

Validierung progressiver Ausdauerlauf, VO2max Schätzung Garmin und submaximaler Lauftest Polar

Abschlussarbeit zur Erlangung des
Master of Science in Sportwissenschaften
Option Unterricht

eingereicht von

Newa Sonderegger

an der
Universität Freiburg, Schweiz
Mathematisch-Naturwissenschaftliche und Medizinische Fakultät
Abteilung Medizin
Departement für Neuro- und Bewegungswissenschaften

in Zusammenarbeit mit der
Eidgenössischen Hochschule für Sport Magglingen

Referent
Dr. Thomas Wyss

Betreuerin
Regina Oeschger

Fribourg, April 2024

Dank

An dieser Stelle möchte ich mich bei all denjenigen bedanken, die mich während der Anfertigung dieser Masterarbeit unterstützt und motiviert haben.

Zuerst gebührt mein Dank Regina Oeschger, die meine Masterarbeit betreut und begutachtet hat. Für die hilfreichen Anregungen, die Unterstützungen bei den Messungen und die konstruktive Kritik bei der Erstellung dieser Arbeit möchte ich mich herzlich bedanken.

Ich bedanke mich ebenfalls bei der Eidgenössischen Hochschule für Sport Magglingen (EHSM) für die Bereitstellung der Infrastruktur.

Ein besonderer Dank gilt allen Teilnehmern und Teilnehmerinnen der Leistungstests, ohne die diese Arbeit nicht hätte entstehen können. Mein Dank gilt ihrer Bereitschaft einen erheblichen Zeitaufwand für diese Arbeit zu leisten und ihrer Bereitschaft an ihre Grenzen zu gehen.

Ausserdem möchte ich Dr. Thomas Wyss für das Korrekturlesen meiner Masterarbeit danken.

Abschliessend möchte ich mich bei meinen Eltern bedanken, die mir mein Studium durch ihre Unterstützung ermöglicht haben und stets ein offenes Ohr für mich hatten.

Zusammenfassung

Die maximale Sauerstoffaufnahme (VO₂max) ist ein wichtiger Prädiktor für Gesundheit und aerobe Fitness (Cooper & Shafer, 2019). Die VO₂max wird idealerweise durch einen abgestuften Belastungstest auf dem Laufband oder dem Fahrradergometer gemessen, wobei die Atemluft der Person analysiert wird (Bennett et al., 2016). Solche Tests erfordern jedoch eine komplexe Ausrüstung und Fachwissen (Penry et al., 2011). Die Feldtests Progressiver Ausdauerlauf (PER), VO₂max Schätzung Garmin (gemessen durch die Sportuhr Garmin Fenix 7) und submaximaler Lauftest Polar (gemessen durch die Sportuhr Polar Vantage V2) sind drei günstige Alternativen, die es ermöglichen mit geringem Aufwand und einfachem Material die aerobe Fitness von Personen zu beurteilen. Das Ziel der vorliegenden Studie ist es, festzustellen, ob diese alternativen Methoden ebenso präzise oder möglicherweise sogar genauer sind als andere, bereits validierte Feldtests zur Abschätzung der VO₂max.

An der Studie nahmen 14 weibliche (22.9 ± 3.17 Jahre; VO₂max 45.8 ± 5.60 ml/min/kg) und 17 männliche (24.2 ± 2.91 Jahre; VO₂max 57.0 ± 7.61 ml/min/kg) Personen teil. Alle Probanden durchliefen den Goldstandard Test (Cosmed VO₂max Test), die VO₂max Schätzung Garmin und den submaximalen Lauftest Polar. 14 Personen nahmen am PER teil.

Die erhobenen Daten wurden mithilfe einer Pearson-Korrelation analysiert und es wurden der mittlere absolute Fehler (MAE), der mittlere absolute prozentuale Fehler (MAPE) und die Genauigkeit (auf 6% festgelegt) berechnet.

Der PER zeigte in dieser Studie eine starke Korrelation zur VO₂max des Goldstandard bezüglich der Stufe bei Testabbruch (km/h; $r = 0.88$). Die VO₂max Schätzung Garmin zeigte eine starke Korrelation ($r = 0.91$) zur VO₂max des Goldstandard und eine Genauigkeit von 57.14 %. Der submaximale Lauftest Polar zeigte eine starke Korrelation ($r = 0.72$) zur VO₂max des Goldstandard und eine Genauigkeit von 17.24 %.

Alle drei untersuchten Testmethoden können folglich in der Praxis verwendet werden, um die VO₂max einer Person zu schätzen. Beim Testen einer grossen Anzahl Personen (Schule, Verein usw.) empfiehlt sich das Verwenden des PER, um einfach an gute Daten zu kommen. Einzelsportler hingegen können mithilfe einer Sportuhr (Garmin Fenix 7 oder Polar Vantage V2) eine gute Schätzung ihrer VO₂max erwarten. Die VO₂max Schätzung Garmin zeigte eine tendenzielle Unterschätzung der VO₂max bei hohem Fitnesslevel und es sollten mehrere Lauftrainings durchgeführt werden, um valide Schätzungen zu erhalten. Der submaximale Lauftest Polar zeigte eine tendenzielle Unterschätzung der VO₂max über alle Fitnesslevel.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	5
1.1 Ausdauerleistungsfähigkeit	5
1.2 Testverfahren der VO ₂ max	8
1.3 Ziel der Arbeit und konkrete Fragestellungen.....	13
2 Methode.....	15
2.1 Beschrieb der Stichprobe.....	15
2.2 Beschrieb der Untersuchungsmethoden, Instrumenten und Interventionen.....	16
3 Resultate	21
3.1 Auswertung PER	21
3.2 Auswertung VO ₂ max Schätzung Garmin und submaximaler Lauftest Polar.....	25
4 Diskussion	31
4.1 Beschränkungen und Empfehlung für weiterführende Forschung.....	34
5 Schlussfolgerung	36
Literaturverzeichnis.....	37
Anhang	42

1 Einleitung

1.1 Ausdauerleistungsfähigkeit

Zahlreiche Studien haben gezeigt, dass aerobe Fitness kurz- und langfristige Vorteile bringt, sowohl physiologisch als auch psychologisch (DiLorenzo et al., 1999; Miller et al., 2016). Neben den offensichtlichen physiologischen Vorteilen, wie der Verbesserung des kardiovaskulären Systems und der Ausdauerleistungsfähigkeit, haben diese Studien auch gezeigt, dass regelmässiges aerobes Training das Wohlbefinden und die psychische Gesundheit fördert. Kleine Verbesserungen der aeroben Fitness wurden mit signifikanten Verbesserungen des Risikoprofils für kardiovaskuläre Erkrankungen bei Jugendlichen, Erwachsenen und auch älteren Erwachsenen in Verbindung gebracht (Cooper & Shafer, 2019). Über diese Vorteile hinaus deuten Forschungsergebnisse darauf hin, dass eine langfristige Verbesserungen der aeroben Fitness bei älteren Menschen die Gesundheit des Gehirns fördert, indem sie den Verlust von Hirngewebe verringert und die kognitiven Fähigkeiten verbessert (Cooper & Shafer, 2019).

Eine gute aerobe Fitness impliziert eine hohe Ausdauerleistungsfähigkeit. Die Ausdauerleistungsfähigkeit ist entscheidend für den Erfolg in zahlreichen Sportarten, sei es Laufen, Schwimmen, Radfahren oder Mannschaftssportarten wie Fussball oder Basketball (Friedrich, 2022).

Ausdauer ist definiert als die Fähigkeit, über einen längeren Zeitraum hinweg hohe Belastungsintensitäten aufrechtzuerhalten und sich schnell von Belastungen zu erholen (Friedrich, 2022; Tomasits & Haber, 2016). Dabei wird zwischen allgemeiner Ausdauer, die mehr als ein Sechstel der Muskulatur beansprucht, und lokaler Ausdauer, die weniger als ein Sechstel der Muskulatur beansprucht, unterschieden (Friedrich, 2022). Die Ausdauerleistungsfähigkeit wird von einer Vielzahl von Faktoren beeinflusst, die sowohl genetisch bedingt sind als auch durch Training beeinflusst werden können. Die wichtigsten leistungsbestimmenden Faktoren der Ausdauer sind die Kapazität des mitochondrialen Stoffwechsels, ein hoher Anteil an langsam zuckenden Muskelfasern, die Grösse der Kohlenhydratspeicher, die Fähigkeit zur effizienten Fettsäurenverbrennung, die Koordination und Lauftechnik, das Alter und Geschlecht, mentale Faktoren sowie die maximale Sauerstoffaufnahme (VO₂max; Friedrich, 2022).

1.1.1 Maximale Sauerstoffaufnahme (VO₂max)

Die VO₂max ist ein wichtiger Prädiktor für Gesundheit und Fitness und gilt als wichtiges und zuverlässiges physiologisches Mass für die Bestimmung der Ausdauerleistungsfähigkeit (Cooper & Shafer, 2019; Wyss et al., 2012). Die VO₂max spiegelt die Leistungsfähigkeit des

kardiovaskulären und kardiopulmonalen Systems wider und gilt als Goldstandard für die Bewertung deren. Die VO₂max hängt von internen Faktoren wie der Lungenventilation, der Diffusionskapazität der Lunge, dem Herzminutenvolumen, der Sauerstofftransportkapazität des Blutes, der peripheren Sauerstoffverwertung und der Muskelfaserzusammensetzung ab (Friedrich, 2022). Weiterhin wird sie durch das Körpergewicht, Geschlecht und Alter beeinflusst. Die VO₂max ist definiert durch das Plateau des VO₂-Wertes bei weiter steigender Belastung. Die VO₂max wird in der Regel im Verhältnis zum Körpergewicht angegeben, so dass Personen mit unterschiedlichem Körpergewicht verglichen werden können. Die intraindividuelle Tageschwankung bei der Messung der VO₂max liegt bei Personen ohne bekannte kardiopulmonale Pathologie oder Beeinträchtigung zwischen 4 - 6 % (Noonan & Dean, 2000). Bei untrainierten Männern liegt die VO₂max bei ca. 40 - 45 ml/min/kg, bei untrainierten Frauen bei ca. 35 - 40 ml/min/kg (Tomasits & Haber, 2016). Die relative VO₂max ist bei den Frauen um ca. 20 % niedriger als bei den Männern. Wird die VO₂max nur auf die aktive und nicht auf die gesamte Körpermasse bezogen, verkleinert sich dieser Unterschied jedoch auf unter 5 %. Frauen haben eine geringere Hämoglobinmenge als Männer und damit eine geringere Sauerstofftransportfähigkeit. Dieser Unterschied wird hingegen unter Berücksichtigung des geringeren Körpergewichtes kleiner (Tomasits & Haber, 2016). Der ausdauertrainierte Mann kann Maximalwerte von 80 - 90 ml/min/kg erreichen (Friedrich, 2022; Marées, 2003). Ausdauertrainierte Personen haben etwa die folgenden Fähigkeiten zur Aufrechterhaltung ihrer VO₂max: 100 % VO₂max für ca. 10 min, 90 % VO₂max für ca. 30 min und 80 % VO₂max für ca. 120 min. Bei untrainierten Personen liegen diese Werte bedeutend tiefer (Marées, 2003).

Personen mit einer niedrigen VO₂max haben ein erhöhtes Risiko, vorzeitig zu sterben und zahlreiche chronische Krankheiten wie beispielsweise koronare Herzkrankheiten zu entwickeln (Buttar et al., 2019). Ausdauertraining ist ein wirksames Mittel, um eine Verbesserung der VO₂max zu erreichen. Die bestehende Literatur deutet darauf hin, dass extensive Trainingsprogramme die VO₂max verbessern können (Scribbans et al., 2016). Die empirischen Daten legen ausserdem nahe, dass wiederholte Intervalle mit kurzer Dauer und hoher Intensität (Intervalltraining) eine wirksame Alternative zum klassischen Ausdauertraining sind (Scribbans et al., 2016). In einer Meta-Analyse untersuchten Scribbans et al. (2016) die Beziehung zwischen Trainingsintensität und der trainingsbedingten Erhöhung der VO₂max bei jungen Erwachsenen. Sie ermittelten keinen signifikanten Unterschied in der trainingsbedingten Erhöhung der VO₂max zwischen tiefen (60 - 70 % VO₂max), mittleren (80 - 92 % VO₂max) und hohen Intensitäten (~100 - 250 % VO₂max). Die Dauer der Trainingseinheiten war für alle Intensitäten unterschiedlich (tiefe Intensität: 2 - 90 min, mittlere Intensität: 30 s - 60 min, hohe Intensität:

30 s - 20 min). Sie schlossen daraus, dass die Trainingsintensität keinen Einfluss auf das Ausmass der trainingsinduzierten Steigerungen der VO₂max bei jungen Menschen hat. Mit niedrigerem Trainingsvolumen bei höheren Trainingsintensitäten können ähnliche Anpassungen erreicht werden wie mit höheren Trainingsvolumen bei niedrigerer Intensität.

1.1.2 Energiebereitstellung

Diese Forschungsergebnisse zur Trainingsintensität und den daraus resultierenden Anpassungen der VO₂max verdeutlichen die Wichtigkeit, die zugrundeliegenden biochemischen Prozesse zu verstehen, um eine optimale Verbesserung der aeroben Fitness zu erreichen.

Adenosin-Tri-Phosphat (ATP) ist ein universeller chemischer Energiespeicher, der Energie für alle energieumsetzenden Prozesse liefert, unter anderem im menschlichen Körper (Tomasits & Haber, 2016). Der menschliche Organismus verfügt über drei Hauptwege zur ATP (Re-)Synthese. Der erste metabolische Weg umfasst die anaerob-alaktazide Energiebereitstellung mittels der Spaltung von Kreatinphosphat. Der zweite Weg besteht aus der anaerob-laktaziden Glykolyse, welche die Metabolisierung von Glykogen oder Glukose zu Pyruvat und anschliessend zu Laktat umfasst. Beim dritten Weg, der aeroben Energiebereitstellung, findet eine vollständige Oxidation von Glukose oder Fettsäuren statt (Friedrich, 2022).

Die Substratwahl wird durch die Art und Intensität der körperlichen Aktivität determiniert. Die anaerob-alaktazide Energiebereitstellung ist für eine Arbeitsdauer von etwa 6 - 8 s ausreichend, die anaerob-laktazide und aerobe Energiebereitstellung werden verwendet, sobald die anaerob-alaktazide ihre Kapazität ausgeschöpft hat. Diese Prozesse verlaufen immer parallel zueinander ab und nur das Verhältnis zwischen ihnen variiert entsprechend der körperlichen Aktivität (Friedrich, 2022). Der anaerobe-laktazide Weg ermöglicht eine schnelle Energiebereitstellung mit relativ grosser Energieflussrate, dafür kleinem Energiespeicher und ist vorherrschend bei kurzen (3-5 min) und intensiven Aktivitäten. Die aerobe Energiebereitstellung erfolgt relativ langsam, besitzt jedoch einen grossen Energiespeicher. Dieser Weg ist bei langen, weniger intensiven Aktivitäten vorherrschend (Friedrich, 2022).

Jede Belastung, deren Energieumsatz geringer ist als der maximale aerobe Energieumsatz, ist submaximal (Tomasits & Haber, 2016). Bei einer submaximalen Dauerbelastung stellt sich nach einem anfänglichen Laktatanstieg ein Laktat Steady State ein. Belastungen in diesem Bereich können über längere Zeit (bis zu 60 min) durchgehalten werden, ohne dass ein nennenswerter Laktatanstieg festgestellt wird. Die höchste Belastung, bei der der Laktat Steady State bestehen bleibt nennt sich maximaler Laktat Steady State (maxLass; Tomasits & Haber, 2016).

An dieser Schwelle stehen die Laktatbildung und die Laktatelimination gerade noch im Gleichgewicht. Der maxLass ist energetisch dadurch gekennzeichnet, dass nach der Einschwingphase der Energiestoffwechsel bezogen auf den ganzen Körper hauptsächlich aerob abläuft, sprich durch den oxidativen Abbau von Glukose und freien Fettsäuren (Marées, 2003). Wird die Belastung über den maxLass erhöht, wird ein kontinuierlicher Anstieg des Laktats beobachtet. Jede Belastung oberhalb des maxLass erfordert eine partiell anaerob-laktazide Energiebereitstellung. Somit stellt der maxLass die Grenze zwischen hauptsächlich aerober zu überwiegend anaerober Energiebereitstellung dar (Marées, 2003). Der zusätzliche Energiebedarf oberhalb des maxLass wird jedoch nicht ausschliesslich aus der anaeroben laktaziden Quelle bereitgestellt. Ebenso steigt die Sauerstoffaufnahme an, bis zum Erreichen der VO₂max. Belastungen bis zum maxLass sind also im Wesentlichen durch das Vorhandensein von Glykogen limitiert, wobei Belastungen oberhalb des maxLass durch die Abnahme der Glykolyserate infolge zunehmender Azidose begrenzt sind und schliesslich zu einem Abbruch der Belastung führen (Marées, 2003). Auch bei einer maximalen Belastung werden die drei Systeme (anaerob-alaktazid, anaerob-laktazid, aerob) zur ATP-Synthese verwendet. In Abhängigkeit der Intensität und Dauer werden die einzelnen Systeme unterschiedlich beansprucht. Die anaerob-alaktazide Leistungsfähigkeit macht bei einer maximalen Belastung beispielsweise eine Leistung von bis zu 50 metabolischen Äquivalenten (METs) möglich (Tomasits & Haber, 2016). Bei einer kurzfristigen Maximalbelastung läuft der anaerob-laktazide Weg von Beginn an und erreicht eine maximale Leistung von 25 METs. Die Fettoxidation als Energielieferant (aerobes System) dominiert nur bis zur Hälfte der VO₂max bzw. der maximalen möglichen Leistung und entspricht ungefähr einer Leistung von 6 METs (Tomasits & Haber, 2016).

