

Validierung der Laufdistanz beim 4-Minuten-Lauf der App ready

Untersuchung verschiedener Einflussfaktoren auf die Laufdistanz

Abschlussarbeit zur Erlangung des
Master of Science in Sportwissenschaften
Option Unterricht

eingereicht von

Ramona Volken

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

in Zusammenarbeit mit der
Eidgenössischen Hochschule für Sport Magglingen

Referent
Dr. Thomas Wyss

Betreuer
Dr. Thomas Wyss

Magglingen, Mai 2020

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	4
Abbildungsverzeichnis.....	5
Tabellenverzeichnis	7
Abkürzungen	8
1 Einleitung	9
1.1 Messgenauigkeit.....	10
1.2 Datenaufzeichnung im Sport.....	13
1.3 Bezug des 4-Minuten-Laufes zur Ausdauerfähigkeit.....	20
1.4 Ziel der Arbeit.....	22
2 Methode.....	23
2.1 Untersuchungsgruppe	23
2.2 Studiendesign.....	24
2.3 Messinstrumente und Methode	25
2.4 Datenanalyse und statistische Auswertung.....	26
3 Resultate	29
3.1 Einflussfaktoren der Messungen mit GPS.....	35
3.2 Einflussfaktoren der Messungen ohne GPS.....	37
3.3 Differenzen der Messungen mit GPS gegenüber denjenigen ohne GPS.....	40
4 Diskussion	41
4.1 Ergebnisse und Interpretation	41
4.2 Antwort auf Fragestellung und Hypothese.....	47
4.3 Stärken und Schwächen der Arbeit.....	48
4.4 Bedeutung der Arbeit und weiterführende Fragestellungen.....	49
5 Schlussfolgerung.....	50
Literaturverzeichnis	51
Anhang	55
Dank	61

Zusammenfassung

Einleitung: Um die im internationalen Vergleich hohe Verletzungsrate der Schweizer Rekrutenschule zu senken, wurde ein neues Sportkonzept erstellt, bei dem unter anderem auch die Sport-App ready als Vorbereitungshilfe für die zukünftigen Rekruten, programmiert wurde (Wyss, Scheffler & Mäder, 2012). Kernstück dieser App ist ein Selbsttest, welcher individuell angepasste Trainingseinheiten erlaubt. Bei diesem Selbsttest stellt die Messung der Laufdistanz beim 4-Minuten-Lauf eine Fehlerquelle dar. Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, eine Vielzahl an Variablen auf einen möglichen negativen Einfluss bei der Distanzmessung der App ready zu untersuchen und dadurch die Messgenauigkeit zu verbessern.

Methode: Die 114 Messdurchgänge wurden von 5 Probanden, mit 7 unterschiedlichen Smartphone-Modellen durchgeführt. Die untersuchten Variablen waren: Betriebssystem, GPS Einstellung, Trageort und Alter des Smartphones, Umgebung (Stadt, Wald, im Freien), Luftdruck, Bewölkungsgrad, Laufgeschwindigkeit, Anzahl Kurven und die Beinlänge der Probanden. Mittels einer linearen Regression wurde festgestellt, welche der unabhängigen Variablen einen relevanten Einfluss auf den Messfehler (RMSE) der Trainingsapplikation haben.

Resultate: Der Mittelwert des relativen Fehlers lag bei den Messwerten der App ready in dieser Probe bei -9.34 %, was einer Unterschätzung von 78 Meter entspricht. Somit lag er innerhalb der gewünschten +/- 10 % Genauigkeit. Die Analyse der einzelnen Messwerte zeigte aber, dass nur 48.2 % der Messungen innerhalb der 10 % Toleranz liegen. Die Regressionsanalyse ergab, dass mit eingestelltem GPS der Fehler signifikant kleiner war, als ohne GPS ($\beta = -0.260$, $p = 0.000$). Beim iOS Betriebssystem war der Fehler signifikant kleiner als bei Android-Geräten ($\beta = -0.311$, $p = 0.000$). Je mehr Kurven im zurückgelegten Parcours vorhanden waren, desto grösser wurde der Fehler ($\beta = 0.146$, $p = 0.92$). Je älter das Smartphone ($\beta = -0.189$, $p = 0.017$) und je grösser die Beinlänge der Probanden ($\beta = -0.308$, $p = 0.013$), desto kleiner war der Fehler. Bei höherem Luftdruck ($\beta = -0.177$, $p = 0.032$) sowie bei mehr Bewölkung ($\beta = -0.280$, $p = 0.026$) war die Fehlmessung kleiner.

Diskussion und Konklusion: Die Ergebnisse zeigen den grossen Einfluss des Betriebssystems, aber auch des einzelnen Smartphone-Modells auf die Messgenauigkeit. Den Nutzern der App sollte empfohlen werden, die Ortungsdienste (GPS) zu aktivieren, um möglichst genaue Angaben und damit auch optimal angepasste Trainingseinheiten zu erhalten. Gleichzeitig wäre es sinnvoll, dass die Entwickler den Algorithmus weiter verbessern, durch die Berücksichtigung der Körpergrösse (Beinlänge) der Probanden. Auch wenn diese bei anderen Studien keinen signifikanten Einfluss hatte (Ammann, Taube, Neuhaus & Wyss, 2016)

Abbildungsverzeichnis

<i>Abbildung 1.</i> Einfluss der Positionsunsicherheit bei GPS-Messungen auf den Bewegungsparameter Distanz. Die blaue Linie zeigt die real zurückgelegte Distanz, die rote Linie hingegen die mögliche fehlerhafte Messung des GPS-Gerätes (Wick, 2013, S. 12).	11
<i>Abbildung 2.</i> Grundprinzip eines Beschleunigungssensors. F = Kraft, m = Masse, x = Auslenkung, a = Beschleunigung (Böttcher, 2019).....	13
<i>Abbildung 3.</i> Schematische Darstellung der Messungen mit dem Smartphone.	24
<i>Abbildung 4.</i> Smartphone mit Distanzangabe nach Messung.	25
<i>Abbildung 5.</i> Rollrad während dem Abmessen der Distanz.....	26
<i>Abbildung 6.</i> Bland-und-Altmann-Diagramm zur Darstellung der Validität der Laufdistanz der App ready im Vergleich zur abgemessenen Distanz auf den unterschiedlichen Laufstrecken ($n = 114$).	29
<i>Abbildung 7.</i> Abweichung der Messwerte mit eingestelltem GPS gegenüber Messwerten ohne GPS	31
<i>Abbildung 8.</i> Abweichung der Messwerte nach Anzahl gelaufener Kurven im Parcours.	31
<i>Abbildung 9.</i> Messfehler nach Smartphone-Modell und Alter des Smartphones. In der Legende in Klammer ist das Alter des Smartphones in Jahren angegeben. Die Farben der Boxplots sind nach dem Betriebssystem aufgeteilt: in roter Farbe alle Android-Smartphones, in blau alle Applegeräte.....	32
<i>Abbildung 10.</i> Unterschiede der Messgenauigkeit nach der Beinlänge des Probanden.	32
<i>Abbildung 11.</i> Messgenauigkeit nach Alter des iPhones.	33
<i>Abbildung 12.</i> Die unterschiedliche Umgebung zeigte keinen signifikanten Unterschied auf die Messergebnisse.	33
<i>Abbildung 13.</i> Der Unterschied des Messfehlers nach Trageort zeigte kein signifikanter Unterschied auf die Messergebnisse.	34
<i>Abbildung 14.</i> Messfehler der App ready in Prozent im Bezug zur Laufgeschwindigkeit der Probanden.....	34
<i>Abbildung 15.</i> Messunterschied nach Anzahl Kurven bei Messungen mit eingestelltem GPS.	35
<i>Abbildung 16.</i> Leistung nach Smartphone-Modell. In der Legende ist das älteste Smartphone zuoberst, das neueste zuunterst eingeteilt. Die Farben der Boxplots sind nach dem Betriebssystem aufgeteilt: in roter Farbe alle Android-Smartphones, in blau alle Applegeräte.	36

<i>Abbildung 17. Unterschiede der Messgenauigkeit nach der Beinlänge des Probanden bei Messungen mit GPS.</i>	36
<i>Abbildung 18. Messfehler der unterschiedlichen Smartphones bei den Messungen ohne GPS. Einteilung nach Smartphone-Modell und Alter. In blauer Farbe iPhone Modelle, in roter Farbe Android-Modelle.</i>	37
<i>Abbildung 19. Messfehler der App ready nach Beinlängenunterschieden der Probanden bei den Messungen mit Beschleunigungssensor (ohne GPS).</i>	38
<i>Abbildung 20. Messfehler der App ready bei den Messungen mit Beschleunigungssensor (ohne GPS). Die Einteilung geht von links nach rechts, vom ältesten zum jüngsten Smartphone.</i>	38
<i>Abbildung 21. Messfehler der App ready bei den Messungen aller iPhones mit Beschleunigungssensor (ohne GPS). Die Einteilung geht von links nach rechts, vom ältesten zum jüngsten iPhone.</i>	39
<i>Abbildung 22. Abweichung des Messfehlers nach Betriebssystem und Modell des Smartphones. In blauer Farbe die Messungen mit Beschleunigungssensor und GPS, in roter Farbe die Werte der Läufe, welche nur mit dem Beschleunigungssensor gemessen wurden.</i>	40
<i>Abbildung 23. Laufdistanzmessungen in Brig. Finnenbahn im Wald (Koordinaten: 2'641'363, 1'129'586) und Tartanbahn (2'641'766, 1'129'355).</i>	55
<i>Abbildung 24. Laufdistanzmessungen in Bern, Tartanbahn, Koordinaten : 2'599'441, 1'201'099.</i>	55
<i>Abbildung 25. Laufdistanzmessungen in Bern. Geteerter Untergrund in städtischer Umgebung (Koordinaten: 2'596'178, 1'199'675) und im Wald (Koordinaten : 2'597'032, 1'199'996).</i>	56
<i>Abbildung 26. Laufdistanzmessungen in Jona, Finnenbahn im Wald, Koordinaten : 2'706'111, 1'232'951.</i>	56
<i>Abbildung 27. Laufdistanzmessungen in Jona, Tartanbahn, Koordinaten : 2'706'418, 1'230'923.</i>	56
<i>Abbildung 28. Laufdistanzmessungen in Magglingen, Tartanbahn, Koordinaten : 2'582'561, 1'220'900.</i>	57
<i>Abbildung 29. Abmessen der Schnitzelbahn in Brig mit Rollrad und Messband.</i>	58
<i>Abbildung 30. App ready in Anwendung.</i>	58
<i>Abbildung 31. Probandin während einem Messlauf, Distanzmarkierung im Vordergrund.</i>	59
<i>Abbildung 32. Probandin startet Lauf mit Smartphone in Hüfttasche.</i>	59
<i>Abbildung 33. Messrad auf Tartanbahn.</i>	60
<i>Abbildung 34. Messrad mit Distanzanzeige.</i>	60

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1. <i>Merkmale der Probanden</i>	23
Tabelle 2. <i>Anzahl Messungen innerhalb der 10 % Toleranzzone</i>	29
Tabelle 3. <i>Koeffizienten der unabhängigen Variablen im Verhältnis zur abhängigen Variable RMSE (Route Mean Square Error)</i>	30

Abkürzungen

- App Applikation
- ANOVA Varianzanalyse (analysis of variance)
- β Regressionskoeffizient der Variablen x_i
- CP Critical Power
- DGPS Differential Global Positioning System (erhöhte Genauigkeit)
- EHSM Eidgenössische Hochschule für Sport Magglingen
- GPS Global Positioning System
- p P-Wert, statistische Signifikanz
- RMSE Route Mean Square Error (Wurzel der mittleren Fehlerquadratsumme)
- SmPh Smartphone
- SPSS Statistik- und Analysesoftware der Firma IBM
- VO2max maximale Sauerstoffaufnahme-fähigkeit

1 Einleitung

Die jungen Männer und Frauen, welche dem Militär beitreten, erbringen dort grosse körperliche Leistungen. Ihr täglicher Energieverbrauch ist vergleichbar mit dem von Spitzensportlern (Wyss et al., 2012). In der Studie PADIS (Physical Activities and Demands in Swiss Soldiers) wurde aufgezeigt, dass die im internationalen Vergleich hohe Verletzungsrate und Austrittszahlen der Schweizer Rekruten mit dem degressiven Verlauf der körperlichen und psychischen Belastungen der ersten 10 Wochen der Rekrutenschule zusammenhängen könnte. Die Folgestudie PROGRESS (2011 bis 2013) bestätigte dies, mit eindeutigen Testergebnissen bezüglich Verletzungsrisiko und Motivation: Die Truppe, in der die täglich zu Fuss zurückgelegte Distanz progressiv aufgebaut wurde und deren Qualität und Quantität des Sportunterrichts erhöht wurde, hatte als Einzige eine ansteigende Leistungsmotivation und einen Drittel weniger Verletzungen zu verzeichnen. Dank diesen Erkenntnissen wurde ein neues Sportkonzept für die Armee erstellt, bei dem unter anderem auch die Idee zur Programmierung einer Sport-App als zeitgemässe Form für die zukünftigen Rekruten entstand. Damit diese die Herausforderung der Ausbildung besser bewältigen können, hat die Schweizer Armee in Zusammenarbeit mit dem Bundesamt für Sport (BASPO) die App ready entwickelt, welche Stellungspflichtige schon vor dem Rekrutierungstag benützen können, um sich auf die zukünftigen Belastungen vorzubereiten. Die angehenden Rekruten erhalten nach dem Sporttest ein individuell auf sie und ihre militärische Wunschfunktion zugeschnittenes Fitnessprogramm. So können sie gezielt auf die späteren physischen und psychischen Anforderungen hintrainieren. Diese sind bei einem Grenadier, Artillerist oder Betriebssoldat unterschiedlich. Wer also seine Wunschfunktion erlangen möchte, ist bei dieser App an der richtigen Adresse, um sich optimal vorzubereiten.

Die Applikation wurde am 04. März 2019 nach 18 Monaten Entwicklungszeit lanciert. Die Smartphone-Anwendung basiert auf dem Stand der neuesten sportwissenschaftlichen Erkenntnissen, da sie von Wissenschaftlern der Eidgenössischen Hochschule für Sport Magglingen (EHSM) und der ETH Zürich erarbeitet wurde. Basierend auf einigen persönlichen Angaben, wie Geschlecht, Alter und Gewicht sowie einem einfach durchführbaren Fitnessselbsttest stellt die App ein individuelles Trainingsprogramm zusammen (Walt, 2019). Im Rahmen dieser Arbeit wird die Distanzmessung des 4-Minuten-Laufes, welcher ein Teil des Fitnessselbsttestes ist, genauer analysiert.

1.1 Messgenauigkeit

Anwender der App stellten fest, dass beim 4-Minuten-Lauf die Laufdistanz nicht immer korrekt gemessen wird. Dies ist problematisch, da die zurückgelegte Distanz als Grundlage für die späteren Trainingseinheiten gilt. Deswegen ist die Messgenauigkeit entscheidend für einen persönlich gut abgestimmten Trainingsplan. Die Distanzmessung erfolgt über das GPS-System und den Beschleunigungssensor des benützten Smartphones.

