

UNIVERSITÄT FREIBURG, SCHWEIZ
MATHEMATISCH-NATURWISSENSCHAFTLICHE FAKULTÄT
DEPARTEMENT FÜR MEDIZIN

In Zusammenarbeit mit der
EIDGENÖSSISCHEN HOCHSCHULE FÜR SPORT MAGGLINGEN

VALIDIERUNG DER ENERGIEVERBRAUCH-ALGORITHMEN VON ZWEI KÖRPERTRAGBAREN SENSOREN IM MILITÄRSETTING

Abschlussarbeit zur Erlangung des Masters in
Bewegungs- und Sportwissenschaften
Option Unterricht

Referent

Dr. Urs MÄDER

Betreuer-In

Dr. Lilian ROOS

Dr. Thomas WYSS

Joel BÄTTIG

Kriens, Juli 2017

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	3
1 Einleitung	4
1.1 Einführung in das Thema	4
1.2 Hintergrund und Ausgangslage	4
1.3 Ziel und konkrete Fragestellung	10
2 Methode.....	11
2.1 Untersuchungsgruppe	11
2.2 Studiendesign	11
2.3 Instrumente.....	14
2.3.1 Messsysteme.....	14
2.3.2 Referenzgerät	14
2.4 Datenauswertung	15
3 Resultate	17
4 Diskussion	21
4.1 Erkenntnisse verglichen mit anderen Publikationen	23
4.2 Schwächen der Arbeit	25
4.3 Weiterführende Fragestellungen	26
5 Schlussfolgerung	28
Literaturverzeichnis.....	29
Danksagung	33
Persönliche Erklärung	34
Urheberrechtserklärung	35
Anhang	36
Anhang A: Probandeninformationsschreiben	36
Anhang B: Einwilligungserklärung.....	44
Anhang C: Fragebogen „Aktivitäten, Schlaf und Ernährung“	45
Anhang D: Case Report File Labormessungen	47
Anhang E: QQ-Plots.....	49

Zusammenfassung

Veränderte Gewohnheiten verleiten vermehrt zu körperlicher Inaktivität. Dieser Bewegungsmangel führt zunehmend zu chronischen Erkrankungen und somit zu hohen Gesundheitskosten. Zur Sensibilisierung für ein gesundheitsförderliches Verhalten und zur Überwachung der körperlichen Belastung bieten sich dank technischem Fortschritt verschiedene Messsysteme an, welche die körperlichen Aktivitäten erfassen können. Bei der Messgenauigkeit dieser Geräte bestehen jedoch Wissenslücken. Ziel dieser Arbeit ist die Validierung der Energieverbrauchsberechnung zweier körpertragbarer Sensoren im Militärsetting. Wie präzise messen die Messsysteme den Energieverbrauch bei unterschiedlichen physischen Aktivitäten bei Rekruten im Vergleich zum Referenzgerät? Dreiundzwanzig Rekruten der Schweizer Armee absolvierten eine Ruhemessung sowie neun für den Militärdienst respektive den Alltag standardisierte Aktivitäten. Dabei trugen die Probanden gleichzeitig die beiden Messsysteme Fenix 3 (Garmin International Inc, Olathe KS, Vereinigte Staaten von Amerika) und EQ02 (Equivital Hidalgo Ltd, Cambridge, Grossbritannien) zur Abschätzung des Energieverbrauchs. Als Referenzgerät erfasste ein mobiler Spiroergometer (MetaMax 3B, Cortex Biophysik GmbH, Leipzig, Deutschland) die Menge der Sauerstoffaufnahme und Kohlenstoffdioxidabgabe in der Atemluft. Mit deskriptiver Statistik wurden Mittelwerte und Standardabweichungen der Untersuchungsinstrumente ermittelt. Der Friedman-Test für verbundene Stichproben prüfte die Unterschiede zwischen den Messsystemen und dem Referenzgerät. Die Zusammenhänge wurden mittels Spearman-Korrelation bestimmt. Über die Gesamtheit aller Aktivitäten korrelierte der gemessene Energieverbrauch signifikant mit $r_s = 0.913$ (Fenix 3) und $r_s = 0.725$ (EQ02) gegenüber dem Referenzgerät. Bei der Fenix 3 resultierte eine Mittelwertdifferenz von 14.35%. Diese unterschied sich signifikant im Vergleich zum Referenzwert. Beim EQ02 war die Abweichung des Energieverbrauchs mit -11.82% nicht signifikant im Vergleich zum Referenzgerät. Somit stellt diese Abweichung valide Werte zur Abschätzung des Energieverbrauchs dar. Aufgrund dieser Resultate kann das EQ02 im Militärsetting als zuverlässiges Messsystem zur Energieverbrauchsberechnung eingesetzt werden. Auf dieser Basis können körperliche Überbelastungen respektive Verletzungen vermieden werden. Folglich kann dank exakten Angaben zur körperlichen Belastung ein optimaler Ausgleich zwischen Belastung und Regeneration erreicht werden.

1 Einleitung

1.1 Einführung in das Thema

Körperliche Inaktivität sowie der moderne, bewegungsarme Lebensstil zeigen sich mehr und mehr verantwortlich für das Aufkommen von chronischen Erkrankungen (Montoye, 2000; Stielow, 2015). So gewinnt die körperliche Aktivität und deren möglichst genaue Bestimmung zunehmende Aufmerksamkeit in der Öffentlichkeit und Wissenschaft. Um den unterschiedlichen Ansprüchen zu genügen, gilt es die Messmethoden der physischen Aktivität respektive des Energieverbrauchs zu prüfen. Denn die Anwender brauchen Messsysteme die genügend genaue Angaben bei der Abschätzung des Energieverbrauchs liefern (Stielow, 2015; Wareham & Rennie, 1998), da bei vielen Benutzerinnen und Benutzern die Messgenauigkeit von Interesse zu sein scheint. So geht dies beispielsweise aus einer Pressemitteilung von Bitkom (2016) zum Thema „Am Puls der Zeit? – Wearables und Gesundheits-Apps“ hervor. Eine Befragung des Markt- und Meinungsforschungsunternehmens YouGov zur Nutzung von Fitness-Trackern ergab, dass 32% der Befragten falsche Messwerte von elektronischen Geräten befürchten.

1.2 Hintergrund und Ausgangslage

Grosse Teile der Bevölkerung leiden unter Bewegungsmangel. Dies widerspiegelt sich in einer zunehmenden Prävalenz an chronischen Krankheiten (World Health Organization, 2010). Montoye (2000) fasste in seinem Artikel verschiedene Konsequenzen des Bewegungsmangels zusammen. Daraus lassen sich zwei bedeutsame Entwicklungen in der modernen Welt wiedergeben. Erstens veränderten technologische Fortschritte die meisten unserer Beschäftigungsbedingungen an Arbeitsplätzen und in Transportmitteln, so dass für diese täglichen Aktivitäten weniger Energie aufgewendet werden muss. Zweitens lösten chronische Erkrankungen viele infektiöse und kontagiöse Krankheiten als Todes- und Behinderungsursache ab. Daher ist es logisch anzunehmen, dass unser Lebensstil inklusive körperlicher Inaktivität mit chronischen Erkrankungen assoziiert wird (Montoye, 2000).

Regelmässige körperliche Aktivität für alle Altersgruppen ist bedeutsam zur Erhaltung der körperlichen und geistigen Gesundheit und Leistungsfähigkeit. Das Netzwerk Gesundheit und Bewegung Schweiz Hepa (2013) empfiehlt erwachsenen Frauen und Männern mindestens 150 Minuten pro Woche Alltagsaktivitäten zu verrichten oder Sport bei mittlerer Intensität auszuüben. Diese Bewegungsempfehlung kann auch durch 75 Minuten körperlicher Aktivität pro Woche bei hoher Intensität erreicht werden. Bezugnehmend auf diese

Mindestempfehlungen sind knapp 35 Prozent der erwachsenen Schweizerinnen und Schweizer ungenügend aktiv oder ganz inaktiv (Hepa, 2013). Die in den neunziger Jahren stetig angestiegene Inaktivität erlebt nun eine Trendwende. So scheint sich das Bewegungsverhalten in der Schweiz gesamthaft wieder zu verbessern (Hepa, 2013). Regelmässige Bewegung hat nicht nur für Einzelpersonen, sondern auch auf die Volksgesundheit wichtige Auswirkungen. Dies zeigt sich beispielsweise bei den Gesundheitskosten. Aufgrund körperlicher Inaktivität resultieren in der Schweiz jährlich etwa 2900 vorzeitige Todesfälle, 2.1 Millionen Erkrankungen und 2.4 Milliarden Franken direkte Behandlungskosten. Regelmässige körperliche Aktivität reduziert das Risiko an Übergewicht, Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Bluthochdruck, sowie Diabetes II zu erkranken (Hepa, 2013). Weitere mögliche positive Auswirkungen körperlicher Aktivität auf die körperliche und geistige Gesundheit sind in Anlehnung an Rütten et al. (2005) aus der Abbildung 1 zu entnehmen.

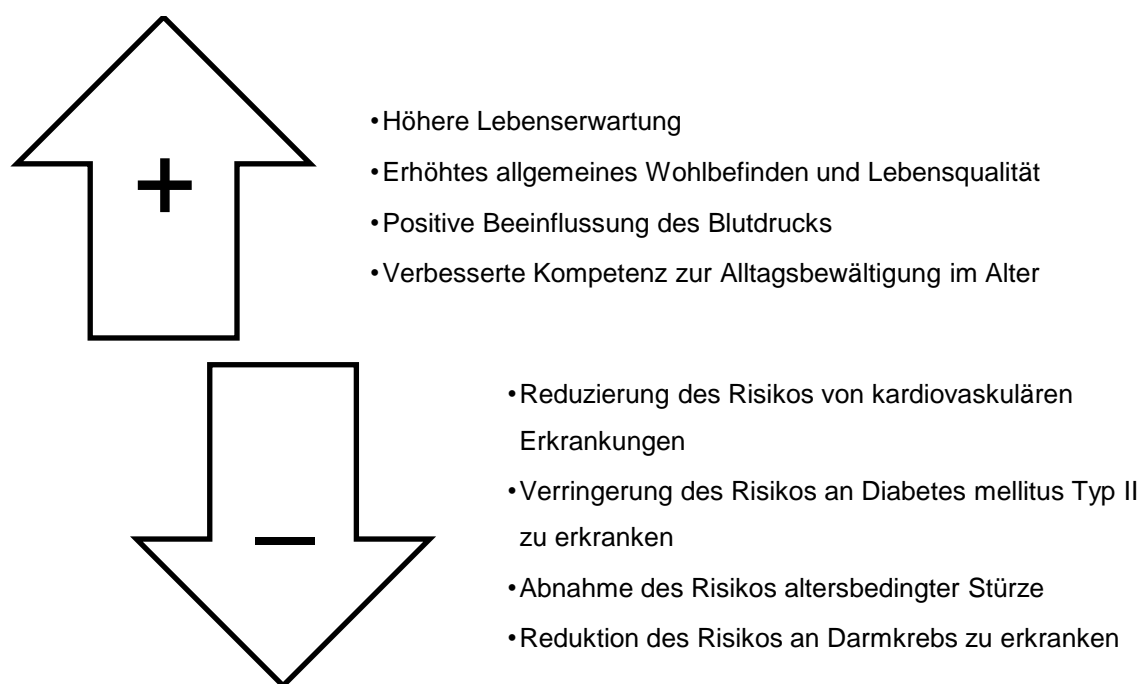


Abb. 1: Zusammenfassung der zunehmenden respektive abnehmenden Auswirkungen von körperlicher Aktivität auf die Gesundheit (Rütten et al., 2005).

Zur Sensibilisierung eines gesundheitsförderlichen Verhaltens respektive zur Bewegungsförderung sind Aufklärungskampagnen, Vereinsangebote, integrierte Programme in Gemeinden und Schulen verbreitet (Hepa, 2013). Um einem möglichen Bewegungsmangel entgegenzuwirken, bieten sich beispielsweise auch technische Geräte an. Diese Möglichkeit der Ungebundenheit und Individualität kommt dem heutigen Zeitgeist entgegen. Solche

Geräte bieten eine praktische und relativ günstige Technik zur Erfassung der körperlichen Aktivität. Dank dem technischen Fortschritt gibt es auf dem Markt unter anderem körpertragbare Sensoren, Fitness-Tracker und Sportuhren. Die Erfassung körperlicher Aktivitäten mittels dieser Geräte wird immer beliebter. Gemäss Kooiman et al. (2015) steigern Fitness-Tracker das Bedürfnis der Konsumenten ihre körperliche Aktivität zu erhöhen. Auch Bravata et al. (2007) stellten fest, dass solche Geräte die Anwender motivieren sich körperlich zu betätigen. So können diese Technologien genutzt werden, um inaktive Menschen zu einem gesünderen Lebensstil zu führen. Dies durch Aufzeichnung ihrer Bewegungsaktivitäten und das Setzen von persönlichen Aktivitätszielen. Das Angebot an körpertragbaren Geräten zur Datenerfassung der Aktivitäten ist vielfältig und entwickelt sich rasant. Wie aus der Abbildung 2 ersichtlich, scheint gemäss dem Marktforschungsunternehmen GfK (2016) in den Jahren 2014 und 2015 ein globaler Fitness-Tracker-Boom entstanden zu sein.

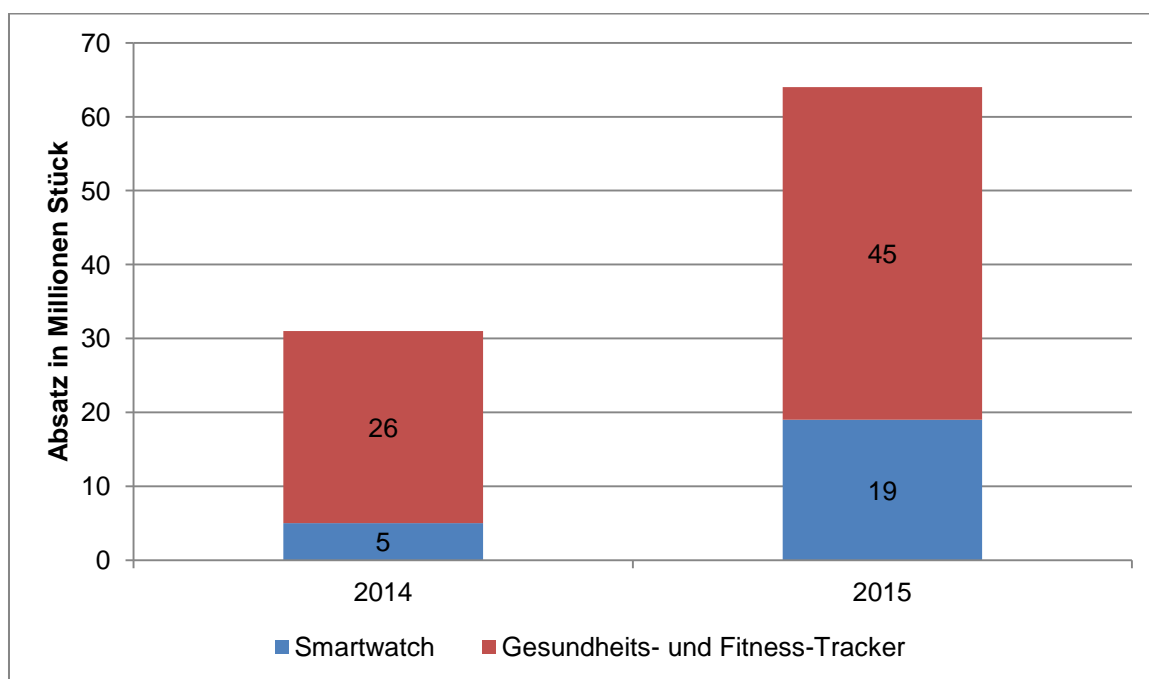


Abb. 2: Weltweite Absatzsatzzahlen von Smartwatches und Gesundheits- und Fitness-Trackern (GfK, 2016).