1.2 Testverfahren der VO₂max

Die vorliegenden Informationen veranschaulichen die Bedeutung der aeroben Fitness und machen deutlich, wie wichtig es ist, die Ausdauerleistungsfähigkeit mit einem zuverlässigen Fitnessgerät zu messen. So können die Fortschritte und das Gesundheitsniveau einer Person sowohl im klinischen als auch im sportlichen Bereich verfolgt werden (Cooper & Shafer, 2019). Die VO₂max kann mit maximalen oder submaximalen Tests, mit direkten oder indirekten Methoden geschätzt und berechnet werden. Direkte Methoden wie die Spirometrie erfassen die Ausatemluft einer Person und analysieren die Gase dieser, indem sie die Konzentrationsdifferenz zur Umgebungsluft ermitteln. Durch diese direkten Messungen wird die VO₂max einer Person sehr genau bestimmt (Tomasits & Haber, 2016). Zu den indirekten Methoden gehören Feldtests, die die VO₂max einer Person auf Grundlage ihrer Herzfrequenz, der zurückgelegten

Strecke oder der Zeit bei Verwendung eines bestimmten Protokolls geschätzt wird (Buttar et al., 2019). Die am häufigsten verwendeten Tests sind Geh-/ Lauftests, gefolgt von Radfahr- und Stufentests.

1.2.1 Maximale Tests der VO₂max

Die meisten Labore, die menschliche Ausdauerleistungsfähigkeit messen, verwenden automatisierte Systeme zur Stoffwechselgasanalyse (z.B. metabolischer Messwagen) um den Sauerstoffverbrauch, die Kohlendioxidproduktion und die Ventilation während abgestufter Belastungstests zur Bewertung der aeroben Fitness direkt zu messen (Nieman et al., 2011). Diese einfachen, automatisierten Systeme zur Stoffwechselgasanalyse ersetzen immer häufiger das klassische Douglas Bag System, welches bis anhin als Goldstandard für die Messung des Gasaustauschs verwendet wurde (Nieman et al., 2011). Der Begriff Goldstandard bezieht sich auf den besten Vergleichsmassstab, den die Forschung zum aktuellen Zeitpunkt zur Verfügung hat. Es handelt sich nicht um den perfekten Test, sondern lediglich um den besten verfügbaren Test, der gründlich getestet wurde und auf dem Gebiet als zuverlässige Methode bekannt ist (Cardoso et al., 2014). Solche abgestuften Belastungstests mit automatisierten Systemen zur Stoffwechselanalyse erfordern jedoch eine komplexe und kostspielige Ausrüstung, deren Zugang beschränkt ist. Aus diesem Grund besteht ein Bedarf an validen und zuverlässigen Tests, die von einer Vielzahl von Testleitern in einer Nicht-Laborumgebung durchgeführt werden können (Penry et al., 2011). Darüber hinaus ist es nicht immer möglich oder sicher eine maximale Ausbelastung der Testperson zu erreichen, wenn beispielsweise kardiovaskuläre Krankheiten vorhanden sind.

1.2.2 Submaximale Tests der VO₂max

Submaximale Beurteilungskriterien bieten den Vorteil, dass sie unabhängig von der Motivation des Probanden sind, sich komplett auszulasten. Ebenfalls ermöglichen sie es, Personen zu testen, die durch muskuloskelettale Beeinträchtigungen oder andere Probleme nicht in der Lage sind, ihre VO₂max zu erreichen (Noonan & Dean, 2000). Ebenso gibt es im Leistungssport Situationen, in denen eine maximale Belastung nicht erwünscht ist. Beispielsweise vor einem Wettkampf oder wenn in kurzen Abständen Leistungsüberprüfungen durchgeführt werden sollten (Marées, 2003). Diese submaximale Testverfahren sind jedoch nur eine Schätzung der VO₂max und keine direkte Messung. Nur ein maximales Testverfahren mit Spirometrie ermöglicht eine direkte Messung der VO₂max und nicht nur eine Schätzung und ist somit am präzise-

1.2.3 Einflussfaktoren auf VO₂max Messungen und Resultate

Die VO₂max unterliegt einer Vielzahl von Einflussfaktoren, die ihre Genauigkeit und Reproduzierbarkeit bei der Messung beeinflussen können. Daher ist es von entscheidender Bedeutung, bei der submaximalen und maximalen Erfassung der VO₂max eine sorgfältige Kontrolle und Minimierung dieser Einflussfaktoren zu gewährleisten. Ein Anstieg der Umgebungstemperatur und eine zunehmende relative Luftfeuchtigkeit führen zu einer Abnahme der Ausdauerleistungsfähigkeit (Noonan & Dean, 2000). Dies lässt sich darauf zurückführen, dass der Kreislauf nicht nur die Sauerstoffversorgung der Muskulatur, sondern auch die Wärmeregulation bewältigen muss. Zur Abfuhr der Körperwärme wird ein Teil des Herzzeitminutenvolumens in die Haut umgeleitet, was zu einer Verringerung der Durchblutung der Muskulatur führt. Bei höheren Aussentemperaturen steigt daher die Herzfrequenz bei gleichbleibender Leistung. Aus diesem Grund eignen sich klimatisierte Untersuchungsräume mit konstanten Umgebungsbedingungen am meisten für ergometrische Untersuchungen (Noonan & Dean, 2000). Weiterhin unterliegt die Ausdauerleistungsfähigkeit einem zirkadianen Rhythmus und wiederholte Untersuchungen sollten daher immer zur gleichen Tageszeit durchgeführt werden. Ausserdem sollte ein bis zwei Tage vor dem Untersuchungstag anstrengendes Training vermieden werden. Eine kohlenhydratarme Ernährung vor dem Untersuchungstag kann die Ausdauerleistungsfähigkeit negativ beeinträchtigen (Noonan & Dean, 2000). In den Tagen vor Beginn der Menstruation kann die maximale Ausdauerleistungsfähigkeit bei Frauen individuell um bis zu 30 % verringert sein. Daher sollten in dieser Zeit optimalerweise keine maximalen Leistungstests durchgeführt werden (Noonan & Dean, 2000).

1.2.4 Feldtest

Aufgrund der hohen Kosten, der anspruchsvollen Ausrüstung, des Bedarfs an geschulten Personen, welche Tests im Labor durchführen und auswerten können und des hohen Zeitaufwands sind Labortests in Umgebungen wie Schulen, Sportvereinen oder Untersuchungen in der Armee, Polizei oder Feuerwehr nur begrenzt einsetzbar. Beispielsweise erfordert die Selektion von Personal für körperlich anspruchsvolle Jobs bei der Armee und bei der Polizei valide Tests, welche nicht speziell im Labor durchgeführt werden müssen und welche das Testen von mehreren Personen gleichzeitig möglich machen. Daher werden anwendungsbasierte Feldtests, welche die Abschätzung der VO₂max mithilfe mathematischer Modelle ermöglichen, zu einer interessanten Alternative (Buttar et al., 2019). Feldtests werden ausserhalb des Labors durchgeführt, in der Regel unter Trainings- oder Wettkampfbedingungen. Sie sind daher meist sportartenspezifischer als ein Labortest. Es lassen sich oft mehrere Probanden gleichzeitig testen, was

die Testökonomie erheblich steigert. Ausserdem werden häufig keine spezifischen Testgeräte benötigt. Feldtests unterliegen jedoch in den meistens Fällen einer wetterbedingten Inkonzanz (Temperatur, Niederschlag) und gewisse Parameter (z.B. spiographische Messgrössen im Schwimmen) können nicht oder nur beschränkt erfasst werden (Marées, 2003). Häufig werden stufenförmige Feldtests eingesetzt, bei denen die Belastungsintensität und -dauer stufenweise erhöht (oder verringert) wird. Ein stufenförmiger Belastungsmodus ermöglicht nebst der Messung der VO₂max auch das Beobachten des Verhaltens vielzähliger physiologischer Parameter auf verschiedenen Belastungsstufen (Belastungsintensitäten; Marées, 2003) wie die max-Lass, die ventilatorische Schwellen, die Herzfrequenz oder auch die maximale Leistung (Watt; Friedrich, 2022).

Der häufig verwendete 12-Minuten-Lauftest (12-MRT), auch Cooper-Test genannt, ist ein solcher Feldtest, welcher gut mit der VO₂max bei Erwachsenen korreliert (Grant et al., 1995). Er ist jedoch eher für Personen mit einem gutem Fitnesslevel geeignet, denn er erfordert ein hohes Mass an Motivation und Erfahrung für die Selbststeuerung. Der mehrstufige 20-m-Shuttle-Run-Test (SRT) ist eher für Personen geeignet, die keine Erfahrung mit selbstgesteuerten Lauftests haben. Beim SRT werden die Teilnehmenden durch ein akustisches Signal getaktet, und es hat sich gezeigt, dass er eine genaue Methode zur Schätzung der VO₂max bei Erwachsenen ist (Grant et al., 1995; Léger & Gadoury, 1989). Das häufige Anhalten und Loslaufen (Stop & Go) kann jedoch die Anwendung des SRT für Personen mit weniger entwickelten motorischen Fähigkeiten einschränken, insbesondere bei höheren Geschwindigkeitsstufen (Wyss et al., 2007).

Der progressive Ausdauerlauf (PER) ist ein stufenförmiger Lauftest, der nach dem von Conconi et al. (1982) entwickelten Protokoll durchgeführt und anhand der Laufgeschwindigkeit (km/h) am Testende ausgewertet wird (Wyss et al., 2012). Die PER-Zeit am Testende korreliert positiv ($r = 0.84 - 0.91$) mit der im 12-MRT gelaufenen Distanz und mit der VO₂max im maximalen Belastungstest auf dem Laufband (Wyss et al., 2007). Er ist zudem sehr gut wiederholbar ($r = 0.89$ ($p < .001$)). Der PER auf einer Rundbahn ist eine geeignete Methode zur Messung der Ausdauerleistungsfähigkeit bei heterogenen Bevölkerungsgruppen und ist Bestandteil des Fitness-tests der Schweizer Armee.

Eine weitere Möglichkeit zur Schätzung der VO₂max besteht im Bereich der tragbaren Sensoren und Sportuhren. Durch Fortschritte in der Entwicklung in diesem Bereich, ist eine Schätzung der VO₂max mit minimalem Materialaufwand möglich geworden. Die regelmässigen Aktualisierungen von Hard- und Software sowie der hinterlegten Algorithmen wirken sich jedoch auf die Datenqualität aus, weshalb es wichtig ist, diese Geräte regelmässig zu überprüfen

(Düking et al., 2022). In der vorliegenden Studie wurden die beiden Sportuhren Garmin Fenix 7 (Garmin Fenix 7, Garmin, Schaffhausen, Schweiz) und Polar Vantage V2 (Polar Vantage V2, Polar, Kempele, Finnland) untersucht und überprüft.

Die Sportuhr Garmin Fenix 7 (Garmin Fenix 7, Garmin, Schaffhausen, Schweiz) verwendet eine integrierte Firstbeat-Analyse-Engine um die VO₂max zu schätzen. Es werden dabei Leistungsdaten benutzt, die in einem durch die Sportuhr aufgezeichneten Lauftraining gemessen wurden. Um eine akkuratere Schätzung zu erhalten, empfiehlt Garmin (o. D.-b), mehrere Laufaktivitäten durchzuführen und den Prozess regelmässig zu wiederholen. Ein wichtiges Merkmal dieser Berechnungsmethode ist die Ermittlung zuverlässiger Zeitspannen für die VO₂max Schätzung (Firstbeat Technologies Ltd., 2014). Es gibt einige Situationen, in denen der Ausschluss von Datensegmenten für eine zuverlässige Schätzung der VO₂max erforderlich ist. Diese Situationen werden automatisch erkannt und können beispielsweise das Laufen auf weichem Untergrund, das Bewältigen einer stark abfallenden Steigung, das Anhalten an einer Ampel (bei dem die Geschwindigkeit zwar auf null fällt, die Herzfrequenz aber erhöht bleibt) oder die Auswirkungen des kardiovaskulären Drifts (eine stetige Erhöhung der Herzfrequenz) während längeren Trainingseinheiten umfassen (Firstbeat Technologies Ltd., 2014). Durch die präzise Identifikation und Aussonderung dieser potenziell störenden Datenpunkte verspricht die Methode von Firstbeat Technologies Ltd. (2014) eine verlässliche und aussagekräftige Schätzung der VO₂max. Da die Firstbeat-Methode submaximal ist, wird bei der Berechnung eine altersbasierte Schätzung der maximalen Herzfrequenz (Hfmax) verwendet. Aus diesem Grund beeinflusst der Fehler bei der Hfmax-Schätzung die Genauigkeit der VO₂max Schätzung. Wenn die Hfmax um 15 Schläge/min zu niedrig geschätzt wird, beträgt der Fehler in der VO₂max Schätzung etwa 9 %. Wenn die Hfmax um 15 Schläge/min zu hoch geschätzt wird, beträgt der Fehler in der VO₂max Schätzung 7 %. Wenn die tatsächliche Hfmax der Person bekannt ist, sinkt der Fehler bei der VO₂max Schätzung auf 5 % (Firstbeat Technologies Ltd., 2014). Die Firstbeat-Analyse-Engine wurde anhand von im Labor gemessenen VO₂max Werten entwickelt und mit verschiedenen Trainingsmethoden validiert (Firstbeat Technologies Ltd., 2014).

Die VO₂max Schätzung der Firstbeat-Analyse-Engine zeigte eine starke Korrelation ($r = 0.95$) zu direkt gemessenen VO₂max und einen mittleren absoluten prozentualen Fehler (MAPE) von 5 %, basierend auf einer Datenbank von 2690 frei durchgeführten Läufen von 79 Läufern (Firstbeat Technologies Ltd., 2014). Bei der überwiegenden Mehrheit der Messungen lag der mittlere absolute Fehler (MAE) unter 3,5 ml/kg/min und war gleichmässig um den Mittelwert verteilt. Foley (2022) untersuchte die Genauigkeit der VO₂max Schätzung der Sportuhr Garmin Venus

SQ, die die VO₂max mit derselben Firstbeat-VO₂max-Methode berechnet, wie die Garmin Fenix 7 (Garmin Fenix 7, Garmin, Schaffhausen, Schweiz), welche in der vorliegenden Studie verwendet wird. Sie fand eine gute Übereinstimmung zwischen den Schätzungen der Sportuhr und den tatsächlichen VO₂max Werten mit einer proportionalen Verzerrung bei hochtrainierten Personen. Personen mit einer hohen Fitness erhielten tendenziell zu niedrige Vorhersagen, untrainierte Personen zu hohe.

Der submaximale Lauftest Polar, gemessen durch die Polar Vantage V2 (Polar Vantage V2, Polar, Kempele, Finnland) basiert auf dem Protokoll des University of Montreal Track Tests (UM-TT; Polar, 2020). Wie aus dem Name hervorgeht, wird der UM-TT auf einer Leichtathletikbahn durchgeführt und verwendet neben der Bahn aufgestellte Markierungshütchen zur Kontrolle der Geschwindigkeit. In einer Studie von Léger und Boucher (1980) zum UM-TT wurde festgestellt, dass dieser valide und reliabel ist, um die VO₂max von trainierten und untrainierten Männern und Frauen im mittleren Alter zu schätzen. Der Nachteil dieses Ansatzes ist, dass die Anzahl der passierten Hütchen und die Zeit zwischen den Hütchen für jede Testperson überwacht werden muss. Um diesen Aufwand zu vermeiden, wird beim submaximalen Lauftest Polar eine GPS-fähige Sportuhr verwendet, die den Benutzer durch den Test führt und somit keine externe Überwachung benötigt (Polar, 2020). Kraft und Dow (2019) folgerten in ihrer Studie zum submaximalen Lauftest Polar, dass er einerseits fähig ist einen Wert für die Annäherung an die tatsächliche VO₂max zu berechnen, sich der Nutzer andererseits jedoch der schwächeren Korrelation und der Tendenz zur Überschätzung der VO₂max bewusst sein sollte.