1.1.1 GPS. Das GPS (Global Positioning System) ist ein Positionsbestimmungssystem, welches vom Amerikanischen Militär entwickelt wurde, und durch einen Informationsaustausch zwischen dem Empfänger am Boden und dem Satellitennetz in 20'000 km Entfernung von der Erde funktioniert («GPS-Messnetz», 2014.). Das Satellitennetz besteht aus mehreren Satelliten, die die Erde in ihrem Orbit umkreisen und permanent Daten senden (Machguth, 2016). Dies sind vereinfacht gesagt: die Satellitennummer, die aktuelle Position des Satelliten und die exakte Uhrzeit zum Zeitpunkt der Signalemittierung. Um eine genaue Positionsbestimmung zu ermitteln, werden mindestens vier Satelliten benötigt. Je mehr in Reichweite sind, desto präziser wird die Messung. Die Distanz zu den Satelliten wird durch die Zeit berechnet, welche die UHF-Radiowellen benötigen, um bis zum Empfänger zu kommen (Brailard, 2017). Lediglich die Satelliten verfügen über eine hochpräzise Atomuhr, daher entsteht eine gewisse Ungenauigkeit. Der Empfänger vergleicht aber die Zeitdifferenz zu allen empfangenen Satelliten und korrigiert diese, bis sich alle an einem Punkt schneiden. Durch das GPS Netzwerk kann somit die Position des Sendegerätes herausgefunden werden und durch wiederholtes Positionsbestimmen die gesamte gelaufene Distanz. Die Genauigkeit der Messung für eine bestimmte Strecke hängt von der Genauigkeit des Empfängers und dem verwendeten Aufzeichnungsintervall ab (Wick, 2013). Es ist nicht explizit bekannt, in welchen Intervallen die verwendeten Smartphones die GPS-Messungen vornehmen, da die Hersteller dies nicht bekanntgeben wollen. Apple beispielsweise beschreibt, dass in «regelmässigen Abständen» gemessen wird, aber nicht wie gross die entsprechenden Abstände sind. Der iPhone Ortungsdienst verwendet, bei aktiver Funktion, GPS und Bluetooth sowie die Position von WLAN-Hotspots und Mobilfunkmasten, um die ungefähre Position des Geräts zu bestimmen. Das iPhone sendet in regelmässigen Abständen die markierten Positionen an Apple (Apple, 2020). Huawei teilt mit, dass die Auflösung der Messintervalle von der Entfernung und der Art der Oberfläche abhängig ist und dies von einer Sekunde bis zu mehreren Sekunden variiert (Abdallah B., persönliche Kommunikation, 31 März 2020). Die genauesten An-

gaben kommuniziert Samsung. Sie teilen mit, dass die Messintervalle zwischen drei und fünf Sekunden liegen (Dauberth M., persönliche Kommunikation, 3 April 2020).

Laut Bauer (2013) gilt GPS als die geeignetste Anwendung für «Sporttracking», aufgrund seiner Präzision und der weltweiten Verfügbarkeit ohne zusätzliche Infrastruktur. Smartphone-Messungen sind aber nicht immer exakt, da sie nur über sehr einfache GPS Empfänger verfügen. Die Messgenauigkeit kann zwischen den Geräten variieren. Die Abweichungen des öffentliche GPS beträgt fünf bis zehn Meter und die Positionierung ist limitiert an Aktivitäten im Freien, da ein direkter Sichtkontakt zu den Satelliten notwendig ist. Diese Distanzabweichung bestätigte eine Studie von Menard, Miller, Nowak und Norris (2011), welche zeigten, dass die Messgenauigkeit bei unterschiedlichen Smartphones in 95 Prozent der Zeit innerhalb von zehn Metern lag. Somit können Smartphones als verlässliche Quellen angesehen werden. Diese Unsicherheit von zehn Meter kann bei der Messung einer zurückgelegten Strecke trotzdem zu grossen Distanzunterschieden führen. Bei einem Objekt, beispielsweise einem Radfahrer, der sich mit 36 km/h entlang einer geraden Strasse bewegt und jede Sekunde seine aktuelle Position aufzeichnet, erfolgt jeweils im Abstand von zehn Meter eine Positionsaufnahme. Im Extremfall kann, wie in Abbildung 1, die Ungenauigkeit der Messung zu starken Verzerrungen der gleichförmigen Bewegung führen.

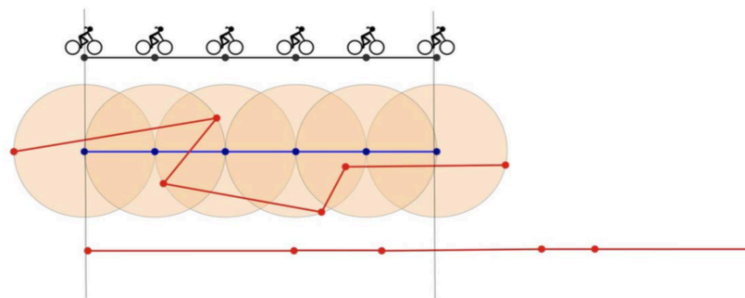


Abbildung 1. Einfluss der Positionsunsicherheit bei GPS-Messungen auf den Bewegungsparameter Distanz. Die blaue Linie zeigt die real zurückgelegte Distanz, die rote Linie hingegen die mögliche fehlerhafte Messung des GPS-Gerätes (Wick, 2013, S. 12).

Gegen diese Verzerrung haben die GPS-Empfänger eingebaute Filter, welche bei der Erfassung der Positionsdaten von einer gradlinigen, gleichförmigen Bewegung ausgehen und diese Annahmen für die Ermittlung der Position und somit der Strecke miteinbeziehen (Wick, 2013).

In einer Studie von Hess, Farahani, Tschirschnitz und von Reischach (2012) wurden Smartphones mit unterschiedlichen Betriebssystemen (Android 2.3.3, Android 2.3.6, iOS 4.2.1, iOS

4.3.5, und Windows Phone 7) und verschiedenen GPS Chipsätzen getestet. Ihre Schlussfolgerung war, dass die GPS Messgenauigkeit stark vom jeweiligen Smartphone abhängig war. Sie war aber nicht nur vom Smartphone, sondern auch von der Applikation abhängig, zeigte Bauer (2013) in ihrer Studie, in welcher neun unterschiedliche Tracking-Apps auf dem gleichen Smartphone getestet wurden.

Das GPS-System als neue Möglichkeit für die Messung von physischer Aktivität zu nutzen, hat mehrere Vorteile: zum einen sind die Geräte tragbar, leicht und klein, zum andern sind sie nicht invasiv oder auffällig. Sie können kontinuierlich Messungen durchführen, welche direkt während oder nach der Aktivität dem Träger ein Feedback geben (Maddison & Ni Mhurchu, 2009). Die Messungen können «real life» Situationen ähneln, und es ist möglich eine unlimitierte Anzahl von Wiederholungen durchzuführen (Terrier & Schutz, 2005). Die gemessenen Daten können gut abgespeichert werden. Der GPS Zugang ist für alle frei, kostenlos und es ist überall in der Welt machbar Messungen durchzuführen, sofern Empfang vorhanden ist (Maddison & Ni Mhurchu, 2009). Diese Technologie beherrscht Messungen über längere Distanzen im Freien und bei allen Wetterverhältnissen. Bei zusätzlicher Verwendung von DGPS (Differential Global Positioning System) kann eine hohe Qualität bis auf einige Zentimeter genau und eine gute Messrate von 5-20 Hz erreicht werden (Terrier & Schutz, 2005).

Es gibt aber auch Nachteile: die Anschaffung der Messgeräte ist eher kostspielig, sie sind nicht vollumfänglich validiert und abhängig von der Batterielaufzeit. Bei den Messungen kann nur ein Körpersegment gemessen werden und es ist schwierig die Messungen zu standardisieren, da sie draussen geschehen und die Wetter- und Geländeverhältnisse abweichend sind. GPS ist eine vielversprechende Technologie, welche in Zukunft noch Verbesserungen benötigt, aber grosses Potential hat. Die Empfänger können noch kleiner werden, die Hertzzahl für eine gute Auflösung erhöht, und zusätzliche Satelliten verwendet werden. Dadurch wird die Genauigkeit erhöht, die Erreichbarkeit verbessert und die Bedienbarkeit vereinfacht (Terrier & Schutz, 2005).

1.1.2 Beschleunigungssensor. Das Grundprinzip des Beschleunigungssensors ist recht einfach und funktioniert nach dem Trägheitsgesetz: eine träge Masse wird an einer Federstruktur befestigt und löst bei einer Bewegung dank der Schwerkraft eine Auslenkung aus. Durch die Stärke und Richtung dieser Auslenkung, kann die Beschleunigung gemessen werden. Bei den Sensoren wird, wie in Abbildung 2 ersichtlich, nicht die Kraft F , sondern die korrespondierende Auslenkung x gemessen: $x = k \times F$ (k = Federkonstante) (Böttcher, 2019).

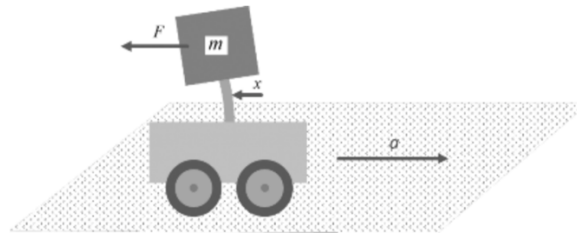


Abbildung 2. Grundprinzip eines Beschleunigungssensors. F = Kraft, m = Masse, x = Auslenkung, a = Beschleunigung (Böttcher, 2019).

Um die Bewegung eines Smartphones in drei Dimensionen zu messen, werden je einen Sensor in jeder der drei Achsen des Raumes angeordnet. In Smartphones sind diese Sensoren extrem fein und bestehen aus einer komplexen Silizium-Konstruktion. In einem kleinen Chip befinden sich drei federnd gelagerte, kammartige Strukturen aus Silizium. Bei einer Bewegung fließt dort Strom und aus der Stärke des Stromflusses lässt sich die Bewegung berechnen (Trillo, 2012).

Laut einer Studie von Duncan, Wunderlich, Zhao und Faulkner (2018) zeigten Schrittmesser bei iPhones Abweichungen von über 21.5 %. Folglich dürfen die Schrittzähler für die Selbstüberwachung und als Motivationswerkzeug gut funktionieren, aber für die Forschung und Evaluation der physischen Leistung, sollte auf genauere Geräte zurückgegriffen werden. Bei den Messungen für die App ready wurde entweder mit GPS und Beschleunigungssensor die Distanz gemessen oder nur mit dem Beschleunigungssensor. Dass eine Kombination von mehreren Sensoren zu einer höheren Genauigkeit führt, belegten Mok et al. (2012) durch ihre Studie über GPS und Sensordaten in modernen Smartphones.

1.2 Datenaufzeichnung im Sport

Ein zielgerichtetes Training ist wichtig für bestmögliche Leistungen jedes Athleten. Dies gilt auch für die Vorbereitung auf die Rekrutenschule. Im Leistungssport werden seit über 30 Jahren Trainingseinheiten sowie Wettkämpfe mittels objektiver Messinstrumente überwacht

(Düking, Hotho, Holmberg, Fuss & Sperlich, 2016). In den letzten Jahren wurde das Trainingsmonitoring auch immer beliebter bei Hobbysportlern. Es haben sich viele unterschiedliche Messinstrumente wie Sportuhren, Fitness Tracker und Smartwatches entwickelt. So können die Parameter ohne grossen Aufwand auch ausserhalb des Labors erfasst werden. Für spezifische biomechanische Parameter bleiben Labormessungen jedoch die beste Lösung, da dort Messsysteme mit Videokameras, Kraftmessplatten und optischen Systemen eingesetzt werden können. Durch den finanziellen und zeitlichen Aufwand dieser Messmethoden, werden sie aber nur selten eingesetzt (Roos, Taube, Brandt, Heyer & Wyss, 2013). Im Alltag sind kleine körpertragbare Beschleunigungssensoren viel praktischer und ermöglichen auch biomechanische Messungen. Da die heutigen Geräte nicht wissenschaftlich validiert sind oder technische Mängel aufweisen, verfügen sie noch über Verbesserungspotenzial (Ammann, 2016). Smartphones sind eine sehr praktische Art, ohne grossen Aufwand das Training zu überwachen oder Leistungsteste durchzuführen. Dadurch dass fast jeder ein Smartphone besitzt, muss nur die jeweilige App heruntergeladen werden und das Monitoring kann beginnen.

1.2.1 Messsysteme. Der Begriff Messsysteme umfasst Instrumente, welche die Trainingsinhalte objektiv erfassen. Diese sollten über eine gewisse Genauigkeit verfügen, da Fehlquantifizierung zu Übertraining führen könnte oder das Training nicht seine optimale Effizienz hervorrufen kann. Die Messsysteme werden für Trainings, Leistungsteste oder zu Studienzwecken genutzt. Laborteste bieten die Möglichkeit standardisierte und reproduzierbare Tests mit hoher Genauigkeit durchzuführen. Die Resultate können sich aber manchmal stark von jenen der Feldteste unterscheiden, da nicht alle Faktoren im Labor miteinbezogen werden. Oft ist die Funktionalität der Messinstrumente im Alltag wesentlich, wofür sie tragbar und mobil bedienbar sein sollten (Ammann, 2016).

Ein oft benütztes Messgerät ist die Stoppuhr, aber auch Multifunktionsuhren und Fitness Tracker werden immer häufiger eingesetzt. In den letzten Jahren haben die Smartphones einen wichtigen Platz im Alltagsleben eingenommen und traten somit auch in den Bereich der Messung sportlicher Aktivitäten vor. Es gibt bis anhin nur wenige Studien mit Smartphones. Deshalb werden hier auch diverse Studien mit Sportuhren und Fitness Trackern analysiert und mögliche Vergleiche mit dem Tracking mit Smartphones gezogen.

1.2.2 Forschungsfeld. Duncan et al. waren die ersten, welche im Jahr 2018 in einer Studie die Validität von iPhone Schrittzählern nicht nur unter Laborbedingungen, sondern auch im Freien untersuchten. Verglichen wurden das iPhone 6 und neuere Modelle. Diese zeigten unter Laborbedingungen eine Abweichung, welche kleiner als $\pm 5\%$ war, die Alltagsmessungen hingegen überstiegen 21.5% . Die Abweichung war bei ungefähr 5 km/h am kleinsten, möglicherweise wurde die Applikation so erstellt, dass sie bei dieser Gehgeschwindigkeit optimal funktioniert. Generell wurden die Schrittzahlen eher unterschätzt von den iPhones.

Eine weitere Studie vom Jahre 2017 untersuchte die Validität von 11 unterschiedlichen kommerziell angebotenen Aktivitätstrackern unter Sportkonditionen (Y. Wahl, Düking, Droszez, P. Wahl & Mester). Ein breites Spektrum an unterschiedlichen Geschwindigkeiten wurde im Labor und im Freien getestet. Generell stimmte die gemessene Anzahl Schritte, trotz einer leichten Unterschätzung, recht gut mit der Wirklichkeit überein. Die Unterschätzung lag an der Anpassung der Empfindlichkeit des Sensors, da er einzelne Armbewegungen nicht als Schritt zählen darf und deshalb auf eine bestimmte Mindestbeschleunigung eingestellt ist. Die zurückgelegte Distanzmessung war aber eher schlechter Qualität. Bei langsamen Geschwindigkeiten (4.3 km/h und 7.2 km/h) wurde die Geschwindigkeit tendenziell überschätzt. Bei schnelleren Geschwindigkeiten (13 km/h) hingegen unterschätzt. Dies stimmt auch mit anderen vorgängigen Studien überein. Bei einem Marathonlauf mit einer Laufgeschwindigkeit von 10 km/h würde dies zu Überschätzungen von bis zu 2.94 km und Unterschätzungen von bis zu 16.9 km führen. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass keines der getesteten Geräte, welche mit Beschleunigungssensoren funktionieren eine gute Validität für die Distanzmessung darstellt. Distanzmessung kann sicher durch andere Messgeräte genauer gemessen werden, welche mit Empfänger des GPS Systems ausgestattet sind. Diese Technologie scheint eine höhere Genauigkeit zu bringen, um die Distanz im Sport zu messen, als nur mit Beschleunigungssensoren.