Diese technischen Geräte verfügen über verschiedenste Funktionen, welche die Erfassung von Herzfrequenz, Schrittzahl, Global Positioning System (GPS)-Daten und Kalorienverbrauch ermöglichen. Der Kalorienverbrauch wird mittels eines Algorithmus berechnet und unter Berücksichtigung verschiedener Parameter wie Geschlecht, Alter, Körpergewicht und -grösse ermittelt (Jung, 2017). Diese Daten erlauben den individuellen Aktivitäts- und Trainingslevel der Benutzerinnen und Benutzer zu evaluieren. So lassen sich Informationen über den

Energieverbrauch respektive die Kalorienberechnung in verschiedenen Bereichen einsetzen. Im Gesundheits- und Ernährungsbereich erachten Jacobi et al. (2007) den Energieverbrauch durch die körperliche Aktivität als wichtigen Bestandteil zur Behandlung von Übergewicht und Adipositas. Gemäss Imhof-Hänecke, Dahinden, und Laimbacher (2004) kann durch die Kalorienberechnung die Energiebilanz berechnet werden. Diese ist gerade für Personen bedeutend, welche eine Gewichtsabnahme beabsichtigen. Fällt die Energiebilanz negativ aus, so verliert die Person an Körpergewicht. Eine positive Energiebilanz führt hingegen zu einer Gewichtszunahme. Die Energie (Nährwerte) wird auf den Lebensmitteletiketten in der Regel mit Kilokalorien (kcal) und Kilojoule (kJ) deklariert. Ein kJ entspricht 0.239 kcal.

Im Bereich der Trainingssteuerung liefert der Kalorienverbrauch Auskunft über die Trainingsintensität. Daraus lässt sich beispielsweise die Regenerationszeit ableiten und das Training entsprechend planen. Nach Jeukendrup und Van Diemen (1998) ist es wichtig die Trainingsintensität mittels Sportuhren im Leistungssport zu überwachen. Dies um einerseits optimale Trainingseffekte zu erzielen. Andererseits kann diese nicht invasive Methode ein Übertraining vermeiden. Weineck (2003) definiert Übertraining „als Folge einer vernachlässigten Erholung...sowohl im physischen als auch im psychischen Bereich“ (S. 661). Durch dieses Übertraining in physischen Aktivitäten treten Ermüdungserscheinungen und/oder Verletzungen auf.

Physische Aktivität wird definiert als jede körperliche Bewegung, welche durch die Skelettmuskulatur unter Energieverbrauch erzeugt wird (Caspersen, Powell, & Christenson, 1985). Dieser Energieverbrauch lässt sich mit verschiedenen Verfahren abschätzen. Die Methoden unterscheiden sich in der Anwendbarkeit und Validität. Ainslie, Reilly, und Westerterp (2003) erläutern die bekanntesten in ihrer Studie. Die Tabelle 1 listet die verschiedenen Methoden zur Ermittlung der Energie zusammengefasst auf.

Tab. 1: Überblick der Energieermittlungstechniken nach Ainslie et al. (2003).

Technik	Gebrauchsdauer	Vorteile	Einschränkungen
Direkte Kalorimetrie	1-7 Tage	Direkte und präzise Messung des EE	Bewegungseinschränkung; nur eine Person zum gleichen Zeitpunkt messbar; hoher Messaufwand
DLW	1-3 Wochen	Anwendung bei mehreren Einzelpersonen und Feldbedingungen; Messung des EE über lange Zeiträume, sicher und wird nicht durch normale physiologische Zustände gestört	Hoher Verbrauch/Kosten von ^{18}O , eingeschränkte Anwendung bei grossen Gruppen; benötigt hochentwickelte Ausrüstung zur Analyse, Fehler möglich wenn Essens-Quotient unbekannt

				ist, keine Information zu kurzer oder spezifischer Zeitdauer der Aktivität
Indirekte Kalorimetrie	< 9 Stunden	Präzise Messung des EE und der Energiebereitstellung während Ruhe und Steady-State Aktivität		Messung des EE bei freien Bewegungen nicht möglich; Systemkosten
Indirekte Kalorimetrie – Portables System	< 9 Stunden	Einzelbeurteilung des EE während verschiedensten Aktivitäten; wiederverwendbar		Kosten und nur kleine Gruppen; ungenaue Abschätzung des EE bei nicht Steady-State Aktivitäten
Herzfrequenzüberwachung	1-3 Wochen	Liefert Informationen über die verbrachten Zeiten in hochintensiven Aktivitäten; günstig und wiederverwendbar		Beeinflussung durch andere Faktoren als nur der körperlichen Aktivität; hohes Fehlerpotential bei der Abschätzung des EE
Fragebögen, Aktivität und Nahrungsbefragung	Unlimitiert; 1-2 Wochen	Kostengünstig; Möglichkeit von grossen individuellen Kohortenuntersuchung		Schlechte individuelle Befolgung und Erfassungsfehler; EE Abschätzungen basieren vorwiegend auf Männer, begrenzte Validierung gegenüber der DLW Technik
Bewegungssensoren	1-2 Wochen	Hervorragendes Mittel um Interventionen zur Steigerung der körperlichen Aktivität zu evaluieren; kostengünstig und anwendbar bei grossen Populationen		Einachsige Sensoren; nicht ausreichend empfindlich für qualitative EE; dreiachsige Sensoren; Beschleunigungsmessung der vertikalen, horizontalen und mediolateralen Ebene. Bietet aussagekräftigere Messung des EE jedoch weiterhin mit limitierter Präzision
Kombinierte Systeme	Keine Angaben	Stellen sicher, dass Herzfrequenzerhöhungen der Reaktionen der körperlichen Aktivität repräsentieren		Mangel an Validierungsstudien; keine kommerzielle Systeme auf dem Markt erhältlich
<i>Anmerkungen.</i> DLW = doubly labelled water; EE = Energieverbrauch (energy expenditure); ¹⁸ O = Sauerstoffisotop.				

Neben dem erwähnten Einsatz im Gesundheits- und Ernährungsbereich sowie bei der Trainingssteuerung spielt die Erfassung von körperlichen Belastungen und Aktivitäten auch im Militärsetting vermehrt eine wichtige Rolle (Wyss & Mäder, 2011). Dabei nimmt die Messung des Energieverbrauchs eine zentrale Bedeutung ein. Der Energieverbrauch liefert Auskunft über die individuelle körperliche Belastung der Soldaten und trägt so zur Belastungssteuerung und Verletzungsprävention bei. Zudem könnten so Massnahmen getroffen werden, um die Austrittsrate der Schweizer Rekruten zu senken. Indem eine Balance zwischen Belastung und Erholung erreicht wird. Hierzu bietet sich besonders das

Militärsetting als Untersuchungsfeld an. Dies weil im Militär verschiedene Personen mit unterschiedlichen Voraussetzungen die gleichen körperlichen Belastungen aushalten müssen.

Im Rahmen dieser Validierungsstudie wird geprüft, wie akkurat die Garmin Fenix 3 (Garmin International Inc, Olathe KS, Vereinigte Staaten von Amerika) sowie das Equivital EQ02 (Equivital Hidalgo Ltd, Cambridge, Grossbritannien) den Energieumsatzes unter standardisierten Untersuchungsbedingungen messen. Bei der Garmin Fenix 3 handelt es sich um ein kommerzielles Produkt. Dieses wird als handelsübliche Sportuhr verwendet. Andererseits das weniger bekannte Equivital EQ02, ein komplexeres körpertragbares Sensoren-System. Als Referenzgerät dient für diese Studie ein portabler Spiroergometer (MetaMax 3B, Cortex Biophysik GmbH, Leipzig, Deutschland) zur Erfassung des Energieverbrauchs. Diese Messtechnik erlaubt valide und reliabele Ergebnisse bei Messungen des Atemgasaustausches bei Ruhe und während körperlicher Aktivitäten (Ainslie et al., 2003). Zudem ist es nach Wüpper (2002) möglich „durch die Breath by Breath-Methode...auch dynamische Reaktionen bei Belastungssprüngen zu untersuchen“ (S. 12).

Damit diese Energieverbrauchsangaben zweckmässig von den Anwendern genutzt werden können, gilt es die Validität der Messinstrumente beziehungsweise deren Energieverbrauchs-Algorithmen zu prüfen. Diese soll im Rahmen dieser Masterarbeit ausgewertet werden. Nach Rockmann und Bömermann (2006) beschreibt das Gütekriterium Validität „... dass das erfasst wird, was zu erfassen vorgegeben wird“ (S. 136). So dass aufgezeigt wird, wie geeignet ein Messinstrument zur Messung eines bestimmten Sachverhaltes ist.

Aktuell besteht Unklarheit über die Genauigkeit der Messmethoden der physischen Aktivität respektive des Energieverbrauchs (Stielow, 2015; Wareham & Rennie, 1998). Daraus entwickelt sich in der Bevölkerung ein Bedarf nach objektiven Methoden zur präzisen Abschätzung von Alltagsaktivitäten. Diese Wissenslücke soll unter anderem mit dieser Arbeit geschlossen werden.

1.3 Ziel und konkrete Fragestellung

Ziel:

Das Ziel dieser Arbeit ist die Validierung der Energieverbrauchsberechnung zweier körpertragbarer Sensoren im Militärsetting. Dazu wird der Energieverbrauch von Rekruten bei verschiedenen Laboraktivitäten mit den Daten eines Referenzgerätes verglichen.

Konkrete Fragestellung:

Wie präzise messen die Messsysteme Garmin Fenix 3 und Equivital EQ02 den Energieverbrauch bei unterschiedlichen physischen Aktivitäten bei Rekruten im Vergleich zum Referenzgerät, einem portablen Spiroergometer?

2 Methode

2.1 Untersuchungsgruppe

An der Untersuchung nahmen 23 deutschsprachige männliche Rekruten (Alter: 20.87 ± 2.51 Jahre; Grösse: 1.77 ± 0.07 m; Gewicht: 76.57 ± 12.83 kg; Body Mass Index: 24.37 ± 2.93 kg/m²) der Schweizer Armee teil. Die Probanden waren in der Rekrutenschule (RS) im Bataillon 143 des Infanterie Durchdiener Kommando 14 (Bat 143 Inf DD Kdo 14) in Aarau eingeteilt. Die Teilnahme an der Studie war freiwillig. Alle Teilnehmer wurden vor der Untersuchung mündlich und schriftlich über die Inhalte und Ziele der Studie informiert (siehe Anhang A). Ein weiteres Inklusionskriterium für die Untersuchung war die Zusage bei der Einwilligungserklärung (siehe Anhang B).

Das Ethikgesuch wurde bei der Ethikkommission Nordwest- und Zentralschweiz (EKZN) eingereicht und vor der Datenerhebung geprüft und genehmigt (EKZN-Nummer: 2016-01842).

2.2 Studiendesign

Die Datenerhebung fand während dreier Wochen in den RS-Wochen 9-11 in Aarau statt. Die Labormessungen erfolgten in der Kaserne Aarau. Es wurden immer zwei Rekruten gleichzeitig gemessen. Pro Person wurde eine Dauer von 122 Minuten 30 Sekunden inklusive Vorbereitung eingerechnet. Wobei die effektive Messzeit inklusive Aktivitätspausen 82 Minuten 30 Sekunden dauerte. Vor der Messung wurden die Probanden mit einer Vielzahl von Messgeräten ausgestattet. Darunter die beiden Geräte Garmin Fenix 3 und Equivital EQ02 sowie das Referenzgerät (siehe Anhang A). Als Referenzgerät diente der portable Spirometer MetaMax 3B.

Auf diesen Geräten wurden vorgängig die anthropometrischen Angaben wie Geschlecht, Alter, Grösse und Gewicht der Probanden eingegeben. Zur Gewährleistung der passenden Brustgurtgrösse wurde der Brustumfang der Probanden gemessen. Dies stellte sicher, dass die Probanden einen optimal sitzenden Brustgurt trugen. Zudem wurden die Brustgurtsensoren mit einer Salzwasserlösung befeuchtet. Dies zur Unterstützung der Leitfähigkeit respektive Signalübertragung zwischen der Körperhaut und den Sensoren. Ausserdem erhielten die Probanden eine passende Atemmaske zum Referenzgerät. Diese Atemmaske musste sowohl die Nase als auch den Mund dicht umschliessen.

Anschliessend, noch vor der Messung, absolvierten die beiden Rekruten gleichzeitig einen acht minütigen Step Test (Cooper, 2014) gefolgt von zwei Minuten Erholungszeit. Dabei

ertönte fortlaufend die Anweisung „up-up-down-down“ der Computersoftware. Wobei sie bei „up-up“ die Füße einzeln nacheinander auf den Stepper aufsetzen mussten und bei „down-down“ wieder einzeln auf den Boden. Der Rhythmus steigerte sich kontinuierlich. Dieser Step Test diente zur Kalibrierung des Messgerätes Equivital EQ02.

Die Labormessung startete mit der Ermittlung des Ruheenergieverbrauchs der Probanden. Dazu legten sich die Probanden für 15 Minuten hin. Die Probanden mussten wachbleiben, durften aber ihre Augen schliessen. Danach absolvierten die Probanden neun verschiedene Aktivitäten (Tabelle 2) zur Ermittlung des Energieverbrauchs. Dabei handelte es sich um sechs militärspezifische körperliche Aktivitäten und drei Alltagstätigkeiten. Die Aktivitäten 2-4 und 5-8 erfolgten in randomisierter Abfolge. Jede Aktivität wurde während fünf Minuten 30 Sekunden aufgezeichnet. Zwischen den Aktivitäten erhielten die Rekruten zwei Minuten Pause.

Tab. 2: Aktivitäten der Labormessung in zunehmender Intensität.

Ablauf	Aktivität
1	Bürotätigkeit im Sitzen
2	Putzen von Waffe und Schuhen
3	Gehen
4	Boden wischen
5	Marschieren mit Rucksack (17kg) und Waffe (3kg)
6	Heben und Senken von Lasten von 25kg
7	Heben und Tragen von Lasten über eine Distanz von 20m, 25kg
8	Schaufeln
9	Rennen

Die Testleiter erklärten und demonstrierten den Probanden jeweils während den Aktivitätspausen die nächste auszuführende Aktivität. Die Aktivitätsinstruktionen erfolgten in einem Monolog. Die Probanden sollten möglichst wenig oder gar nicht sprechen und nur mittels Kopfnicken oder -schütteln antworten.

Bei der ersten Aktivität „Bürotätigkeit im Sitzen“ füllten die Probanden sitzend einen Fragebogen aus (siehe Anhang C). Dieser enthielt Fragen zu Aktivitäten, Schlaf und Ernährung der vorangegangenen 24 Stunden. Falls die Rekruten vorzeitig mit dem Ausfüllen des Fragebogens fertig waren, zeichneten sie auf der Papierrückseite eine möglichst genaue Skizze der Kaserne Aarau.

Für die Aktivität „Putzen von Waffe und Schuhen“ retablierten die Rekruten einerseits ihr Sturmgewehr und andererseits reinigten sie mit Schuhbürsten ihre mitgebrachten Laufschuhe respektive Ersatzkampfstiefel. Das Reinigen führten sie stehend an einem ca. 80 Zentimeter hohen Tisch aus.

Bei der Aktivität „Gehen“ gingen die Probanden ohne Richtungsvorgaben im Laborraum herum. Es galt die Arme locker seitlich am Körper entlang hängen zu lassen und nicht zu verschränken. Als Tempovorgabe diente die Anweisung, dass sie ohne Zeitdruck zu einer Bushaltestelle gehen sollen.

Beim „Boden wischen“ mussten die Probanden Papierschnipsel mit einem Besen zusammenwischen und mit Hilfe von kleiner Schaufel und Besen in einen Abfalleimer kippen.