1.3 Ziel der Arbeit und konkrete Fragestellungen

Die beiden Tests VO₂max Schätzung Garmin (durch die Garmin Fenix 7 (Garmin Fenix 7, Garmin, Schaffhausen, Schweiz) und der submaximale Lauftest Polar (durch die Polar Vantage V2 (Polar Vantage V2, Polar, Kempele, Finnland) könnten als Alternativen für bestehende Feldtests wie der 12-MRT genutzt werden. Sie brauchen kein Personal und bieten eine sofortige Auswertung (VO₂max direkt nach Testende angezeigt). Der PER könnte ebenfalls als Alternative für bestehende Feldtests genutzt werden. In der vorliegenden Studie wird deshalb die Genauigkeit und Validität dieser Testmethoden zur Schätzung der VO₂max untersucht. Das Ziel ist es herauszufinden wie genau die Messmethoden PER, VO₂max Schätzung Garmin und submaximaler Lauftest Polar zur Bestimmung der Ausdauerleistung im Vergleich zum Goldstandard (Cosmed VO₂max Test) sind. Durch die Untersuchung dieser Testverfahren können po-

tenziell effektivere und zugänglichere Methoden identifiziert werden, um die Ausdauerleistungsfähigkeit zu beurteilen, sowohl im Freizeitsport wie auch im professionellen Bereich. Hierfür wurden folgende konkrete Fragestellungen formuliert:

- a) Welche Korrelation besteht zwischen der Testdauer und Stufe bei Testabbruch des PER und der VO₂max des Goldstandards?
- b) Wie valide und akkurat sind die erhaltenen VO₂max der submaximalen VO₂max Schätzung Garmin im Vergleich zu den gemessenen VO₂max des Goldstandards?
- c) Wie valide und akkurat sind die erhaltenen VO₂max des submaximalen Lauftests Polar im Vergleich zu den gemessenen VO₂max des Goldstandards?

2 Methode

Die vorliegende Studie war Teil einer grösseren Untersuchung. Die Probanden nahmen über zwei Testtage verteilt an folgenden Tests teil: Counter Movement Jump (CMJ), Standweitsprung, Feldtest 1: 4-Min Lauf / Berglauf / 30-15, submaximaler Lauftest Polar & VO₂max Schätzung Garmin, Feldtest 2: 30-15 / PER / Berglauf, Cosmed VO₂max Test. Die Tests CMJ, Standweitsprung, Cosmed VO₂max Test, submaximaler Lauftest Polar & VO₂max Schätzung Garmin wurden von allen Probanden durchlaufen. Der 4-min Lauf, Berglauf, 30-15 und PER nur von einem Teil der Probanden (Tabelle 1). Die Probanden wurden dabei in sechs Gruppen aufgeteilt. Zwischen den beiden Testtagen lag eine Pause von 4 -14 Tagen. Die Probanden füllten vor Studienbeginn einen Fragebogen zur Beurteilung der Bereitschaft zur körperlichen Aktivität, einen Fragebogen zum Sport- & Bewegungsverhalten und jeweils vor jedem Testtag eine Checkliste aus (siehe Anhang).

2.1 Beschrieb der Stichprobe

Die Datenerhebung fand im April und Mai 2023 in Biel, CH statt. An der Studie nahmen 14 weibliche (22.90 ± 3.17 Jahre; 168.00 ± 5.76 cm; 60.30 ± 7.35 kg; BMI von 21.20 ± 1.98) und 17 männliche (24.20 ± 2.91 Jahre; 180.00 ± 7.11 cm; 75.70 ± 8.04 kg; BMI von 23.40 ± 1.79) Personen teil. Alle Probanden gaben ihr Einverständnis und die Studie wurde von der kantonalen Ethikkommission geprüft und bewilligt. Die Probanden betrieben in ihrem Alltag eine Vielzahl von Sportarten, häufig Ausdauersportarten, jedoch mit unterschiedlichem Leistungs- und Trainingsstand. Fünf Probanden trainierten regelmässig (1 – 3 h / Woche), zwölf häufig (3 – 5 h / Woche), neun sehr häufig (5 – 8 h / Woche), drei semi-professionell (8 – 12 h / Woche) und zwei professionell (> 12 h / Woche). Der mittlere Trainingsstand war häufig (3 – 5 h / Woche), die durchschnittliche Trainingszeit betrug 6.80 h / Woche.

Tabelle 1*Gruppeneinteilung Datenerhebung*

Testtag lang					
Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3	Gruppe 4	Gruppe 5	Gruppe 6
Instruktion/Befragung (Checkliste) Messen Anthropometrie (nur am ersten Testtag) Aufwärmen CMJ 3x inkl. Kraftmessplatte Standweitsprung 3x					
4-min Lauf			Berglauf		30-15
Pause (3h)			Pause		Pause
Instruktion			Instruktion		Instruktion
Aufwärmen			Aufwärmen		Aufwärmen
Cosmed VO2max Test			Cosmed VO2max Test		Cosmed VO2max Test
Testtag kurz					
Instruktion/Befragung Messen Anthropometrie (nur am ersten Tag) submaximaler Lauftest Polar & VO2max Schätzung Garmin					
Berglauf	PER	30-15	PER	30-15	PER

Anmerkung. Einteilung der Probanden in die Versuchsgruppen. CMJ = Counter Mouvement Jump; PER = progressiver Ausdauerlauf; VO2max = maximale Sauerstoffaufnahme.

2.2 Beschrieb der Untersuchungsmethoden, Instrumenten und Interventionen

Im Folgenden werden nur die für die vorliegenden Studie relevanten Untersuchungsmethoden genauer beschrieben. In dieser Studie wurde der Cosmed VO2max Test als Goldstandard verwendet um die weiteren Tests zu validieren.

2.2.1 Ablauf Cosmed VO2max Test

Der Cosmed VO2max Test wurde mit der mixing chamber Quark CPET von Cosmed (Quark CPET, COSMED Srl, Rom, Italien) durchgeführt. Der Quark CPET (Quark CPET, COSMED

Srl, Rom, Italien) von Cosmed ist ein hochmoderner metabolischer Messwagen für die Analyse des Gasaustauschs (VO_2 , VCO_2) während Belastungs- oder Ruheprotokollen. Es ist ein stationäres System mit integrierter Breath-by-Breath- und Mischkammer-Gasentnahmetechnik. Es wurde für beide Techniken in einem breiten Spektrum von Trainingsintensitäten wissenschaftlich validiert (Cosmed, 2023). In der vorliegenden Studie wurde die 7 Liter Mischkammer Gasentnahmetechnik verwendet. Die erhobenen Daten werden durch Omnia (Omnia, 2023), die integrierte Cosmed-Software des Quark CPET, ausgewertet. Nieman et al. (2011) validierten in ihrer Studie das Quark CPET Mischkammersystem (Quark CPET, COSMED Srl, Rom, Italien). Die Ergebnisse ihrer Studie ergaben keinen signifikanten Unterschied zwischen dem Quark CPET Mischkammersystem (Quark CPET, COSMED Srl, Rom, Italien) und dem Douglas Bag System betreffend Stoffwechselfmessungen und sie kamen zum Schluss, dass das Mischkammersystem ein valides Messinstrument darstellt.

An jedem Testtag wurde das Gerät neu kalibriert. Die Herzfrequenz der Probanden wurde durch den Brustgurt Polar H10 (Polar H10, Polar, Kempele, Finnland) gemessen. Die Probanden wurden mit einer Mehrzweck-Silikon-Gesichtsmasken von Cosmed (COSMED Srl, Rom, Italien) ausgestattet, um den direkten Gasaustausch messen zu können. Folgendes Testprotokoll wurde angewendet: Aufwärmen während einer Minute bei 7.0 km/h bei einer Steigung von 7 %. Dann Teststart bei 7.5 km/h. Alle 30s erhöhte sich die Geschwindigkeit um 0.5 km/h. Der Test dauerte bis zur maximalen Ausbelastung des Probanden. Am Ende des Tests wurden Borg Wert, Abbruchgrund, Hf_{max} , durchschnittliche Herzfrequenz (Hf_{mean}), $\text{VO}_{2\text{max}}$ und Dauer des Tests notiert.

2.2.2 Ablauf PER

Der PER wurde auf dem Laufband (Pulsar, h/p/cosmos, Nussdorf-Traunstein, Deutschland) durchgeführt. Der Test startete direkt ohne Aufwärmen bei einer Laufgeschwindigkeit von 8.5 km/h, die sich alle 200 m um 0.5 km/h erhöhte. Das Laufband besaß eine Steigung von 1 % um den fehlenden Luftwiderstand zu kompensieren. Der Test dauerte bis zur maximalen Ausbelastung des Probanden. Erhoben wurden Dauer (min:s), Stufe bei Testabbruch (km/h), Hf_{max} und Borg Wert.

2.2.3 Ablauf submaximaler Lauftest Polar und $\text{VO}_{2\text{max}}$ Schätzung Garmin

Vor Testbeginn wurden die beiden Sportuhren Garmin Fenix 7 (Garmin Fenix 7, Garmin, Schaffhausen, Schweiz) und Polar Vantage V2 (Polar Vantage V2, Polar, Kempele, Finnland) mit den Informationen der Probanden eingespeist. Für die Garmin Fenix 7 (Garmin Fenix 7,

Garmin, Schaffhausen, Schweiz) waren das Gewicht, Grösse, Alter und Geschlecht. Die Garmin Fenix 7 musste vor jedem Testbeginn zurückgesetzt werden, um eine korrekte VO₂max Schätzung zu berechnen. Während des Lauftrainings wurden die Herzfrequenz und die Geschwindigkeit gemessen. Die Garmin Fenix 7 (Garmin Fenix 7, Garmin, Schaffhausen, Schweiz) berücksichtigte bei der Berechnung der VO₂max die Laufgeschwindigkeit, die Dauer und Zeit des aufgezeichneten Lauftrainings automatisch, so dass der Benutzer oder die Benutzerin über sein Lauftraining frei bestimmen konnte und sich nicht an ein Testprotokoll halten muss (Garmin, o. D.-b). Basierend auf den Angaben von Garmin (Garmin, o. D.-a) wurde die genaueste Schätzung der VO₂max angezeigt und ersetzte weniger genaue Schätzungen für einen Zeitraum von 30 Tagen. Um eine akkuratere Schätzung zu erhalten, empfiehlt Garmin (o. D.-b), mehrere Laufaktivitäten durchzuführen und den Prozess regelmässig zu wiederholen. In die Polar Vantage V2 (Polar Vantage V2, Polar, Kempele, Finnland) wurden Gewicht, Grösse, Alter, Geschlecht und Fitnesslevel eingespeist. Zusätzlich könnten optionale Informationen wie das Trainingspensum, das Aktivitätsziel, die gewünschte Schlafdauer, die Hfmax, die Ruheherzfrequenz und die VO₂max eingegeben werden, sofern diese Daten verfügbar sind (wurde in dieser Studie nicht gemacht).

Die Herzfrequenz der Probanden wurde durch zwei Brustgurte (Polar H10, Polar, Kempele, Finnland & Garmin HRM-Pro™ Plus, Garmin, Schaffhausen, Schweiz) gemessen. Die Validität des Brustgurts Polar H10 (Polar H10, Polar, Kempele, Finnland) wurde in einer Studie von Schaffarczyk et al. (2022) untersucht.

Der Test wurde auf einer flachen, betonierten Rundbahn durchgeführt. Die Probanden erhielten die Instruktion sich an die Anweisungen der Polar Vantage V2 (Polar Vantage V2, Polar, Kempele, Finnland) zu halten, die sie durch den Test führte. Die Grundidee des submaximalen Lauftests Polar bestand darin, dass die Probanden einer Zielgeschwindigkeit folgten, die im Laufe des Tests kontinuierlich anstieg. Die anfängliche Zielgeschwindigkeit betrug 6 km/h, was einer Gehgeschwindigkeit entsprach. Die zulässige Bandbreite während des Tests lag zwischen 6 und 15 km/h. Die Erhöhung der Zielgeschwindigkeit erfolgte kontinuierlich mit einer Rate von 1 km/h alle 2 Minuten. Der submaximalen Lauftests Polar ist ein geschwindigkeitsgesteuerter Test, was bedeutet, dass der Proband die Zielgeschwindigkeit so präzise wie möglich einhalten musste. Zur Unterstützung der richtigen Geschwindigkeit wurde ein Tachometer als visuelles Hilfsmittel verwendet und Vibrationen bzw. akustische Signale dienten als Warnung vor zu schnellem oder zu langsamen Laufen (Polar, 2020). Die Probanden liefen dabei so lange, bis sie 85 % der Hfmax erreichten und dabei mindestens 11 min 30 s liefen. Die beiden Kriterien wurden ausgewählt, um die Anforderung der beiden Sportuhren für eine VO₂max Schätzung

zu erfüllen (85 % Hfmax für Polar Vantage V2 (Polar Vantage V2, Polar, Kempele, Finnland) und 11 min 30 s für Garmin Fenix 7 (Garmin Fenix 7, Garmin, Schaffhausen, Schweiz). Bei Beendigung des Tests wurden geschätzte VO2max der Sportuhren, Hfmax und Hfmean notiert.

2.2.4 Auswertung und statistische Analyse der Daten

Die erhobenen Daten des Cosmed VO2max Tests waren für alle Teilnehmenden verwendbar, genauso wie die erhobenen Daten des PER. Bei der VO2max Schätzung Garmin wurden bei acht Teilnehmenden unrealistische Werte angezeigt (sehr hohe VO2max Abweichungen oder gleiche VO2max für mehrere aufeinanderfolgende Probanden mit klar unterschiedlichem Fitnesslevel) und in neun Fällen wurde gar kein Wert angezeigt. Der submaximale Lauftest Polar zeigte in zwei Fällen keinen Wert an. Teilnehmende mit unrealistischem oder keinem VO2max Resultat in den entsprechenden Tests wurden von der Auswertung deren ausgeschlossen. Für die Datenanalyse werden in einem ersten Schritt alle Daten in einem Excel-Dokument (Microsoft Excel, 2023) festgehalten und in einem zweiten Schritt mit Hilfe des Programms Jamovi (Jamovi, 2024) und Excel (Microsoft Excel, 2023) analysiert. Die für die vorliegende Arbeit relevanten Daten wurden alle mit identischen Messinstrumenten erhoben. Ebenfalls ist die Reliabilität sichergestellt, indem die Messinstrumente jeden Testtag neu kalibriert und überprüft wurden.

Mittels dem Shapiro-Wilk-Test wurde die Normalverteilung der Testdauer und Stufe bei Testabbruch des PER geprüft. Bei normalverteilten Daten wurde in einem ersten Schritt eine Pearson-Korrelation zwischen der Testdauer und Stufe bei Testabbruch des PER und der VO2max des Cosmed VO2max Tests berechnet. Bei nicht normalverteilten Daten wurde die Spearman-Korrelation angewendet. In einem zweiten Schritt wurde eine Regressionsanalyse erstellt mit der Stufe bei Testabbruch PER und Testdauer PER als unabhängige Variable und dem Cosmed VO2max Test als abhängige Variable. Zudem wurde die Spitzenlaufgeschwindigkeit (Vmax) des PER in die Regressionsformel von Wyss et al. (2007) eingefügt ($\text{VO2max (ml/min/kg)} = 2.309 * \text{Vmax (km/h)} + 16.549$, ($r = 0.84$; $p < .001$)) und die VO2max geschätzt (Wyss et al., 2007). Die geschätzte VO2max durch die Formel von Wyss et al. (2007) wurde durch eine Pearson-Korrelation mit der VO2max des Cosmed VO2max Test verglichen.

Für die Validierung der VO2max der VO2max Schätzung Garmin und des submaximalen Lauftests Polar wurde der MAE und der MAPE berechnet. Für den MAE wurde die mittlere absolute Differenz von der geschätzten VO2max zur VO2max des Cosmed VO2max Tests berechnet. Für den MAPE wurde die mittlere prozentuale Abweichung der geschätzten VO2max zur VO2max des Cosmed VO2max Tests berechnet. Ausserdem wurde die Genauigkeit der

VO₂max Schätzung Garmin und des submaximalen Lauftests Polar bestimmt. Die 6.00 % Genauigkeit wurde als der Prozentsatz definiert, bei dem die Sportuhr Polar Vantage V2 (Polar Vantage V2, Polar, Kempele, Finnland) und die Sportuhr Garmin Fenix 7 (Garmin Fenix 7, Garmin, Schaffhausen, Schweiz) innerhalb der festgelegten Äquivalenzzone von $\pm 6.00\%$ der Referenzwerte lag. Dieser Schwellenwert der normalen Abweichung wurde entsprechend der Fachliteratur festgesetzt (Maier et al., 2016; Noonan & Dean, 2000; Shephard, 1984) um eine intraindividuelle Tagesschwankung bei der Messung der VO₂max zu berücksichtigen. Zur Visualisierung wurde ein Bland-Altman Plot (Bland & Altman, 2009) erstellt, um die 95 %-Grenzen der Übereinstimmung zwischen den geschätzten Werten der VO₂max Schätzung Garmin und dem submaximalen Lauftest Polar und den tatsächlichen VO₂max-Werten zu ermitteln. Mittels dem Shapiro-Wilk-Test wurde die Normalverteilung der VO₂max Schätzung Garmin und des submaximalen Lauftests Polar geprüft. Bei normalverteilten Daten wurde eine Pearson-Korrelation zwischen der VO₂max der VO₂max Schätzung Garmin und der VO₂max des Cosmed VO₂max Tests berechnet, wie auch zwischen der VO₂max des submaximalen Lauftests Polar und der VO₂max des Cosmed VO₂max Tests. Für alle Berechnungen in dieser Studie gilt ein Signifikanzniveau von $p < 0.05$ (zweiseitig).

