniger als 30 Minuten pro Woche vergleichbare körperliche Aktivitäten.	
5 Punkte	Ich jogge 2-8 km pro Woche oder betreibe 30-60 Minuten pro Woche vergleichbare körperliche Aktivitäten.	
6 Punkte	Ich jogge 8-16 km pro Woche oder betreibe 1-3 Stunden pro Woche vergleichbare körperliche Aktivitäten.	
7 Punkte	Ich jogge mehr als 16 km pro Woche oder betreibe mehr als 3 Stunden pro Woche vergleichbare Aktivitäten.	

B Informationsblatt für Teilnehmer



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Verteidigung,
Bevölkerungsschutz und Sport VBS

Bundesamt für Sport BASPO

Eidgenössische Hochschule für Sport Magglingen EHS

A CH-2532 Magglingen
BASPO

Adresse

Magglingen, 07.07.2015

24/7 Energieverbrauchsstudie

Lieber,

wir möchten uns bei Dir für Deine Teilnahme an der Studie „24/7 Energieverbrauch“ herzlich bedanken. Durch Deine Bereitschaft hast Du zur Entwicklung eines Geräts beigetragen, welches den Energieverbrauch bei Alltags- und Sportaktivitäten noch präziser Erfassen soll als jetzige Geräte.

In dieser Studie hast Du eine Ruheenergiemessung, eine Körperzusammensetzungsmessung, einen Leistungstest zur Bestimmung der maximalen Leistungsfähigkeit sowie verschiedene Alltags- und Sportaktivitäten durchgeführt. Dabei hattest Du jeweils 5 Sensoren auf Dir, welche Bewegungen, Herzfrequenz und Beschleunigungen aufgezeichnet haben. Die Atemgasmaske diente als Referenzmessgerät zur Berechnung des Energieverbrauchs. Die Sensordaten, zusammen mit den anderen Messdaten, dienen zur Entwicklung eines Algorithmus, der unabhängig von Alter, Geschlecht, Aktivitätslevel und BMI den Energieverbrauch präzise berechnen soll. Ist das Gerät auf dem Markt, ermöglicht es den benutzenden Personen, ihre Aktivitäten und somit den Energieverbrauch jederzeit aufzuzeichnen. Möglicherweise kann das Gerät auch als Starthilfe zu einem aktiveren und gesünderen Lebensstil dienen, da man eine Rückmeldung zum Energieverbrauch erhält.

Die Resultate aus den verschiedenen Messungen

Den untenstehenden Tabellen kannst Du Deine durchschnittlichen Werte für den Energieverbrauch in Ruhe und während verschiedenen Alltags- und Sportaktivitäten, Deine maximale Sauerstoffaufnahme sowie Deine Körperzusammensetzung im Vergleich zu Normwerten entnehmen.



Energieverbrauch

Ruheenergieverbrauch [kcal/Tag]					
Der Ruheenergieverbrauch ist abhängig von Geschlecht, Alter, Grösse, Gewicht, Muskelmasse und Aktivitätsniveau. Faustregel: Männer: Körpergewicht x 24; Frauen: Körpergewicht x 0.9 x 24. ⁽¹⁾					
Alltags- und Sportaktivitäten	Kilokalorien pro Minute [kcal/min]	Kilokalorien pro Stunde [kcal/h]	Eine Stunde Aktivität entspricht dem Nährwert von:		
			Apfel [Anz] <small>(1 Apfel = 160g)</small>	Schokolade [g] <small>(1 Tafel = 100g)</small>	Cola [l]
Gehen im Flachen (5km/h)					
Bergauf Gehen (5.5km/h bei 14%)					
Joggen im Flachen (12km/h)					
Bergauf Joggen (8km/h bei 18%)					
Büroarbeit					
Stresstest am Laptop					
Hausarbeiten	Boden wischen				
	Aufräumen				
	Tisch putzen				
Sportaktivitäten	Fahrrad fahren (140Watt)				
	Krafttraining				
	Tennis				
	Fussball				
	Laufintervall (15.6km/h)				
	Inline skating				

Je höher die Intensität einer Belastung, desto länger bleibt der Energieverbrauch nach Ende der Aktivität erhöht.