Sportuhren sind eine Möglichkeit zur objektiven Erfassung der Leistungsparameter. Das Ziel einer Studie von Ammann, Taube, Kummer und Wyss im Jahre 2016 war es, die Genauigkeit der Höhenmeterzunahme während dem Training mit unterschiedlichen Sportuhren zu testen. Der Fokus lag dabei auf den Sportuhren, da diese am Handgelenk getragen werden und einfach anwendbar sind im Training und Wettkampf. Die Messungen wurden in flachem und hügeligem Gelände durchgeführt. Im hügeligen Gelände wurde die Höhenmeterdifferenz unterschätzt um -3.3% bis -9.8% , im flachen Gelände war sie ziemlich genau bei 0% bis 0.4% Überschätzung. Mögliche Gründe für die Ungenauigkeit könnte die Armbewegung während des Gehens sein. Dies wird in der Nachfolgenden Studie auch bestätigt, in welcher der Fehler

um 25-50 % reduziert wurde, durch das Tragen an der Hüfte im Vergleich zum Handgelenk. Ein weiterer Grund könnte die sich verändernde Verbindungsqualität des GPS-Signales durch Veränderungen des Luftdruckes (Krenn, Titze, Oja, Jones & Ogilvie, 2011; Parviainen, Kantola & Collin., 2008) sein. Letzteres war wohl eher nicht ausschlaggebend, da die Messungen nicht über eine lange Zeitspanne geschahen. Die Gehgeschwindigkeit und Wetterveränderungen hatten keinen signifikanten Einfluss. Die Unterschätzung beim hügeligen Gelände könnte daher kommen, dass die Messpunkte nicht nahe genug beieinander lagen und dadurch positive und negative Spitzenwerte der Höhe abgeschnitten wurden (Krenn et al., 2011). Durch die zu tiefen Abtastraten der Messinstrumente ist die Auflösung der Messpunkte tief und es wird nicht die vollständige Amplitude gemessen. Bei den Messungen wurde eingestellt, dass jede Sekunde ein Messpunkt genommen wird und bei Umdrehpunkten wurden die Teilnehmer angewiesen, zwei Sekunden zu warten. Somit ist es möglich, dass die Werte unter normalen Bedingungen noch stärker abweichen würden. Überdies fanden die Versuche unter idealen Bedingungen statt, da es weder Bäume noch Gebäude auf der hügeligen Strecke gab. Im normalen Training könnten die Abweichungen also noch grösser sein. Abschliessend kann davon ausgegangen werden, dass die Höhendifferenzen zuverlässig gemessen werden, jedoch die Daten durch das Nachbearbeiten noch genauer werden. Allerdings bringt die Nachbearbeitung bei hügeligem Gelände keinen Gewinn, sondern eine Verschlechterung. Interessant ist, dass die Uhren mit barometrischem Altimeter und Korrektur durch GPS Daten nicht die genaueren Messwerte lieferten, als jene Uhr, welche nur mit Altimeter mass. Möglicherweise kann sich dies aber auf längeren Strecken anders verhalten.

Bei einer weiteren Studie von Ammann, Taube, Neuhaus et al. (2016) ging es um den Einfluss von laufinduziertem Armschwingen auf die Messgenauigkeit von Sportuhren zur Erfassung von Höhenmetern. Dafür wurden insgesamt 120 Wiederholungen von 1200-Meter-Läufen auf einer 400-Meter-Laufbahn erhoben. Die Geschwindigkeiten variierten von spazieren über joggen bis hin zum Rennen. Die Messgeräte wurden gleichzeitig an der Hüfte und am Handgelenk getragen, um einen direkten Vergleich zu erhalten. Das Armschwingen wird auch von der Postur des Trägers beeinflusst. Die Frequenz und die Amplitude des Armschwungs sind unterschiedlich bei einer grösseren, bzw. kleineren Person. Je grösser die Person, desto länger sind die Arme, desto langsamere Frequenz, aber höhere Amplitude haben die Bewegungen. Deshalb wurde auch die Körpergrösse der Probanden gemessen. Die Körpergrösse zeigte aber keinen signifikanten Einfluss auf die Messergebnisse. Die Resultate zeigten nur einen kleinen, aber dennoch signifikanten Unterschied zwischen den beiden Tragarten. Die Abweichungen beim Tragen am Handgelenk waren bei allen Modellen grösser als

an der Hüfte. Die Armbewegung beeinflusst die Genauigkeit negativ und führt zu einer leichten Überschätzung des Höhenunterschiedes. Dieser Effekt nimmt bei zunehmender Geschwindigkeit zu. Benutzer sollten sich bewusst sein, dass das Tragen an der Hüfte zu genaueren Werten führt, was vor allem bei schnellen Aktivitäten wie Joggen oder Rennen einen grösseren Einfluss hat. Der verringerte Messfehler kann durch die Nähe zum Körperschwerpunkt und das Fehlen der laufinduzierten Armschwingungen erklärt werden. Es konnte eine moderate bis gute Validität festgestellt werden. Somit ist die Genauigkeit der erfassten Höhenmeter ausreichend für den normalen Gebrauch, wenn die Uhr am Handgelenk getragen wird. Auch Frick, Métral, Auguet und Jornod (2019) konnten diesen Effekt feststellen. Ihre Messungen waren präziser, wenn das Smartphone in der Hosentasche getragen wurde, im Vergleich zum Arm. Die Unterschiede ihrer Messungen waren aber nicht gross genug um ein signifikantes Resultat zu ergeben.

Duncan, Mummery und Dascombe, zeigten schon im Jahre 2007 dass die Position, an der das GPS getragen wird und die Fortbewegungsart, die Messung beeinflusst. Die Geräte überschätzten bei ihren Messungen die Distanz während den Laufversuchen, nicht aber während den Messungen beim Fahrradfahren. Auch die Umwelt, also Bäume, Gebäude und städtische Umgebung beeinflussen den Empfang und können zu Datenverlusten führen. GPS ist ein nützliches Hilfsmittel um die Bewegungen zu messen und im Kontext zu sehen mit der Lokalisation. GPS alleine ist aber nicht ein verlässlicher und valider Faktor um die physische Aktivität zu messen. Sobald GPS mit Beschleunigungssensoren kombiniert wird, wird die Messung viel versprechend. Der Nachteil ist, dass die Person zwei Geräte auf sich tragen muss und auch die Anschaffungskosten höher werden. Hier kommt das Smartphone ins Spiel: es verbindet GPS-Gerät und Beschleunigungssensor in einem Medium. Gewissermassen ist es limitiert durch die Batterielaufdauer und dass es bei intensiver Aktivität oft nicht auf dem Körper getragen wird. Japanische Forscher haben ein Jogging-Supportsystem entwickelt, bei dem sie GPS, Herzfrequenzmessung und Beschleunigungssensoren in Kleider integrierten. Diese Technologie ist aber noch nicht so weit, dass sie praktisch angewendet werden kann (Maddison & Ni Mhurchu, 2009).

Frau Dr. Rahel Gilgen-Ammann, wissenschaftliche Mitarbeiterin an der EHSM in Magglingen, hat in ihrer neuesten Studie, die Genauigkeit der Messdistanz von acht kommerziell verkauften Sportuhren in unterschiedlichem Gelände und unterschiedlichen Geschwindigkeiten getestet (in press). Die Studie verfolgte ein ähnliches Ziel, wie die vorliegende Masterarbeit, mit dem Unterschied, dass Sportuhren und nicht eine Applikation auf einem Smartphone getestet wurden. Bei den Resultaten zeigte der mittlere absolute Fehler eine Abweichung von

3.2 bis 6.1 %. Generell wurden die Distanzen signifikant unterschätzt. In den städtischen und bewaldeten Regionen war die Genauigkeit schlechter, wohingegen die Distanzen auf der Laufbahn eher überschätzt wurden, aber auch näher an der wirklich zurückgelegten Distanz waren. Der Messfehler beim Rennen war signifikant höher als beim Laufen oder Radfahren. Zusammenfassend gilt, dass die Sportuhren die Distanz bis zu 9 % unterschätzen, aber ihr Gebrauch dennoch empfohlen werden kann, vor allem im offenen Gelände. Dies bestätigt auch eine Studie von Buchheit et al., (2014), in welcher eine ausreichende Genauigkeit bezüglich der Geschwindigkeitserfassung von Sportuhren in Bezug auf moderate Laufgeschwindigkeiten gemessen wurde. Auch Böhni, Leiggenger, Martinschitz und Vetter (2019) zeigten, dass sich die Geschwindigkeit des Läufers auf die Genauigkeit der Messwerte auswirkt. Die vier Probandinnen legten 400 Meter auf einer Laufbahn mit vier verschiedenen GPS-Trackern und in vier unterschiedlichen Geschwindigkeiten zurück. Bei ihren Messungen waren die Abweichungen bei den langsamen und mittleren Geschwindigkeiten (4.8km/h, 6.5km/h) eher kleiner, als bei den höheren Geschwindigkeiten (9.7km/h, 15.7km/h). Auch Fokkema, Kooiman, Krijnen, van der Schans und de Groot (2017), massen bei mittleren Geschwindigkeiten (4.8km/h und 6.4km/h) eine bessere Übereinstimmung der Tracker.

Masterstudenten an der EHSM in Magglingen haben exemplarisch eine Validierungsstudie der Applikation ready durchgeführt, indem sie die effektive Laufdistanz auf einer herkömmlichen Rundbahn mit der gemessenen Distanz der App verglichen haben. Es konnte eine sehr hohe Korrelation ($r = 0.96$) zwischen der gemessenen Distanz und der App auf dem Betriebssystem von iPhone (iOS 11.4 und 12.1) festgestellt werden. Ready unterschätzte die Distanzen eher, mit einer mittleren Abweichung von 44.95 Meter. Die mittlere Abweichung des Älteren iPhones beträgt einen relativen Messfehler von 12 % und ist signifikant grösser. Es konnte gezeigt werden, dass die Genauigkeit der Laufdistanzen signifikant abhängig ist vom Messgerät, dieses erklärt 30 % der Abweichung. Die Läufe wurden mit einem iPhone 7 und einem iPhone 8 durchgeführt (Reber, Schneider, Vogler & von Siebenthal, 2019).

1.2.3 Zusammenfassung vorhandener Studien. Derzeit gibt es nicht ein einzelnes Messsystem, welches Trainingsdaten valide und zuverlässig erfasst (Halson, 2014). Die Messwerte hängen von unterschiedlichen Faktoren ab: einerseits von der Positionierung des Messsystems am Athleten. Je näher der Sensor an der zu erfassenden Bewegungsausführung montiert werden kann, desto höher ist die Chance, den Parameter präzise abschätzen zu können (Patterson & Caulfield, 2010). Beim Laufen kann der Fehler um 25-50 % reduziert werden, durch das Tragen an der Hüfte im Vergleich zum Handgelenk. Somit ist es sinnvoll, das Messsystem möglichst nahe am Ort der eigentlichen Bewegungsausführung, beziehungsweise an einer Stelle mit möglichst wenig Eigenbewegung zu tragen. Ein weiterer Faktor sind Störungen aufgrund der Abtastezeit. Wegen den zu tiefen Messintervallen, maximal 1-s, bei vielen Geräten aber mehrere Sekunden, können positive und negative Wendepunkte im Gelände abgeschnitten werden (Ammann, Taube, Kummer et al., 2016). Dies führt zu einer Unterschätzung der Höhendifferenz und womöglich auch der Distanz, wie eine identische Argumentation im Bereich des Radfahrens lautete (Witte & Wilson, 2004). Hier wurden die Geschwindigkeiten in kurvigen Parcours unterschätzt, da in Folge der tiefen Abtastezeit die Kurve vom Messinstrument nicht registriert wurde. Dieser Einfluss wurde grösser, desto kleiner die Kurvenradien waren. Bei den Messungen mit GPS hat die Umgebung einen grossen Einfluss. Je nachdem, ob im Wald, in der Stadt oder im freien Gelände gemessen wird, sind die Messfehler unterschiedlich gross (Maddison & Ni Mhurchu, 2009; Gilgen-Ammann, in press; Wick, 2013). Auch das Wetter, die Temperatur und der Luftdruck können einen Einfluss auf die Messungen haben. Diese Faktoren hatten in den vorliegenden Studien aber nie einen starken Einfluss gespielt (Ammann, Taube, Kummer et al., 2016). Die Messungen bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten führten zu grossen Unterschieden bei der Erfassung der Daten mit Beschleunigungssensor. Die langsamen Geschwindigkeiten wurden überschätzt, die schnellen hingegen unterschätzt (Wahl et al., 2017). Bei einer anderen Studie wiederum, welche mit GPS gemessen hat, konnte kein signifikanter Messunterschied durch die Geschwindigkeit gefunden werden (Ammann, Taube, Kummer et al., 2016). Möglicherweise spielt bei den Messungen auch die Körpergrösse eine Rolle, deshalb wurde diese bei einigen Studien auch miteinbezogen, jedoch kein signifikantes Ergebnis gefunden (Ammann, Taube, Neuhaus et al., 2016). Das benutzte Messgerät ist ganz klar ein wichtiger Faktor. Den grossen Einfluss des gewählten Modells des Messgerätes zeigen auch Reber et al. (2019) bei ihrer Messung mit der App ready. Nicht zuletzt sind die Unterschiede zwischen GPS und Beschleunigungssensor markant und eine Kombination der beiden ist von Vorteil (Wahl et al., 2017).

1.3 Bezug des 4-Minuten-Laufes zur Ausdauerfähigkeit

Um den Bezug des 4-Minuten-Laufes zur Ausdauerfähigkeit zu erkennen, muss zuerst der Begriff der Ausdauerfähigkeit genau definiert werden. Ausdauer ist die Fähigkeit, «einer sportlichen Belastung physisch und psychisch möglichst lange widerstehen zu können (d.h. eine bestimmte Leistung über einem möglichst langen Zeitraum aufrechterhalten zu können) und sich nach sportlichen Belastungen rasch zu erholen. Verkürzt: Ausdauer = Ermüdungswiderstandsfähigkeit + Erholungsfähigkeit» (Grosser, Starischka, Zimmermann & Zintl, 1993, S. 97).

Die Ausdauer hat somit eine zeitliche Komponente und einen physischen, aber auch psychischen Aspekt (Rouvenaz, 2015). Sie charakterisiert die psychophysische Ermüdungswiderstandsfähigkeit des Sportlers (Weineck, 2019). Das Resultat einer langen Laufleistung ist abhängig von der aeroben Kapazität (Cazorla, 2014). Diese wird bestimmt, durch die potentiell verfügbare Energiemenge über den oxydativen Weg. Diese Energiemenge setzt sich zusammen aus der Menge des verfügbaren Substrates und dem im System vorhandenen Sauerstoff. Die Kapazität des Herz-Kreislauf-, Atmungs- und Stoffwechselsystems sind grundlegend. Die Ausdauerleistung ist somit ein Puzzle von vielen Faktoren: VO₂max, die Zeitspanne, über welche ein bestimmter %-Anteil der VO₂max erhalten werden kann, Laufökonomie und Motivation. Folglich spielt die VO₂max eine bedeutende Rolle für die Ausdauerleistung. Für die Gestaltung der App ready war es wichtig, dass der Leistungstest so kurz als möglich, einfach mit der App durchführbar und trotzdem valide ist. Deshalb wurde der 4-Minuten-Lauf als Richtmass für die Ausdauerfähigkeit gewählt.