3 Resultate

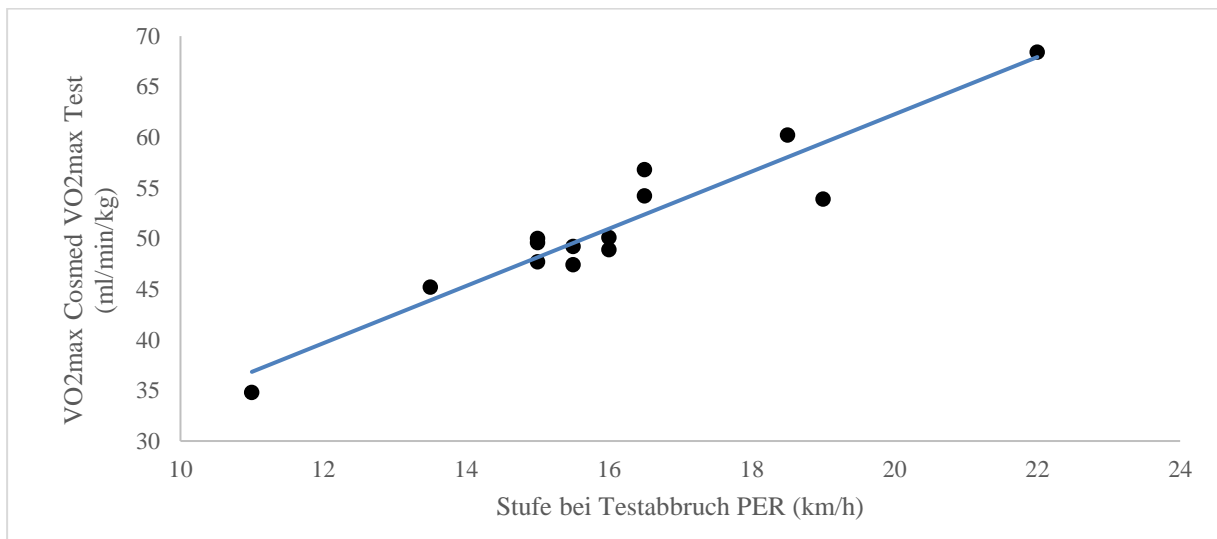
3.1 Auswertung PER

Die erhobenen Daten des Cosmed VO2max Tests waren normalverteilt ($p = 0.569$). Die mittlere Testdauer des Cosmed VO2max Tests betrug 431 ± 102 s, die Stufe bei Testabbruch des Cosmed VO2max Tests 13.10 ± 1.71 km/h. Die durchschnittliche VO2max, durch den Cosmed VO2max Test ermittelt, lag bei 52.00 ± 8.73 ml/min/kg (Frauen 45.80 ± 5.60 ml/min/kg; Männer 57.00 ± 7.61 ml/min/kg). Der mittlere Borg Wert lag bei 19.

Die mittlere Testdauer des PER betrug 998 ± 232 s, die mittlere Stufe bei Testabbruch 16.10 ± 2.58 km/h. Der durchschnittliche Borg Wert am Ende des Tests belief sich auf 19. Die erhobenen Daten des PER waren normalverteilt für die Stufe bei Testabbruch ($p = 0.306$) wie auch für die Dauer ($p = 0.402$). Es zeigte sich eine starke Korrelation zwischen der Stufe bei Testabbruch und der VO2max gemessen durch den Cosmed VO2max Test ($r = 0.88$, $p < .001$; Abbildung 1), wie auch zwischen der Testdauer und der VO2max gemessen durch den Cosmed VO2max Test ($r = 0.88$, $p < .001$; Abbildung 2).

Abbildung 1

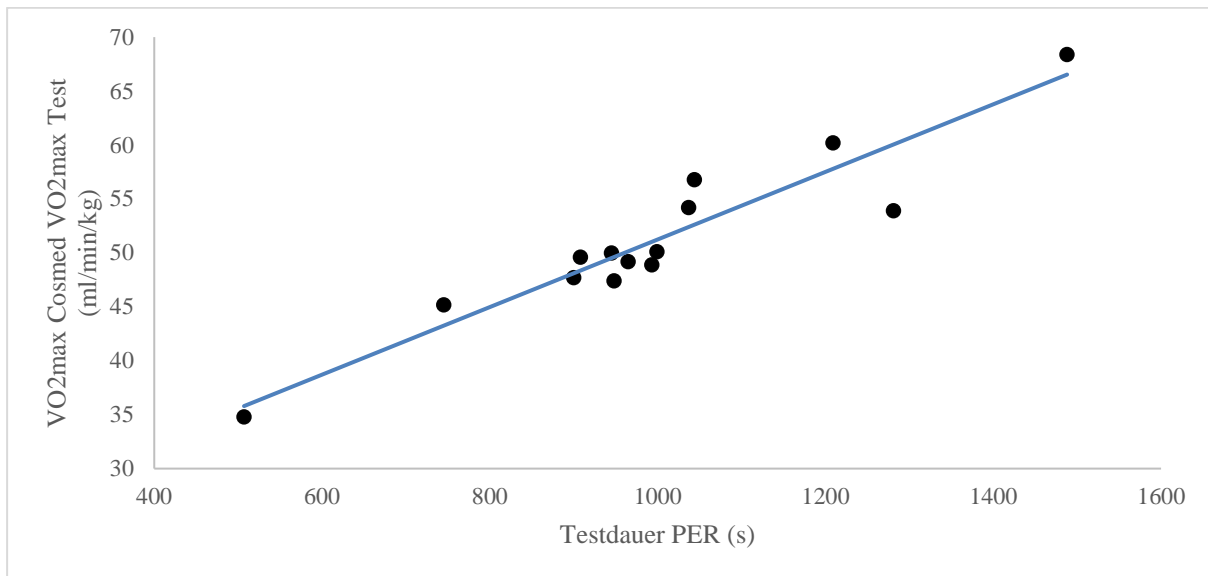
Korrelation Stufe bei Testabbruch PER und VO2max



Anmerkung. Die blaue Linie zeigt die lineare Regressionsgerade ($r = 0.88$, $p < .001$). Es zeigte sich eine starke Korrelation zwischen der Stufe bei Testabbruch PER und der VO2max gemessen durch den Cosmed VO2max Test. PER = Progressiver Ausdauerlauf; VO2max = maximale Sauerstoffaufnahme.

Abbildung 2

Korrelation Testdauer PER und VO2max



Anmerkung. Die blaue Linie zeigt die lineare Regressionsgerade ($r = 0.88$, $p < .001$). Es zeigte sich eine starke Korrelation zwischen der Testdauer PER und der VO2max gemessen durch den Cosmed VO2max Test. PER = Progressiver Ausdauerlauf; VO2max = maximale Sauerstoffaufnahme.

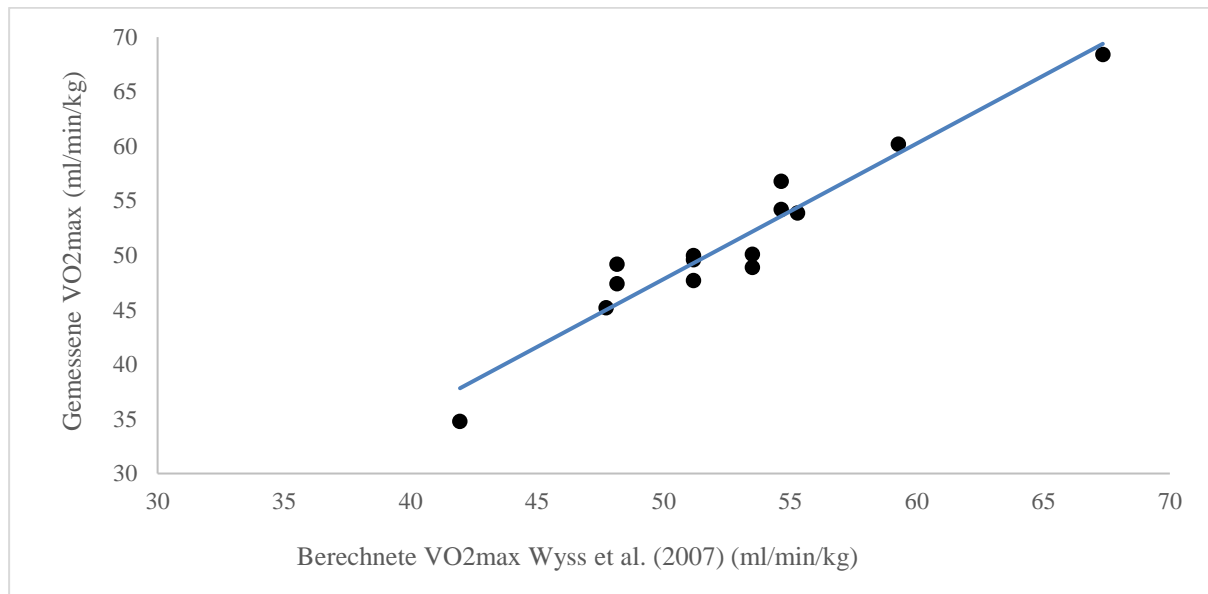
89.60 % der Varianz des VO2max konnte durch die Stufe bei Testabbruch PER erklärt werden ($R^2 = 0.896$). Der VO2max konnte mit folgender Formel berechnet werden: $\text{VO2max (ml/min/kg)} = 2.83 \times \text{Stufe bei Testabbruch PER (km/h)} + 5.74$.

88.8 % der Varianz des VO2max konnte durch die Testdauer PER erklärt werden ($R^2 = 0.888$). Der VO2max konnte mit folgender Formel berechnet werden: $\text{VO2max (ml/min/kg)} = 0.03 \times \text{Testdauer PER (min:s)} + 19.91$.

Die Stufe bei Testabbruch PER wurde ebenfalls in die Regressionsformel von Wyss et al. (2007) eingefügt und die VO2max für alle Probanden ausgerechnet. Die berechneten VO2max der Regressionsformel zeigten eine starke Korrelation von $r = 0.96$ ($p < .001$) zu den gemessenen VO2max durch den Cosmed VO2max Test (Abbildung 3). Der MAE lag bei 2.26 ± 1.86 ml/min/kg und der MAPE bei 4.94 ± 5.18 %. Der systematische Fehler betrug 1.52 ml/min/kg (Abbildung 4).

Abbildung 3

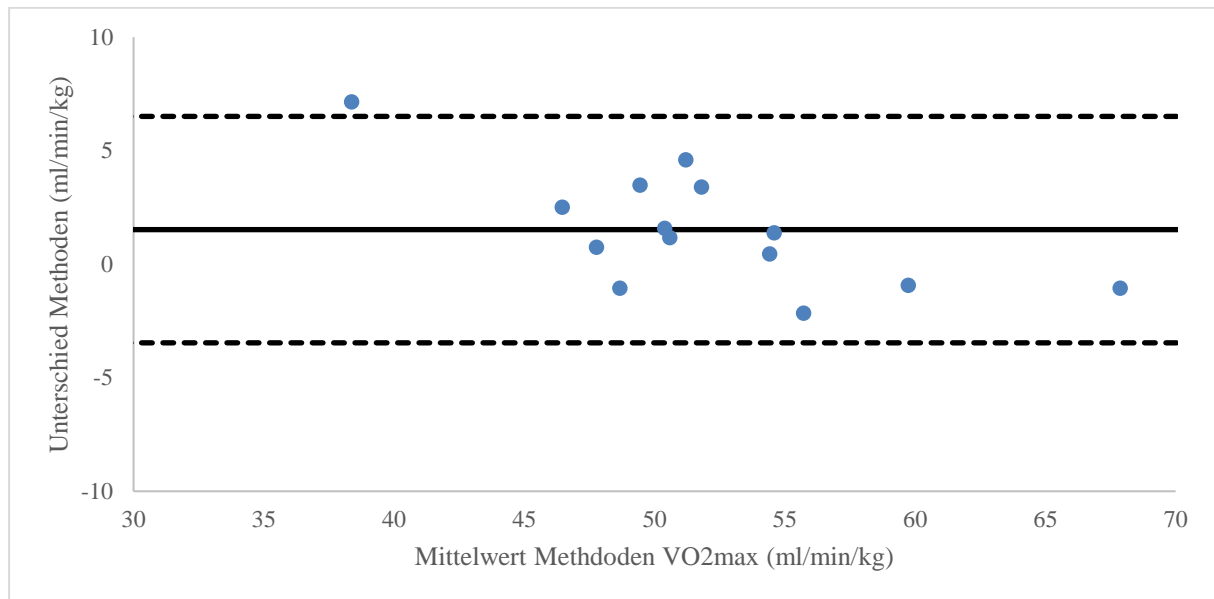
Korrelation gemessene und berechnete VO2max



Anmerkung. Es wurde eine starke Korrelation ($r = 0.96$, $p < .001$) zwischen der gemessenen VO2max durch Cosmed VO2max Test und der berechneten VO2max durch die Formel von Wyss et al. (2007) gezeigt. VO2max = maximale Sauerstoffaufnahme.

Abbildung 4

Bland-Altman-Plot gemessene und berechnete VO2max



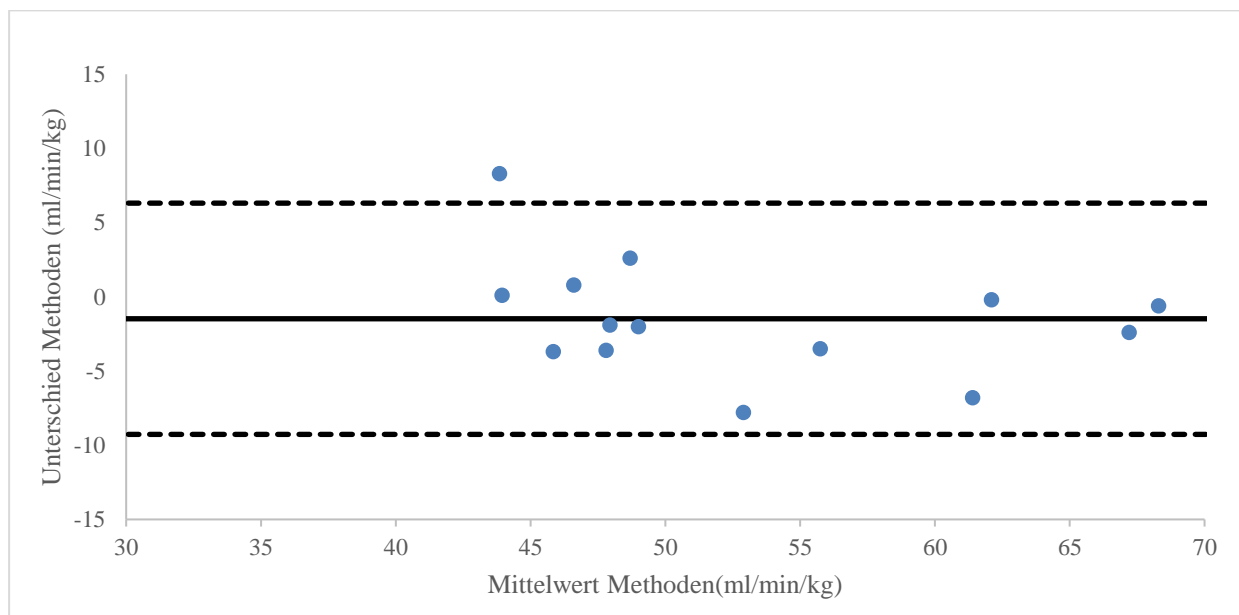
Anmerkung. Visuelle Repräsentation des Vergleichs zwischen gemessener VO2max durch den Cosmed VO2max Test und durch die Formel von Wyss et al. (2007) berechnete VO2max. Lower Level of Agreement (LOA) lag bei -3.46 ml/min/kg, Upper LOA bei 6.51 ml/min/kg. Der systematische Fehler betrug 1.52 ml/min/kg. VO2max = maximale Sauerstoffaufnahme.

3.2 Auswertung VO2max Schätzung Garmin und submaximaler Lauftest Polar

Für die VO2max Schätzung Garmin waren 14 der erhobenen Daten verwendbar (siehe 2.2.4), für den submaximalen Lauftest Polar 29. Die mittlere VO2max ermittelt durch die VO2max Schätzung Garmin lag bei 52.00 ± 8.73 ml/min/kg und für den submaximalen Lauftest Polar bei 48.80 ± 10.10 ml/min/kg. Der MAE lag für die VO2max Schätzung Garmin bei 3.16 ± 2.72 ml/min/kg und bei 6.41 ± 4.28 ml/min/kg für den submaximalen Lauftest Polar. Der MAPE lag für die VO2max Schätzung Garmin bei 6.16 ± 5.76 % und für den submaximalen Lauftest Polar bei 12.08 ± 6.85 %. Der systematische Fehler betrug -1.48 ml/min/kg bei der VO2max Schätzung Garmin (Abbildung 5) und -3.16 ml/min/kg beim submaximalen Lauftest Polar (Abbildung 7). Die Genauigkeit war 57.14 % bei der VO2max Schätzung Garmin (Abbildung 6) und 17.24 % beim submaximalen Lauftest Polar (Abbildung 8).