Das „Marschieren mit Rucksack und Waffe“ bestand darin, dass die Rekruten mit ihrem mitgebrachten Kampfucksack und Sturmgewehr im Laborraum marschierten. Die Forscher wogen jeweils die Packung, welche im Schnitt 21 Kilogramm wog.

Für das „Heben und Senken von Lasten“ wurde eine Kiste mit 25 Kilogramm Gewicht vom Boden auf einen ca. 80 Zentimeter hohen Tisch gehoben und wieder auf den Boden gesenkt. Das Pacing erfolgte auf zehn Sekunden hoch und zehn Sekunden runter. Die Probanden wurden angeleitet aus den Beinen zu heben und den Rücken gerade zu halten.

Bei der Aktivität „Heben und Tragen von Lasten“ trugen die Probanden eine Kiste von 25 Kilogramm auf einer vorgegebenen geraden Strecke von 20 Meter im Laborraum. Beim Wendepunkt A setzten sie die Last auf den Boden ab und beim Wendepunkt B auf einen ca. 80 Zentimeter hohen Tisch. Pro Wende pausierten die Probanden zehn Sekunden.

Das „Schaufeln“ fand draussen statt. Die Rekruten schaufelten ein Quantum Sand von einer Kiste in die andere respektive schaufelten einen Eis-Schneehaufen um. Dabei wählten die Probanden das Tempo so, dass sie fünf Minuten im gleichen Tempo schaufeln könnten. Das vorgegebene Pacing der Forscher lag bei 30 Sekunden Schaufeln gefolgt von acht Sekunden Pause.

Für alle Probanden war Rennen die letzte Aktivität. Anders als die vorangehenden Aktivitäten erfolgte das Rennen mit Laufschuhen an Stelle von Kampfstiefeln. Dafür rannten die Probanden draussen auf dem Parkplatz auf einer flachen Strecke im Oval. Das Lauftempo wurde so gewählt, dass sie dieses Tempo 60 Minuten am Stück laufen könnten. Im Anschluss an die letzte Aktivität wurden die Geräte dem Probanden abgenommen. Danach wurden die Geräte und die Stationen für die nächsten Probanden vorbereitet.

Der vollständige Ablauf ist aus dem Case Report Form Labormessungen (siehe Anhang D) zu entnehmen.

2.3 Instrumente

2.3.1 Messsysteme

In dieser Arbeit wurden zwei Messsysteme validiert. Dabei handelte es sich um die Sportuhr Fenix 3 von Garmin (Garmin International Inc, Olathe KS, Vereinigte Staaten von Amerika) und den körpertragbaren Sensor EQ02 von Equivital (Equivital Hidalgo Ltd, Cambridge, Grossbritannien) welche gleichzeitig getragen wurden (siehe Anhang A). Aus der Tabelle 3 sind die wichtigsten Eigenschaften der beiden Messsysteme zu entnehmen. Diese wurden aus dem Herstellerhandbuch (Garmin, 2016) respektive dem Produktkatalog (Equivital, 2015) entnommen.

Tab. 3: Eigenschaften der Messsysteme.

Messsystem	Verkaufspreis [US Dollar]	Akkulaufzeit [Stunden]	Körpertrageort	Parameter zur Berechnung des Energieverbrauchs
Garmin Fenix 3	499	20	Handgelenk und Brustkorb	HF, HF-%Max, HF- Bereich
Equivital EQ02	Auf Anfrage	48	Brustkorb	EKG, HF, HFV

Anmerkungen. Verkaufspreis: gemäss offizieller Herstellerwebseite. Parameter: HF = Herzfrequenz in Schlägen pro Minute. HF-%Max = Prozentsatz der maximalen Herzfrequenz. HF-Bereich = Aktueller Herzfrequenz-Bereich (1 bis 5). Standard-Herzfrequenz-Bereiche beruhen auf dem Benutzerprofil und der maximalen Herzfrequenz (220 minus Alter). EKG = Elektrokardiogramm. HFV = Herzfrequenzvariabilität.

2.3.2 Referenzgerät

Als Referenzwert wurde der Energieverbrauch mittels indirekter Kalorimetrie ermittelt. Dabei erfasste ein mobiler Spiroergometer (MetaMax 3B, Cortex Biophysik GmbH, Leipzig, Deutschland) die Konzentration der Atemgase (Sauerstoff und Kohlenstoffdioxid) die der Proband unter körperlicher Belastung aufnahm respektive verbrauchte. Diese Daten wurden auf einer internen Speicherkarte abgespeichert. Gemäss Macfarlane und Wong (2012) liefert dieser spezifische Spiroergometer stabile und zuverlässige Ergebnisse. Der portable Spiroergometer verfügt über ein flexibles Tragsystem und wiegt weniger als zwei Kilogramm. Dieses wurde für die Labormessungen als Brusthaltersystem über den Kleidern getragen. Die dazugehörige Atemmaske wurde mittels regulierbarem Kopfnetz am Probanden fixiert (siehe Anhang A).

Damit der portable Spiroergometer einwandfrei funktionierte, musste dieser vor der Benutzung aufgewärmt werden. Anschliessend musste das Gerät kalibriert werden. Diese Kalibrierung umfasste drei Parameter: Luftdruck der Umgebung, Gasmisch der Umgebungsluft und Volumen der Umgebungsluft.

2.4 Datenauswertung

Bei der Datenerhebung konnte bei einem Probanden die Referenzdaten nicht erfasst werden. Folglich wurde dieser Proband von allen Datenauswertungen ausgeschlossen. So verringerte sich die Probandenanzahl auf $n = 22$. Weiter konnten nicht alle Probanden aufgrund ihrer körperlichen Verfassung alle Aktivitäten absolvieren. Deshalb weisen nicht alle Aktivitäten gleich viele Probanden auf.

Die aufgezeichneten Daten des portablen Spiroergometers (Atemgase) wurden mit der Software (MetaSoft, Cortex Biophysik GmbH, Leipzig, Deutschland) auf einen Laptop übertragen. Diese Referenzdaten wurden ins Tabellenkalkulationsprogramm (Microsoft Excel 2007, Microsoft Corporation, Redmond, Vereinigte Staaten von Amerika) exportiert. Mit der Menge an aufgenommenem Sauerstoff und abgegebenem Kohlenstoffdioxid konnte der Referenzenergieverbrauch als Gesamtenergieverbrauch in Kilokalorien berechnet werden. Für die Berechnung diente die Formel nach Weir (1949):

$$\text{Energieverbrauch [kcal]} = (3.941 * \text{VO}_2) + (1.106 * \text{VCO}_2)$$

Die Daten des körpertragbaren Sensors wurden mittels firmeneigener Software (Equivital Manager, Equivital Hidalgo Ltd, Cambridge, Grossbritannien) auf dem Laptop gesichert. Die Daten der Sportuhr wurden mit der firmeneigenen Software (Connect, Garmin International Inc, Olathe KS, Vereinigte Staaten von Amerika) online im Benutzerkonto gesichert. Anschliessend wurden die Daten der beiden Messsysteme ebenfalls ins Tabellenkalkulationsprogramm exportiert. Im Unterschied zum Referenzgerät lieferten die Messsysteme den Energieverbrauch bei körperlicher Aktivität (Physical Activity Energy Expenditure). Weil es sich bei den Messsystemdaten, Garmin Fenix 3 und Equivital EQ02, um den Energieverbrauch bei körperlicher Aktivität handelte, wurde der Ruheenergieverbrauch des Referenzgerätes addiert. Dies erlaubt die Datenauswertung für alle Geräte mit dem Gesamtenergieverbrauch.

Für die statistische Auswertung wurden die erhobenen Daten der einzelnen Messgeräte durch Upsampling in Werte pro 30 Sekunden gebracht, bereinigt und zeitlich synchronisiert.

Um möglichst repräsentative Energieverbrauchswerte berechnen zu können, wurde für die Datenauswertung des Ruheenergieverbrauchs die Zeitspanne zwischen der neunten und vierzehnten Minute verwendet und für die verschiedenen Aktivitäten die Zeitspanne zwischen der dritten und fünften Minute. Dies weil in dieser Zeitspanne sich die Probanden in einem repräsentativen Steady-State befanden. Der Steady-State ist der Gleichgewichtszustand von physiologischen Systemen während einer Belastung von konstanter Intensität (Hegner, 2012). „Die O₂-Aufnahme und die CO₂-Abgabe sowie die Herzfrequenz und die Atemwerte bleiben annähernd konstant“ (Hegner, 2012, S. 296).

Gemäss Zintl und Eisenhut (2001) tritt zu Beginn jeder Belastung ein Sauerstoffdefizit ein. Bei submaximalen Anforderungen können das Herz-Kreislauf-System und die Atmung nicht sofort den plötzlich erhöhten Stoffwechselbedarf decken. Erst nach zwei bis sechs Minuten stellt sich bei hoch intensiven Belastungen ein Steady-State zwischen Sauerstoffaufnahme und -verbrauch ein. Ebenso ist bei weniger intensiven Dauerbelastungen zu Beginn die Sauerstoffaufnahme kleiner als der momentane Sauerstoffbedarf, woraus ein Sauerstoffdefizit resultiert.

Aufgrund dessen wurden die ersten drei Minuten der Aktivitätsmessung beziehungsweise die ersten neun Minuten der Ruhemessung ausgeschlossen. Da die anfänglichen physiologischen Umstellungsvorgänge der Probanden respektive ihrer Körper den Energieverbrauch beeinflusst hätten. Weiter wurden die letzten 30 Sekunden der Aktivitätsmessungen respektive die letzte Minute der Ruhemessung nicht in die Auswertung mit einbezogen. Dies weil sich dann die Probanden möglicherweise schon gedanklich auf die Pause einstellten. Was folglich auch zur Messungsverfälschung geführt hätte.

Die statistische Datenauswertung erfolgte mit der Statistiksoftware SPSS Statistics 23 (IBM Corporation, Armonk NY, Vereinigte Staaten von Amerika). Mit deskriptiver Statistik wurden Mittelwerte und Standardabweichungen der Untersuchungsinstrumente ermittelt.

Die Normalverteilung der Energieverbrauchsdaten aller Aktivitäten pro Gerät wurde mittels Kolmogorov-Smirnov-Test geprüft.

Mit einem Friedman-Test für verbundene Stichproben wurde ermittelt, ob sich die Messgeräte signifikant zum Referenzgerät unterscheiden. Zusätzlich wurde ein Dunn-Bonferroni Post-hoc-Test durchgeführt. Das Signifikanzniveau entsprach 0.05. Weiter wurde in einem nächsten Schritt der Korrelationskoeffizient nach Spearman bestimmt. Für die Berechnung des Korrelationskoeffizienten wurden jeweils die Werte der beiden körpertragbaren Sensoren denjenigen des Referenzgeräts gegenübergestellt. Abschliessend wurden die Daten grafisch mit Bland-Altman-Plots dargestellt (Bland & Altman, 1986).

3 Resultate

Für die Gesamtheit aller Aktivitäten ($n = 212$) bestand keine Normalverteilung ($p < 0.001$). Tabelle 4 zeigt den Zusammenhang des gemessenen Energieverbrauchs jeweils zwischen dem jeweiligen Messsystem und dem Referenzgerät. Aus der Korrelationsanalyse ging hervor, dass signifikante Korrelationen bestehen, wobei bei der Garmin Fenix 3 ein höherer Korrelationskoeffizient zum Referenzgerät resultierte als beim Equivital EQ02. Die QQ-Plots sind aus dem Anhang E zu entnehmen.

Tab. 4: Rangkorrelation nach Spearman r_s über die Gesamtheit aller Aktivitäten zwischen den Messsystemen und dem Referenzgerät.

Gerät	Korrelation r_s	Signifikanz p (zweiseitig)
Referenz (MetaMax)	1.000	
Garmin Fenix 3	0.913	< 0.001
Equivital EQ02	0.725	< 0.001

Anmerkung. Die Korrelation ist auf dem $p < 0.01$ Niveau signifikant (zweiseitig).

Tabelle 5 zeigt die Mittelwertdifferenzen zwischen dem jeweiligen Messsystem und dem Referenzgerät für die einzelnen Aktivitäten und die Gesamtheit aller Aktivitäten. Über alle Aktivitäten wies die Garmin Fenix 3 einen signifikanten Unterschied ($p < 0.001$) zum Referenzgerät auf. Wohingegen sich das Equivital EQ02 nicht signifikant ($p = 0.001$) vom Referenzgerät unterschied. Bei der Garmin Fenix 3 lag die Mittelwertdifferenz bei 14.35% ($\Delta 0.42 \pm 0.81$ kcal/30s), beim Equivital EQ02 resultierte eine Abweichung von -11.82% ($\Delta -0.34 \pm 1.07$ kcal/30s).

Bei der Aktivität „Bürotätigkeit im Sitzen“ wurde bei der Garmin Fenix 3 mit 91.76% ($\Delta 0.84 \pm 0.36$ kcal/30s) die grösste respektive beim „Marschieren mit Rucksack und Waffe“ mit 2.50% ($\Delta 0.08 \pm 0.64$ kcal/30s) die kleinste Abweichung gegenüber dem Referenzgerät gemessen. Beim Equivital EQ02 resultierte die grösste Differenz beim „Heben und Tragen von Lasten“ mit -42.33% ($\Delta -1.75 \pm 0.95$ kcal/30s) sowie die kleinste mit 6.53% ($\Delta 0.05 \pm 0.01$ kcal/30s) beim „Ruheenergieverbrauch“.

Bei der Abschätzung des Kalorienverbrauchs verhielten sich die Algorithmen der Messsysteme unterschiedlich zum Referenzgerät. Die Fenix 3 von Garmin unterschätzte den Kalorienverbrauch einzig bei der Aktivität Rennen signifikant. Beim EQ02 von Equivital wurde der Kalorienverbrauch bei je drei Aktivitäten signifikant überschätzt respektive unterschätzt.

Tab. 5: Mittelwertdifferenz des Kalorienverbrauchs über einzelne Aktivitäten und die Gesamtheit aller Aktivitäten zwischen den Messsystemen und dem Referenzgerät.

Aktivität	<i>n</i>	Referenz [kcal/30s]	Garmin [kcal/30s]	Equivital [kcal/30s]	Δ Garmin - Referenz [kcal/30s]	Δ Equivital -Referenz [kcal/30s]
Ruheenergieverbrauch	22	0.76 ± 0.14	$1.40 \pm 0.29^{***}$	$0.81 \pm 0.14^{**}$	0.64 ± 0.24	0.05 ± 0.01
Bürotätigkeit im Sitzen	22	0.92 ± 0.18	$1.76 \pm 0.38^{***}$	1.10 ± 0.19	0.84 ± 0.36	0.18 ± 0.14
Putzen von Waffe und Schuhen	21	1.83 ± 0.58	$2.63 \pm 0.76^{***}$	$2.39 \pm 0.46^{***}$	0.80 ± 0.52	0.56 ± 0.51
Gehen	22	2.03 ± 0.47	2.38 ± 0.64	1.89 ± 0.59	0.35 ± 0.49	-0.14 ± 0.51
Boden wischen	21	2.36 ± 0.47	2.58 ± 0.68	$2.97 \pm 0.62^{***}$	0.22 ± 0.48	0.61 ± 0.73
Marschieren mit Rucksack und Waffe	22	3.13 ± 0.65	3.21 ± 1.03	$2.20 \pm 0.60^{***}$	0.08 ± 0.64	-0.93 ± 0.57
Heben und Senken von Lasten	22	3.43 ± 0.64	4.18 ± 1.15	3.10 ± 0.80	0.76 ± 0.94	-0.33 ± 1.06
Heben und Tragen von Lasten	21	4.14 ± 0.78	4.77 ± 1.25	$2.39 \pm 0.59^{**}$	0.63 ± 0.98	-1.75 ± 0.95
Schaukeln	20	3.74 ± 1.16	4.05 ± 1.40	$2.43 \pm 0.78^{**}$	0.31 ± 1.01	-1.31 ± 1.43
Rennen	19	7.31 ± 1.27	$6.72 \pm 1.22^*$	6.87 ± 1.01	-0.59 ± 0.98	-0.44 ± 1.04
Alle Aktivitäten	212	2.90 ± 1.90	$3.32 \pm 1.75^{***}$	2.56 ± 1.64	0.42 ± 0.81	-0.34 ± 1.07

Anmerkungen. Alle Werte sind als Mittelwert \pm Standardabweichung angegeben. Signifikanter Unterschied zum Referenzgerät: $*p < 0.05$; $**p < 0.01$; $***p < 0.001$. Der p -Wert resultiert aus dem Post-hoc-Test nach Dunn-Bonferroni.