1.3.1 Zusammenhang VO₂max und 4-Minuten-Lauf. Der Begriff VO₂max stellt die aerobe Kapazität einer Person dar. Dies ist die maximale Sauerstoffmenge, welche vom Körper während einer maximalen Anstrengung aufgenommen werden kann (Patrick, 2018). Sie steigert sich, wenn die Herzleistung zunimmt (maximale Herzfrequenz, Schlagvolumen) und/oder die Nutzung des Sauerstoffs in der Muskulatur effizienter wird. Auch die Kapazität zur Diffusion des eingeatmeten Sauerstoffes von den Lungen ins Blut, die Anzahl rote Blutkörperchen und die Kapillarbahnen spielen dabei eine Rolle (Rouvenaz, 2015). Die VO₂max ist ein direktes Mass für den aeroben Energieumsatz. Je höher sie ist, desto besser (Balow, 2019). Sie ist nicht der Beweis für eine gute Ausdauerleistung, aber die Basis dafür. Je höher die VO₂max ist, desto länger kann man eine höhere Belastung durchhalten. Die Messwerte werden in Liter pro Minute angegeben. Da die VO₂max stark von der Körpermasse abhängig ist, wird sie in Relation zum Körpergewicht angegeben (ml O₂/min/kg). Dieser Wert liegt bei

Frauen um die 35 ml/min/kg, bei Männern um die 40 ml/min/kg und bei Ausdauersportlern bei 60-80 ml/min/kg ("VO2max", 2019). Effektiv für die Verbesserung der VO2max ist intensives Intervalltraining, wie zum Beispiel ein 4x4 Minuten Berglauftraining (Balow, 2019). Die allgemeine aerobe Kurzzeitausdauer beinhaltet Beanspruchungen mit einer Belastungsdauer von 3 bis 10 Minuten. In dieser Kategorie befindet sich auch der 4-Minuten-Lauf. Laboruntersuchungen (Åstrand et al. 1960; Hollmann 1961, 1963, zitiert nach Hollmann 2009) zeigten, dass bei dieser Belastungsdauer die absolut höchste maximale Sauerstoffaufnahme zustande kommt. Infolgedessen sind die aeroben metabolischen Vorgänge ungenügend und es wird zusätzlich mit dem anaeroben System Energie gewonnen. Die kardiopulmonale Kapazität ist der zentrale Leistungsaspekt und die maximale Sauerstoffaufnahme ist ihre Basis. Somit ist die VO2max der wichtigste Einflussfaktor für die Leistung im 4-Minuten-Lauf. Gleichzeitig kann mit Hilfe der VO2max die Ausdauerleistung bestimmt und eingeordnet werden (Balow, 2019). Also ist der 4-Minuten-Lauf ein guter Indikator für die Ausdauerleistungsfähigkeit eines zukünftigen Rekruten.

1.3.2 Zusammenhang 4-Minuten-Lauf und 12-Minuten-Lauf. Das «critical power» Konzept zeigt den Zusammenhang zwischen einem Leistungsoutput und der Zeit, in der er stabil gehalten werden kann, dar. Der Punkt des «critical power» wird erreicht, wenn die stabilen Werte wie Kreatinphosphat im Muskel, Blutlaktat und Sauerstoffaufnahme im Blut (VO2) nicht mehr stabil gehalten werden können. Ab diesem Zeitpunkt befindet sich der Sportler nicht mehr im «steady-state» der Energiebereitstellung und bewegt sich im hohen Intensitätsbereich, welcher über dem Critical Power liegt (Vanhatalo, Jones & Burnley, 2011). Für kontinuierliche Leistungen, wie sie im Ausdauersport anzutreffen sind, kann der «CP» sehr gut angewendet werden, um Leistungen zu prognostizieren und Trainingspläne zu erstellen (Jones & Vanhatalo, 2017). Somit kann angenommen werden, dass bei einer All-Out Leistung in einem 4-Minuten-Lauf auch auf die gesamte Ausdauerleistungsfähigkeit geschlossen werden kann. Durch eine von der Literatur abgeleitete Formel kann vom 4-Minuten-Lauf auf den 12-Minuten-Lauf geschlossen werden und umgekehrt. Die Geschwindigkeit während einem 12-Minuten-Lauf entspricht 87 % der Geschwindigkeit eines 4-Minuten-Laufes. Beim Umwandeln dieser Formel, kann auch auf die zurückgelegte Distanz eines möglichen 12-Minuten-Laufes zurückgeschlossen werden. Für die Distanz des 12-Minuten-Laufes wird die zurückgelegte Distanz des 4-Minuten-Laufes mit 2.61 multipliziert (12-Minuten-Lauf Distanz [m] = 4-Minuten-Lauf Distanz [m] * 2.61) (Gilgen-Ammann, persönliche Kommunikation, 18.12.2019).

1.4 Ziel der Arbeit

Das Ziel dieser Arbeit ist es einen Beitrag dazu zu leisten, die Messgenauigkeit bei Distanzmessungen der App ready, zu verbessern. Dadurch kann die Leistung der Trainierenden genauer beurteilt werden und der Trainingsplan besser an ihre tatsächlichen Fähigkeiten angepasst werden. Um die App im Training sinnvoll benützen zu können fordern wir bei den Messungen eine hohe Genauigkeit. Die Abweichung sollte weniger als 10 % betragen.

Die Fragestellung dieser Arbeit lautet:

«Welche Faktoren haben einen negativen Einfluss auf die Messgenauigkeit der App ready beim 4-Minuten-Lauf?»

Um dies herauszufinden wird der Einfluss von Betriebssystem, GPS Einstellung, Trageort des Smartphones, Alter des Smartphones, Umgebung (Stadt, Wald, im Freien), Luftdruck, Bewölkungsgrad, Laufgeschwindigkeit, Anzahl Kurven und Beinlänge (Körpergrösse) auf die Genauigkeit der Distanzangabe der App ready untersucht.

Wie wurden diese unterschiedlichen Messfaktoren gewählt? Das Ziel ist es, alle möglichen Einflussfaktoren für die Genauigkeit der Messwerte miteinzubeziehen. Im Kapitel «1.2.3 Zusammenfassung Ergebnisse und Diskussion» wurde auf die Unterschiede bei vorgängigen Messungen eingegangen. Es ist interessant zu untersuchen, ob diese Effekte auch bei unserer Studie gemessen werden können. Die exemplarische Validierungsstudie der Masterstudenten der EHSM in Magglingen mit der Applikation ready zeigte, dass die Genauigkeit der Messung signifikant vom Messgerät abhängig ist. Der grosse Anteil der erklärten Abweichung von 30 % führt dazu, dass dieser Faktor in dieser Studie genauer untersucht wird (Reber et al., 2019).

Somit lautet die Hypothese der vorliegenden Studie:

«Das Betriebssystem des Messgerätes hat den grössten Einfluss auf die Messgenauigkeit bei der Messung des 4-Minuten-Laufes mit der App ready.»

2 Methode

Die vorliegende Masterarbeit ist Teil einer grösseren Studie. Zwei Masterstudierende, eine Bachelorstudentin sowie ein Praktikant haben alle unter standardisierten Bedingungen einen Teil der Datenerhebung durchgeführt. Die Messdaten wurden durch den Studienleiter zusammengetragen und als Ganzes den drei Studierenden für ihre Qualifikationsarbeiten zur Verfügung gestellt. Damit war es möglich einen grossen Datensatz hervorzubringen. Die drei Studierenden untersuchten, alle unabhängig voneinander, unterschiedliche Fragestellungen. Die Autorin der vorliegenden Masterarbeit hat 32 von 114 Datenerhebungen selbständig durchgeführt und für den Datenpool zur Verfügung gestellt.

Für die Übergeordnete Studie wurde ein Ethikgesuch gestellt, welches durch das internal Review Board der Eidgenössischen Hochschule für Sport Magglingen EHSM mit der Referenznummer 099 angenommen wurde.

2.1 Untersuchungsgruppe

Getestet wurden fünf Probanden, darunter drei Frauen und zwei Männer. Alle Probanden waren sportlich, gesund und leistungsfähig. Die Tests wurden in Brig, Bern, Magglingen und in Rapperswil-Jona durchgeführt. Bei den Messungen ging es vorrangig um die Messgeräte und die äusseren Umstände, als um die Leistung der Testpersonen.

Tabelle 1

Merkmale der Probanden

Proband	<i>n</i>	Alter [Jahre]	Gewicht [kg]	Grösse [m]	Beinlänge [cm]	Ge- schlecht [w/m]	Smartphone
1	16	25	65	1.65	76	w	Huawei P10
2	16	57	57	1.63	75	w	IPhone 6s
3	16	25	58	1.69	79	w	IPhone7
4	24, 24	32	74	1.75	87	m	Samsung S7, IPhone 10R
5	10, 8	14	69	1.83	84	m	Iphone 8, Nokia 9

2.2 Studiendesign

Die Messungen erfolgten auf acht unterschiedlichen Strecken. Die fünf Probanden liefen insgesamt zwischen 16 und 48 Mal. Jeder Proband verfügte über ein oder zwei unterschiedliche Messgeräte (unterschiedliches Smartphone-Modell), welches er abwechselnd am Oberarm und an der Hüfte trug. Diese Parameter wurden nun auf unterschiedlichem Untergrund: Finnenbahn, Tartanbahn und auf geteeter Strasse gemessen. Wobei sich einige Strecken im Freien befanden, andere wiederum in bewaldeter oder urbaner Umgebung. Die Läufe wurden je einmal mit GPS und Schrittfrequenzmesser gemessen und einmal ohne GPS, zuletzt wurde jede dieser Varianten einmal schnell und einmal langsam durchgeführt (zwischen 9.7 und 14 km/h). In Abbildung 3 sind die 16 unterschiedlichen Messungen als Baumdiagramm aufgelistet, welche mit jedem Smartphone mindestens durchgeführt wurden.

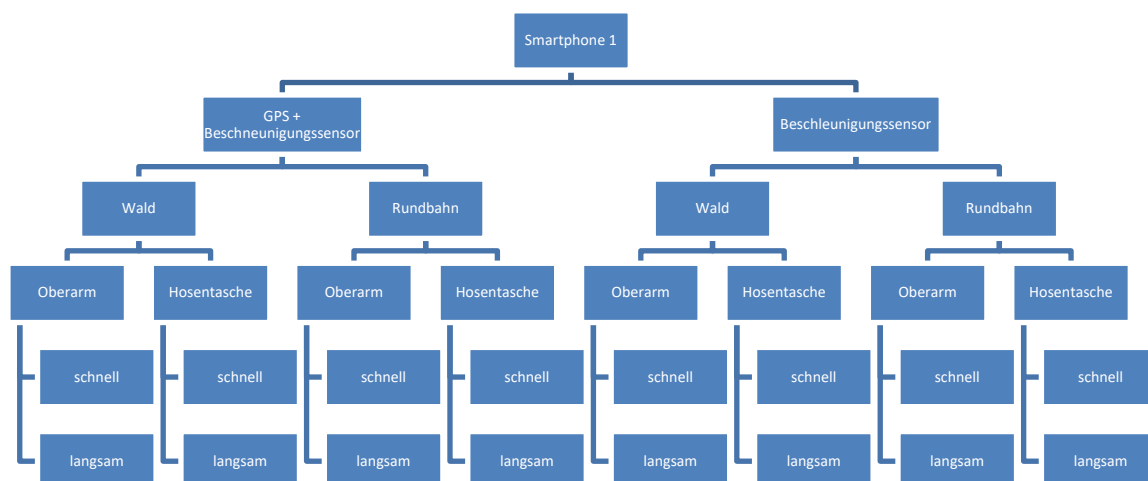


Abbildung 3. Schematische Darstellung der Messungen mit dem Smartphone.

Bei einigen Messungen wurde eine dritte, geteerte Strecke zusätzlich gemessen. Alle Studierenden führten ihre Messungen an unterschiedlichen Tagen, Orten und mit verschiedenen Geräten aus, so dass am Ende diverse Einflussfaktoren auf die Messgenauigkeit untersucht werden konnten. Insgesamt wurden 114 Messdurchgänge (4-Minuten-Läufe) auf sieben unterschiedlichen Smartphones, durch fünf verschiedengrosse Probanden absolviert.

2.3 Messinstrumente und Methode

Für diese Studie ist die Messgenauigkeit ausschlaggebend, deshalb wurden die Messungen über unterschiedliche Geräte durchgeführt. So dass eine genügend hohe Messgenauigkeit vorhanden war und die Daten aussagekräftig sind.

2.3.1 Smartphones. Auf allen Smartphones wurde die App ready installiert und vorbereitet für die Distanzmessung (Abbildung 4). Es handelte sich um verschiedene Modelle; zum einen iPhones (iPhone 6s, 7, 8, 10R), zum andern Android-Modelle (Huawei P10, Nokia 9, Samsung S7 Edge).



Abbildung 4. Smartphone mit Distanzangabe nach Messung.

2.3.2 Schrittzähler. Die Anzahl Schritte während den Läufen wurde im Kopf mitgezählt.

2.3.3 Rollrad. Mit dem Rollrad (Digital Measure Mini, Senshin Industry CO., LTD, Model 3 der Geometra AG) oder einem 25m Massband wurde die Gesamtdistanz der Laufbahn abgemessen, alle zehn Meter wurde eine Markierung gelegt, um die Distanzen zu markieren (Abbildung 5). Durch abgezählte Schritte bis zur nächsten Markierung konnte die Laufdistanz in den vier Minuten bis auf einen Meter genau angegeben werden.



Abbildung 5. Rollrad während dem Abmessen der Distanz.

2.3.4 Messverfahren. Alle Probanden konnten in ihrer Wohnregion die Laufstrecken selber auswählen. Somit wurde die Variabilität der Einflussfaktoren grösser. Ein Teil der Messungen wurden auf einer bewaldeten Finnenbahn absolviert. Mit einem Rollrad wurde die Distanz abgemessen und alle zehn Meter eine beschriftete Distanzmarkierung eingesteckt. Auf unebenen Untergrund wurde die Abmessung der Distanz mittels Rollrad durch ein 25-Meter-Massband kontrolliert. Für die Messungen wurde stets der Selbsttest der App ready gestartet und ein 4-Minuten-Lauf durchgeführt. Der zweite Teil fand auf einer Tartanbahn statt. Das Messverfahren lief identisch ab, wie bei den vorherigen Messungen. Generell sollten die Messstrecken möglichst flach sein. Mit einem maximalen Höhenunterschied von neun Meter, wurde dies beachtet. Die Tartanbahnen enthielten jeweils gar keine Steigung. Der Messstandort war nicht bedeutend, aber die Genauigkeit erhielt höchste Priorität.

2.4 Datenanalyse und statistische Auswertung

Das Hauptziel der Auswertung war es herauszufinden, welche unabhängigen Variablen die abhängige beeinflussen. Die abhängige Variable war die Differenz zwischen der tatsächlich gelaufenen Distanz und jener, die von der App angegeben wird. Durch unterschiedliche Kombinationen der Einflussvariablen während den Messungen und einer multiplen linearen Regression wurde versucht, die Einflussstärke der einzelnen Variablen auf den Gesamtfehler herauszufinden. Dafür wurde eine multiple lineare Regression mit schrittweisem Ausschluss von Variablen ohne relevanten Einfluss ($p > 0.1$) auf die erklärte Varianz der abhängigen Variable vorgenommen. Die Validität der Daten wurde mithilfe eines Mittelwertvergleichs (ANOVA) bestimmt. Die Datenaufbereitung und -auswertung wurde mittels Tabellenkalkulationsprogramm Excel (Microsoft Excel für Mac, Version 16.16.20 (200307)) und der Statistik- und Analysesoftware SPSS (IBM SPSS Statistics, Version 25) durchgeführt.

2.4.1 Datenbereinigung und -import. Bevor die Analyse durchgeführt werden konnte, wurden alle Daten bereinigt. Hierfür wurde die Anzahl der Richtungswechsel quantifiziert. Dabei wurde nicht unterschieden zwischen Kurven mit kleineren Richtungswechseln und Wendungen um 180° . Jeder Richtungswechsel wurde mitgezählt und als gleichwertig eingestuft.

Einige Probanden hatten die Beinlängen auf der Innenseite und andere auf der Aussenseite gemessen. Für die Auswertung einigten wir uns darauf, die Beinlänge an der Innenseite, vom Schritt bis zum Boden, nachzumessen.