Abbildung 5

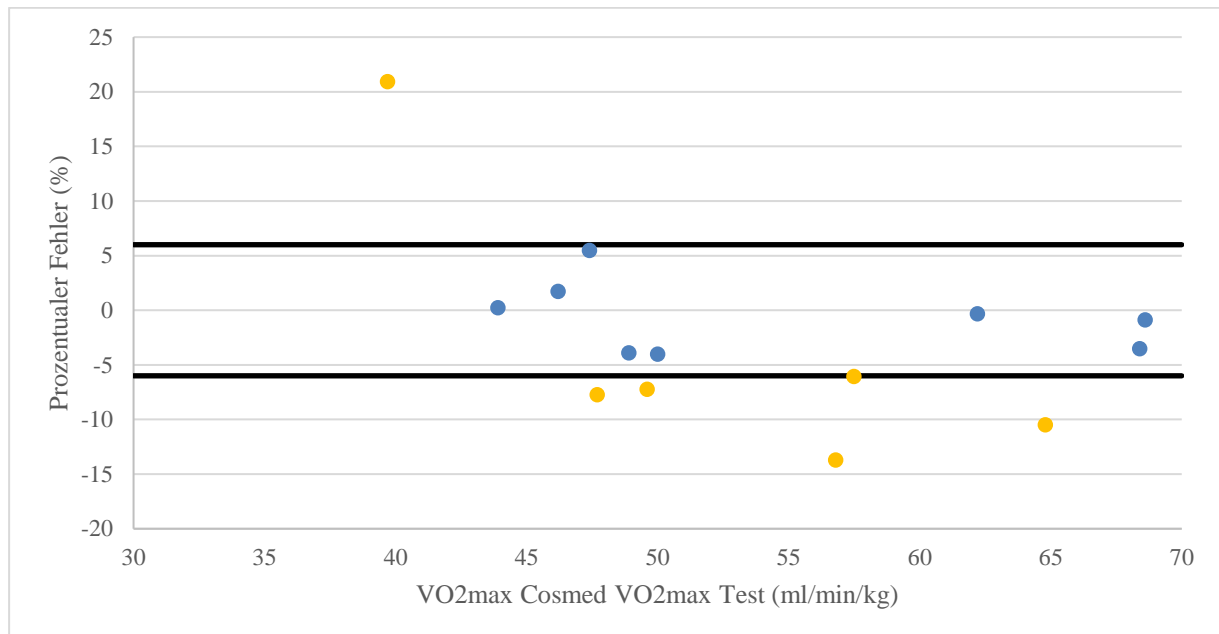
Bland-Altman-Plot VO2max Schätzung Garmin



Anmerkung. Visuelle Repräsentation des Vergleichs zwischen der VO2max Schätzung Garmin und dem Cosmed VO2max Test. Lower Level of Agreement (LOA) lag bei -9.27 ml/min/kg, Upper LOA bei 6.31 ml/min/kg. Der systematische Fehler belief sich auf -1.48 ml/min/kg. VO2max = maximale Sauerstoffaufnahme.

Abbildung 6

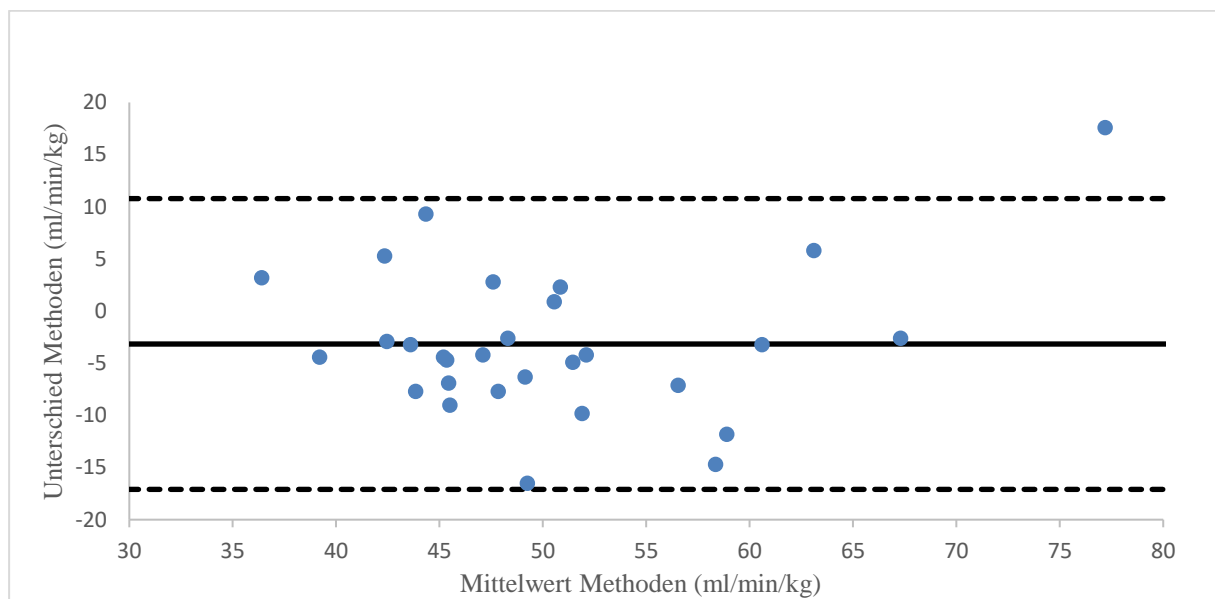
Prozentualer Fehler VO2max Schätzung Garmin



Anmerkung. Prozentualer Fehler der VO2max Schätzung Garmin im Vergleich zu den Referenzwerten des Cosmed VO2max Tests. Die schwarze Linie zeigt die festgelegte Genauigkeitsschwelle von 6.00 %. Eine Genauigkeit von 57.14 % wurde gezeigt. Die blauen Punkte befinden sich innerhalb der Genauigkeitsschwelle, die orangen ausserhalb. VO2max = maximale Sauerstoffaufnahme.

Abbildung 7

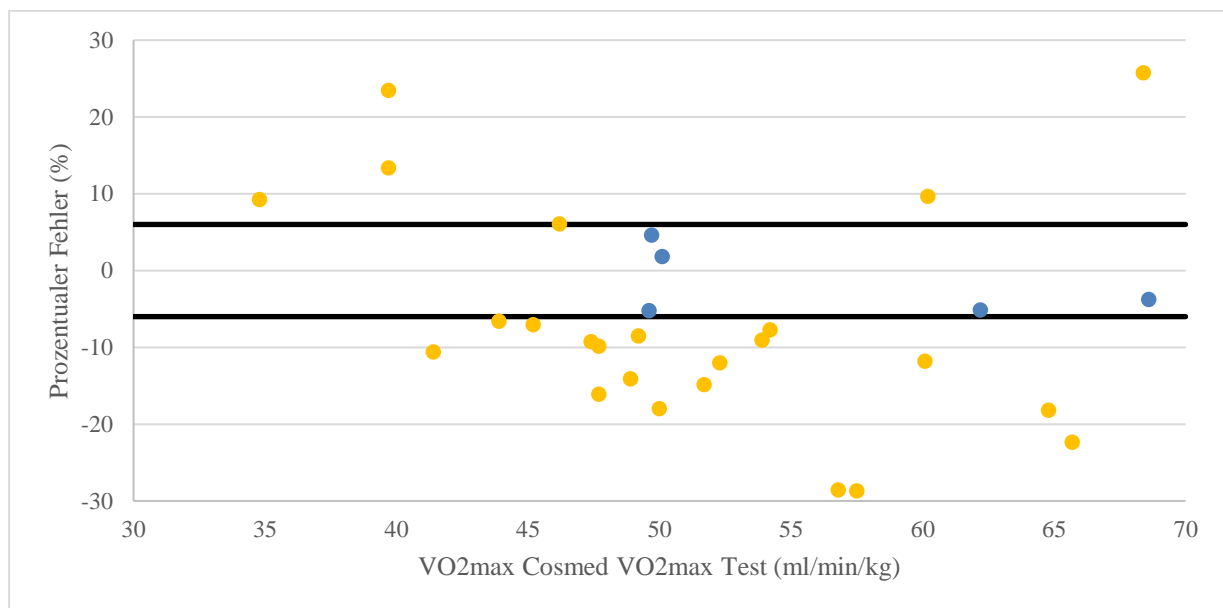
Bland-Altman-Plot submaximaler Lauftest Polar



Anmerkung. Visuelle Repräsentation des Vergleichs zwischen dem submaximalen Lauftest Polar und dem Cosmed VO₂max Test. Lower Level of Agreement (LOA) lag bei -17.10 ml/min/kg, Upper LOA bei 10.78 ml/min/kg. Der systematische Fehler betrug -3.16 ml/min/kg.

Abbildung 8

Prozentualer Fehler submaximaler Lauftest Polar

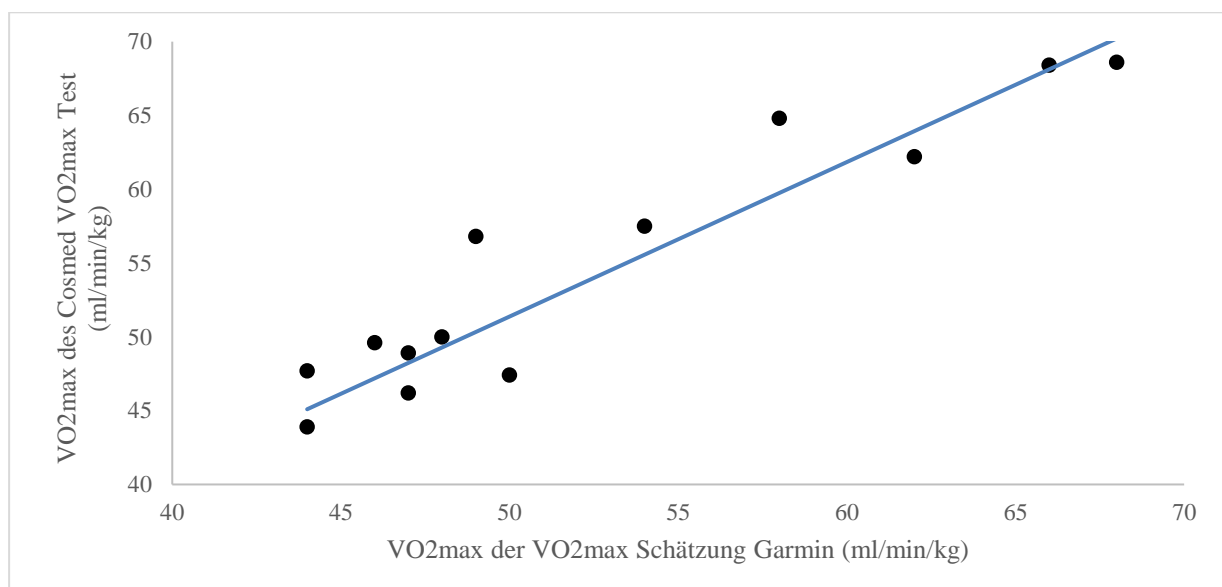


Anmerkung. Prozentualer Fehler des submaximalen Lauftests Polar im Vergleich zu den Referenzwerten des Cosmed VO2max Tests. Die schwarze Linie zeigt die festgelegte Genauigkeitsschwelle von 6.00 %. Die Genauigkeit betrug 17.24 %. Die blauen Punkte befinden sich innerhalb der Genauigkeitsschwelle, die orangen ausserhalb. VO2max = maximale Sauerstoffaufnahme.

Die erhobenen Daten des VO2max Schätzung Garmin waren normalverteilt ($p = 0.052$), wie auch die erhobenen Daten des submaximalen Lauftests Polar ($p = 0.722$). Es zeigte sich eine starke Korrelation zwischen der VO2max Schätzung Garmin und der VO2max gemessen durch den Cosmed VO2max Test ($r = 0.91$, $p < .001$; Abbildung 9) und eine starke Korrelation zwischen der VO2max des submaximalen Lauftests Polar und der VO2max gemessen durch den Cosmed VO2max Test ($r = 0.72$, $p < .001$; Abbildung 10).

Abbildung 9

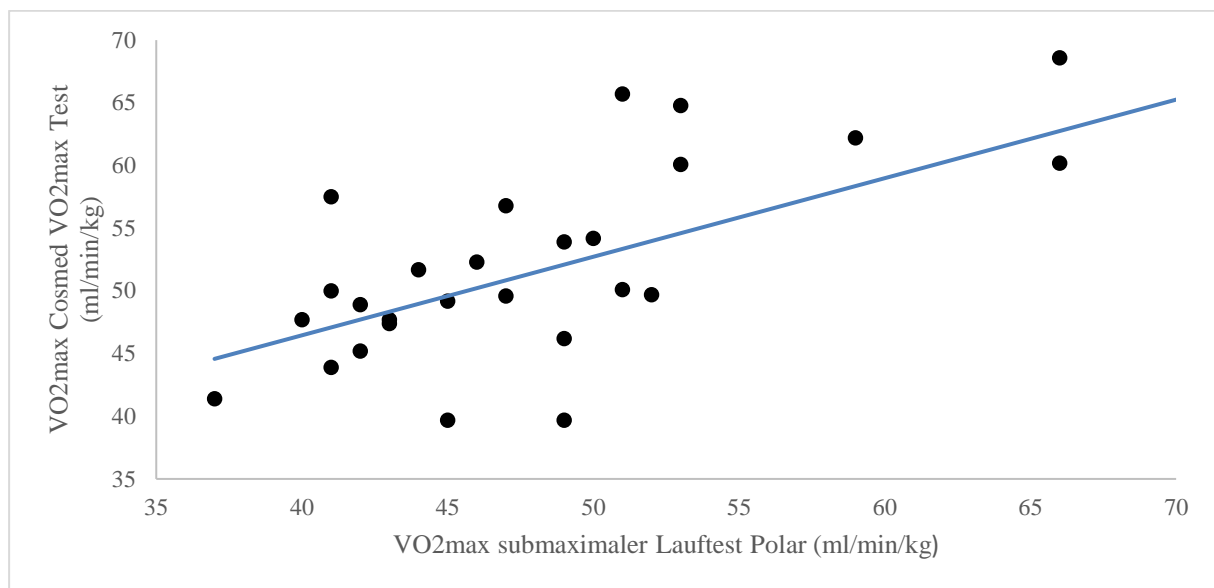
Korrelation VO2max Schätzung Garmin und Cosmed VO2max Test



Anmerkung. Die blaue Linie zeigt die lineare Regressionsgerade ($r = 0.91$, $p < .001$). Es zeigte sich eine starke Korrelation zwischen der VO2max der VO2max Schätzung Garmin und der VO2max gemessen durch den Cosmed VO2max Test. VO2max = maximale Sauerstoffaufnahme.

Abbildung 10

Korrelation submaximaler Lauftest Polar und Cosmed VO2max Test



Anmerkung. Die blaue Linie zeigt die lineare Regressionsgerade ($r = 0.72$, $p < .001$). Es zeigte sich eine starke Korrelation zwischen der VO2max des submaximalen Lauftests Polar und der VO2max gemessen durch den Cosmed VO2max Test. VO2max = maximale Sauerstoffaufnahme.

4 Diskussion

Ziel der vorliegenden Studie war es, die Genauigkeit und Validität der Testmethoden PER, VO₂max Schätzung Garmin und submaximaler Lauftest Polar zur Abschätzung der VO₂max zu untersuchen. Diese drei Tests könnten als Alternative für bestehende Feldtests wie der 12-MRT genutzt werden. Durch diese Untersuchung könnten potenziell effektivere und zugänglichere Methoden identifiziert werden, um die Ausdauerleistungsfähigkeit im Freizeitsport wie auch im professionellen Bereich zu beurteilen. Der durchschnittliche Trainingszustand der Probanden in dieser Studie war hoch (6.80 h / Woche), genauso wie die mittlere VO₂max (45.80 ± 5.60 ml/min/kg bei den Frauen, 57.00 ± 7.61 ml/min/kg bei den Männern). Bei untrainierten Männern wird normalerweise von einer VO₂max von ca. 40 - 45 ml/min/kg, bei Frauen von ca. 35 - 40 ml/min/kg ausgegangen (Friedrich, 2022). Da sowohl der PER wie auch der submaximale Lauftest Polar und die VO₂max Schätzung Garmin für eine durchschnittliche Normalbevölkerung gedacht sind, könnte der überdurchschnittliche Trainingszustand der Probanden die Ergebnisse beeinflusst haben und daher eher für Personen mit einem hohen Fitnesslevel aussagekräftig sein.