Die Abbildungen 3 und 4 stellen den Kalorienverbrauch aller Aktivitäten zwischen dem jeweiligen Messsystem und dem Referenzgerät mittels Bland-Altman-Plots dar (Bland & Altman, 1986). Diese zeigen die jeweilige Abweichung zum Referenzgerät. Sowohl bei der Garmin Fenix 3 als auch beim Equivital EQ02 sind gute Übereinstimmungen bei tiefem Energieverbrauch festzustellen.

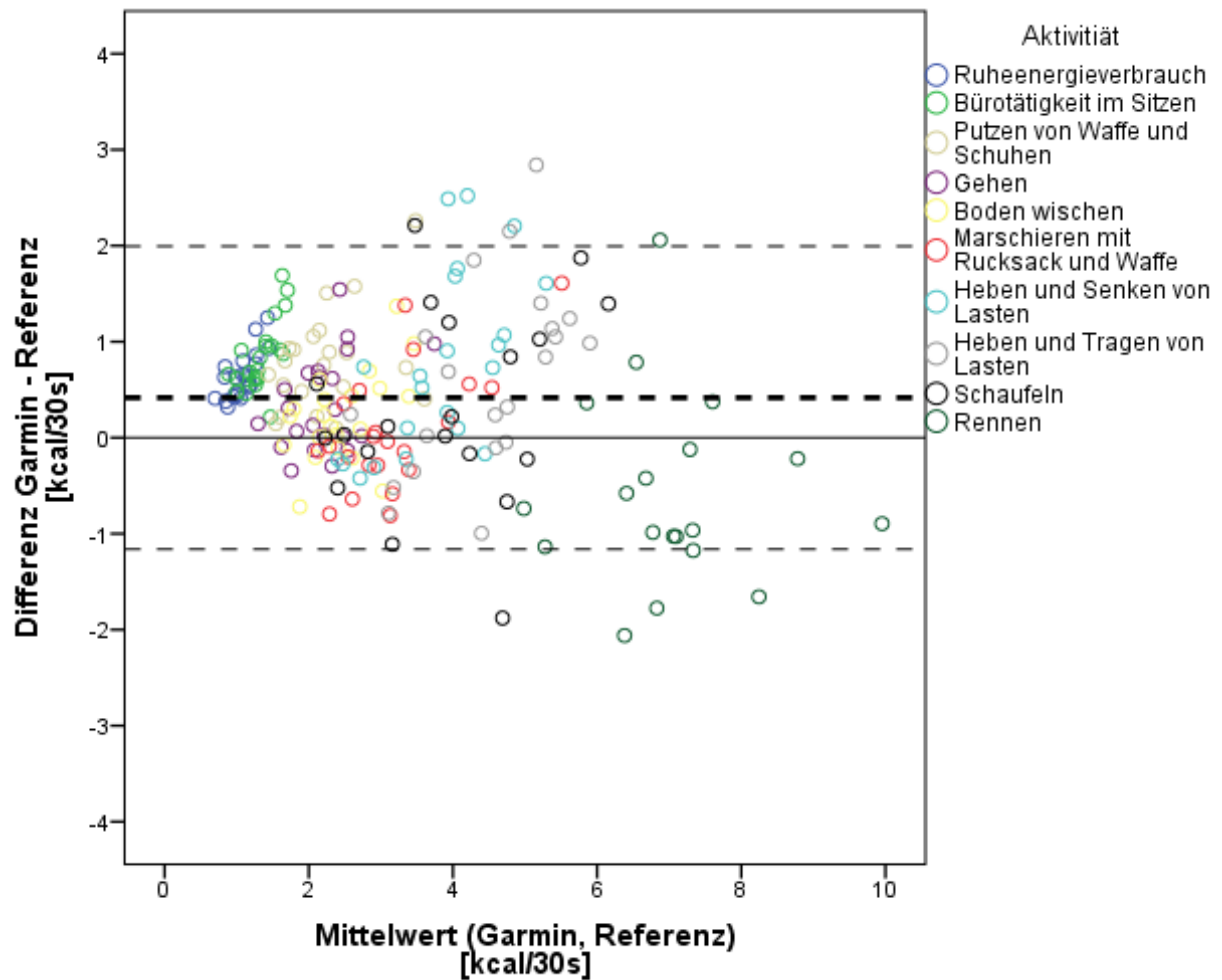


Abb. 3: Bland-Altman-Plot für das Messgerät Garmin Fenix 3 und das Referenzgerät MetaMax 3B. Die Linien entsprechen dem Mittelwert (dick gestrichelte Linie), ± 1.96 mal der Standardabweichung (dünn gestrichelte Linien) und der Nulllinie (durchgezogene Linie).

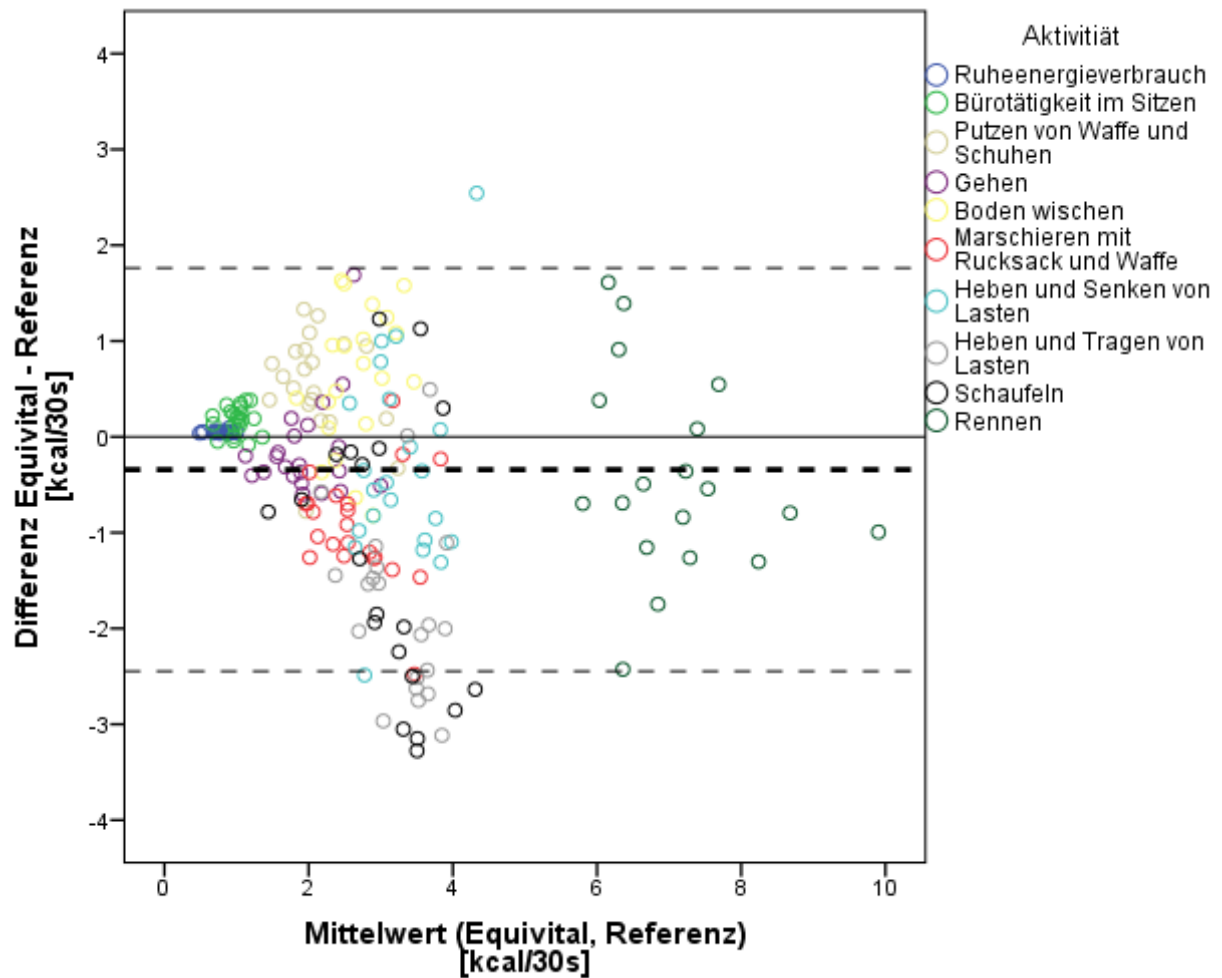


Abb. 4: Bland-Altman-Plot für das Messgerät Equivital EQ02 und das Referenzgerät MetaMax 3B. Die Linien entsprechen dem Mittelwert (dick gestrichelte Linie) ± 1.96 mal der Standardabweichung (dünn gestrichelte Linien) und der Nulllinie (durchgezogene Linie).

4 Diskussion

Das Ziel dieser Studie war die Validierung der Energieverbrauchsberechnung zweier körpertragbarer Sensoren mit der indirekten Kalorimetrie als Referenzmethode im Militärsetting. Die Energieverbrauchswerte über die Gesamtheit aller Aktivitäten der beiden Messsysteme korrelierten gemäss den Richtwerten von Brosius (2013) unterschiedlich gut mit den Referenzwerten. Die Korrelationsanalyse nach Spearman ergab eine sehr starke Korrelation bei der Garmin Fenix 3 ($r_s = 0.931$) respektive eine starke Korrelation beim Equivital EQ02 ($r_s = 0.725$). Demnach resultierten sowohl für die Garmin Fenix 3 als auch für das Equivital EQ02 positive lineare Zusammenhänge gegenüber dem Referenzgerät.

Eine ähnliche Tendenz liess sich bei der Mittelwertdifferenz nicht feststellen. Die Mittelwertdifferenzen zwischen den Messsystemen und dem Referenzgerät wichen in unterschiedliche Richtungen ab. Die Sportuhr Garmin Fenix 3 lieferte mit 14.35% ($\Delta 0.42 \pm 0.81$ kcal/30s) signifikant höhere Mittelwerte als das Referenzgerät. Das Equivital EQ02 wies eine kleinere, nicht-signifikante Differenz von -11.82% ($\Delta -0.34 \pm 1.07$ kcal/30s) gegenüber dem Referenzgerät auf. Demnach scheint, dass das Messsystem Equivital EQ02 über die Gesamtheit aller Aktivitäten den Energieverbrauch präziser misst als die Garmin Fenix 3 im Vergleich zum Referenzgerät. Weiter lässt sich aus den Bland-Altman-Plots vermuten, dass die Garmin Fenix 3 den Energieverbrauch respektive den Kalorienverbrauch über alle Aktivitäten systematisch überschätzt während das Messgerät Equivital EQ02 tendenziell Aktivitäten mit höherer Intensität wie „Heben und Tragen von Lasten“ sowie „Schaufeln“ unterschätzt.

Bei der Mittelwertdifferenz über die einzelnen Aktivitäten überschätzte die Garmin Fenix 3 Aktivitäten mit tiefer Intensität (Ruheenergieverbrauch, Bürotätigkeit im Sitzen, Putzen von Waffe und Schuhen) signifikant. Einzig beim „Rennen“ unterschätzte die Garmin Fenix 3 den Kalorienverbrauch signifikant, der intensivsten Aktivität von allen. Dies könnte darauf hinweisen, dass der Algorithmus der Garmin Fenix 3 intensitätsabhängig ist. Beim Equivital EQ02 liessen sich ähnliche Resultate beobachten. Wobei der Algorithmus empfindlicher auf die Aktivitätsintensität zu reagieren scheint. Denn der Kalorienverbrauch wurde beim „Ruheenergieverbrauch“ und bei Aktivitäten mit tiefer Belastung (< 3.00 kcal/30s der Referenz) wie beim „Putzen von Waffe und Schuhen“ sowie „Boden wischen“ signifikant überschätzt. Wohingegen der Kalorienverbrauch bei Aktivitäten von höheren Intensitäten (> 3.00 kcal/30s) wie beim „Marschieren mit Rucksack und Waffe“, „Heben und Tragen von Lasten“ sowie „Schaufeln“ signifikant unterschätzt wurde. Weiter zeigte beim Equivital EQ02

auch die Aktivität „Rennen“ ein eigenständiges Muster mit einem eigenen Cluster im Bland-Altman-Diagramm (Abbildung 4). Beim „Rennen“ bestand kein signifikanter Unterschied zum Referenzgerät.

Bei der Garmin Fenix 3 lieferten die Aktivitäten „Bürotätigkeit im Sitzen“ und „Putzen von Waffe und Schuhen“ mit 91.76% ($\Delta 0.84 \pm 0.36$ kcal/30s) und 43.47% ($\Delta 0.80 \pm 0.52$ kcal/30s) die ungenauesten Energieverbrauchswerte. In beiden Fällen überschätzte die Garmin Fenix 3 jeweils den Energieverbrauch signifikant zum Referenzgerät. Scheinbar bekundete die Garmin Fenix 3 bei Aktivitäten ohne Fortbewegung, die mehr oder weniger in der gleichen Körperposition vollzogen wurden, besonders Mühe bei der genauen Energieverbrauchsmessung. Beim Equivital EQ02 ergaben sich beim „Heben und Tragen von Lasten“ mit -42.33% ($\Delta -1.75 \pm 0.95$ kcal/30s) und „Schaufeln“ -35.14% ($\Delta -1.31 \pm 1.43$ kcal/30s) die grössten Differenzen zum Spiroergometer hinsichtlich des Energieverbrauchs. Diese beiden Aktivitäten unterschätzten den Energieverbrauch signifikant und wiesen eine ähnliche Charakteristik auf. So lässt sich vermuten, dass das Equivital EQ02 den Energieverbrauch am ungenauesten mass, wenn besonders ein hoher Kraftaufwand in den oberen Extremitäten betrieben wurde.

Die präziseste Energieverbrauchsberechnung im Vergleich zum Referenzgerät resultierte bei der Garmin Fenix 3 beim „Marschieren mit Rucksack und Waffe“ mit 2.50% ($\Delta 0.08 \pm 0.64$ kcal/30s). Diese Aktivität unterschied sich nicht signifikant gegenüber dem Referenzgerät. Die präzise Erfassung dieser Aktivität ist insbesondere nützlich, da das Marschieren mit Rucksack und Waffe einen grossen Anteil im militärischen Alltag einnehmen kann. Dies weil die Verschiebungen im Gelände respektive von der Kaserne zu den Ausbildungsplätzen und zurück oftmals zu Fuss erfolgen. Zudem müssen die Rekruten auf den verschiedenen „Ausbildungs-Märschen“ ihre Packung stets mit sich tragen. So könnte der vermeintlich genaue Energieverbrauch bei der Aktivität „Marschieren mit Rucksack und Waffe“ verlässliche Angaben zur körperlichen Belastung liefern.

Beim Equivital EQ02 schnitt die Messung des „Ruheenergieverbrauchs“ mit 6.53% ($\Delta 0.05 \pm 0.01$ kcal/30s) am genauesten ab. Bei der Abweichung des Energieverbrauchs ergab sich jedoch ein signifikanter Unterschied zum mobilen Spiroergometer. Diese Energieverbrauchsabschätzung in Ruhe kann vor allem zur erfolgreichen Regeneration dienen. Denn die Ruhephasen der Rekruten können kurz und unregelmässig sein. So kann ein präziser Energieverbrauch während Ruhe sich auf die Regeneration förderlich auswirken.