Bevor die Analyse mit SPSS begonnen werden konnte, mussten alle Werte als binäre Daten in Kategorien eingeteilt werden. Hierbei musste der Untergrund (Asphaltiert, Tartan Laufbahn, Finnenbahn) in einen Härteindex unterteilt werden: 1 = weich, 2 = mittel, 3 = hart. Für das iPhone wurde die Zahl 1 eingesetzt und für das Android Smartphone die Zahl 0. Auch die Kategorie Smartphone nach Alter (Anzahl Jahre) wurde eingefügt und eingeteilt. Somit waren die Daten nun bereinigt und bereit für den Import ins Programm SPSS. Nach dem Import der Excel-Tabelle wurden alle Daten kontrolliert und wenn nötig, die Dezimalstellen angepasst. Zuletzt wurde der Root Mean Square Error (RMSE) berechnet. Dies ist der Betrag vom relativen Fehler zwischen Messung und wirklich gelaufener Distanz. Durch das Rechnen der Wurzel des Fehlers im Quadrat wurden alle Werte positiv und konnten für die lineare Regression als abhängige Variable verwendet werden. Mit diesem Schritt konnte die Datenbereinigung und -bearbeitung abgeschlossen werden und die Berechnungen starten.

2.4.2 Multikollinearität. Als erstes wurde kontrolliert, ob es unabhängige Variablen gibt, welche untereinander stark korrelieren. Sobald die Kollinearität bei der Korrelation nach «Pearson» einen Wert von 0.8 überstieg, war die Wechselwirkung dieser Variablen stark und eine der beiden wurde in der Regression nicht berücksichtigt. Bei der Bewölkung und Körpergrösse gab es eine zufällige Korrelation von 0.839, dies zeigt auf eine leichte Kollinearität. Auch die Tagestemperatur und die Körpergrösse korrelieren leicht, bei 0.78. Damit wurde die Körpergrösse nicht in die lineare Regression miteinbezogen. Es bleibt die Beinlänge im Modell, welche zu keiner anderen Variable eine Multikollinearität aufweist. Die Geschwindigkeit und die abgemessene Distanz korrelieren Total (1), diese Übereinstimmung ist normal, da die Geschwindigkeit aus der Distanz berechnet wurde.

2.4.3 Multiple lineare Regression. Durch die multiple lineare Regression werden schrittweise rückwärts unabhängige Variablen ausgeschlossen, welche keinen signifikanten Anteil an der erklärten Varianz der abhängigen Variable haben. Es wurde getestet, ob ein Zusammenhang zwischen mehreren unabhängigen und einer abhängigen Variable besteht (Multiple Regressionsanalyse, 2018). Das Signifikanzniveau wurde bei allen Berechnungen der Regression auf $\alpha = 0.1$ festgelegt. Die P -Werte über 0.1 wurden ausgeschlossen, da sie nicht relevant sind, weil sie die abhängige Variable nur schwach beeinflussen. Dabei wurde jeweils der grösste P -Wert entfernt und danach wieder eine neue Berechnung durchgeführt. Als abhängige Variable wurde der Mittelwert des Betrags des Messfehlers gewählt. Die unabhängigen Variablen bestanden aus: Betriebssystem, Beinlänge, Luftdruck (Bewölkungsgrad), Temperatur, Bodenhärte, Alter Smartphone, Trageort, Umgebung, GPS Einstellung, Laufgeschwindigkeit und der Anzahl Kurven.

3 Resultate

Insgesamt wurden 114 Messungen analysiert. Der Mittelwert des relativen Fehlers lag bei den Messwerten der App ready in der von uns gemessenen Probe mit -9.34 % innerhalb der gewünschten 10 % Genauigkeit. In Abbildung 6 ist die Abweichung der Messwerte mittels Bland-und Altmann-Diagramm dargestellt. Der Mittelwert der Standardabweichung betrug -78.57 Meter.

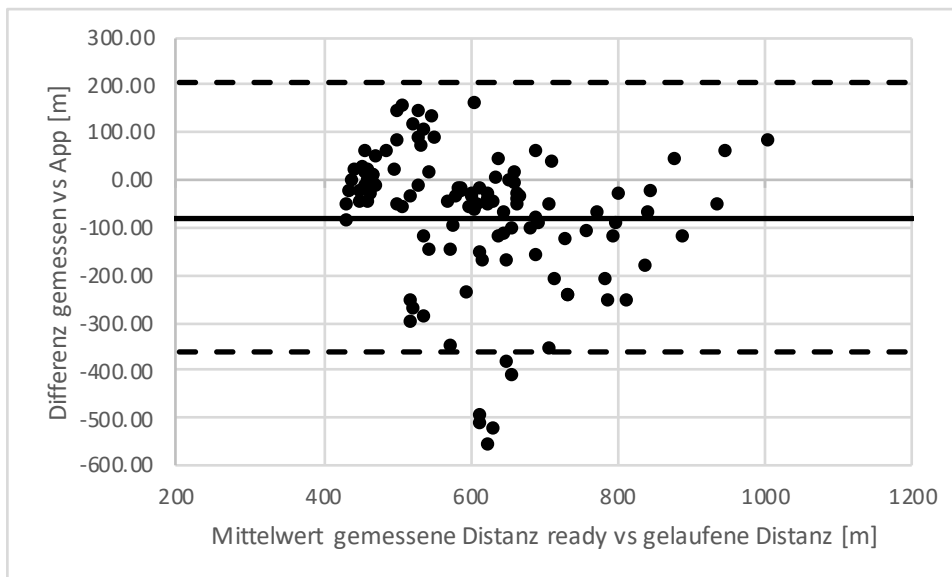


Abbildung 6. Bland-und-Altman-Diagramm zur Darstellung der Validität der Laufdistanz der App ready im Vergleich zur abgemessenen Distanz auf den unterschiedlichen Laufstrecken (n = 114).

Wenn der Prozentanteil der einzelnen Messwerte innerhalb der 10 % Toleranz analysiert wird, erfüllen nur 48.2 % der Messungen die Kriterien. Wird obengenanntes wie in Tabelle 4 in Unterkategorien geteilt, dann waren bei Smartphones mit dem iOS Betriebssystem bei eingeschaltetem GPS 59.4 % der Werte innerhalb der 10 % Toleranzzone. Ohne GPS waren es noch 44.1 %. Bei den Android Geräten lag der Anteil mit GPS ähnlich hoch bei 58.3 %, ohne GPS jedoch nur bei 29.2 %.

Tabelle 2

Anzahl Messungen innerhalb der 10 % Toleranzzone

	Betriebssystem		
	alle	iOS	Android
Alle Messungen	48.20 %		
mit GPS		59.40 %	58.30 %
ohne GPS		44.10 %	29.20 %

Die Varianzanalyse (ANOVA) zeigte, dass die verwendeten unabhängigen Variablen gemeinsam einen signifikanten Anteil der linearen Regression erklärten ($F(7,113) = 17.912$, $p = 0.000^*$ ($*p < 0.1$)). Mit 51,2 % konnte über die Hälfte der gesamten Varianz der Messfehler der ready App durch die unabhängigen Variablen erklärt werden (korrigiertes R-Quadrat). Jede der sieben Einflussvariablen wirkte sich auf die Messgenauigkeit der Resultate aus. Generell kann gesagt werden, dass mit eingestelltem GPS der Fehler signifikant kleiner war, als ohne GPS ($\beta = -0.260$, $p = 0.000$). Je mehr Kurven im gelaufenen Parcours vorhanden waren, desto grösser wurde der Fehler ($\beta = 0.146$, $p = 0.92$). Bei iPhones war der Fehler signifikant kleiner als bei Android-Geräten ($\beta = -0.311$, $p = 0.000$). Je älter das Smartphone, desto kleiner war der Fehler ($\beta = -0.189$, $p = 0.017$). Bei höherem Luftdruck ($\beta = -0.177$, $p = 0.032$) sowie bei mehr Bewölkung ($\beta = -0.280$, $p = 0.026$) war die Fehlmessung kleiner. Je grösser die Beinlänge der Probanden war, desto kleiner die Fehlmessung ($\beta = -0.308$, $p = 0.013$).

Tabelle 3

Koeffizienten der unabhängigen Variablen im Verhältnis zur abhängigen Variable RMSE (Route Mean Square Error)

Variable	Regressionskoeffizient B	Std.-Fehler	Beta	<i>T</i>	<i>p</i>
Beinlänge [cm]	-.009	.004	-.308	-2.530	.013
Luftdruck [Pa]	-.001	.000	-.177	-2.168	.032
Bewölkungsgrad ¹	-.046	.020	-.280	-2.252	.026
Betriebssystem SmPh	-.091	.021	-.311	-4.418	.000
Alter SmPh	-.023	.010	-.189	-2.422	.017
GPS on/off	-.075	.019	-.260	-3.939	.000
Anzahl Kurven	.003	.002	.146	1.702	.092

Anmerkung. SmPh = Smartphone. ¹Wolkenlos = 1, leicht bewölkt = 2, Bewölkt = 3, Regen = 4

Die Resultate wurden in zwei Gruppen unterteilt. Einmal die Messungen der Einflussfaktoren bei eingestelltem GPS und als zweites die Messung der Einflussfaktoren ohne GPS. In Abbildung 7 sind diese beiden Gruppen ersichtlich.

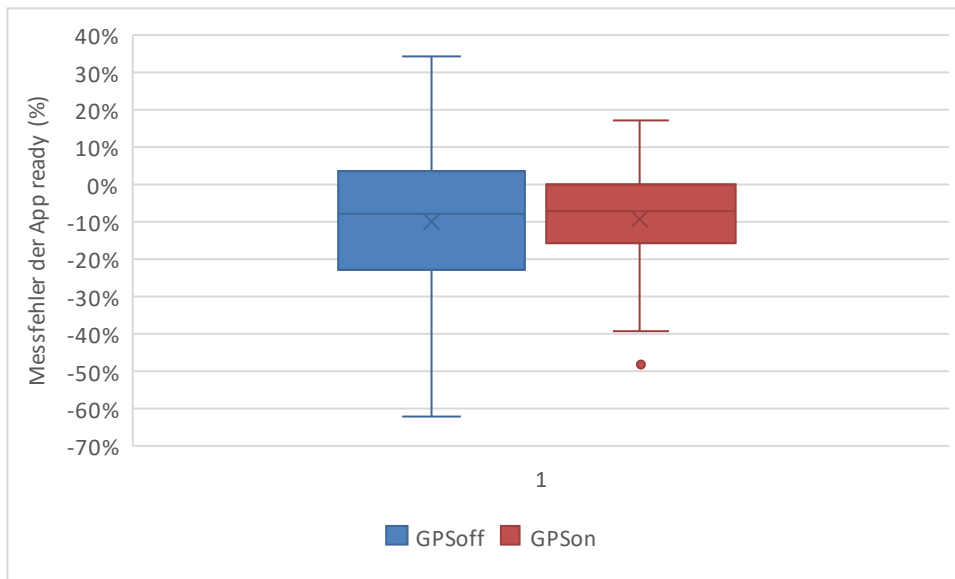


Abbildung 7. Abweichung der Messwerte mit eingestelltem GPS gegenüber Messwerten ohne GPS

In Abbildung 8 sind die Unterschiede der Anzahl gelaufenen Kurven zu sehen. Die Abweichung der Messung wurde grösser, wenn die gelaufene Strecke mehr Kurven enthielt. Die Kategorien wurden eingeteilt in keine bis drei Kurven, drei bis sieben Kurven und acht Kurven und mehr.

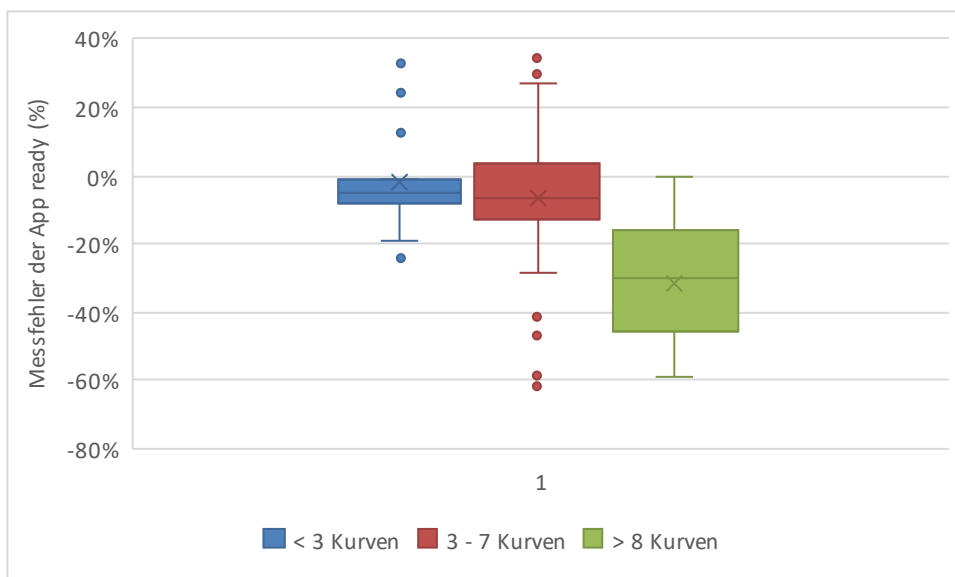


Abbildung 8. Abweichung der Messwerte nach Anzahl gelaufener Kurven im Parcours.

Die Leistung je nach Smartphone-Modell und Alter des Smartphones unterschied sich stark (Abbildung 9).

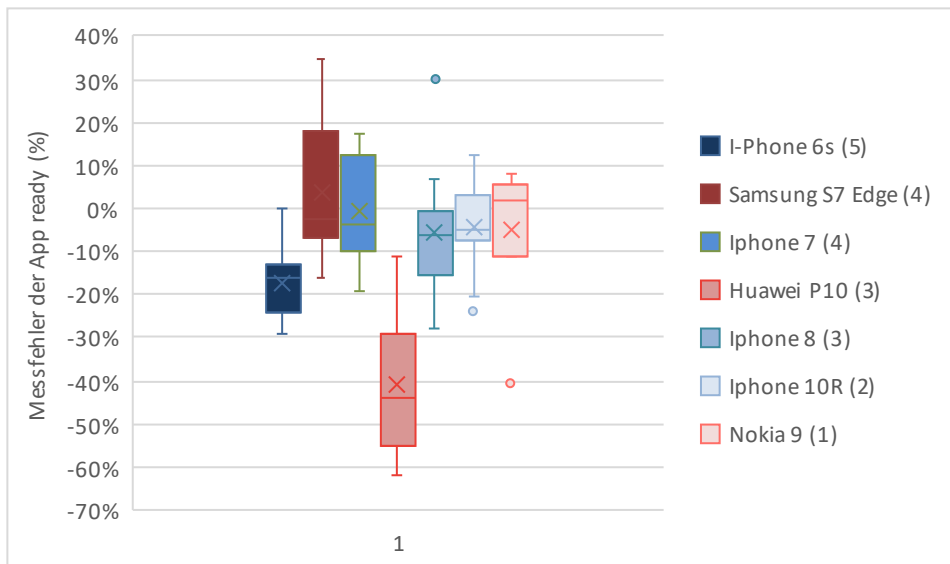


Abbildung 9. Messfehler nach Smartphone-Modell und Alter des Smartphones. In der Legende in Klammer ist das Alter des Smartphones in Jahren angegeben. Die Farben der Boxplots sind nach dem Betriebssystem aufgeteilt: in roter Farbe alle Android-Smartphones, in blau alle Applegeräte.

In Abbildung 10 sind die Unterschiede der Messgenauigkeit nach der Beinlänge des Probanden ersichtlich.