Die erhobenen Daten des PER zeigten eine starke Korrelation von $r = 0.88$ (Testdauer) und $r = 0.88$ (Stufe bei Testabbruch). Diese Ergebnisse decken sich mit den Ergebnissen der Untersuchung von Wyss et al. (2007), welche eine Korrelation von $r = 0.84 - 0.91$ beschrieben. Diese Ergebnisse sind einerseits durch die sehr starke Ausbelastung der Probanden (mittlerer Borg Wert von 19), andererseits durch die standardisierte Durchführung des Tests zu erklären. Da der PER auf dem Laufband durchgeführt wurde, konnte die Geschwindigkeit und der Abbruchzeitpunkt sehr genau bestimmt werden.

Die Formel von Wyss et al. (2007) zur Berechnung der VO₂max aus der Stufe bei Testabbruch (km/h) zeigte eine tendenzielle Überschätzung bei tiefen und mittleren VO₂max (< 55 ml/min/kg) und eine tendenzielle Unterschätzung bei hohen VO₂max (> 55 ml/min/kg). Dies sollte bei der Verwendung der Formel beachtet werden. Die Formel eignet sich dennoch für die Berechnung des VO₂max im Amateursport oder auch im Leistungssport, insbesondere wenn direkte Messungen nicht möglich sind. Die Formel von Wyss et al. (2007) zeigte zudem eine starke Korrelation zum gemessenen VO₂max durch den Cosmed VO₂max Test ($r = 0.96$ ($p < .001$)). Der MAE lag bei 2.26 ± 1.86 ml/min/kg und der MAPE bei 4.94 ± 5.18 %, was die Formel von Wyss et al. (2007) genauer macht als die Schätzungen der Sportuhren (MAE 3.16 ± 2.72 ml/min/kg VO₂max Schätzung Garmin und 6.41 ± 4.28 ml/min/kg submaximaler Lauftest Polar; MAPE 6.16 ± 5.76 % VO₂max Schätzung Garmin und 12.08 ± 6.85 % submaximaler

Lauftest Polar). Die in dieser Studie aufgestellte Formel ($\text{VO2max (ml/min/kg)} = 2.83 \times \text{Stufe bei Testabbruch PER (km/h)} + 5.74$) zeigte eine Korrelation von $r = 0.88$ und bestätigt damit die Befunde der vorhergehenden Studie von Wyss et al. (2007).

8 der 14 erfolgreichen Messungen durch die VO2max Schätzung Garmin lagen innerhalb der festgelegten Schwelle, was einer Genauigkeit von 57.14 % entspricht. Die Sportuhr Garmin Fenix 7 (Garmin Fenix 7, Garmin, Schaffhausen, Schweiz) zeigte jedoch in 17 Fällen eine unrealistische oder gar keine VO2max an (siehe 2.2.4). Unrealistische VO2max Schätzungen können mit einer korrekten Handhabung der Sportuhr Garmin Fenix 7 (Garmin Fenix 7, Garmin, Schaffhausen, Schweiz) vermieden werden, die hohe Anzahl von Ausfällen jedoch nicht (siehe 4.1). In der Studie von Firstbeat Technologies Ltd. (2014) zeigte die VO2max Schätzung Garmin eine Korrelation von $r = 0.95$ zu direkt gemessenen VO2max und einen MAPE von 5 %. Diese Resultate decken sich mit den Resultaten der vorliegenden Studie, die eine Korrelation von $r = 0.91$ zwischen der VO2max der VO2max Schätzung Garmin und der VO2max gemessen durch den Cosmed VO2max Test und ein MAPE von 6.16 ± 5.76 % beschrieb. In der Studie von Firstbeat Technologies Ltd. (2014) führten die Probanden jedoch mehrere Läufe durch, was in der vorliegenden Studie nicht der Fall war. Der Hersteller Garmin (o. D.-a) empfiehlt in seiner Handhabung mehrere Laufaktivitäten durchzuführen um eine genaue Schätzung zu erhalten. Des Weiteren fanden Firstbeat Technologies Ltd. (2014) heraus, dass bei der überwiegenden Mehrheit der Messungen der MAE unter 3,50 ml/kg/min lag, was in der vorliegenden Studie in 57,14 % der Messungen der Fall war.

Weiterhin merkten Firstbeat Technologies Ltd. (2014) an, dass der Fehler bei der Hfmax Schätzung die Genauigkeit der VO2max Schätzung beeinflusst. Bei einer Unterschätzung der Hfmax um 15 Schläge/min beträgt der Fehler in der VO2max Schätzung 9 %, bei einer Überschätzung der Hfmax um 15 Schläge/min beträgt der Fehler in der VO2max Schätzung 7 %. In dieser Studie waren die Hfmax der Probanden nicht vorgängig bekannt und wurden daher durch die Software Firstbeat Technologies geschätzt. Dies könnte eine mögliche Erklärung für den MAPE von 6.16 ± 5.76 % dieser Studie sein.

Die VO2max Schätzung Garmin zeigte eine starke Korrelation ($r = 0.91$, $p < .001$) zur gemessenen VO2max durch den Cosmed VO2max Test mit einer tendenzielle Unterschätzung der VO2max bei hohem Fitnesslevel ($\text{VO2max} > 55 \text{ ml/min/kg}$). Personen mit einer hohen VO2max neigten dazu, niedrigere Schätzungen von der Sportuhr zu erhalten, was ihnen eine falsche Vorstellung von ihrem Fitnesslevel vermitteln könnte. Foley (2022) erhielt in ihrer Untersuchung zur Genauigkeit der VO2max Schätzung der Garmin Venus SQ, die die VO2max mit derselben Firstbeat-VO2max-Methode berechnet, wie die Garmin Fenix 7 (Garmin Fenix

7, Garmin, Schaffhausen, Schweiz) ähnliche Resultate. Sie fand in ihrer Untersuchung ebenfalls eine tendenzielle Unterschätzung bei Personen mit hohem Fitnesslevel ($\text{VO}_2\text{max} > 55 \text{ ml/min/kg}$) und zusätzlich eine tendenzielle Überschätzung bei untrainierten Personen. Diese Verzerrung bei untrainierten Personen konnte in der vorliegenden Studie jedoch nicht beobachtet werden, da nicht genug Probanden mit tiefen Fitnesslevel teilnahmen und so nicht genug Daten für ein aussagekräftiges Resultat auf tieferem Fitnesslevel vorhanden waren. Foley (2022) folgert in ihrer Studie jedoch, dass diejenigen, die die Uhr zu Gesundheitszwecken verwenden würden (d. h. diejenigen, die ein niedriges oder durchschnittliches Fitnesslevel haben und sich verbessern wollen), die Schätzungen der Uhr mit Zuversicht nutzen könnten.

Die geschätzten VO_2max durch den submaximalen Lauftest Polar zeigten eine starke Korrelation ($r = 0.72$) zu den VO_2max des Cosmed VO_2max Test. Im Gegensatz dazu erhielten Kraft und Dow (2019) in ihrer Studie eine mittlere Korrelation ($r = 0.55$). Ebenfalls stellten sie eine Überschätzung der VO_2max fest, welche in der vorliegenden Studie nicht gefunden werden konnte. Der submaximale Lauftest Polar zeigte in dieser Studie eine tendenzielle Unterschätzung der VO_2max über alle Fitnesslevel verteilt. Der MAE der Sportuhr Polar Vantage V2 (Polar Vantage V2, Polar, Kempele, Finnland) betrug $6.41 \pm 4.28 \text{ ml/min/kg}$, der MAPE $12.08 \pm 6.85 \%$ und eine Genauigkeit von nur 17.24% wurde festgestellt. Die niedrige Genauigkeit von 17.24% und die Tendenz die VO_2max zu unterschätzen, deuten darauf hin, dass bei der Verwendung des submaximalen Lauftest Polar zur Vorhersage der VO_2max Vorsicht geboten ist. Hier ist anzumerken, dass die Schwelle von 6.00% zur Bestimmung der Genauigkeit sehr konservativ gewählt wurde. Für gewisse Anwendungen der Sportuhren (wie z.B. im Freizeitsport) ist eine höhere Schwelle und eine weniger hohe Messgenauigkeit genügend, was dafür spricht, dass die Sportuhren in diesem Kontext dennoch verwendet werden können.

Der PER und die daraus abgeleitete Formel zur Berechnung der VO_2max ($\text{VO}_2\text{max} (\text{ml/min/kg}) = 2.83 \times \text{Stufe bei Testabbruch PER (km/h)} + 5.74$), die Formel von Wyss et al. (2007), die VO_2max Schätzung Garmin und der submaximale Lauftest Polar zeigten alle eine starke Korrelation ($r = 0.72 - 0.96$) zur VO_2max gemessen durch den Cosmed VO_2max Test. Laut Kraft und Dow (2019) wird im Bereich der Sportwissenschaften eine Korrelation zwischen 0.30 und 0.70 als ein hoher Zusammenhang gewertet. In diesem Sinne können alle drei untersuchten Tests und die Formel von Wyss et al. (2007) in der Praxis verwendet werden um die VO_2max einer Person zu schätzen. Dabei sollte auf die oben genannten Einschränkungen geachtet werden.

4.1 Beschränkungen und Empfehlung für weiterführende Forschung

Die Messungen fanden in der Frühjahreszeit statt. Der PER und der Cosmed VO2max Test wurden in einem geschlossenen Raum durchgeführt. Hingegen fanden der submaximale Lauftest Polar und die VO2max Schätzung Garmin im Freien statt und waren somit sowohl Niederschlag als auch Temperaturunterschieden ausgesetzt. Bei sehr starker Witterung wurden die Tests nicht durchgeführt, dennoch ergaben sich so unterschiedliche Wetterbedingungen für die Probanden. Die beiden Tests können nur im Freien durchgeführt werden, da sie eine GPS Funktion benötigen. Diese Beschränkung wird also auch bei weiterführenden Untersuchungen die Ergebnisse beeinflussen. Der PER wurde in dieser Studie auf einem Laufband durchgeführt um möglichst standardisiert zu sein. Bei der Rekrutierung von geeignetem Personal in der Schweizer Armee und der Polizei wird der PER jedoch auf einer Rundbahn durchgeführt um simultane Messungen von mehreren Personen zu ermöglichen. Bei solchen Tests können Fehler und Ungenauigkeiten bei der Durchführung, Messung oder auch Überwachung erfolgen, die das Ergebnis möglicherweise beeinflussen.

Die wenigen Ergebnisse der Sportuhr Garmin Fenix 7 (Garmin Fenix 7, Garmin, Schaffhausen, Schweiz) können auf zwei Ursachen begründet werden. In acht Fällen war eine Fehleinstellung durch die Studienleitung dafür verantwortlich. Um genaue VO2max zu erhalten wäre es nötig gewesen für jede Versuchsperson ein komplett neues Konto zu eröffnen. Es reichte nicht, nur die Daten innerhalb des Kontos auf die Versuchsperson anzupassen. Dies gilt es bei weiteren Studien zu beachten. Ab dem Zeitpunkt der richtigen Handhabung der Sportuhr Garmin Fenix 7 traten weitere Fälle auf, in denen keine VO2max angezeigt wurde. Dies geschah bei über einem Drittel der Messungen. Auch auf Anfrage beim Hersteller wurde keine klare Begründung dafür gefunden. Aufgrund des begrenzten Umfangs dieser Arbeit wurde nur ein Lauf durchgeführt. Eine wiederholte Messung des gleichen Probanden könnte diese Fehlmessungen umgehen und wäre in einer zukünftigen Studie zu bedenken.

Die Messungen der Sportuhr Polar Vantage V2 (Polar Vantage V2, Polar, Kempele, Finnland) unterlagen ebenfalls einigen Einschränkungen. Der submaximale Lauftest Polar funktioniert mit einer GPS-Übertragung, die während des ganzen Tests sichergestellt werden muss. Bereits Objekte wie Bäume am Strassenrand oder auch hohe Gebäude können diese GPS-Übertragung beeinflussen und zu einem Abbruch des Lauftests führen. Dies war auch der Grund für die zwei Fehlmessungen. Ausserdem wurde der submaximale Lauftest Polar zeitgleich mit der VO2max Schätzung Garmin durchgeführt. Durch eine festgelegte Mindesttestdauer (siehe 2.2.3) kam es dabei zu unterschiedlichen Ausbelastungen der Probanden, welche einen Einfluss auf die Ergebnisse des submaximale Lauftests Polar gehabt haben könnten. Personen mit einer tiefen

VO₂max waren tendenziell mehr ausbelastet, da sie eher über 85 % der Hfmax laufen mussten, bis die festgelegte Mindestdauer erreicht wurde. Gleichermassen wurden Personen deren Hfmax zu hoch geschätzt wurde ebenfalls zu stark ausbelastet, da ihre tatsächliche 85 % Hfmax viel schneller erreicht wurde als berechnet. Die Sportuhr Polar Vantage V2 (Polar Vantage V2, Polar, Kempele, Finnland) liess die Person so lange weiterrennen, bis die theoretisch berechnete 85 % Hfmax erreicht wurde.

Um bessere Daten für alle Fitnesslevels zu erhalten, wäre es zu empfehlen weitere Studien mit mehr Probanden durchzuführen. In dieser Studie waren zwar genügend Daten vorhanden um Schlussfolgerungen zu ziehen, aber eine kleine Anzahl von Probanden schränkt die Schlussfolgerungen ein. Ausserdem wäre es interessant die Altersspanne zu erweitern und ebenfalls Probanden mit tiefen Fitnesslevels zu untersuchen. In dieser Studie wurden nur Probanden mit mittlerem bis hohem Fitnesslevel (6.80 h / Woche) getestet, was die Ergebnisse nur bedingt übertragbar auf andere Alters- und Fitnesslevel macht.

5 Schlussfolgerung

Automatisierte Systeme zur Stoffwechselgasanalyse (z.B. metabolischer Messwagen) während abgestufter Belastungstests zur Bewertung der aeroben Fitness sind teuer und vielfach ist der Zugang beschränkt. Diejenigen, die die aerobe Fitness von Personen beurteilen wollen, haben aus diesem Grund nur begrenzte Möglichkeiten, die VO₂max zu messen oder zu beurteilen. Die Feldtests PER, VO₂max Schätzung Garmin und submaximaler Lauftest Polar sind günstigere Alternativen und liefern stark korrelierende Ergebnisse.

Die PER Ergebnisse führen mit folgender Formel zu sehr genauen VO₂max Werten: $\text{VO}_2\text{max (ml/min/kg)} = 2.83 \times \text{Stufe bei Testabbruch PER (km/h)} + 5.74$. Der PER kann dank seiner einfachen Durchführung und der Möglichkeit der simultanen Testung von mehreren Testpersonen sehr gut für die Praxis verwendet werden. Die VO₂max Schätzung Garmin zeigte ebenfalls eine starke Korrelation mit einer tendenzielle Unterschätzung der VO₂max bei hohem Fitnesslevel. Wobei an dieser Stelle anzumerken ist, dass in vielen Fällen gar keine brauchbaren Daten entstanden sind. Der submaximale Lauftest Polar zeigte eine starke Korrelation und eine niedrige Genauigkeit mit tendenzieller Unterschätzung der VO₂max über alles Fitnesslevel. Bei der Verwendung dieses Tests ist also Vorsicht geboten. Dennoch eignet sich auch diese Testmethode um eine Annäherung an die VO₂max zu erhalten, da sie preiswert und einfach handzuhaben ist. Alle drei untersuchten Testmethoden können also in der Praxis verwendet werden um die VO₂max einer Person zu schätzen. Beim Testen einer grossen Anzahl Personen (Schule, Verein usw.) empfiehlt sich das Verwenden des PER um einfach an gute Daten zu kommen. Individualsportler hingegen können mithilfe einer Sportuhr (Garmin Fenix 7 oder Polar Vantage V2) eine gute Schätzung ihrer VO₂max erwarten, wobei bei der VO₂max Schätzung Garmin mehrere Laufaktivitäten durchgeführt werden müssen um eine valide Schätzungen zu erhalten.