HerzKreislauf Fitness / Maximale Sauerstoffaufnahme (VO₂max)

VO ₂ max [ml/min*kg]		Normwerte ⁽²⁾	20-29 J.	30-39 J.	40-49 J.	50-59 J.
Die VO ₂ max ist die maximale Sauerstoffmenge, welche ein Individuum unter Belastung aufnehmen, transportieren und in den Zellen und Muskeln zur Energiegewinnung verwerten kann. Die VO ₂ max gilt als Kennwert für die Ausdauerleistungsfähigkeit und kann durch (Ausdauer) Training verbessert werden. Folglich haben ausdauertrainierte entsprechend höhere Werte. Ab dem 30. Lebensjahr nimmt das VO ₂ max um 0.8-1% pro Lebensdekade ab ⁽³⁾ .	Männer	Ausgezeichnet	50.1-61.2	47.5-58.3	46.1-57.0	42.6-54.3
		Gut – sehr gut	41.6-50.1	40.3-47.5	38-46.1	34.5-42.6
		Gering	38.1-41.6	36.7-40.3	34.6-38	31.1-34.5
	Frauen	Ausgezeichnet	43.7-55.0	40.6-52.5	38.5-51.1	34.6-45.3
		Gut – sehr gut	35.1-43.7	33.1-40.6	31.3-38.5	28.3-34.6
		Gering	31.6-35.1	29.9-33.1	28.0-31.3	25.5-28.3

⁽¹⁾ <http://www.linusit.de/linusit/service/Lexikon/G/Grundumsatz>

⁽²⁾ ACSM (2010). ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription (8th Edition). Lippincott Williams & Wilkins: Philadelphia.

⁽³⁾ Scharhag-Rosenberger, F. & Schommer, K. (2013). Die Spiroergometrie in der Sportmedizin. Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin, 12(64).

Körperzusammensetzung

Grösse [cm]		Gewicht [kg]			BMI [kg/m ²]	
Körperfett [kg]		Muskelmasse [kg]			Rest [kg] (Skelett, Organe, Körperwasser)	
Körperfett [%]		Normwert ⁽²⁾	20-29 J.	30-39 J.	40-49 J.	50-59 J.
Der Anteil an Körperfett nimmt im Lebensverlauf auf natürliche Weise zu.		Männer	11.5-18.6	15.5-21.3	18.4-23.4	19.9-24.6
		Frauen	17.3-22.7	18.2-24.6	20.8-27.6	23.8-30.4

Herzlichen Dank für das Mitmachen und für Deinen Beitrag zum Gelingen der Studie.
Bei weiteren Fragen zur Auswertung kannst Du Dich jederzeit an uns wenden.

Freundliche Grüsse

Rahel Ammann
Gruppe Monitoring und Evaluation
Ressort Leistungssport
Eidgenössische Hochschule für Sport Magglingen
Tel.: 058 467 63 21
Email: rahel.ammann@baspo.admin.ch

⁽²⁾ ACSM (2010). ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription (8th Edition). Lippincott Williams & Wilkins: Philadelphia.

Dank

Ein besonderer Dank gilt meiner Betreuerin Dr. Rahel Gilgen-Ammann. Sie hat mich während der Masterarbeit stets aktiv unterstützt. Weiter möchte ich meinem Referenten Dr. Thomas Wyss danken.

Einen Dank möchte ich auch dem Bundesamt für Sport widmen, das für diese Studie notwendigen Untersuchungsinstrumenten zur Verfügung stellte.

Zu guter Letzt möchte ich allen Probanden danken, die an meiner Studie teilgenommen haben.