4.1 Erkenntnisse verglichen mit anderen Publikationen

In einer Studie, die ebenfalls einen körpertragbaren Sensor unter Laborbedingungen validierte, resultierte ein vergleichbarer Korrelationskoeffizient von $r = 0.72-0.80$ (Barreira et al., 2009). Der Sensor unterschätzte dabei den Energieverbrauch einzig in der höchsten Auslastung beim Joggen (9.6 km/h) signifikant vom Spiroergometer. Das Joggen lässt sich im Hinblick auf die Intensität und Bewegungsform mit der Aktivität „Rennen“ dieser Arbeit vergleichen. Bei dieser Intensitätsstufe unterschätzten sowohl die Garmin Fenix 3 signifikant als auch das Equivital EQ02 tendenziell den Energieverbrauch. So scheinen Messsysteme bei physisch intensiveren Aktivitäten den Kalorienverbrauch tendenziell systematisch zu unterschätzen. Diese Tendenz zur Unterschätzung bei hoher Intensität resultierte auch bei anderen Validierungsstudien (Grams et al., 2011; Hongu et al., 2013; Woodman et al., 2017). Bei Laufgeschwindigkeiten von 3.2 km/h und 6.4 km/h ergaben sich hingegen keine signifikanten Unterschiede im Energieverbrauch (Barreira et al., 2009). Dabei dauerten die Aktivitäten von Barreira et al. (2009) mit fünf Minuten ähnlich lang wie diejenigen dieser Untersuchung. Jedoch absolvierten die Probanden die drei gemessenen Aktivitäten auf einem Laufband. Aus diesem Grund lassen sich die Resultate nur bedingt vergleichen.

Zu ähnlichen Ergebnissen gelangte eine Untersuchung, welche ein Multi-Sensorensystem unter kontrollierten und standardisierten Bedingungen prüfte. Dabei wurden die Energieumsätze von Alltagsaktivitäten hinsichtlich ihrer Messgenauigkeit mittels mobiler Spiroergometrie verglichen (Grams et al., 2011). Das Aktivitätsrepertoire war ähnlich gewählt wie dasjenige der vorliegenden Arbeit. Der Bewegungsparcours umfasste Liegen, sitzende Tätigkeit, Gehen, Staub saugen, Treppen steigen und Rad fahren. Der Energieverbrauch des Multi-Sensorensystems war bei sitzender Tätigkeit und Staub saugen ziemlich übereinstimmend und unterschied sich nicht signifikant zum Referenzgerät. Bei den anderen Aktivitäten ergaben sich signifikante Unterschiede bei der Energieverbrauchsmessung im Vergleich zum Referenzgerät: Liegen -15%, Treppe steigen -25% und Rad fahren -39%. So nahm mit zunehmendem Intensitätslevel der Aktivität die Abweichung des Aktivitätsmonitors zu (Grams et al., 2011). Diese Erkenntnis lieferte auch eine weitere Validierungsstudie, die den Energieverbrauch bei körperlicher Aktivität mittels gleichem Multi-Sensorensystem bei Kindern prüfte (Arvidsson et al., 2007). Signifikante Unterschiede ergaben sich dabei erst bei intensiveren Aktivitäten wie beim Treppen steigen oder Rad fahren. Weiter wurde bei Grams et al. (2011) der Energieverbrauch einzig bei der Aktivität Gehen mit 9% signifikant überschätzt. Möglicherweise lag es daran, dass im Gegensatz zu den anderen Aktivitäten des Bewegungsparcours, welche während 15 Minuten erfasst wurden, die Aktivität Gehen

lediglich sechs Minuten dauerte. Dies in Anlehnung an den „The six-minute walk test“ (Enright, 2003). Für die Auswertung der Aktivität Gehen dienten die Werte von der zweiten bis sechsten Minute. Bei den Aktivitäten von 15 Minuten Dauer wurde die dritte bis zwölfte Minute zur Auswertung einbezogen (Grams et al., 2011). Dies lässt möglicherweise die signifikante Überschätzung beim Gehen erklären.

In einer anderen Studie hingegen lieferten verschiedene GPS-Sportuhren signifikante und konstante Unterschätzung des Energieverbrauchs beim Gehen (3 km/h, 5 km/h und 7 km/h). Dies im Vergleich zu einem triaxialen Beschleunigungsmesser (Hongu et al., 2013). Dabei lagen die Mittelwertdifferenzen je nach Sportuhr bei -42% bis -51%. So deuten diese Studienresultate daraufhin, dass kommerzielle Sportuhren mit Vorsicht zur Abschätzung des Energieverbrauchs genutzt werden sollten. Bezugnehmend auf die Aktivität Gehen könnten grosse Abweichungen bei der Energieverbrauchsberechnung Fehlinterpretationen nach sich ziehen. Dies weil sich Gehen in den Bereich der moderaten körperlichen Aktivitäten einordnen lässt. So nimmt das Gehen eine wichtige Bedeutung bezüglich dem Erreichungsgrad der empfohlenen 150 Minuten Alltagsaktivitäten pro Woche ein (Hepa, 2013). Weiter könnten die Resultate aus dem Energieverbrauch zu Fehlüberlegungen im Hinblick auf die Ernährung führen. Folglich hätte eine systematisch zu hohe Energieverbrauchsberechnung beim Gehen einen negativen Einfluss auf die effektiv geleisteten Alltagsaktivitäten. So könnte ein zu hoher gemessener Energieverbrauch zu einer unnötig hohen Energiezufuhr verleiten. Was infolgedessen zu einer Gewichtszunahme führen würde aufgrund einer positiven Energiebilanz (Imhof-Hänecke et al., 2004).

Weiter trugen in einem ähnlichen Untersuchungssetting amerikanische Studierende unter anderem mit der Basis Peak (Basis Science, Inc., San Francisco CA, Vereinigte Staaten von Amerika) und der Garmin VivoFit (Garmin International Inc, Olathe KS, Vereinigte Staaten von Amerika) zwei Fitness-Tracker am Handgelenk und absolvierten dabei verschiedene Aktivitäten (Woodman et al., 2017). Die Aktivitäten reichten von zwei Ruhemessungen über sitzende Tätigkeiten, Boden wischen, Treppen auf- und absteigen, Gehen, Rennen bis zu Fahrrad fahren. Dabei wurden einzig beim Ruheenergieverbrauch in sitzender Position keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Fitness-Trackern und dem portablen Spiroergometer beobachtet. Wohingegen bei der Ruhemessung in Rückenlage signifikante Unterschiede resultierten. Über alle Aktivitäten erzielte die Basis Peak eine Abweichung von 7% die Garmin VivoFit hingegen -45% gegenüber dem Referenzgerät (Woodman et al., 2017). Die Ergebnisse der Garmin VivoFit weichen im

Gegensatz zur systematischen Überschätzung (14.35%) der Garmin Fenix 3 der vorliegenden Arbeit erheblich ab. So lässt sich vermuten, dass Garmin für ihre Modelle nicht den gleichen Algorithmus für die Abschätzung des Kalorienverbrauchs nutzt. Ausserdem scheint hinsichtlich der Genauigkeit der Energieverbrauchsrechnung die Herzfrequenzmessung mittels Brustgurt genauere Werte zu liefern. Denn im Gegensatz zur vorliegenden Arbeit erfolgte bei der Studie von Woodman et al. (2017) die Herzfrequenzmessung optisch über das Handgelenk durch LED-Sensoren. Nach Parak und Korhonen (2014) erreichten Fitness-Tracker mit LED-Sensoren nicht das gleich hohe Genauigkeitsniveau wie jener einer Brustgurt basierenden Herzfrequenzmessung.

So lässt sich schlussfolgern, dass die Resultate der vorliegenden Arbeit akzeptable Werte zur Abschätzung des Energieverbrauchs lieferten. Denn die beiden Messsysteme wichen im Vergleich zu den erwähnten Studien von Hongu et al. (2013) und Woodman et al. (2017) über alle Aktivitäten um nicht mehr als 15% gegenüber dem portablen Spiroergometer ab.

4.2 Schwächen der Arbeit

Für diese Studie erfolgte die Datenerhebung an drei Tagen. An den Labormesstagen setzte sich das Forscherteam jeweils aus verschiedenen Personen zusammen. Bei den Personen welche für die Betreuung der Probanden zuständig waren, kam es an den einzelnen Messtagen zu Wechsel. Diese 1:1 Betreuung umfasste die Instruktionen der Aktivitäten, das korrekte Starten respektive Stoppen der Aktivitäten und die Pacingkontrolle bei einigen Aktivitäten. Infolge des Personalwechsels waren leichte Diskrepanzen bei der Betreuung der Probanden unumgänglich. Gerade bei der sprachlichen Genauigkeit der Aktivitätsinstruktionen bestanden Abweichungen zwischen den einzelnen Betreuern. Auch war eine gemeinsame Einhaltung der Pacingkontrolle unter den Betreuern kaum realisierbar. Diese Unterschiede in der Probandenbetreuung waren vermutlich nicht schwerwiegend, sollten aber trotzdem in Betracht gezogen werden. Weiter gab es kleine Aktivitätsunterschiede zwischen dem ersten sowie dem zweiten und dritten Messtag. Die Aktivitäten „Boden wischen“ und „Schaufeln“ waren nicht identisch. Beim „Boden wischen“ wischten die Probanden, die am ersten Messtag teilnahmen, Sand vom Boden zusammen und kippten diesen in den Abfalleimer. Die Probanden, die am zweiten und dritten Messtag ihre Messung absolvierten, wischten hingegen Papierschnipsel anstatt Sand vom Boden und kippten diese in den Abfalleimer. Bei der Aktivität „Schaufeln“ galt es am ersten Labormesstag eine mit Sand gefüllte Kiste in eine leere Kiste um zu schaufeln. Die Rekruten des zweiten und dritten Labormesstages hingegen entfernten mittels Schaufeln einen Eis-Schneehaufen vom Boden. So lag vor allem beim

Schaufeln eine Intensitätsveränderung vor. Gerade kleineren Probanden fiel die Variante „Eis-Schneehaufen“ leichter, als das Schaufeln von Sand in eine ca. ein Meter hohe Kiste.

Die Probanden absolvierten ihre Aktivitäten engagiert und hielten sich an das verhängte „Sprechverbot“ während den Messungen. Bei wenigen Ausnahmen kam es vor, dass der Proband dennoch sprach. Dadurch wurden die Messwerte der Atemgase (Sauerstoffaufnahme und Kohlenstoffdioxidabgabe) des Referenzgerätes womöglich leicht beeinflusst. Da die Messungen in Wintermonaten stattfanden, litten ein paar Probanden an Schnupfen und/oder Reizhusten. Dies wiederum hatte ähnlichen Einfluss auf die Atemgaswerte wie das Sprechen.

Weiter kann die Atemmaske des Referenzgerätes auf Dauer für die Probanden als ungewohnt und unangenehm empfunden werden. Dies in Anbetracht, dass die Labormessung rund 80 Minuten dauerte. So wurde dadurch möglicherweise eine gewohnte Atmung erschwert. Dies könnte folglich zu einer erhöhten Herzfrequenz geführt haben, was die Berechnung des Energieverbrauchs der beiden Messsysteme beeinflusst haben könnte.

4.3 Weiterführende Fragestellungen

Diese Untersuchung validierte die Berechnung des Energieverbrauchs zweier Messsysteme im Vergleich zum Referenzgerät Spirometer bei spezifischen militärischen Aktivitäten. So sind diese Resultate einerseits auf das Militärsetting ausgerichtet und andererseits nur für Rekruten generalisierbar. In diesem Zusammenhang wäre es wünschenswert in einer gleich ablaufenden Untersuchung den Energieverbrauch von Rekrutinnen zu erheben. So liessen sich die Messwerte der Rekrutinnen einbeziehen und den vorliegenden Ergebnissen ihrer männlichen Kameraden gegenüber stellen. Die Schweizer Armee (2017) wirbt auf ihrer Webseite für Frauen in der Armee um das Potenzial der Frauen für die Armee besser zu nutzen: „Als Frau in der Armee sind Sie den Männern gleichgestellt. Sie können bei entsprechender Eignung alle Funktionen übernehmen und alle Grade erreichen. Es gilt der Grundsatz «gleiche Leistung – gleiche Chancen».“ Diese Geschlechtergleichstellung kann problematisch sein. Dies weil Frauen in der Rekrutenschule zusammen mit ihren männlichen Kameraden in allen Bereichen gleich ausgebildet werden. So werden auch Frauen den identisch hohen körperlichen Anforderungen ausgesetzt (Schweizer Armee, 2017). Insofern könnte daher die Geschlechtergleichstellung heikel sein, weil die physiologischen Voraussetzungen zwischen Frauen und Männern ungleich sind.

Im Rahmen dieser Masterarbeit absolvierten die Probanden die verschiedenen Aktivitäten in einem Laborsetting. In einer weiterführenden Studie könnten diese mit Feldmessungen

ergänzt werden. Dies um möglichst verschiedene Arten von militärischen Aktivitäten unter realen Bedingungen zu erfassen.

Um die gewonnen Erkenntnisse aus dieser Arbeit zu bestätigen, wären weiterführende Studien mit anderen Berufsgruppen denkbar. So beispielsweise mit Feuerwehrpersonen, welche ebenfalls körperliche Leistungen erbringen. Damit könnten repräsentativere Angaben geliefert werden.

5 Schlussfolgerung

Über die Gesamtheit aller Aktivitäten bestanden starke Korrelationen zwischen dem Referenzenergieverbrauch und dem gemessenen Energieverbrauch der beiden Messsysteme. Gegenüber dem Referenzgerät erreichte die Sportuhr Garmin Fenix 3 ($r_s = 0.931$) eine stärkere Korrelation als das körpertragbare Sensoren-System Equivital EQ02 ($r_s = 0.725$). Dabei überschätzte die Garmin Fenix 3 insgesamt den Energieverbrauch bei allen physischen Aktivitäten mit 14.35% ($\Delta 0.42 \pm 0.81$ kcal/30s) signifikant im Vergleich zum Referenzgerät. Folglich kann der Energieverbrauchswert über die Gesamtheit aller Aktivitäten als nicht valide betrachtet werden. Das Equivital EQ02 berechnete eine nicht signifikante Differenz von -11.82% ($\Delta -0.34 \pm 1.07$ kcal/30s). Somit lässt sich folgern, dass dieses Messsystem über alle Aktivitäten gesehen akzeptable und valide Energieverbrauchswerte liefern kann. Weiter zeigten die Ergebnisse der Labormessungen Ähnlichkeiten für beide Messsysteme. So wurde der Energieverbrauch insbesondere bei Aktivitäten mit tiefer Intensität und ohne Fortbewegung signifikant überschätzt oder wies eine Tendenz zur Überschätzung auf.

Dank validen Messsystemen bei der Energieverbrauchsberechnung lassen sich daraus praktische Konsequenzen ableiten. Denn je akkurater die Messgeräte den Energieverbrauch messen, desto besser kann im Militär- und/oder Sportsetting ein Übertraining und allenfalls eine daraus resultierende Verletzung vermieden werden. Solche Messsysteme bieten eine Grundlage für eine effektive Intensitätssteuerung, das heisst ein optimales Verhältnis zwischen körperlicher Belastung und Regeneration. So sind Rekruten aber auch Athleten fähig ihren jeweiligen Einsatz unter körperlich optimalen Voraussetzungen zu leisten. Im Weiteren trägt für Benutzerinnen und Benutzer im Ernährungsbereich die präzise Energieverbrauchsabschätzung zur erfolgreichen Gewichtsabnahme oder -beibehaltung bei. Die Personen verfügen über valide Kalorienverbrauchsangaben und somit lässt sich ihre Energiezufuhr exakter berechnen.