Literaturverzeichnis

- Bennett, H., Parfitt, G., Davison, K., & Eston, R. (2016). Validity of submaximal step tests to estimate maximal oxygen uptake in healthy adults. *Sports Medicine*, 46(5), 737–750.
<https://doi.org/10.1007/s40279-015-0445-1>
- Bland, J. M., & Altman, D. G. (2009). Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *International Journal of Nursing Studies*, 47, 931-936. <https://doi.org/10.1016/j.ijnurstu.2009.10.001>
- Buttar, K., Saboo, N., & Kacker, S. (2019). A review: Maximal oxygen uptake (VO₂ max) and its estimation methods. *International Journal of Physical Education, Sports and Health*, 6(6), 24–32.
- Cardoso, J. R., Pereira, L. M., Iversen, M. D., & Ramos, A. L. (2014). What is gold standard and what is ground truth? *Dental Press Journal of Orthodontics*, 19(5), 27–30.
<https://doi.org/10.1590/2176-9451.19.5.027-030.ebo>
- Conconi, F., Ferrari, M., Ziglio, P. G., Droghetti, P., & Codeca, L. (1982). Determination of the anaerobic threshold by a noninvasive field test in runners. *Journal of applied physiology: respiratory, environmental and exercise physiology*, 52(4), 869–873.
<https://doi.org/10.1152/jappl.1982.52.4.869>
- Cooper, K. D., & Shafer, A. B. (2019). Validity and reliability of the Polar A300's fitness test feature to predict VO₂max. *International Journal of Exercise Science*, 12(4), 393–401.
- Cosmed. (2023). *Quark CPET Metabolic Cart*. Cosmed The Metabolic Company.
https://www.cosmed.com/hires/QuarkCPET_Brochure_EN_C03313-02-93_A4_web.pdf

- DiLorenzo, T. M., Bargman, E. P., Stucky-Ropp, R., Brassington, G. S., Frensch, P. A., & LaFontaine, T. (1999). Long-term effects of aerobic exercise on psychological outcomes. *Preventive Medicine*, 28(1), 75–85. <https://doi.org/10.1006/pmed.1998.0385>
- Düking, P., Van Hooren, B., & Sperlich, B. (2022). Assessment of peak oxygen uptake with a smartwatch and its usefulness for training of runners. *International Journal of Sports Medicine*, 43(07), 642-647. <https://doi.org/10.1055/a-1686-9068>
- Firstbeat Technologies Ltd. (2014). *Automated fitness level (VO2max) estimation with heart rate and speed data [White Paper]*. Firstbeat. https://assets.firstbeat.com/firstbeat/uploads/2017/06/white_paper_VO2max_30.6.2017.pdf
- Foley, R. (2022). *Assessing the validity of the Garmin Venu SQ for estimating VO2max*. [Honors Thesis, College of Arts and Sciences Northwest University]. <https://archives.northwestu.edu/bitstream/handle/nu/58749/Assessing%20the%20Validity%20of%20the%20Garmin%20Venu%20SQ%20for%20Estimating%20VO2max.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Friedrich, W. (2022). *Optimales Sportwissen Grundlagen der Sporttheorie und Sportpraxis* (5., überarbeitete und erweiterte Auflage). Spitta GmbH.
- Garmin. (o. D.-a). *My recorded activity did not update the VO2max estimate*. Garmin. <https://support.garmin.com/en-US/?faq=HVMcrDvQ3m2xEFh1aVMbU8>
- Garmin. (o. D.-b). *VO2max*. Garmin. <https://www.garmin.com/de-CH/garmin-technology/running-science/physiological-measurements/vo2-max/>
- Gilgen-Ammann, R., Schweizer, T., & Wyss, T. (2020). Accuracy of distance recordings in eight positioning-enabled sport watches: Instrument validation study. *JMIR Mhealth Uhealth*, 8(6), e17118. <https://doi.org/10.2196/17118>

- Grant, S., Corbett, K., Amjad, A. M., Wilson, J., & Aitchison, T. (1995). A comparison of methods of predicting maximum oxygen uptake. *British Journal of Sports Medicine*, 29(3), 147–152. <https://doi.org/10.1136/bjsm.29.3.147>
- Jamovi (Version 2.5) [Software]. (2024). The jamovi project. <https://www.jamovi.org>
- Kraft, G. L., & Dow, M. (2019). Validation of the Garmin Forerunner 920XT VO2max estimation and the Polar RS300X fitness Test. *International Journal for Innovation Education and Research*, 7(9), 22–28. <https://doi.org/10.31686/ijer.vol7.iss9.1658>
- Léger, L., & Boucher, R. (1980). An indirect continuous running multistage field test: The Université de Montréal track test. *Canadian journal of applied sport sciences. Journal canadien des sciences appliquées au sport*, 5(2), 77–84.
- Léger, L., & Gadoury, C. (1989). Validity of the 20 m shuttle run test with 1 min stages to predict VO2max in adults. *Canadian Journal of Sport Sciences = Journal Canadien Des Sciences Du Sport*, 14(1), 21–26.
- Maier, T., Gross, M., Trösch, S., Steiner, T., Müller, B., Bourban, P., Schärer, C., Hübner, K., Wehrlin, J., Tschopp, M., Wilhelm, M., Clénin, G. E., Züst, P., & Seidel, R. (2016). *Manual Leistungsdiagnostik*. Swiss Olympic. https://www.swissolympic.ch/dam/jcr:b15b191a-eb0d-46e8-b9c0-417b887a440d/Leistungsdiagnostik_Manual_160201_DE.pdf
- Marées, H. de. (2003). *Sportphysiologie* (Korr. Nachdruck der 9., vollständig überarbeiteten und erweiterten Aufl.). SPORTVERLAG Strauss.
- Microsoft Excel (Version 2311) [Software]. (2023). Microsoft Corporation. <https://www.microsoft.com/de-ch/microsoft-365/excel?market=ch>
- Miller, K. R., McClave, S. A., Jampolis, M. B., Hurt, R. T., Krueger, K., Landes, S., & Collier, B. (2016). The health benefits of exercise and physical activity. *Current Nutrition Reports*, 5(3), 204–212. <https://doi.org/10.1007/s13668-016-0175-5>

- Nieman, D. C., Austin, M. D., Dew, D., & Utter, A. C. (2011). Validity of COSMED's Quark CPET Mixing Chamber System in evaluating energy metabolism during aerobic exercise in healthy male adults. *Research in sports medicine (Print)*, 21(2), 136–145.
<https://doi.org/10.1080/15438627.2012.757227>
- Noonan, V., & Dean, E. (2000). Submaximal exercise testing: Clinical application and interpretation. *Physical Therapy*, 80(8), 782–807.
- Omia [Software]. (2023). Cosmed The Metabolic Company.
https://www.cosmed.com/hires/OMNIA_Brochure_EN_C04206-02-93_A4_print.pdf
- Penry, J. T., Wilcox, A. R., & Yun, J. (2011). Validity and reliability analysis of Cooper's 12-Minute run and the Multistage Shuttle Run in healthy adults. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 25(3), 597-605.
<https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181cc2423>
- Polar. (2020). *Running performance test [White Paper]*. Polar. <https://www.polar.com/en/img/static/whitepapers/pdf/polar-running-performance-test-white-paper.pdf>
- Scribbans, T. D., Vecsey, S., Hankinson, P. B., Foster, W. S., & Gurd, B. J. (2016). The effect of training intensity on VO₂max in young healthy adults: A Meta-Regression and Meta-Analysis. *International Journal of Exercise Science*, 9(2), 230–247.
- Shephard, R. J. (1984). Tests of maximum oxygen intake a critical review. *Sports Medicine*, 1(2), 99–124. <https://doi.org/10.2165/00007256-198401020-00002>
- Snyder, N. C., Willoughby, C. A., & Smith, B. K. (2017). Accuracy of Garmin and Polar smart watches to predict VO₂max. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 49(5S), 761. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000519024.10358.0b>
- Tomasits, J., & Haber, P. (2016). *Leistungsphysiologie Lehrbuch für Sport- und Physiotherapeuten und Trainer* (5. Aufl.). Springer Medizin. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-47260-6>

- Wyss, T., Marti, B., Rossi, S., Kohler, U., & Mäder, U. (2007). Assembling and verification of a fitness test battery for the recruitment of the Swiss army and nation-wide use. *Schweizerische Zeitschrift für «Sportmedizin und Sporttraumatologie»*, 55(4), 126–131.
<https://doi.org/10.24451/ARBOR.11104>
- Wyss, T., Von Vigier, R. O., Frey, F., & Mäder, U. (2012). The Swiss army physical fitness test battery predicts risk of overuse injuries among recruits. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 52(5), 513–521.

Anhang

Datenschutzerklärung

Mit der Unterzeichnung der Datenschutzerklärung bestätigen der Student / die Studentin, die Datenschutzregeln einzuhalten und die Vertraulichkeit sowie den Schutz der erhobenen Personendaten zu gewährleisten. Die oder der Unterzeichnende bestätigt, dass sie oder er die Vorgaben zum Umgang mit Personendaten gelesen hat und befolgt. Insbesondere bestätigt sie oder er,

- dass die Datenbearbeitung nur zum angegebenen Forschungszweck und in dem Umfang erfolgt ist, der bei der Datenerhebung für Betroffene bekannt oder erkennbar war;
- dass die Personendaten nicht zu kommerziellen Zwecken verwendet werden;
- dass die Personendaten nicht weitergegeben werden oder ohne Anonymisierung in der Arbeit veröffentlicht werden und
- dass die Personendaten nach Abgabe der Arbeit unmittelbar zu vernichten sind (bei digitalen Daten; unwiderrufliche Löschung auf dem privaten Speicher / bei physischen Daten; unwiderrufliche Vernichtung der Dokumente).

N. Sond

Fribourg, April 2024

Anfrage zur Teilnahme an medizinischer Forschung:

Entwicklung und Validierung von Ausdauer/VO₂max- und Kraft Feldtest-Alternativen und Benchmarking

Sehr geehrte Dame, sehr geehrter Herr

Wir fragen Sie hier an, ob Sie bereit wären, an unserem Forschungsvorhaben mitzuwirken.

Ihre Teilnahme ist freiwillig. Alle Daten, die in diesem Forschungsprojekt erhoben werden, unterliegen strengen Datenschutzvorschriften.

Das Forschungsvorhaben wird durchgeführt vom Projektleiter und Prüfperson der Eidgenössischen Hochschule für Sport Magglingen (EHSM), bzw. dem Bundesamt für Sport (BASPO). Ihre Daten werden ausschliesslich von der EHSM ausgewertet. Bei Interesse informieren wir Sie gerne über die Ergebnisse aus diesem Forschungsprojekt.

Mit dieser kurzen Information erklären wir Ihnen die wichtigsten Punkte. Im Anschluss folgen dann weitere, detaillierte Informationen. Sehr gerne erläutern wir Ihnen das Forschungsprojekt mündlich im Detail und beantworten allfällige Fragen. Damit Sie sich bereits jetzt ein Bild machen können, hier das Wichtigste vorweg.

Die Armee und die Polizei verwenden für die Rekrutierung von geeignetem Personal Feldtests, um die Ausdauerleistungsfähigkeit zu bestimmen. Mit dieser Studie soll nun untersucht werden, wie genau die aktuellen Methoden sind und ob alternative Methoden besser geeignet sind und genauer messen als die aktuellen Messmethoden.

Zudem wird untersucht, wie genau die aktuellen Methoden zur Messung der Explosivkraft messen (also wie valide die Messmethode ist).

Form der Teilnahme: Wenn Sie sich entscheiden mitzumachen, nehmen Sie an vier verschiedenen maximalen und einem submaximalen Ausdauer- und einem Krafttest sowie zwei Methoden zur Messung der Kraft teil. Bei allen Tests werden Sie mit einem Herzfrequenzmessgerät ausgerüstet. Sie werden zudem einen Fragebogen zu Ihrem Trainingsverhalten und zu Ihrem Befinden am Testtag ausfüllen.

Ablauf der Teilnahme: Wenn Sie teilnehmen, werden sie alle zuvor genannten Tests an zwei Testtagen absolvieren. Der lange Testtag ist aufgeteilt in Teil I vormittags (ca. 90 Minuten) und Teil II nachmittags (ca. 60 Minuten). Zwischen den Vormittags- und Nachmittagstests haben sie eine Pause von 4 Stunden. Der kurze Testtag dauert insgesamt ca. 90 Minuten.

Nutzen

Sie haben keinen direkten Nutzen, wenn Sie bei diesem Forschungsvorhaben mitmachen. Sie erhalten jedoch eine persönliche Auswertung ihrer Ausdauerleistungsfähigkeit und der Kraftwerte. Sie helfen mit Ihrer Teilnahme bei der Validierung und Entwicklung bestehender und neuer Feldtests für die Rekrutierung zukünftiger Armee- und Polizeiangehörigen.

Risiko und Belastung

Die Fitnesstests sind anstrengend, es handelt sich um Test der maximalen Ausdauer- und Kraftfähigkeiten.

Mit Ihrer Unterschrift am Ende des Dokuments bezeugen Sie, dass Sie freiwillig teilnehmen und dass Sie die Inhalte des gesamten Dokuments verstanden haben.

Detaillierte Information

1. Ziel und Auswahl

Unser Forschungsvorhaben bezeichnen wir in dieser Informationsschrift als *Forschungsprojekt*. Wenn Sie an diesem Forschungsprojekt teilnehmen, sind Sie eine *Teilnehmerin* bzw. ein *Teilnehmer*.

In diesem Forschungsprojekt wollen wir verschiedene Ausdauerfeldtests und ihre VO2max-Abschätzung validieren. Zudem möchten wir die Messung der Explosivkraft durch den Countermovement Jump (CMJ) und den Standweitsprung (SLJ) validieren. Wir fragen Sie an, da alle Personen teilnehmen können, die folgende Einschlusskriterien erfüllen:

- gesund
- mindestens 18 Jahre alt
- keine Herzkreislaufprobleme oder andere bekannte Krankheiten, die es nicht zulassen, sich maximal auszubelasten.

2. Allgemeine Informationen

Diese Studie ist Teil des übergreifenden Projekt P(O|TS). Das Projekt will die Selektion von Personal für körperlich anspruchsvolle Jobs bei der Armee und bei der Polizei optimieren. Wir möchten daher herausfinden, ob spezifisch auf den zukünftigen Job ausgerichtete Leistungsdiagnostiktests zusammen mit Informationen zum Genotyp das noch vorhandene Entwicklungspotenzial und den späteren Erfolg vorhersagen können.

Mit dieser Studie wollen wir einen Teil der in der Studie P(O|TS) angewendeten Leistungsdiagnostiktests (Goldstandardtests) und alternative/neue Messmethoden validieren. Für die zukünftige Auswahl von geeignetem Personal ist es von grosser Bedeutung, dass die gewählten Tests genau messen, und trotzdem nicht in einem speziellen Labor durchgeführt werden müssen.

Insgesamt werden wir etwa 36 Teilnehmende untersuchen. Diese werden in Biel und Magglingen an zwei Testtagen (insgesamt drei Halbtage) durch unser geschultes Studienteam der EHSM getestet. Die Messungen dauern pro Teilnehmerin oder Teilnehmer und pro Messzeitpunkt maximal 60 bis 90 Minuten.

Wir machen dieses Forschungsprojekt so, wie es die Gesetze in der Schweiz vorschreiben. Ausserdem beachten wir alle international anerkannten Richtlinien. Die zuständige Ethikkommission hat das Forschungsprojekt geprüft und bewilligt.

3. Ablauf

Testtag I

Wenn die Teilnehmenden eintreffen, findet zunächst eine Vorbereitungsphase statt: Mündliche Informationen zur Studie werden gegeben, der PAR-Q und die Einverständniserklärungen werden kontrolliert, der Fragebogen "Bewegungs- und Sportverhalten" und die "Checkliste für Testpersonen" werden ausgefüllt. Dann werden Körpergewicht und Körpergrösse gemessen (Teilnehmer in leichter Sportkleidung, ohne Schuhe).

Nach einem 10-minütigen Aufwärmen absolvieren Sie den Standweitsprung (SLJ; 3 Maximalversuche) und den CMJ (3 Maximalversuche). Der CMJ und der SLJ werden in zufälliger Reihenfolge (randomisiert) durchgeführt.

Anschliessend werden Sie mit einem Brustgurt (H10, Polar) ausgerüstet und es wird der erste Feldtest zur Bestimmung des berechneten VO_{2max} durchgeführt.

Testtag II

Sie füllen erneut die "Checkliste für Testpersonen" aus. Nach dem Aufwärmen, welches gleichzeitig der Walking-Test ist, absolvieren Sie den zweiten Feldtest (ebenfalls mit Brustgurt Polar H10 ausgerüstet).

Die Messung der maximalen Sauerstoffaufnahme (VO_{2max}) im Labor findet ebenfalls zufällig (randomisiert) entweder am ersten oder zweiten Testtag statt. Dabei wird nach dem Feldtest eine Pause von 240 Minuten gemacht. In dieser Zeit können Sie eine Mahlzeit zu sich nehmen. Nach der Pause folgt das Rampenprotokoll auf dem Laufband zur Messung des VO_{2max} .

Testtag 1 und Testtag 2 finden im Abstand von mindestens 72h und maximal 7 Tagen statt. Sie werden gebeten, 48h vor beiden Testtagen keinen Wettkampf oder belastende Trainings zu absolvieren, um die Leistungsfähigkeit nicht zu beeinflussen. Zudem werden Sie angewiesen, genügend Flüssigkeit zu sich zu nehmen und am Vorabend der Tests auf Alkohol zu verzichten. Kaffee und andere koffeinhaltige Getränke können wie gewohnt konsumiert werden. Die gewohnte Ernährung sollte ebenfalls beibehalten werden. Zudem wird darauf geachtet, dass der

Tageszeitpunkt der Durchführung des zweiten Testtages gleich ist wie bei der ersten Durchführung.

Es kann sein, dass wir Sie vom Forschungsprojekt vorzeitig ausschliessen müssen. Das kann z. B. geschehen, wenn Sie innerhalb von 7 Tagen nicht alle Tests absolvieren können oder es aus einem Grund nicht mehr möglich ist, sich maximal auszubelasten.