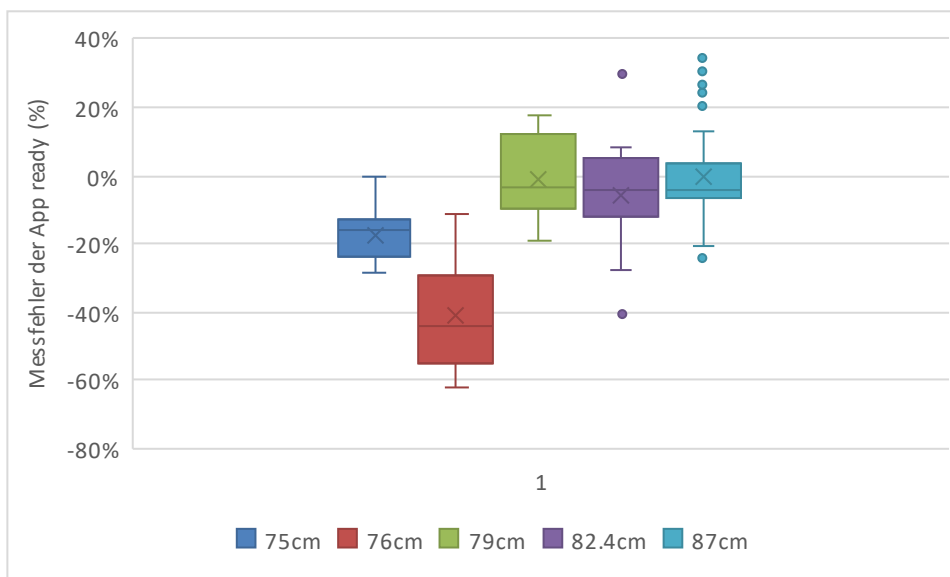


Abbildung 10. Unterschiede der Messgenauigkeit nach der Beinlänge des Probanden.

Die umgekehrte Korrelation der Messgenauigkeit mit dem Alter der Smartphones ($\beta = -0.189$, $p = 0.017$) zeigte, dass ältere Smartphones genauere Messwerte anzeigten. Wenn hingegen nur die Messreihe der vier Generationen iPhones untersucht wurde, zeigte der absolute Mess-

fehler (RMSE) einen signifikanten positiven Zusammenhang (Abbildung 11). Je älter das Smartphone, desto grösser der Messfehler ($r = 0.411$, $p = 0.001$).

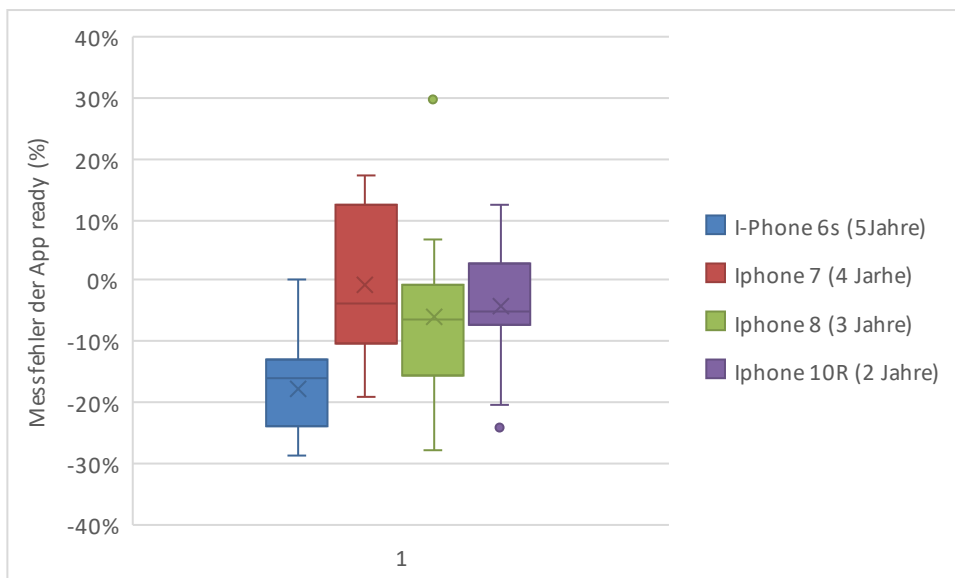


Abbildung 11. Messgenauigkeit nach Alter des iPhones.

Die nachfolgenden Graphiken zeigten bei der multiplen linearen Regression keinen signifikanten Unterschied. Die Messunterschiede der gelaufenen Distanz im Wald, der Stadt oder im offenen Gelände sind in Abbildung 12 ersichtlich.

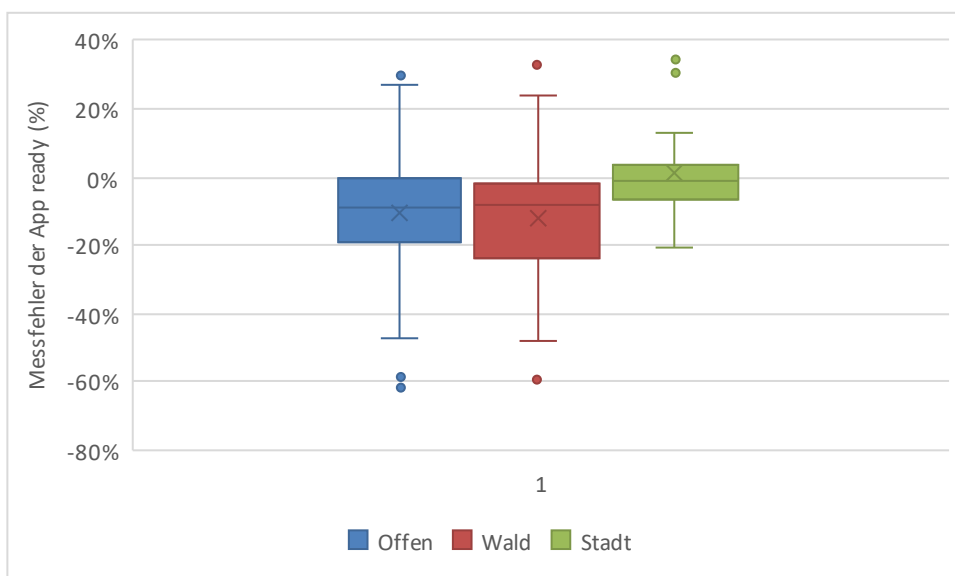


Abbildung 12. Die unterschiedliche Umgebung zeigte keinen signifikanten Unterschied auf die Messergebnisse.

In Abbildung 13 ist der Unterschied nach Trageort am Oberarm oder an der Hüfte zu sehen.

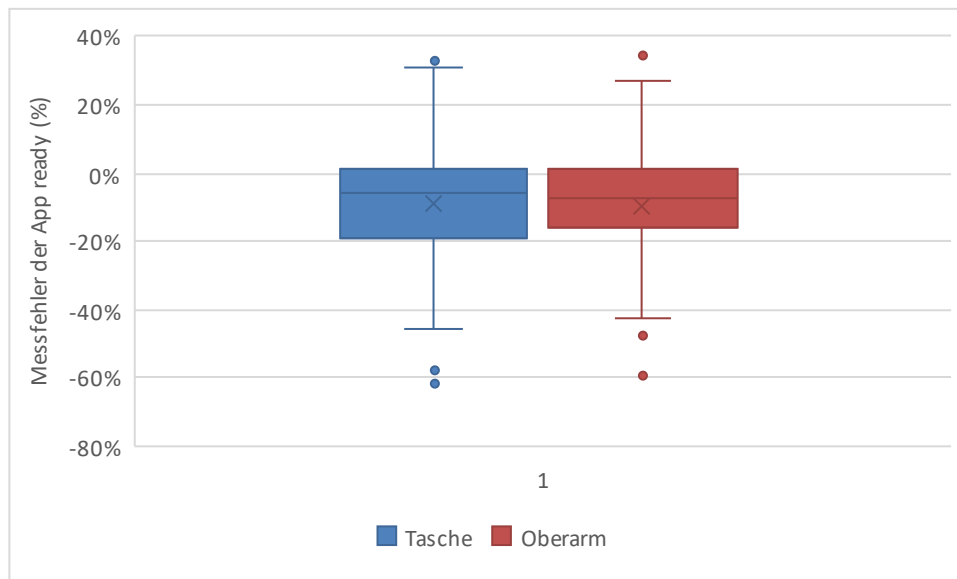


Abbildung 13. Der Unterschied des Messfehlers nach Trageort zeigte kein signifikanter Unterschied auf die Messergebnisse.

Auch bei Geschwindigkeitsdifferenzen wurde kein signifikantes Resultat gefunden. Die Trendlinie der Punktwolke zeigt aber dennoch, dass generell die schnelleren Läufe eher unterschätzt werden und langsame Läufe eher überschätzt werden. Am genauesten sind die Messwerte bei 2.18 m/s (7.85 km/h) (Abbildung 14).

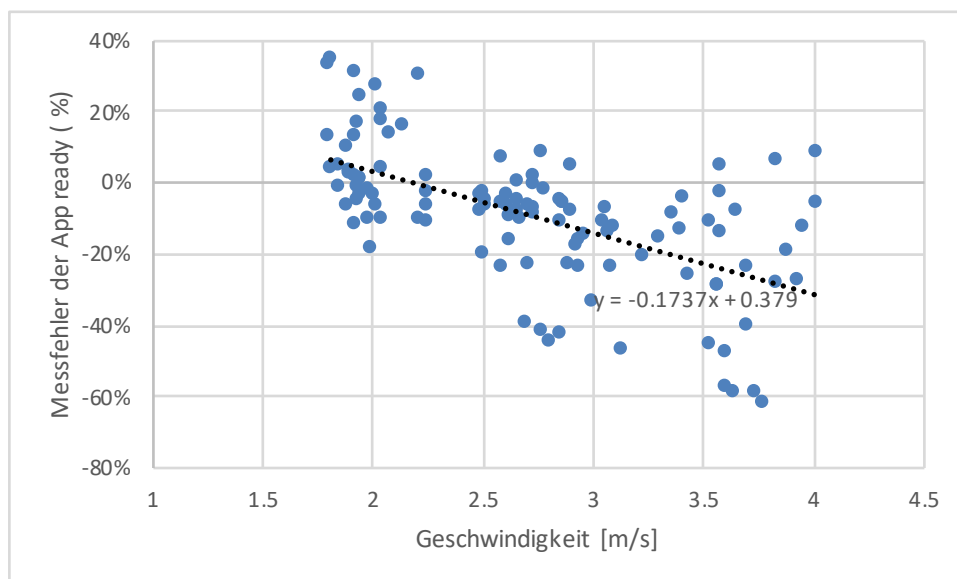


Abbildung 14. Messfehler der App ready in Prozent im Bezug zur Laufgeschwindigkeit der Probanden.

3.1 Einflussfaktoren der Messungen mit GPS

Bei der linearen Regression für nur die 56 Messungen mit eingeschaltetem GPS Modus, zeigten die unabhängigen Variablen Anzahl Kurven, Betriebssystem Smartphone und Beinlänge einen relevanten Einfluss ($p < 0.1$) auf die Messgenauigkeit. Die Varianzanalyse (ANOVA) zeigte, dass die drei unabhängigen Variablen gemeinsam einen signifikanten Anteil der linearen Regression erklärten ($F(3,55) = 19.776, p = 0.000^* (*p < 0.1)$). Mit einem korrigierten R-Quadrat von 0.51 beeinflussten sie ungefähr die Hälfte des Resultates.

Die stärkste Wirkung auf die Resultate mit GPS hatte die Beinlänge ($\beta = -0.442, p = 0.000$); je grösser diese war, desto kleiner wurde der Fehler. Als zweiter Faktor waren die Anzahl Kurven zu nennen ($\beta = 0.371, p = 0.002$). Je mehr Kurven im gelaufenen Parcours vorhanden waren, desto grösser wurde die Abweichung zwischen der echten und der gemessenen Distanz. Der dritt wichtigste Faktor war die Art des Smartphones; bei iPhone-Modellen war der Fehler generell kleiner als bei Android-Modellen ($\beta = -0.177, p = 0.073$).

In Abbildung 15 ist der Messunterschied mit GPS nach den Anzahl Kurven abgebildet.

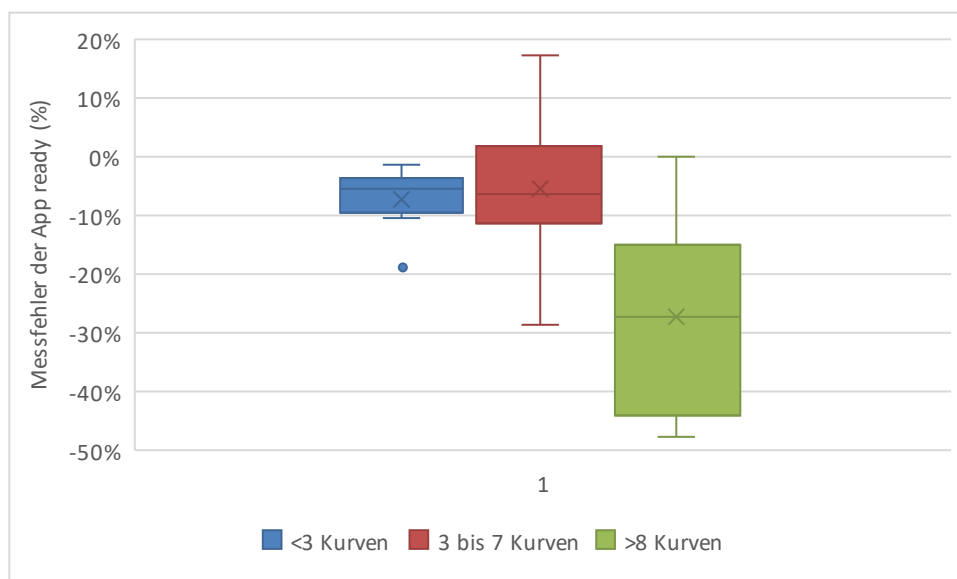


Abbildung 15. Messunterschied nach Anzahl Kurven bei Messungen mit eingestelltem GPS.

Abbildung 16 zeigt die Abweichung der Messung nach dem benutzten Smartphone-Modell.

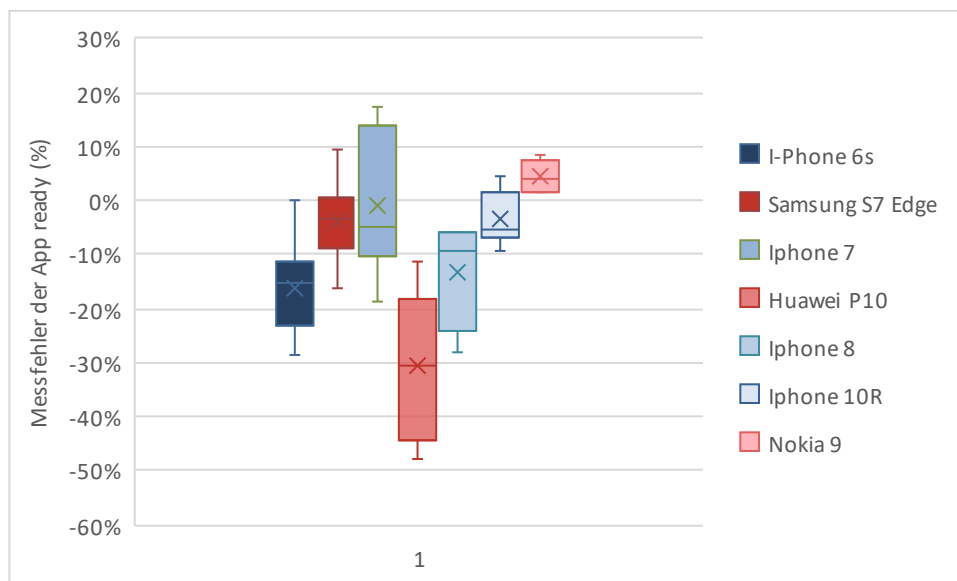


Abbildung 16. Leistung nach Smartphone-Modell. In der Legende ist das älteste Smartphone zuoberst, das neueste zuunterst eingeteilt. Die Farben der Boxplots sind nach dem Betriebssystem aufgeteilt: in roter Farbe alle Android-Smartphons, in blau alle Applegeräte.

Abbildung 17 zeigt die Messunterschiede nach der Beinlänge der Probanden.