Literaturverzeichnis

- Ainslie, P. N., Reilly, T., & Westerterp, K. R. (2003). Estimating human energy expenditure. A review of techniques with particular reference to doubly labelled water. *Sports Medicine*, 33(9), 683-698.
- Arvidsson, D., Slinde, F., Larsson, S., & Hulthen, L. (2007). Energy cost of physical activities in children. Validation of SenseWear Armband. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39(11), 2076-2084. doi:10.1249/mss.0b013e31814fb439
- Barreira, T. V., Kang, M., Caputo, J. L., Farley, R. S., & Renfrow, M. S. (2009). Validation of the Actiheart monitor for the measurement of physical activity. *International Journal of Exercise Science*, 2(1), 60-71.
- Bitkom. (2016, Februar). *Fast ein Drittel nutzt Fitness-Tracker*. Zugriff am 29. März 2017 auf <https://www.bitkom.org/Presse/Presseinformation/Gemeinsame-Presseninfo-von-Bitkom-und-BMJV-Fast-ein-Drittel-nutzt-Fitness-Tracker.html>
- Bland, J. M., & Altman, D. G. (1986). Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet*, 327, 307-310.
- Bravata, D. M., Smith-Spangler, C., Sundaram, V., Gienger, A. L., Lin, N., Lewis, R., et al. (2007). Using pedometers to increase physical activity and improve health. A systematic review. *American Medical Association*, 298(19), 2296-2304.
- Brosius, F. (2013). *SPSS 21*. Heidelberg: mitp.
- Caspersen, C. J., Powell, K. E., & Christenson, G. M. (1985). Physical activity, exercise, and physical fitness. Definitions and distinctions for health-related research. *Public Health Reports*, 100(2), 126-131.
- Cooper, S. (2014). *Equivital activity module user guide*. HIDA3330-31-1p0. Cambridge GB: Hidalgo Limited.
- Cortex Biophysik GmbH. (2016). *Spiroergometrie-Lösungen*. Zugriff am 6. Dezember 2016 auf http://cortex-medical.com/mosaic/_M_userfiles/Broschueren/cortex_brochure_deutsch_medium.pdf
- Enright, P. L. (2003) The six-minute walk test. *Respiratory Care*, 48(8), 783-785.

- Equivital (2015, September). *Das Equivital Trainings- und Forschungsproduktpalette Juli 2015 - September 2015*. Zugriff am 3. Januar 2017 auf <https://www.mindtecstore.com/en/component/jdownloads/send/47-equivital/172-equivital-tnr-product-brochure-de>
- Garmin (2016, Februar). *Benutzerhandbuch. Garmin fenix 3*. Zugriff am 3. Januar 2017 auf http://static.garmin.com/pumac/fenix3_OM_DE.pdf
- Grams, L., Tegtbur, U., Kück, M., Gützlaff, E., Marschollek, M., & Kerling, A. (2011). Energieumsatzmessungen unter kontrollierten Bedingungen. Vergleich von Accelerometer, Multisensorsystem und mobiler Spiroergometrie. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 62(6), 160-165.
- GfK (2016, April). *Absatz von Smartwatches und Gesundheits- und Fitness-Trackern weltweit in den Jahren 2014 und 2015 (in Millionen Stück)*. Zugriff am 21. April 2017 auf <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/421270/umfrage/absatz-von-smartwatches-und-gesundheits-und-fitness-trackern-weltweit/>
- Imhof-Hänecke, C., Dahinden, W., & Laimbacher, J. (2004). *Gesund & bewegt. Arbeitsheft Energiemanagement*. Bern: Schulverlag blmv.
- Hegner, J. (2012). *Training fundiert erklärt*. Herzogenbuchsee: Ingold.
- Hepa.ch (2013). *Gesundheitswirksame Bewegung. Grundlagendokument*. Zugriff am 12. November 2016 auf <http://www.hepa.ch/de/bewegungsempfehlungen.html>
- Hongu, N., Orr, B. J., Roe, D. J., Reed, R. G., & Going, S. B. (2013). Global positioning system watches for estimating energy expenditure. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(11), 3216-3220.
- Jacobi, D., Perrin, A.-E., Grosman, N., Doré, M.-F., Normand, S., Oppert, J.-M., et al. (2007). Physical activity-related energy expenditure with the rt3 and tritrac accelerometers in overweight adults. *Obesity*, 15(4), 950-956.
- Jeukendrup, A., & Van Diemen, A. (1998). Heart rate monitoring during training and competition in cyclists. *Journal of Sports Science*, 16, 91-99. doi: 10.1080/026404198366722
- Jung, F. (2017). *Fitness Tracker Test. Distanz und Kalorienverbrauch*. Zugriff am 17. Mai 2017 auf <https://www.fitness-tracker-test.info/berechnung-distanz-und-kalorienverbrauch/>

- 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*, 24(7), 1-11. doi: 10.1186/s13102-015-0018-5
- Macfarlane, D. J., & Wong, P. (2012). Validity, reliability and stability of the portable Cortex Metamax 3B gas analysis system. *European Journal of Applied Physiology*, 112(7), 2539-2547. doi: 10.1007/s00421-011-2230-7
- Montoye, H. J. (2000). Introduction: evaluation of some measurements of physical activity and energy expenditure. *Medicine & science in sports & exercise*, 32(9), 439-441.
- Parak, J., & Korhonen, I. (2014). *Evaluation of wearable consumer heart rate monitors based on photoplethysmography* (Conference Paper). Tampere University of Technology, Finland.
- Rockmann, U., & Bömermann, H. (2006). *Grundlagen der sportwissenschaftlichen Forschungsmethoden und Statistik*. Schorndorf: Hofmann-Verlag.
- Rütten, A., Abu-Omar, K., Lampert, T., & Ziese, T. (2005). *Gesundheitsberichterstattung des Bundes. Heft 26. Körperliche Aktivität*. Berlin: Robert Koch-Institut.
- Schweizer Armee. (2017, Mai). *Frauen in der Armee*. Zugriff am 30. April 2017 auf <http://www.vtg.admin.ch/de/mein-militaerdienst/allgemeines-zum-militaerdienst/frauen-in-der-armee.html>
- Stielow, J. (2015). *Validierung eines mobilen Sensorsystems zur Abschätzung des Energieumsatzes bei Erwachsenen*. Dissertation, Universität Rostock.
- Wareham, N. J., & Rennie, K. L. (1998). The assessment of physical activity in individuals and populations. Why try to be more precise about how physical activity is assessed. *International Journal of Obesity*, 22(2), 30-38.
- Weineck, J. (2003). *Optimales Training. Leistungsphysiologische Trainingslehre unter besonderer Berücksichtigung des Kinder- und Jugendtrainings*. Balingen: Spitta.
- Weir, J. B. V. (1949). New methods for calculating metabolic rate with special reference to protein metabolism. *The Journal of physiology*, 109, 1-9.
- Woodman, J. A., Crouter, S. E., Bassett, D. R., Fitzhugh, E. C., & Boyer, W. R. (2017). Accuracy of consumer monitors for estimating energy expenditure and activity type.

Medicine & Science in Sports & Exercise, 49(2), 371-377. doi:
10.1249/MSS.0000000000001090

World Health Organization. (2011, April). *Global status report on noncommunicable diseases 2010*. Zugriff am 4. März 2017 auf
http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/44579/1/9789240686458_eng.pdf

Wüpper, C. (2002). *Experimentelle Untersuchungen des Gasstoffwechsels bei körperlicher Arbeit. Ein Methodenvergleich*. Hausarbeit der ersten Staatsprüfung, Georg-August-Universität Göttingen.

Wyss, T., & Mäder, U. (2011). Energy expenditure estimation during daily military routine with body-fixed sensors. *Military Medicine*, 176(5), 494-499.

Zintl, F., & Eisenhut, A. (2001). *Ausdauertraining*. München: BLV.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich allen meinen Dank aussprechen, welche mich bei der Erarbeitung der vorliegenden Masterarbeit unterstützt haben:

- Besonderes meiner Betreuerin Lilian Roos, meinem Betreuer Thomas Wyss und meinem Referenten Urs Mäder für die jederzeit kompetente und geduldige Betreuung und Unterstützung sowie für die Förderung meiner Selbst- und Methodenkompetenz im sportwissenschaftlichen Bereich.
- Den Probanden für ihr grosses Engagement und den unkomplizierten Umgang bei den Labormessungen.
- Dem Forscherteam bei der gut organisierten Datenerhebung in der Kaserne Aarau, welche in angenehmer Zusammenarbeit erfolgte.
- Meinen Eltern, die mir auf meinem bisherigen Lebensweg stets Rückhalt gaben und welche mir während der Erarbeitung das notwendige Mass an Durchhaltevermögen und Optimismus vermittelten.

Persönliche Erklärung

Ich versichere, dass ich die Arbeit selbstständig, ohne unerlaubte fremde Hilfe angefertigt habe. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäss aus Veröffentlichungen oder aus anderweitig fremden Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht.

Ort, Datum

Unterschrift

Urheberrechtserklärung

Der Unterzeichnende anerkennt, dass die vorliegende Arbeit ein Bestandteil der Ausbildung, Einheit Bewegungs- und Sportwissenschaften der Universität Freiburg ist. Er überträgt deshalb sämtliche Urhebernutzungsrechte (dies beinhaltet insbesondere das Recht zur Veröffentlichung oder zu anderer kommerzieller oder unentgeltlicher Nutzung) an die Universität Freiburg.

Die Universität darf dieses Recht nur im Einverständnis des Unterzeichnenden auf Dritte übertragen.

Finanzielle Ansprüche des Unterzeichnenden entstehen aus dieser Regelung keine.

Ort, Datum

Unterschrift

Anhang

Anhang A: Probandeninformationsschreiben

EHSM
Eidgenössische
Hochschule
für Sport
Magglingen

Ambulante Messung des Energieverbrauchs bei Soldaten Internationales Forschungsprojekt zum Vergleich der aktuell und zukünftig im militärischen Umfeld eingesetzten Messinstrumente

Dieses Projekt ist organisiert durch die Eidgenössische Hochschule für Sport Magglingen EHSM.
Die Projektleitung erfolgt durch Dr. Thomas Wyss, Leiter Monitoring und Evaluation.

Sehr geehrter Herr,

Wir möchten Sie anfragen, ob Sie an einer Studie zur Genauigkeit von hochentwickelten Fitness-Trackern (Aktivitätssensoren) teilnehmen. Im Folgenden wird Ihnen das geplante Forschungsprojekt vorgestellt: zunächst in einer kurzen Zusammenfassung, quasi als Inhaltsverzeichnis, anschliessend in detaillierter Ausführung.

Zusammenfassung

1	Ziel des Projekts Das Forschungsprojekt untersucht, wie präzise und praktikabel mit unterschiedlichen Messgeräten die körperliche Belastung bei Soldaten gemessen werden kann. Die Messgeräte werden bezüglich ihrer Messgenauigkeit, dem Tragekomfort und dem Aufwand für die Datenerhebung verglichen.
2	Auswahl An der Studie teilnehmen können freiwillige Rekruten des Inf DD RS Bataillons 143.
3	Allgemeine Informationen zum Projekt Die freiwilligen Rekruten tragen während zweimal 90 Minuten neun verschiedene Aktivitätssensoren und einen portablen Spirometer (Gerät zur Messung der Atemgase). Der portable Spirometer wird in der Studie als Referenzgerät eingesetzt. Die freiwilligen Teilnehmer geben zudem Auskunft über die Tragefreundlichkeit der Geräte.
4	Ablauf Für die Studie werden 20 freiwillige Rekruten untersucht, welche zuerst im Labor neun unterschiedliche Aktivitäten ausführen und anschliessend während des militärischen Alltags während 90 Minuten vermessen und von Forschern begleitet werden. Während den Labor- und Feldmessungen werden die neun zu untersuchenden Geräte und das Referenzsystem gleichzeitig getragen. Im Anschluss an die Messungen wird den Teilnehmern je eine Frage zum Tragekomfort der Geräte gestellt. Für die Beurteilung der Tragefreundlichkeit werden die freiwilligen Rekruten zudem gebeten, drei ausgewählte Aktivitätssensoren einen Tag lang zu tragen und anschliessend Fragen zu deren Tragekomfort zu beantworten.
5	Nutzen Die Resultate der Studie sind sehr wichtig für zukünftige Erhebungen der körperlichen Beanspruchungen von Schweizer Soldaten. Mit solchen Daten konnten bereits in der Vergangenheit Massnahmen getroffen werden, um die Verletzungs- und Austrittsrate von Schweizer Rekruten zu senken.
6	Rechte Sie entscheiden freiwillig, ob Sie an diesem Projekt teilnehmen wollen oder nicht. Ihre Entscheidung hat keinen Einfluss auf Ihre militärische Laufbahn und Sie müssen diese Entscheidung nicht begründen.
7	Pflichten Wenn Sie teilnehmen, bitten wir Sie, bestimmte Anforderungen einzuhalten (z.B. Erscheinen zu den Messterminen mit der geforderten Ausrüstung).
8	Risiken Durch das Projekt sind Sie nur geringfügigen Risiken ausgesetzt. Die von Ihnen zu absolvierenden Aktivitäten entsprechen genau dem, was Sie auch sonst in Ihrem Militärdienst körperlich leisten.
9	Ergebnisse Bei neuen Ergebnissen während des Projekts, die den Nutzen oder Ihre Sicherheit und somit Ihre Einwilligung zur Teilnahme beeinflussen können, werden Sie informiert.

10	Vertraulichkeit von Daten und Proben Wir verwenden Ihre persönlichen Daten nur in strikt verschlüsselter Form. Dies bedeutet, dass wir Ihre persönlichen Daten nicht mit Ihrem Namen, sondern nur mit Ihrer verschlüsselten Studiennummer speichern und bearbeiten werden. Eine Liste mit Ihrem Namen und Ihrer Studiennummer ist nur beim Studienleiter, Dr. Thomas Wyss, hinterlegt. Wir halten alle gesetzlichen Regeln des Datenschutzes ein. Alle Beteiligten unterliegen der Schweigepflicht.
11	Rücktritt Sie können jederzeit von der Studie zurücktreten und nicht mehr teilnehmen. Die bis dahin erhobenen Daten und Proben werden noch ausgewertet.
12	Entschädigung Bei einer Teilnahme am Projekt werden Sie eine persönliche Rückmeldung zu Ihrem Ruheenergieverbrauch und Ihrem Energieverbrauch während unterschiedlichen körperlichen Aktivitäten erhalten. Zudem bekommen Sie einen Einblick in die neusten Technologie-Trends von hochentwickelten Aktivitätssensoren.
13	Haftung Die Eidgenössische Hochschule für Sport Magglingen EHSM kommt für allfällige Schäden im Rahmen der Studie auf.
14	Finanzierung Das Projekt wird von der Eidgenössischen Hochschule für Sport Magglingen EHSM bezahlt.
15	Kontaktperson: Sie können jederzeit auf alle Ihre Fragen Auskunft erhalten. Dr. Thomas Wyss Leiter Monitoring und Evaluation Bundesamt für Sport BASPO Hauptstrasse 247 2532 Magglingen Tel. 058 467 64 16 Mail: thomas.wyss@baspo.admin.ch

Detailliertere Information

1. Ziel des Projekts

Das Forschungsprojekt untersucht, wie präzise und praktikabel mit unterschiedlichen Messgeräten die körperliche Belastung bei Soldaten gemessen werden kann. Die Messgeräte werden bezüglich ihrer Messgenauigkeit, dem Tragekomfort und dem Aufwand für die Datenerhebungen verglichen. Die Ergebnisse sollen es ermöglichen, bei zukünftigen Messungen je nach Bedarf die geeignetste Messmethode auszuwählen. Mit solchen Daten können Massnahmen getroffen werden, um die Belastung der Rekruten besser zu steuern und somit die Verletzungs- und Austrittsrate von Schweizer Rekruten zu senken.