4. Nutzen

Sie haben keinen direkten Nutzen, wenn Sie bei diesem Forschungsvorhaben mitmachen. Sie erhalten jedoch eine persönliche Auswertung ihrer Ausdauerleistungsfähigkeit und der Kraftwerte. Zudem helfen Sie mit Ihrer Teilnahme an der Studie bei der Validierung und Entwicklung bestehender und neuer Feldtests für die Rekrutierung zukünftiger Armee- und Polizeiangehörigen in der Schweiz.

5. Freiwilligkeit und Pflichten

Sie nehmen freiwillig teil. Wenn Sie nicht an diesem Forschungsprojekt teilnehmen oder später Ihre Teilnahme zurückziehen wollen, müssen Sie dies nicht begründen.

Wenn Sie an diesem Forschungsprojekt teilnehmen, werden Sie gebeten:

sich an die Vorgaben und Anforderungen des Forschungsprojekts durch den Prüfplan zu halten und an allen geforderten Leistungsdiagnostiktests mitzumachen und dabei ihre maximale Leistungsfähigkeit abzurufen

6. Risiken und Belastungen

Durch das Forschungsprojekt sind Sie nur geringfügigen Risiken ausgesetzt. Es handelt sich bei den durchgeführten Leistungstests um Maximaltests, wobei eine maximale Ausbelastung gefordert wird. Sie werden jedoch jederzeit vom Studienteam beaufsichtigt.

Für Frauen, die schwanger werden können

Sollten Sie während des Forschungsprojekts schwanger werden, müssen Sie die Projektleitung informieren. Die Projektleitung wird zusammen mit dem Prüfarzt und mit Ihnen das weitere Vorgehen besprechen.

7. Alternativen

Es gibt keine Alternativen zu diesem Projekt.

8. Ergebnisse

Ihre individuellen Messwerte werden nach Beendigung des Projektes vom BASPO zusammengestellt und Ihnen elektronisch zugestellt. End-Ergebnisse des gesamten Forschungsprojekts werden in wissenschaftlichen Zeitschriften publiziert. Falls gewünscht, kann Ihnen die Projektleitung am Ende des Forschungsprojekts eine Zusammenfassung der Gesamtergebnisse zukommen lassen.

9. Vertraulichkeit von Daten

9.1. Datenverarbeitung und Verschlüsselung

Für dieses Forschungsprojekt werden Daten zu Ihrer Person und Gesundheit erfasst und bearbeitet, teilweise in automatisierter Form. Bei der Datenerhebung werden Ihre Daten verschlüsselt. Verschlüsselung bedeutet, dass alle Bezugsdaten, die Sie identifizieren könnten (Name, Geburtsdatum etc.), durch einen Code ersetzt werden.

Eine Liste mit Ihrem Code und den identifizierenden Bezugsdaten (Schlüssel-Liste) ist ausschliesslich beim Leiter des Forschungsprojektes. Personen, die keinen Zugang zu dieser Schlüssel-Liste haben, können keine Rückschlüsse auf Ihre Person ziehen. Die Schlüssel-Liste bleibt immer bei der Eidgenössischen Hochschule für Sport Magglingen (EHSM), BASPO. Nur sehr wenige Fachpersonen werden Ihre unverschlüsselten Daten sehen und zwar nur, um Aufgaben im Rahmen des Forschungsprojekts zu erfüllen. Diese Personen unterliegen der Schweigepflicht. Sie als teilnehmende Person haben das Recht auf Einsicht in Ihre Daten.

9.2. Datenschutz

Alle Vorgaben des Datenschutzes werden streng eingehalten. Es ist möglich, dass Ihre Daten in verschlüsselter Form, zum Beispiel für eine Publikation, übermittelt werden müssen und anderen Forschern zur Verfügung gestellt werden können.

9.3. Einsichtsrechte bei Kontrollen

Dieses Forschungsprojekt kann durch die zuständige Ethikkommission überprüft werden. Die Projektleitung muss dann Ihre Daten für solche Kontrollen offenlegen. Alle müssen absolute Vertraulichkeit wahren.

10. Rücktritt

Sie können jederzeit von dem Forschungsprojekt zurücktreten. Die bis dahin erhobenen Daten werden in diesem Fall allerdings noch in verschlüsselter Form ausgewertet.

11. Entschädigung

Wenn Sie an diesem Forschungsprojekt teilnehmen, bekommen Sie dafür keine Entschädigung. Es entstehen Ihnen oder Ihrer Krankenkasse keine Kosten durch die Teilnahme.

Die Ergebnisse dieses Forschungsprojekts können unter Umständen dazu beitragen, kommerzielle Produkte zu entwickeln. Durch Ihre Teilnahme haben Sie kein Anrecht auf Anspruch an kommerziellen Entwicklungen (z. B. Patente).

12. Haftung

Falls Sie durch das Forschungsprojekt einen Schaden erleiden sollten, haftet das Bundesamt für Sport BASPO, welches das Forschungsprojekt veranlasst hat und für die Durchführung verantwortlich ist. Die Voraussetzungen und das Vorgehen sind gesetzlich geregelt. Wenn Sie einen Schaden erlitten haben, so wenden Sie sich bitte an die Projektleitung.

13. Finanzierung

Das Forschungsprojekt wird vom Bundesamt für Sport (BASPO) und dem Innovationsboard der Schweizer Armee bezahlt.

14. Kontaktpersonen

Sie dürfen jederzeit Fragen zur Projektteilnahme stellen. Auch bei Unsicherheiten, die während des Forschungsprojekts oder danach auftreten, wenden Sie sich bitte an uns.

Einwilligungserklärung

Schriftliche Einwilligungserklärung zur Teilnahme an einem Forschungsprojekt

Bitte lesen Sie dieses Formular sorgfältig durch. Bitte fragen Sie eine Kontaktperson (siehe Punkt 14 oben), wenn Sie etwas nicht verstehen oder wissen möchten. Für die Teilnahme ist Ihre schriftliche Einwilligung notwendig.

BASEC-Nummer:	2022-00767
Titel des Forschungsprojekts:	P(O TS); Vorhersage von potenziell hoch leistungsfähigen Operatoren und Feuerwehrpersonen
Verantwortliche Institution (Projektleitung mit Adresse):	Bundesamt für Sport BASPO, Eidgenössische Hochschule für Sport Magglingen, Hauptstrasse 273, 2532 Magglingen
Ort der Durchführung:	-
Leiterin/Leiter des Forschungsprojekts am Studienort: Name und Vorname in Druckbuchstaben:	-
Teilnehmerin/Teilnehmer: Name und Vorname in Druckbuchstaben:	_____
Geburtsdatum (TT.MM.JJJJ):	_____

- ☐ Ich wurde von der unterzeichnenden Projektleitung mündlich oder schriftlich über den Zweck, den Ablauf des Forschungsprojekts, über mögliche Vor- und Nachteile sowie über eventuelle Risiken informiert.
- ☐ Ich nehme an diesem Forschungsprojekt freiwillig teil und akzeptiere den Inhalt der zum oben genannten Forschungsprojekt abgegebenen schriftlichen Information. Ich hatte genügend Zeit, meine Entscheidung zu treffen.
- ☐ Meine Fragen im Zusammenhang mit der Teilnahme an diesem Forschungsprojekt 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 und der für dieses Forschungsprojekt zuständigen Ethikkommission zu Prüf- und Kontrollzwecken in meine unverschlüsselten Daten Einsicht nehmen dürfen, jedoch unter strikter Einhaltung der Vertraulichkeit.

- ☐ Bei Ergebnissen und Zufallsbefunden, die direkt meine Gesundheit betreffen, werde ich informiert. Wenn ich das nicht wünsche, informiere ich die Projektleitung.
- ☐ Ich weiss, dass meine gesundheitsbezogenen und persönlichen Daten nur in verschlüsselter Form zu Forschungszwecken für dieses Forschungsprojekt weitergegeben werden können. Der Sponsor gewährleistet, dass der Datenschutz nach Schweizer Standard eingehalten wird.
- ☐ Ich kann jederzeit und ohne Angabe von Gründen von der Teilnahme zurücktreten. Die bis dahin erhobenen Daten und Proben werden für die Auswertung des Forschungsprojekts noch verwendet.
- ☐ Das Bundesamt für Sport BASPO haftet für allfällige Schäden.
- ☐ Ich bin mir bewusst, dass die in der Informationsschrift genannten Pflichten einzuhalten sind. Im Interesse meiner Gesundheit kann mich die Projektleitung jederzeit ausschliessen.

Ort, Datum _____	Unterschrift Teilnehmerin/Teilnehmer
-------------------------	--------------------------------------

Bestätigung der Prüfperson: Hiermit bestätige ich, dass ich dieser Teilnehmerin/diesem Teilnehmer Wesen, Bedeutung und Tragweite des Forschungsprojekts erläutert habe. Ich versichere, alle im Zusammenhang mit diesem Forschungsprojekt stehenden Verpflichtungen gemäss in der Schweiz geltenden Rechts zu erfüllen. Sollte ich im Verlauf des Forschungsprojekts von Aspekten erfahren, welche die Bereitschaft der Teilnehmerin/des Teilnehmers an dem Forschungsprojekt beeinflussen könnten, werde ich sie/ihn umgehend darüber informieren.

Ort, Datum	
------------	--

Fragebogen PAR-Q - Physical Activity Readiness Questionnaire

Beurteilung der Bereitschaft zur körperlichen Aktivität

Dieser Fragebogen muss vor der Testdurchführung komplett ausgefüllt werden.

Name:

Vorname:

Geburtsdatum:

Alter (in Jahren):

Biologisches Geschlecht:

Risikobeurteilung Herz/Kreislauf (PAR-Q)

a	Hat Ihnen jemals ein Arzt oder eine Ärztin gesagt, Sie hätten «etwas am Herzen» und Ihnen Bewegung und Sport nur unter medizinischer Kontrolle empfohlen?	Ja <input type="checkbox"/>	Nein <input type="checkbox"/>
b	Hatten Sie im letzten Monat Schmerzen in der Brust in Ruhe oder bei körperlicher Belastung?	Ja <input type="checkbox"/>	Nein <input type="checkbox"/>
c	Haben Sie Probleme mit der Atmung in Ruhe oder bei körperlicher Belastung?	Ja <input type="checkbox"/>	Nein <input type="checkbox"/>
d	Sind Sie jemals wegen Schwindel gestürzt oder haben Sie schon jemals das Bewusstsein verloren?	Ja <input type="checkbox"/>	Nein <input type="checkbox"/>
e	Haben Sie Knochen- oder Gelenkprobleme, die sich unter körperlicher Belastung verschlechtern könnten?	Ja <input type="checkbox"/>	Nein <input type="checkbox"/>
f	Hat Ihnen jemals ein Arzt ein Medikament gegen hohen Blutdruck oder wegen eines Herzproblems oder Atemproblems verschrieben?	Ja <input type="checkbox"/>	Nein <input type="checkbox"/>
g	Kennen Sie irgendeinen weiteren Grund, warum Sie keinen maximalen Leistungstest machen sollten?	Ja <input type="checkbox"/>	Nein <input type="checkbox"/>
h	Hat ein Arzt oder eine Ärztin Sie in den letzten Jahren für NICHT Einsatz-, Sport- oder Wettkampffähig erklärt oder ist Ihnen ein weiterer Grund bekannt, weshalb Sie nicht leistungsorientiert trainieren könnten?	Ja <input type="checkbox"/>	Nein <input type="checkbox"/>
i	Starb jemand in Ihrer Familie plötzlich vor dem 50. Lebensjahr und/oder leiden Mitglieder Ihrer Familie (jünger als 65 Jahre) an koronarer Herzkrankheit, Angina pectoris oder musste ein Herzeingriff vorgenommen werden?	Ja <input type="checkbox"/>	Nein <input type="checkbox"/>
j	Rauchen Sie, haben Sie ein erhöhtes Cholesterin, leiden Sie an einem hohen Blutdruck oder Zuckerkrankheit?	Ja <input type="checkbox"/>	Nein <input type="checkbox"/>

k	Wurde in den letzten 2 Jahren ein EKG durchgeführt UND war das Ergebnis auffällig?	Ja <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/>
---	--	---

Erläuterungen zu den Fragen a-k, falls Sie eine davon mit «ja» beantwortet haben:

Haben Sie zurzeit oder hatten Sie Verletzungen/Beschwerden/Operationen an:

		re	li	was	wann
a	Nacken	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
b	Schultern	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
c	Oberarm	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
d	Ellbogen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
e	Unterarm	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
f	Handgelenk	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
g	Hand	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
h	Rücken	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
i	Becken	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
j	Hüfte	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
k	Oberschenkel	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
l	Knie	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
m	Unterschenkel	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
n	Achillessehne	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
o	Sprunggelenk	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
p	Fuss	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
q	Anderes	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		

Welche Verletzungen (a-q) sind noch aktuell?

Wie ist diese Verletzung momentan?

☐ unverändert ☐ gebessert ☐ geheilt

Mussten Sie deswegen einen Arzt oder eine Ärztin konsultieren?

Ja ☐

Nein ☐

Brauchen Sie regelmässig Medikamente?

Ja ☐

Nein ☐

Welche ja, welche?

Rauchen Sie?

Ja ☐

Nein ☐

Nehmen Sie andere nikotinhaltige Substanzen wie Snus zu sich?

Ja ☐

Nein ☐

Bemerkungen:

Fragebogen: Sport- & Bewegungsverhalten

Vorname, Name:

Hier geht es um die Ermittlung Ihrer Trainingserfahrung und Einschätzung Ihres langjährigen Fitnesslevels. Kreuzen Sie aus den untenstehenden 6 Optionen **diejenige** an, welche die Gesamtbelastung und Intensität Ihrer körperlichen Aktivitäten während den vergangenen 6 Monaten am besten beschreibt.

Gelegentlich	0-1h/Woche	Sie betreiben nicht regelmässig organisierten Freizeitsport oder intensive körperliche Aktivitäten. Zum Beispiel: Sie gehen nur gelegentlich spazieren, sodass Ihre Atemfrequenz stark erhöht ist oder Sie ins Schwitzen kommen.	
Regelmässig	1-3h/Woche	Sie betreiben regelmässig Freizeitsport. Zum Beispiel: Sie joggen 5-10 km pro Woche, oder Sie betreiben 1-3 Stunden pro Woche vergleichbare körperliche Aktivitäten oder aber Ihre Arbeit erfordert moderate körperliche Aktivität.	
Häufig	3-5h/Woche	Sie betreiben mindestens 3mal pro Woche intensive körperliche Aktivitäten. Zum Beispiel: Sie joggen 20-25km pro Woche oder betreiben 3-5 Stunden pro Woche vergleichbare körperliche Aktivitäten.	
Sehr häufig	5-8h/Woche	Sie betreiben mindestens 5mal pro Woche intensive körperliche Aktivität und Sie nehmen manchmal an Sportveranstaltungen oder Wettkämpfen teil.	

Semi-Professionell	8-12h/Woche	Sie betreiben praktisch täglich intensive körperliche Aktivität und Sie trainieren mit dem Ziel, ihre Leistung für den Wettkampf zu verbessern.	
Professionell	> 12h/Woche	Sie sind ein (Ausdauer)Athlet. Sie betreiben intensive körperliche Aktivität mit dem Ziel, Ihre Leistung für den Wettkampf zu verbessern.	

Welche Sportarten treiben Sie?

Sportarten	Welche Sportart?
<input type="checkbox"/> Spielsport (Fussball, Handball, Unihockey, Eishockey, Volleyball)	
<input type="checkbox"/> Ausdauersport (Laufen, Rennrad, Schwimmen, Langlauf)	
<input type="checkbox"/> Kraftsport / funktionelles Training (z.B. Crossfit)	
<input type="checkbox"/> Leichtathletik	
<input type="checkbox"/> Kampfsport (Judo, Boxen etc.)	
<input type="checkbox"/> Turnen (Geräteturnen, Kunstturnen, Trampolin etc.)	
<input type="checkbox"/> Parcours	
<input type="checkbox"/> Rückschlagsport (Tennis, Badminton...)	
<input type="checkbox"/> Klettern, Bergsteigen	
<input type="checkbox"/> Skisport Alpin	
<input type="checkbox"/> Andere:	
<input type="checkbox"/> Polysport (Turnverein, Sportstudium etc.)	

Bemerkungen:

Checkliste Testpersonen

Dieser Fragebogen muss vor der Testdurchführung komplett ausgefüllt werden.

Ernährung

Letzte Mahlzeit, wann (Uhrzeit): _____

Was: _____

Koffein letzte 12h:

Ja; Wann, was? _____

Nein

Alkohol letzte 12h:

Ja; Wann, was? _____

Nein

Supplemente:

Ja; Wann, was? _____

Nein

Gesundheit

Krankheit (letzte 14 T):

Verletzungen letzte 6 Monate:

Beschwerden am Testtag:

Allgemeine Befindlichkeit: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Testmotivation: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Weitere Einflussfaktoren (Schlaf, Reisen, Höhengaufenthalt, Hitzeexposition, intensive Trainingseinheit / Wettkampf usw.):