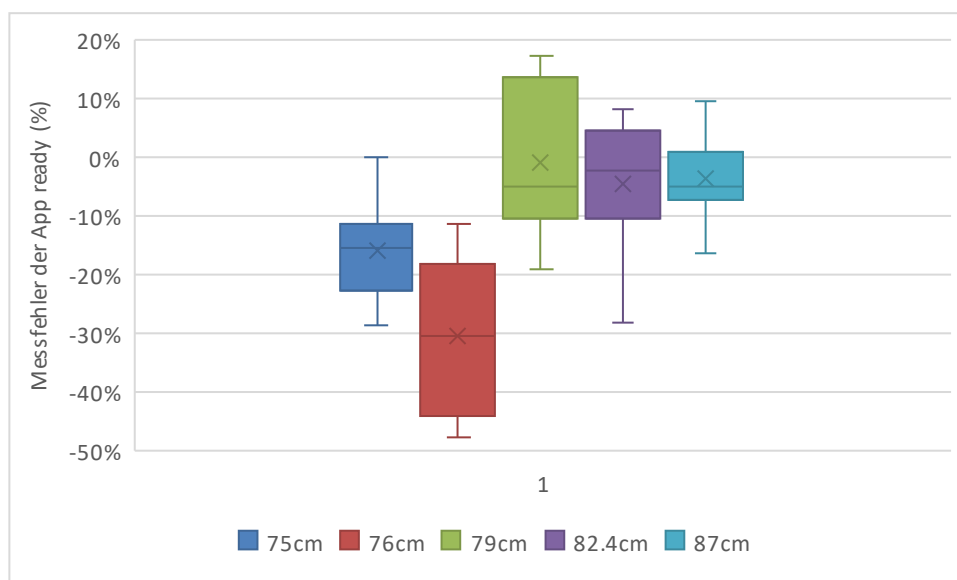


Abbildung 17. Unterschiede der Messgenauigkeit nach der Beinlänge des Probanden bei Messungen mit GPS.

3.2 Einflussfaktoren der Messungen ohne GPS

In diesem Abschnitt wird gleich vorgegangen wie im Kapitel 3.1, mit dem Unterschied, dass nun die Messwerte der 58 Messungen, welche nur mit dem Beschleunigungssensor und ohne GPS gemessen wurden, analysiert werden. Als einflussreiche Faktoren für die Messgenauigkeit galten das Alter und das Betriebssystem des Smartphones, die Beinlänge der Probanden, der Luftdruck und Bewölkungsgrad während der Messung. Die Varianzanalyse (ANOVA) zeigte, dass diese fünf unabhängigen Variablen gemeinsam einen signifikanten Anteil der linearen Regression erklärten ($F(5,57) = 14.931, p = 0.000^*$ ($*p < 0.1$)). Sie beeinflussten über die Hälfte des Resultates, mit einem korrigierten R-Quadrat von 0.55.

Den stärksten Einfluss hatte das Betriebssystem des Smartphones (Abbildung 18), die iPhones hatten kleinere Messfehler als die Android Smartphones ($\beta = -0.433, p = 0.000$). Weitere signifikante Einflussfaktoren waren der Luftdruck und der Bewölkungsgrad. Bei höherem Luftdruck, war auch der Messfehler grösser ($\beta = -0.280, p = 0.008$), bei grösserer Bewölkung war der Messfehler kleiner ($\beta = -0.327, p = 0.039$). Je grösser die Beinlänge des Probanden war, desto kleiner der Messfehler ($\beta = -0.360, p = 0.019$), dies ist in Abbildung 19 verbildlicht. Auch das Alter des Smartphones spielte eine signifikante Rolle, je älter das Smartphone, desto weniger Messfehler geschahen ($\beta = -0.243, p = 0.025$).

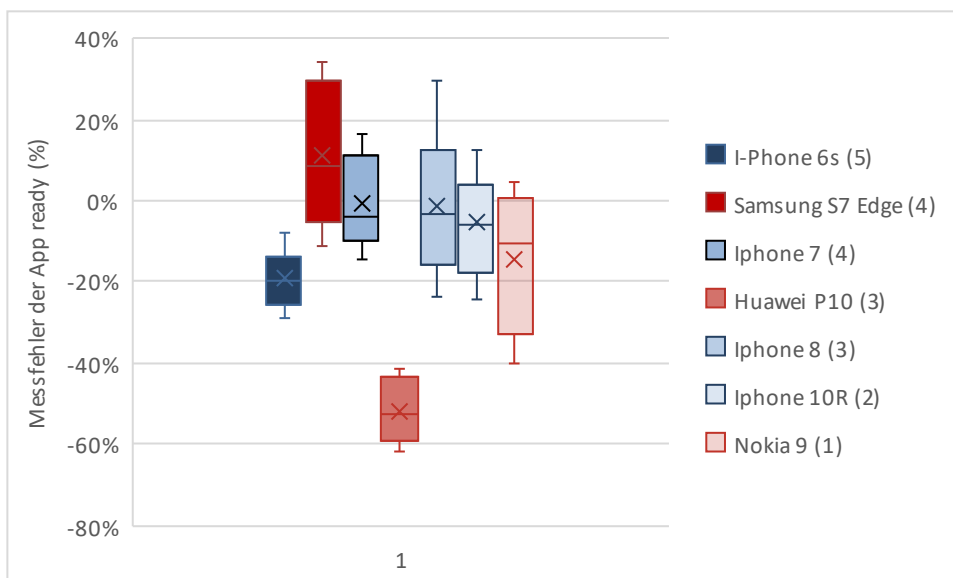


Abbildung 18. Messfehler der unterschiedlichen Smartphones bei den Messungen ohne GPS. Einteilung nach Smartphone-Modell und Alter. In blauer Farbe iPhone Modelle, in roter Farbe Android-Modelle.

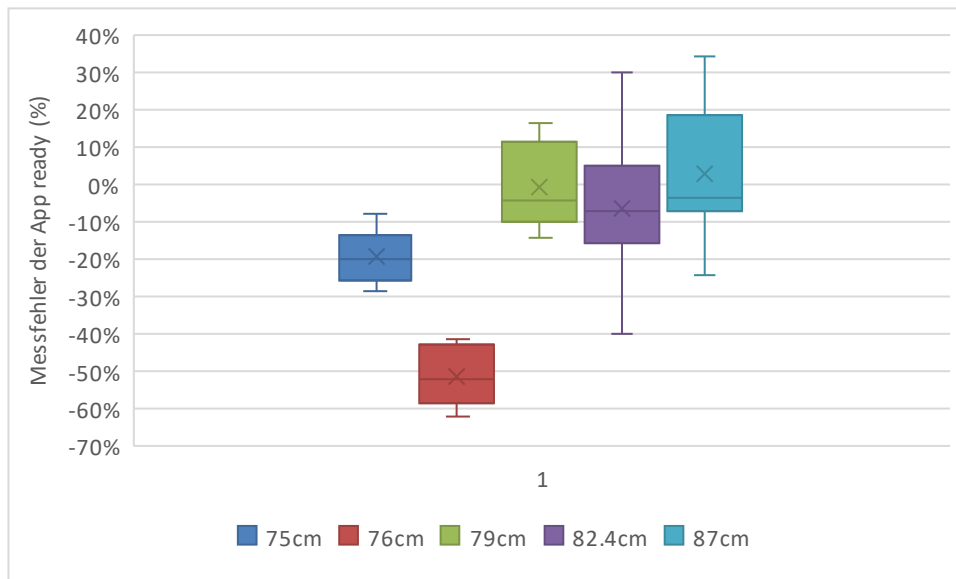


Abbildung 19. Messfehler der App ready nach Beinlängenunterschieden der Probanden bei den Messungen mit Beschleunigungssensor (ohne GPS).

In Abbildung 20 ist mittels Boxplot die Genauigkeit der Messungen in Bezug auf das Alter der Smartphones dargestellt ($\beta = -0.243$, $p = 0.025$). Statistisch gesehen massen die älteren Smartphones genauer als die neueren. Wenn nur die Smartphones mit iOS Betriebssystem (iPhones) untersucht wurden, dann ergibt sich eine Messreihe von vier Generationen, bei welchen dieser Befund nicht bestätigt werden konnte (Abbildung 21).

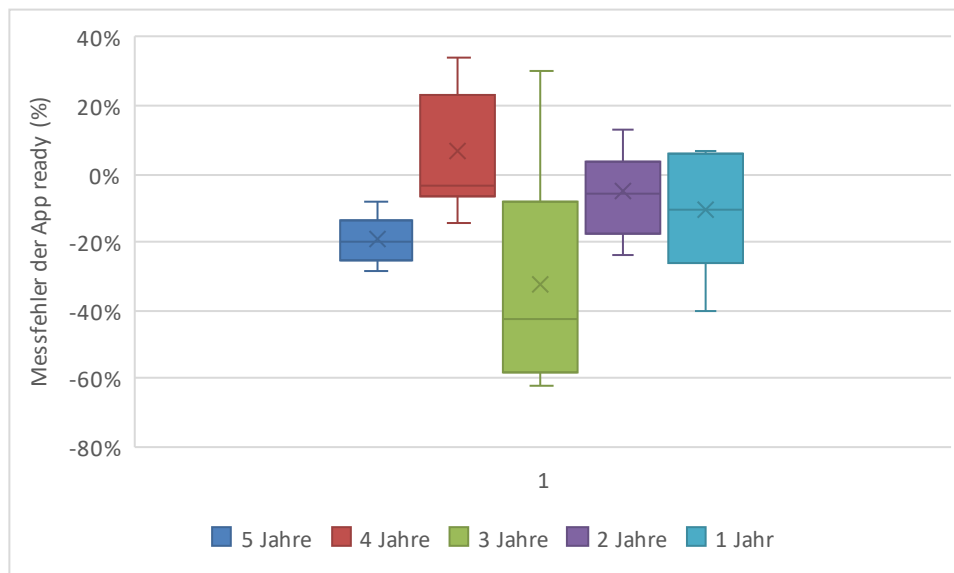


Abbildung 20. Messfehler der App ready bei den Messungen mit Beschleunigungssensor (ohne GPS). Die Einteilung geht von links nach rechts, vom ältesten zum jüngsten Smartphone.

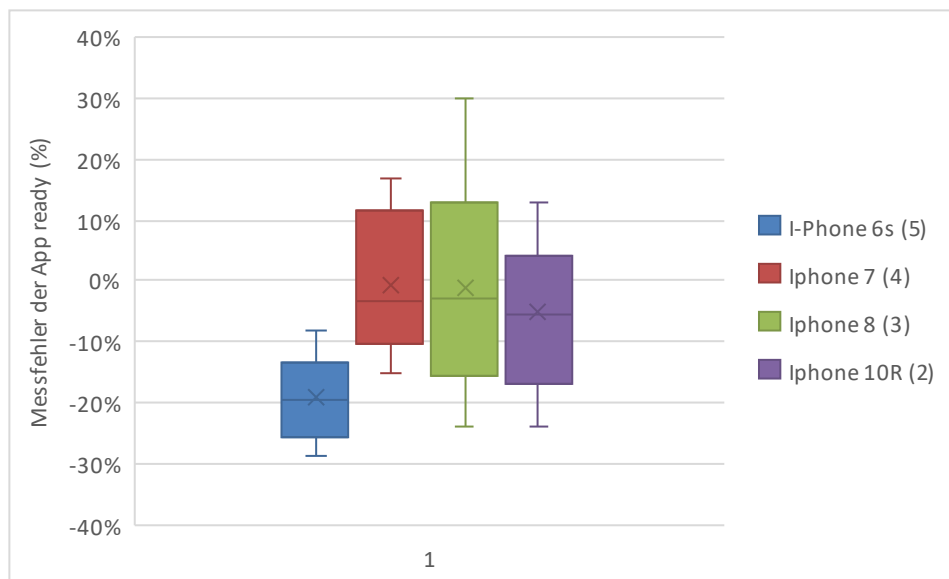


Abbildung 21. Messfehler der App ready bei den Messungen aller iPhones mit Beschleunigungssensor (ohne GPS). Die Einteilung geht von links nach rechts, vom ältesten zum jüngsten iPhone.

3.3 Differenzen der Messungen mit GPS gegenüber denjenigen ohne GPS

Bei beiden Fällen bestand eine umgekehrte Korrelation zwischen der Beinlänge und dem Messfehler. Der Fehler war signifikant kleiner, bei grösserer Beinlänge. Des Weiteren waren die iPhones bei beiden Messungen genauer. Der Mittelwert des relativen Fehlers von Android-Geräten lag bei -13 %, derjenige von Smartphones mit einem iOS Betriebssystem bei -7 %. Der Beschleunigungssensor der iPhones scheint besser zu funktionieren, da der Mittelwert des Messfehlers je bei 7 % lag, bei den Android-Geräten hingegen lag er ohne GPS bei 11 % und mit GPS bei 14 %. Der Mittelwert des Fehlers bei dem Modell Huawei P10 lag bei -41 %, derjenige der restlichen Smartphone-Modellen zusammengezählt bei -4.2 %. In Abbildung 22 sind die Unterschiede nach Smartphone-Modell zu sehen.

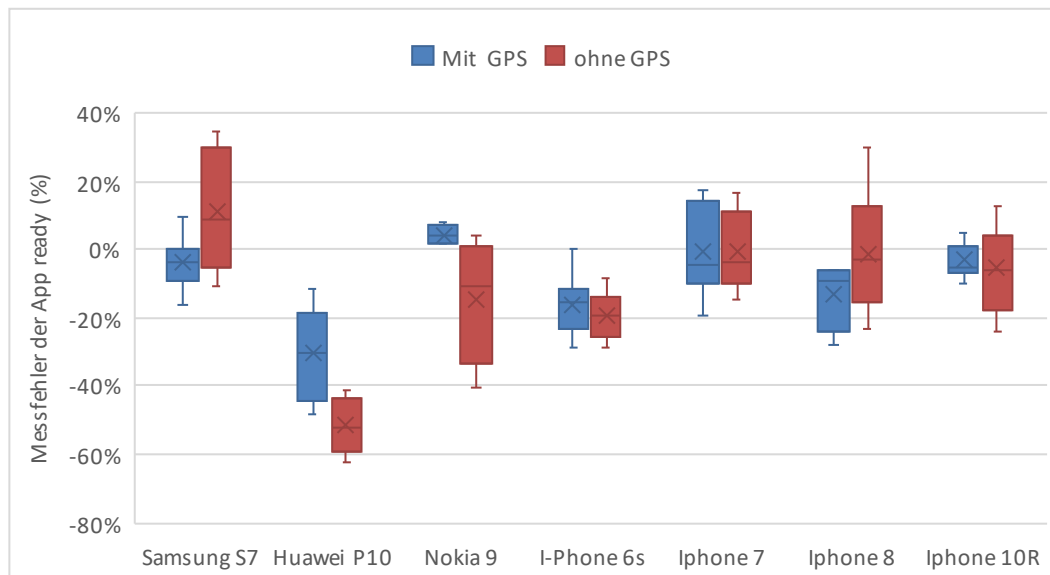


Abbildung 22. Abweichung des Messfehlers nach Betriebssystem und Modell des Smartphones. In blauer Farbe die Messungen mit Beschleunigungssensor und GPS, in roter Farbe die Werte der Läufe, welche nur mit dem Beschleunigungssensor gemessen wurden.

Mit eingestelltem GPS-System galt: je mehr Kurven, desto grösser wurde der Messfehler. Ohne GPS war dieser Unterschied nicht signifikant. Der Luftdruck, der Bewölkungsgrad und das Alter der Smartphones war bei den Messungen ohne GPS signifikant, bei den Messungen mit GPS jedoch nicht.

4 Diskussion

Um die eigene Leistungsfähigkeit zu verbessern und sich auf die Belastung der Rekrutenschule vorzubereiten, ist ein zielgerichtetes Training ein entscheidender Bestandteil im Prozess der körperlichen Anpassungen (Ammann, 2016). Essentielle Informationen für die kurz- und langfristige Trainingssteuerung können durch den Einsatz von objektiven Messinstrumenten gewonnen werden. Nur wenn diese Informationen exakt sind, können sie ihre vollumfängliche Wirkung erzielen.