2. Auswahl

Es können alle männlichen deutschsprachigen Personen teilnehmen, welche zurzeit die Rekrutenschule im Bataillon 143 am Infanterie Durchdiener Kommando 14 (Inf DD Kdo 14) in Aarau absolvieren und keine Kaderanwärter sind. Sie sollten keine Überempfindlichkeit auf Klebstoffe auf der Haut, keine überdurchschnittliche Anfälligkeit für Hautirritationen beim Tragen von Geräten (bspw. Uhren) und keine Probleme mit dem Tragen einer Gesichtsmaske über 90 Minuten haben (siehe Tabelle 2).

3. Allgemeine Informationen zum Projekt

In mehreren Ländern werden heute bereits unterschiedliche Sensoren und Messsysteme zur Erfassung der körperlichen Aktivitäten und Belastungen während des Militärdienstes eingesetzt. Bislang ist jedoch nicht bekannt, wie genau die unterschiedlichen Messsysteme den Energieverbrauch bei Soldaten erfassen und welche der eingesetzten Sensoren für die Studienteilnehmer am angenehmsten zum Tragen sowie für die Forscher am einfachsten zu handhaben sind.

Im Rahmen einer internationalen Forschungszusammenarbeit, welche sich aus dem „Human Factors and Medicine“ (HFM) Forschungspanel 260 der North Atlantic Treaty Organization (NATO) ergeben hat, sollen deshalb die zurzeit eingesetzten sowie mögliche zukünftige Messgeräte bezüglich ihrer Messgenauigkeit, dem Tragekomfort und dem Aufwand für die Datenerhebungen verglichen werden. Zu diesem Zweck führen Forscher der Eidgenössischen Hochschule für Sport Magglingen (EHSM) in Zusammenarbeit mit Wissenschaftlern aus den USA, den Niederlanden und Grossbritannien eine Vergleichsstudie mit Rekruten des Inf DD Kdo 14 in Aarau durch. Für die Studie werden 20 freiwillige Rekruten untersucht, welche zuerst im Labor neun unterschiedliche Aktivitäten ausführen und anschliessend während des militärischen Alltags von Forschern beobachtet werden (Tabelle 1). Beide Messungen dauern je 90 Minuten. Während den Labor- und Feldmessungen werden neun zu untersuchende Messgeräte und das Referenzsystem gleichzeitig getragen.

Tabelle 1: Inhalte, Dauer und Teilnehmer des Projekts

Zeitraum	Inhalt	Dauer	Teilnehmer
6.12.2016	Information der Rekruten über Datenerhebung & Unterschreiben der Einwilligungserklärungen	30 Minuten	Alle männlichen deutschsprachigen Rekruten des Bat 143 am Inf DD Kdo 14 in Aarau
RS-Wochen 9 – 11	Labormessungen (Ruheenergieverbrauch und Energieverbrauch bei zehn vorgegebenen Aktivitäten) -> Kapitel 4.2	90 Minuten Messung und 30 Minuten Vor- und Nachbereitung pro Person	10 x 2 Rekruten verteilt auf 3–4 Tage
RS-Wochen 11 – 13	Feldmessungen (Beobachtung/Messung während normalen Aktivitäten im Militärdienst) -> Kapitel 4.3	90 Minuten Messung und 30 Minuten Vor- und Nachbereitung pro Person	Gleiche Personen wie Labormessungen
RS-Wochen 11-13	Befragung zum Tragekomfort (mündlich) -> Kapitel 4.4	15 Stunden Sensoren tragen und 15 Minuten Befragung pro Person	Gleiche Personen wie Labormessungen








Dieses Projekt wird so durchgeführt, wie es die Gesetze in der Schweiz vorschreiben. Die zuständige Ethikkommission hat dieses Projekt geprüft und bewilligt.




4. Ablauf

4.1 Ausrüstung der Teilnehmer

Vor den Labor- und Feldmessungen werden Sie mit den neun zu untersuchenden Sensoren und dem Referenzgerät ausgestattet (Tabelle 2).

Tabelle 2: Eingesetzte Geräte

Messgerät resp. -system	Trageort	Bild
Referenzgerät: MetaMax 3B	Gesicht, Brustkorb	
Axiomote PADIS 2.0	Brustkorb, Hüfte und Rucksack	
GENEActive	Handgelenk	
Garmin Fenix 3	Brustkorb, Handgelenk	
ARMOR Algorithmus	Brustkorb	
Actiheart	Brustkorb, Haut	
Fitpal	Haut	

Hidalgo EQ02	Brustkorb		
IMU Blue Thunder	Schuhbündel		
Biovotion	Oberarm		

Alle Sensoren werden während der gesamten Messdauer gleichzeitig getragen (Abbildung 1), mit Ausnahme der Befragung zum Tragekomfort.



Abbildung 1: Mit allen Messgeräten ausgestatteter Soldat

4.2 Labormessungen

In einem Laborsetting absolvieren Sie eine Ruheenergieverbrauchsmessung über 15 Minuten und insgesamt neun standardisierte Aktivitäten von je 5:30 Minuten Dauer: Inaktivität, zwei Alltagsaktivitäten sowie sechs militärspezifische, körperlich unterschiedlich anstrengende Aktivitäten (Abbildung 2). Zwischen den Aktivitäten gibt es eine Pause von zwei Minuten. Es wird mit der Messung der Inaktivität gestartet, anschliessend werden die Aktivitäten immer intensiver. Die Reihenfolge der Aktivitäten mit gleicher Intensität wird zufällig ausgelost. Als Referenzgerät wird der portable Spirometer „MetaMax 3B“ eingesetzt, welcher anhand eines Sensors an der Gesichtsmaske die Atemgaskonzentrationen misst. Zusätzlich werden mit allen in Tabelle 2 aufgeführten Sensoren die Herzfrequenz und/oder der Energieverbrauch gemessen und teilweise auch die Aktivitätsklassen bestimmt.

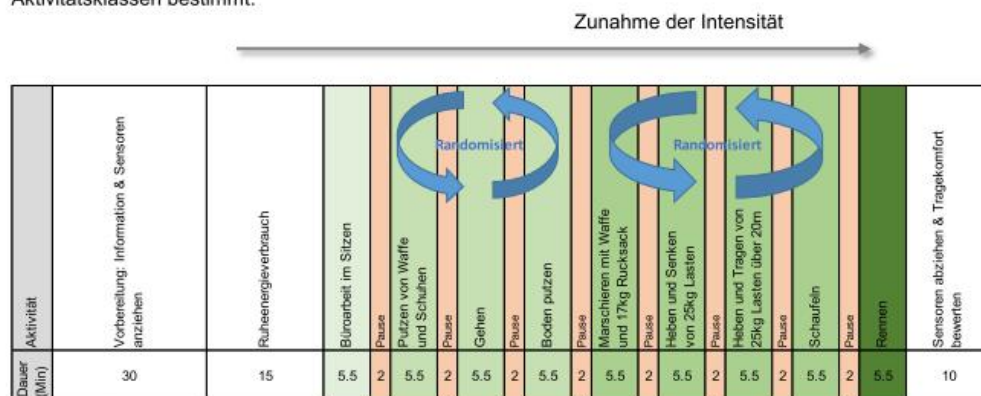


Abbildung 2 : Ablauf und Aktivitäten der Labormessungen

4.3 Feldmessungen

Die Messungen des militärischen Alltags werden zu verschiedenen Zeitpunkten mit jeweils zwei Studienteilnehmern gleichzeitig über 90 Minuten durchgeführt. Dies soll es erlauben, unterschiedliche Aktivitäten in einem realistischen Setting zu messen. Jeder Teilnehmer wird von einem Forscher begleitet, wobei der Forscher Notizen über die Art der ausgeführten Aktivitäten macht. Je nach Ihrem gewöhnlichen Tagesablauf werden Sie bei folgenden Aktivitäten beobachtet: Gruppenübungen, 25km Marsch, Schiessausbildung, Häuserkampf, Nachrichtenposten einrichten, Kontrollposten errichten, Verschiebungen, Materialkontrolle, Theorie/E-Learning, Sport, Parkdienst und innerer Dienst. Als Referenzgerät wird wiederum der portable Spirometer „MetaMax 3B“ eingesetzt, welcher anhand eines Sensors an der Gesichtsmaske die Atemgaskonzentrationen misst. Zusätzlich zeichnen alle in Tabelle 2 aufgeführten Sensoren die Herzfrequenz und/oder den Energieverbrauch und/oder die Aktivitätsklassen auf.

4.4 Befragung zum Tragekomfort und der maximalen Sauerstoffaufnahme

Nach jedem Messtermin (Labor- und Feldmessung) werden Ihnen von einem Forscher eine Frage zum Tragekomfort der unterschiedlichen Geräte gestellt. Die Frage lautet: „Hat das Gerät Sie in irgendeiner Weise (Platzierung oder Material) in Ihren Aktivitäten behindert?“ Sie werden zudem einmalig über 15 Stunden eines Arbeitstages drei Aktivitätssensoren tragen. Danach beantworten Sie Fragen zum Tragekomfort der drei Messgeräte. Die schriftliche Befragung dauert rund 15 Minuten. Um Ihre Fitness beschreiben zu können, werden die Resultate des progressiven Ausdauerlaufs (Woche 6 der Rekrutenschule) erfragt und daraus die maximale Sauerstoffaufnahme (VO_{2max}) abgeschätzt.

4.5 Ausschluss von der Studie

Es kann sein, dass wir Sie von dieser Studie vorzeitig ausschliessen müssen. Das kann beispielsweise geschehen, wenn Sie auf eines der Messgeräte allergisch reagieren (z.B. Hautirritationen o.ä.).

5. Nutzen

Die Resultate der Studie sind sehr wichtig für zukünftige Erhebungen der körperlichen Beanspruchungen von Schweizer Soldaten. Mit solchen Daten konnten bereits in der Vergangenheit Massnahmen getroffen werden, um die Verletzungs- und Austrittsrate von Schweizer Rekruten zu senken.

6. Rechte

Sie nehmen freiwillig an dieser Studie teil. Wenn Sie nicht mitmachen oder später Ihre Teilnahme zurückziehen wollen, müssen Sie dies nicht begründen. Sie dürfen jederzeit Fragen zur Teilnahme und zum Projekt stellen. Wenden Sie sich dazu bitte an Dr. Thomas Wyss (siehe Punkt 15: Kontaktpersonen).

7. Pflichten

Als Teilnehmer ist es notwendig, dass Sie

- pünktlich zu den vereinbarten Messterminen mit der geforderten Ausrüstung erscheinen.
- sich an die notwendigen Vorgaben und Anforderungen durch die Projektleitung halten: Verzicht auf die Einnahme von Koffein, Alkohol, Nikotin sowie Medikamenten jeweils 4 Stunden vor den Messterminen und kein intensives sportliches Training am Vortag.
- die Projektleitung über allfälliges Unwohlbefinden informieren und allfällige Beschwerden melden.
- die Projektleitung über die Einnahme von Medikamenten informieren.

8. Risiken

Durch das Projekt sind Sie nur geringfügigen Risiken ausgesetzt. Die von Ihnen zu absolvierenden Aktivitäten entsprechen genau dem, was Sie auch sonst in Ihrem Militärdienst körperlich leisten.

9. Ergebnisse

Die Projektleitung wird Sie während des Projekts über alle neuen Erkenntnisse informieren, die den Nutzen oder Ihre Sicherheit und somit Ihre Einwilligung zur Teilnahme beeinflussen können.

10. Vertraulichkeit von Daten und Proben

Wir verwenden Ihre persönlichen Daten nur in strikt verschlüsselter Form. Nur sehr wenige Personen werden Ihre unverschlüsselten Daten sehen, und zwar ausschliesslich, um Aufgaben im Rahmen des Projekts zu erfüllen. Andere Personen, die ebenfalls am Studienprojekt beteiligt sind, sehen nur ihre verschlüsselten Daten. Verschlüsselung bedeutet, dass alle Bezugsdaten, die Sie identifizieren könnten (Name, Geburtsdatum), gelöscht und durch einen Schlüssel (Code) ersetzt werden. Diejenigen Personen die den Schlüssel nicht kennen, können daher keine Rückschlüsse auf Ihre Person ziehen. Eine Liste mit Ihrem

Namen und Ihrer Studiennummer ist beim Studienleiter, Dr. Thomas Wyss, an der Eidgenössischen Hochschule für Sport Magglingen (EHSM) hinterlegt. Alle Personen, die zu Studienzwecken Einsicht in Ihre verschlüsselten Daten haben, unterliegen strikt der Schweigepflicht. Sie als teilnehmende Person haben jederzeit das Recht auf Einsicht in Ihre Daten. Wir halten alle gesetzlichen Regeln des Datenschutzes ein.

Die Daten werden nach Abschluss der Datenerhebung ausschliesslich verschlüsselt auch mit Forschungspartner aus Grossbritannien und der Niederlande geteilt. Damit wird eine fehlerfreie Auswertung der Daten sichergestellt. Verantwortlich für die Einhaltung der nationalen und internationalen Richtlinien zum Datenschutz ist die Projektleitung, die im Ausland einen gleichwertigen Datenschutz gewährleistet.

Möglicherweise wird dieses Studienprojekt durch die zuständige Ethikkommission überprüft. Der Projektleiter muss eventuell Ihre persönlichen Daten für solche Kontrollen offenlegen. Alle Personen müssen absolute Vertraulichkeit wahren. Wir halten alle Vorgaben des Datenschutzes ein und werden Ihren Namen weder in einer Publikation, einer Kommunikation gegenüber der Armee noch im Internet öffentlich machen.

11. Rücktritt

Sie können jederzeit aufhören und von dem Projekt zurücktreten, wenn Sie das wünschen. Die bis dahin erhobenen Daten und Proben werden noch verschlüsselt ausgewertet, weil das ganze Projekt sonst seinen Wert verliert. Nach der Auswertung werden Ihre Daten und Proben vollständig anonymisiert, d.h. Ihre Verschlüsselungszuordnung wird vernichtet, so dass danach niemand mehr erfahren kann, dass die Daten ursprünglich von Ihnen stammten.

12. Entschädigung

Bei einer Teilnahme am Projekt werden Sie eine persönliche Rückmeldung zu ihrem Ruheenergieverbrauch und ihrem Energieverbrauch während unterschiedlichen körperlichen Aktivitäten erhalten. Dies kann Ihnen möglicherweise helfen, Ihre persönliche Energiebilanz (Energieaufnahme durch Nahrung - Ruheenergieverbrauch - Energieverbrauch durch körperliche Aktivität) einzuschätzen. Zudem bekommen Sie einen Einblick in die neusten Technologie-Trends von hochentwickelten Aktivitätssensoren.

13. Haftung

Falls Sie durch das Studienprojekt einen Schaden erleiden, haftet die Eidgenössische Hochschule für Sport Magglingen (EHSM). Die Voraussetzungen und das Vorgehen sind gesetzlich geregelt. Wenn Sie einen Schaden erlitten haben, so wenden Sie sich bitte an den Projektleiter (siehe Punkt 15: Kontaktpersonen).

14. Finanzierung

Das Projekt wird vollständig von der Eidgenössischen Hochschule für Sport Magglingen EHSM finanziert. Einige der in Tabelle 2 aufgeführten Messgeräte werden für die Studie von unterschiedlichen Partnern zur Verfügung gestellt.

15. Kontaktpersonen

Bei allen Unklarheiten, Befürchtungen oder Notfällen, die während des Projekts oder danach auftreten, können Sie sich jederzeit an eine dieser Kontaktpersonen wenden.

Studienleitung:

Dr. Thomas Wyss
 Leiter Monitoring und Evaluation
 Bundesamt für Sport BASPO
 Hauptstrasse 247
 2532 Magglingen
 Tel. 058 467 64 16; E-Mail: thomas.wyss@baspo.admin.ch

Leitung am Studienort:

Lilian Roos
 Wissenschaftliche Mitarbeiterin Monitoring und Evaluation
 Bundesamt für Sport BASPO
 Hauptstrasse 247
 2532 Magglingen
 Tel. 058 467 61 66; E-Mail: lilian.roos@baspo.admin.ch

Anhang B: Einwilligungserklärung

Einwilligungserklärung

Schriftliche Einwilligungserklärung zur Teilnahme an einem Studienprojekt

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

BASEC-Nummer:	EKNZ 2016-01842
Titel der Studie:	Ambulante Messung des Energieverbrauchs bei Soldaten
Verantwortliche Institution (Projektleitung mit Adresse):	Dr. Thomas Wyss Leiter Monitoring und Evaluation Bundesamt für Sport BASPO Hauptstrasse 247 2532 Magglingen Tel. 058 467 64 16; Mail: thomas.wyss@baspo.admin.ch
Ort der Durchführung:	Aarau
Leiter der Studie am Studienort:	Lilian Roos
Teilnehmer: Name und Vorname in Druckbuchstaben:	_____
Geburtsdatum (TT.MM.JJJJ):	_____

- Ich wurde von der unterzeichnenden Prüfperson mündlich und schriftlich über den Zweck, den Ablauf des Projekts, über mögliche Vor- und Nachteile sowie über eventuelle Risiken informiert.
- Ich nehme an diesem Projekt freiwillig teil und akzeptiere den Inhalt der zum oben genannten Projekt abgegebenen schriftlichen Information. Ich hatte genügend Zeit, meine Entscheidung zu treffen.
- Meine Fragen im Zusammenhang mit der Teilnahme an diesem Projekt sind mir beantwortet worden. Ich behalte die schriftliche Information und erhalte eine Kopie meiner schriftlichen Einwilligungserklärung.
- Ich bin einverstanden, dass die zuständigen Fachleute der Projektleitung/des Auftraggebers der Studie und der für dieses Projekt zuständigen Ethikkommission zu Prüf- und Kontrollzwecken in meine unverschlüsselten Daten Einsicht nehmen dürfen, jedoch unter strikter Einhaltung der Vertraulichkeit.
- Bei Studienergebnissen oder Zufallsbefunden, die direkt meine Gesundheit betreffen, werde ich informiert. Wenn ich das nicht wünsche, informiere ich die Prüfperson.
- Ich weiss, dass meine gesundheitsbezogenen und persönlichen Daten nur in verschlüsselter Form zu Forschungszwecken **für dieses Studienprojekt** (auch ins Ausland) weitergegeben werden können.
- Ich kann jederzeit und ohne Angabe von Gründen von der Teilnahme zurücktreten, ohne dass ich deswegen Nachteile habe. Die bis dahin erhobenen Daten und Proben werden für Auswertung zur Studie noch verwendet.
- Ich bin darüber informiert, dass die verantwortliche Institution für Schäden aufkommt, die auf das Forschungsprojekt zurückzuführen sind.
- Ich bin mir bewusst, dass die in der Teilnehmerinformation genannten Pflichten einzuhalten sind. Im Interesse meiner Gesundheit kann mich der Leiter jederzeit ausschliessen.

Ort, Datum	Unterschrift Teilnehmer
_____	_____

Bestätigung des der Prüfperson: Hiermit bestätige ich, dass ich diesem Teilnehmer Wesen, Bedeutung und Tragweite des Projekts erläutert habe. Ich versichere, alle im Zusammenhang mit diesem Projekt stehenden Verpflichtungen gemäss des geltenden Rechts zu erfüllen. Sollte ich zu irgendeinem Zeitpunkt während der Durchführung des Projekts von Aspekten erfahren, welche die Bereitschaft des Teilnehmers zur Teilnahme an der Studie beeinflussen könnten, werde ich ihn umgehend darüber informieren.

Ort, Datum	Unterschrift der Prüfperson (Dr. Thomas Wyss)
_____	_____

Anhang C: Fragebogen „Aktivitäten, Schlaf und Ernährung“

EHSM
Eidgenössische
Hochschule
für Sport
Magglingen

Ambulante Messung des Energieverbrauchs bei Soldaten

Fragebogen „Aktivitäten, Schlaf und Ernährung“

Kurzversion

Proband

Name, Vorname: _____

Datum: _____

Zeit: _____ : _____ Uhr

Wie ausgeruht fühlten Sie sich
heute nach dem Aufstehen?

☐₁ ☐₂ ☐₃ ☐₄ ☐₅ ☐₆ ☐₇ ☐₈ ☐₉ ☐₁₀

gar nicht
ausgeruht

völlig
ausgeruht

Haben Sie in den letzten 24 Stunden intensive körperliche Aktivitäten gemacht (Sport, Training)?

Ja ☐₁

Nein ☐₂

Wenn ja: Welche Aktivität(en)?

Art(en) der Aktivität: _____

Zeit: _____

Dauer: _____

Intensität: (1-10)*: _____

* 1 = sehr tiefe Intensität; 10 = sehr hohe Intensität

Wann haben Sie zuletzt etwas gegessen?

Zeit: _____

Was haben Sie zuletzt gegessen?	Essen und Getränke	Menge (dl, g)
	_____	_____
	_____	_____
	_____	_____

Falls die letzte Mahlzeit nur ein Snack war: Wann haben Sie Ihre letzte grosse Mahlzeit gegessen?

Zeit: _____

Was haben Sie bei Ihrer letzten grossen Mahlzeit gegessen?	Essen und Getränke	Menge (dl, g)
	_____	_____
	_____	_____
	_____	_____

Haben Sie gestern oder heute Medikamente genommen?

Ja ☐₁

Nein ☐₂

Wenn ja: Welche und wann?

Haben Sie gestern oder heute Nahrungsergänzungsmittel genommen?

Ja ☐₁

Nein ☐₂

Wenn ja:

Welche?

Menge (dl, g)

<hr/>	<hr/>
<hr/>	<hr/>
<hr/>	<hr/>

Haben Sie gestern oder heute geraucht?

Ja ☐₁

Nein ☐₂

Wenn ja: Wie viele Zigaretten?

Haben Sie gestern oder heute Koffein konsumiert (Kaffee, Schwarztee, Cola, Red Bull, o.Ä.)?

Ja ☐₁

Nein ☐₂

Wenn ja:

Was?

Menge (dl)

<hr/>	<hr/>
<hr/>	<hr/>
<hr/>	<hr/>

Haben Sie gestern oder heute Alkohol konsumiert?

Ja ☐₁

Nein ☐₂

Wenn ja:

Was?

Menge (dl)

<hr/>	<hr/>
<hr/>	<hr/>
<hr/>	<hr/>

Anhang D: Case Report File Labormessungen

CRF Labormessungen Studie AEEES

ID: _____ Datum: _____
 Geburtsdatum: _____ [TT.MM.JJJJ] Grösse: _____ [cm] Gewicht: _____ [kg]

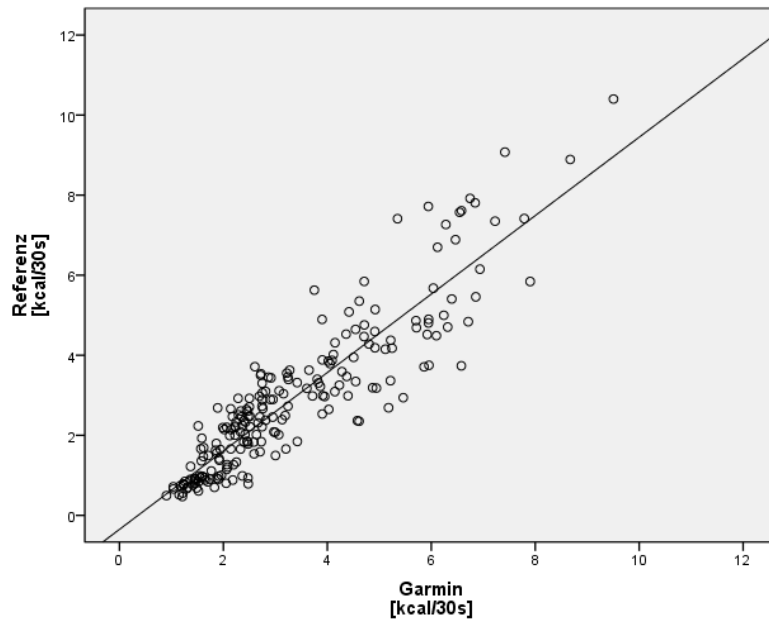
Sensor	Geräte ID	Startzeit [hh:mm:ss]	Sensor	Geräte ID	Startzeit [hh:mm:ss]
MetaMax	<input type="checkbox"/> grün <input type="checkbox"/> rot	--			
Actiheart			Wahoo HRM		--
Hidalgo EQ-02	Brustumfang [cm]: Grösse Gurt:		Biovotion (L; Nummer nach oben)	Oberarmumfang [cm]: Grösse Armband:	
GeneActive (R)			IMU (L)		
Axiomote PADIS 2.0 (R)			Garmin Fenix3 (L)		

Aktivität	Dauer [min]	Zeit	Zu beachten	Bemerkungen
Begrüssung der Probanden/Erste Sensoren (Actiheart, Hidalgo, Biovotion) anziehen	5.0		<ol style="list-style-type: none"> Oberarm- und Brustumfang messen (nach Ausatmen) Actiheart-Elektroden platzieren (Signaltest 2 min) Actiheart auslesen/Step test vorbereiten, Hidalgo-Holster anziehen, Brustgurt Wahoo anziehen → 2x Sensoren befeuchten! Biovotion anziehen Auswählen der passenden Spiro-Maske 	
Step Test (Actiheart/Hidalgo)	15.0		<ol style="list-style-type: none"> (Doppelter) Step Test inkl. 2 min Erholung ohne Sprechen → Startzeit verzögern, damit beide Personen gleichzeitig starten können) MetaMax Patientendaten finalisieren Grösse, Gewicht, Geburtsjahr bei Fenix3 eingeben und checken ob mit korrektem Brustgurt gekoppelt Rucksack wägen Axiomote Sensor am Rucksack auf der RECHTEN Seite anbringen 	Gewicht Rucksack: _____ [kg]
Erholung/Vorbereitung Ruheenergieverbrauch/Ausrüstung mit restlichen Sensoren	10.0		<ol style="list-style-type: none"> Direkt nach Step Test Actiheart und Hidalgo/EQ-02 auslesen und richtige Messung starten Die Personen hinlegen lassen wo REE-Messung stattfindet IMUs vorbereiten und mit Isolierband umwickeln 	Start Ruhemessung: 10' nach Startzeit erstes Actiheart

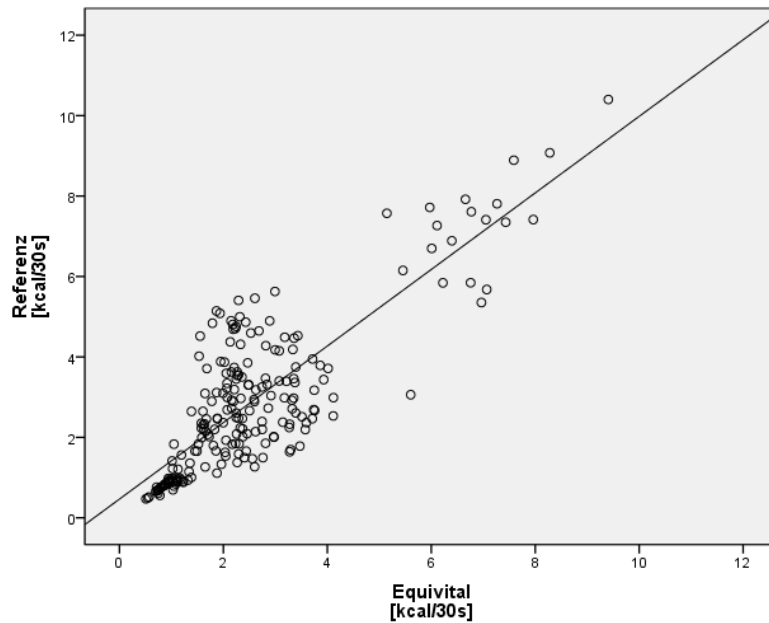
			<ol style="list-style-type: none"> Ausrüstung mit ausstehenden Sensoren (IMU so spät wie möglich starten) Mit MetaMax Umgebungsluftabgleich machen Alle Sensoren KONTROLLIEREN (Start & Lage)! Bei Bedarf mit Hemd/Jacke/Decke zu decken 	Check Sensoren: 8 Sensoren am Körper, 1 Sensor am Rucksack & MetaMax
1. Ruheenergieverbrauch	15.0	00:00:00 Stoppuhr starten! Startzeit [hh:mm:ss]:	Liegend, Arme neben dem Körper Kein Sprechen, wach bleiben, Augen dürfen aber geschlossen werden	
Pause	2.0	00:15:00		
2. Büroarbeit im Sitzen	5.5	00:17:00	FB „Aktivität & Ernährung“ ausfüllen, danach auf Rückseite des FB eine detaillierte Skizze der Kaserne erstellen	
Pause	2.0	00:22:30		
3. Putzen Waffe/Schuhe	5.5	00:24:30	Stehend (2. Paar Kampfstiefel)	
Pause	2.0	00:30:00		
4. Gehen	5.5	00:32:00	Arme hängen lassen (Nicht verschränken)	
Pause	2.0	00:37:30		
5. Boden Putzen	5.5	00:39:30		
Pause	2.0	00:45:00		
6. Marschieren Waffe/17kg Rucksack	5.5	00:47:00	Rucksack/Gewehr rechtzeitig anziehen! Aufpassen beim Umhängen des Gewehrs (Twintube/Turbine checken)	
Pause	2.0	00:52:30		
7. Heben/Senken Lasten 25kg	5.5	00:54:30	Pacing: 10" hoch, 10" runter	
Pause	2.0	01:00:00		
8. Heben/Tragen Lasten 25 kg/20m	5.5	01:02:00	Kiste auf einer Seite auf den Boden stellen, auf der anderen Seite auf Stuhl/Tisch abstellen Pacing: Pro Wende 10" Pause	
Pause	2.0	01:07:30	Evtl. Jacke überziehen, da Schaufeln draussen ist!	
9. Schaufeln	5.5	01:09:30	Instruktion: Tempo so wählen, dass 5'im gleichen Tempo geschauelt werden kann Pacing: 30" Schaufeln, 8" Pause	
Pause	2.0	01:15:00	IMU an Joggingsschuh befestigen (SCHERE!) Evtl. Jacke überziehen, da Rennen draussen ist!	
Bitte umdrehen				

10. Rennen	5.5	01:17:00	Instruktion: Tempo so wählen, dass 60' am Stück gelaufen werden kann → Checken das Tempo konstant bleibt!	Parcour checken wegen Eis/Rutschgefahr
Frage „Tragekomfort“ beantworten beim Abziehen der Sensoren	10.0	01:22:30	1. MetaMax abziehen 2. Tragekomfort erfragen: 1 Antwort pro Gerät → siehe Reihenfolge FB (2 Forscher pro Person!) 3. Rucksacksensor abziehen!	Checken ob alle Sensoren da und ausgeschaltet sind! Check Sensoren: 8 Sensoren am Körper, 1 Sensor am Rucksack & MetaMax
Bedankung und Verabschiedung der Probanden	--	01:32:30	Sofortiges Auslesen der Sensoren und Vorbereitung der Stationen für die nächsten Probanden	

Anhang E: QQ-Plots



QQ-Plot mit linearer Anpassungslinie über die Gesamtheit aller Aktivitäten ($n = 212$) zwischen Garmin Fenix 3 und dem Referenzgerät MetaMax 3B.



QQ-Plot mit linearer Anpassungslinie über die Gesamtheit aller Aktivitäten ($n = 212$) zwischen Equivital EQ02 und dem Referenzgerät MetaMax 3B.