4.1 Ergebnisse und Interpretation

Die Distanzmessung des 4-Minuten-Laufes der App ready kann jetzt schon im Training eingesetzt werden, aber es besteht noch Verbesserungspotential. Entsprechend den Messungen für diese Studie betrug die mittlere Abweichung des relativen Messfehlers - 9.34 %. Er lag somit innerhalb der gewünschten 10 %, werden aber die einzelnen Messungen genauer betrachtet, dann lagen nur 48.2 % der Messungen innerhalb der 10 % Toleranzzone. Es wäre wünschenswert, die Genauigkeit zu steigern. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zeigten, dass 6.7 % ($\beta = -0.260$, $p = 0.000$) der erklärten Varianz auf die Einstellung mit oder ohne GPS zurückgeführt werden kann. Mit eingestelltem GPS war der Fehler signifikant kleiner, als ohne GPS. Dass eine Kombination von mehreren Sensoren zu einer höheren Genauigkeit führt, belegten auch Mok et al. (2012) durch ihre Studie.

4.1.1 Ergebnisse der Messungen mit GPS. Der wichtigste Einflussfaktor bei den Messungen mit eingestelltem GPS war die Beinlänge, welche im Zusammenhang mit der Körpergrösse des Probanden steht. Je grösser die Beinlänge, desto kleiner der Messfehler ($\beta = -0.442$, $p = 0.000$). Auch andere Studien haben die Körpergrösse der Probanden miteinbezogen, jedoch kein signifikantes Ergebnis gefunden (Ammann, Taube, Neuhaus et al., 2016). Es kann trotz signifikantem Resultat davon ausgegangen werden, dass die Beinlänge zufällig im Modell geblieben ist, infolge der ungleichmässigen Verteilung der verwendeten Smartphones. Die Ausreisser-Messwerte der Beinlänge waren bei derselben Probandin zu erkennen, welche mit dem Huawei P10 die Messungen durchgeführt hatte. Dieses Smartphone zeigte die grössten Abweichungen zur wirklichen Distanz. Die Probanden mit grösseren Beinlängen benutzten tendenziell die Smartphones mit genaueren Messwerten und erhielten dadurch die besseren Resultate. Für eine objektive Beurteilung der effektiven Einflussstärke der Beinlänge, müsste jeder Proband mit jedem Smartphone die Messungen durchführen. Ausserdem sollte die Bein-

länge eher die Messungen mit dem Schrittfrequenzsensor beeinflussen und weniger diejenigen bei welchen das GPS auch eingestellt ist.

Die Abtastrate der Messgeräte kann die Genauigkeit beeinflussen. Wegen den zu tiefen Messintervallen, maximal 1-s, bei vielen Geräten aber mehrere Sekunden, können positive und negative Wendepunkte im Gelände abgeschnitten werden (Ammann, Taube, Kummer et al., 2016). Dies führt zu einer Unterschätzung der Distanz (Witte & Wilson, 2004). Im Bereich des Radfahrens wurden die Geschwindigkeiten in kurvigen Parcours unterschätzt, da in Folge der tiefen Abtastrate die Kurve vom Messinstrument nicht registriert wurde. Je kleiner die Kurvenradien waren, desto grösser wurde dieser Einfluss. Unsere Studie bestätigte diese Resultate: je mehr Kurven in der zurückgelegten Distanz gelaufen wurden, desto grösser wurde der Fehler in der Messung ($\beta = 0.371$, $p = 0.002$). Da bei den Messungen nicht zwischen 180° Wendungen und Kurven unterschieden wurde, konnte nicht mit Sicherheit gesagt werden, ob kleine Kurven einen stärkeren Einfluss hatten. Aber im Vergleich mit der Studie von Witte & Wilson (2004), wäre dies wahrscheinlich. Es ist fraglich ob sich auch die Geschwindigkeit auf die Messgenauigkeit der Anzahl Kurven auswirkt. Je schneller der Läufer sich bewegt, desto mehr Kurven durchläuft er auf dem Parcours. Folglich wird auch die Messung ungenauer. Bei höherem Lauftempo und gleichem Messintervall ergeben sich weniger Messpunkte auf derselben Strecke. Somit wird bei Krümmungen der Strecke, die zurückgelegte Distanz stärker abgekürzt.

Das benützte Messgerät ist ganz klar ein wichtiger Faktor. Die Genauigkeit der Messung für eine bestimmte Strecke hängt von der Genauigkeit des Empfängers und dem verwendeten Aufzeichnungsintervall ab (Wick, 2013). Eine Studie von Menard et al. (2011) zeigte, dass die Messgenauigkeit bei unterschiedlichen Smartphones in 95 Prozent der Zeit innerhalb von 10 Metern lag. Somit können die Smartphones als verlässliche Quellen angesehen werden. Die Messgenauigkeit ist aber nicht bei allen Smartphone-Modellen gleich gut. Hess et al. (2012) testeten Smartphones mit unterschiedlichen Betriebssystemen und folgerten aus ihren Resultaten, dass die GPS Messgenauigkeit stark vom jeweiligen Smartphone abhängig war. Bei unseren Resultaten, erzielten die iPhones im Schnitt die genaueren Messwerte ($\beta = -0.177$, $p = 0.073$). Es darf aber nicht nur zwischen iOS und Android-Modellen unterschieden werden. Bei den Android-Modellen fiel das Huawei P10 mit einer extremen Unterschätzung der gemessenen Distanz auf (-41 %). Das Samsung S7 Edge und Nokia 9 hingegen ergaben ziemlich genaue Messwerte, mit +/-5 % Abweichung der Mittelwerte des Messfehlers.

4.1.2 Ergebnisse der Messungen ohne GPS. Generell stimmten die Messwerte der iPhones besser mit der wirklichen Distanz überein, als die Messwerte der Android-Modelle ($\beta = -0.433, p = 0.000$). Dies stimmt mit den Messresultaten der Läufe mit GPS überein. Die Resultate waren aber von der Auswahl der Messgeräte abhängig. Es könnte sein, dass bei anderen Smartphone-Modellen die Resultate unterschiedlich ausgefallen wären.

Aus der Literatur ist bekannt, dass das Wetter, die Temperatur und der Luftdruck einen Einfluss auf die Messungen mit GPS haben können. Diese Faktoren hatten in den vorliegenden Studien aber nie einen starken Einfluss gespielt (Ammann, Taube, Kummer et al., 2016). Somit ist es wunderlich, dass sich der Luftdruck und die Bewölkung auf die Messwerte, welche mit dem Beschleunigungssensor gemessen wurden, auswirkte. Je höher der Luftdruck, desto grösser war der Fehler der Messwerte ($\beta = -0.280, p = 0.008$) und je grösser die Bewölkung, desto kleiner war der Messfehler ($\beta = -0.327, p = 0.039$). Beide Resultate sind wohl zufällig entstanden, da durch das Wetter keine veränderten Werte beim Schrittfrequenzmesser hervorgerufen werden sollten.

Identisch zu den Resultaten mit GPS, hatte die Beinlänge der Probanden, auch hier einen Einfluss. Je grösser die Beinlänge, desto kleiner war der Messfehler ($\beta = -0.360, p = 0.019$). Es ist möglich, dass der Algorithmus der App auf die Körpergrösse eines Mannes, welcher eher gross war, konzipiert wurde. Deshalb waren die Messwerte bei grösseren Personen präziser. Dies könnte, als Verbesserung für die Messgenauigkeit der App in einer angepassten Version verbessert werden. Es ist aber auch wahrscheinlich, dass dieser Wert, wie schon im Kapitel 4.1.1 erklärt, mit der Verteilung der Smartphone-Modelle in Verbindung steht.

Bei den älteren Smartphones war der Messfehler statistisch gesehen kleiner ($\beta = -0.243, p = 0.025$). Die umgekehrte Korrelation der Messgenauigkeit mit dem Alter der Smartphones war ein zufälliger Befund. Dies kann dadurch erklärt werden, dass die meisten Daten mit Geräten erhoben wurden, welche 3 bis 5 Jahre alt waren. Das mittlere Alter war 3.3 Jahre. Das schlechte Abschneiden des Gerätes «Huawei P10», welches, mit seinen 3 Jahren, jünger war, als der Durchschnitt aller untersuchten Geräte, führte zum Trugschluss, dass ältere Geräte genauer messen. In einem zweiten Schritt wurden deshalb vier Generationen iPhones untersucht, welche alle vom gleichen Hersteller stammen und besser verglichen werden können. Beim Vergleich des absoluten Messfehlers (RMSE) dieser vier Generationen, war ein signifikanter positiver Zusammenhang festzustellen: Je älter das iPhone, desto grösser der Fehler ($r = 0.411, p = 0.001$). Bei der Analyse der erhobenen Daten mit iPhone bestätigte diese mittlere positive Korrelation die Erwartung, dass die älteren Geräte zu grösseren Abweichungen führen.

4.1.3 Ergebnisvergleich der Messungen mit GPS und ohne GPS. Die Unterschiede zwischen GPS und Beschleunigungssensor sind markant und eine Kombination der beiden ist von Vorteil (Wahl et al., 2017). Beide haben noch Verbesserungspotential: bei den Beschleunigungssensoren kann die Einstellung, zwischen zu vielen Bewegungen als Schritte zählen und Schritte nicht zu zählen noch optimiert werden. Beim GPS könnten die Hertzzahlen erhöht werden oder mehr Satelliten für eine bessere Genauigkeit und Erreichbarkeit benutzt werden (Terrier & Schutz, 2005).

Die Variablen Beinlänge und Betriebssystem zeigten die gleichen Resultate mit und ohne GPS. Bei grösserer Beinlänge waren die Messungen genauer. Doch ob der Einfluss dieser Variable wirklich so stark ist, wie es scheint ist fragwürdig und sollte durch weitere Studien überprüft werden. Bei beiden waren die iOS-Modelle im Durchschnitt genauer, als die Android-Modelle und die Unterschiede zwischen verschiedenen Modellen markant.

Bei einigen Einflussvariablen zeigten die Messungen mit GPS gegenüber den Messungen ohne GPS unterschiedliche Resultate. Dies war die Anzahl Kurven, der Luftdruck, und das Alter der Smartphones. Die Anzahl der Kurven zeigte einen negativen Einfluss auf die Messgenauigkeit mit GPS, es wurde kein negativer Einfluss bei den Messungen ohne GPS festgestellt. Dieses Resultat macht Sinn. Bei den Messungen durch das GPS System werden einzelne Standortpunkte verbunden und so zu einer Strecke zusammengefügt. Wenn diese zu weit auseinanderliegen, können Kurven abgeschnitten werden. Beim Messen mit Beschleunigungssensor haben die Kurven keinen Einfluss, da die Distanz durch die Beschleunigung gemessen wird. Die Resultate bestätigten somit die bestehende Literatur.

Der Luftdruck und die Bewölkung spielten einen Einfluss bei den Messungen mit Beschleunigungssensor. Wie im Kapitel 4.1.2 erklärt, war dies wohl ein zufälliges Resultat. Wenn diese Faktoren Einfluss hätten, dann eher auf die Messungen mit GPS. Durch Veränderungen des Luftdruckes könnte sich die Verbindungsqualität des GPS Signales verändern (Krenn et al., 2011; Parviainen et al., 2008). Letzteres könnte aber nur ausschlaggebend sein, wenn die Messungen über eine lange Zeitspanne geschehen würden. Das Alter des Smartphones spielte nur bei den Messungen ohne GPS-Signal eine Rolle. Dieses Resultat sollte aber nur mit Vorsicht gewertet werden. Die Gründe dafür wurden im Kapitel 4.1.2 erläutert.

4.1.4 Variablen ohne signifikanten Einfluss. Ammann, Taube, Neuhaus et al. (2016) zeigten in ihrer Studie über den Einfluss von laufinduziertem Armschwingen zur Erfassung von Höhenmetern, dass die Messgenauigkeit beim Tragen an der Hüfte signifikant höher ist, als am Handgelenk. Die Armbewegung beeinflusste die Genauigkeit negativ und führte zu einer leichten Überschätzung des Höhenunterschiedes. Dieser Effekt nahm bei zunehmender Geschwindigkeit zu und hatte somit bei schnellen Aktivitäten wie Joggen oder Rennen einen grösseren Einfluss. Je näher der Sensor an der zu erfassenden Bewegungsausführung montiert werden kann, desto höher die Chance, den Parameter präzise abschätzen zu können (Patterson & Caulfield, 2010). Somit ist es sinnvoll, das Messsystem möglichst nahe am Ort der eigentlichen Bewegungsausführung, beziehungsweise an einer Stelle mit möglichst wenig Eigenbewegung zu tragen. Unsere Studie bestätigte diese Resultate nicht, es gab keinen signifikanten Effekt, der mit dem Trageort des Smartphones zusammenhing. Die Resultate können aber auch nicht direkt mit denen von Ammann, Taube, Neuhaus et al. (2016) verglichen werden, da sie Sportuhren verwendeten und wir Smartphones. Des Weiteren haben wir die Distanz gemessen und sie die zurückgelegten Höhenmeter. Der dritte und wichtigste Unterschied war, dass bei unseren Messungen die Smartphones am Oberarm fixiert waren und nicht am Handgelenk. Somit waren die Schwingbewegungen bei unserer Studie kleiner und hatten weniger Einfluss auf das Resultat. Frick et al., (2019) massen die Genauigkeit der zurückgelegten Anzahl Schritte einer Schrittzählerapplikation auf Smartphones und erhielten etwas präzisere Angaben in der Hosentasche gegenüber dem Arm. Ihre Messungen ergaben aber auch kein signifikantes Resultat. Vielleicht wurde bei unseren Messungen der Trageort auch zu wenig standardisiert. Beim Tragen an der Hüfte konnte das Smartphone in der Hosentasche auf der Vorder- oder Hinterseite oder einem Bauchgurt getragen werden und somit leicht veränderte Messbedingungen stattfinden. Im Wald, der Stadt oder im freien Gelände sind die Messfehler unterschiedlich gross, aufgrund des Einflusses der Umgebung auf das GPS-System. (Maddison & Ni Mhurchu, 2009; Wick, 2013). Bei einer Studie von Gilgen-Ammann (in press) wurden die Distanzen generell signifikant unterschätzt. In den städtischen und bewaldeten Regionen war die Genauigkeit schlechter, wohingegen die Distanzen auf der Laufbahn eher überschätzt wurden, aber auch näher an der wirklich zurückgelegten Distanz lagen. Die Positionsbestimmung ist limitiert an Aktivitäten im freien, da ein direkter sichtkontakt zu den Satelliten notwendig ist (Menard et al., 2011). In dieser Arbeit jedoch zeigte der Messstandort keinen signifikanten Einfluss. Wahrscheinlich lag es daran, dass nicht alle verwendeten Smartphones in jeder Umgebung getestet wurden.

Beim Betrachten der Literatur über die Auswirkung der Geschwindigkeit auf die Genauigkeit der Messungen trifft man auf kontroverse Resultate. Studien mit Beschleunigungssensoren zeigten grosse Unterschiede, bei der Erfassung der Daten, von unterschiedlichen Geschwindigkeiten. Die langsamen Geschwindigkeiten (4.3 km/h und 7.2 km/h) wurden überschätzt, die schnellen (13km/h) hingegen unterschätzt (Wahl et al., 2017). Die zurückgelegte Distanzmessung, war aber eher schlechter Qualität und es wird empfohlen die Beschleunigungssensoren besser mit GPS zu kombinieren für eine gute Validität der Distanzmessung.

Auch Duncan et al. (2018) zeigten bei ihren Messungen mit iPhones, dass die Genauigkeit der Schrittmesser im Alltag nicht sehr exakt ist und um 21.5 % abweicht. Die Abweichung war bei ungefähr 5km/h am kleinsten, möglicherweise wurde die Applikation so erstellt, dass sie bei dieser Gehgeschwindigkeit optimal funktioniert. Zudem massen Fokkema et al. (2017), mit Fitness Trackern bei mittleren Gehgeschwindigkeiten (4.8km/h und 6.4km/h) eine bessere Übereinstimmung für die Messung der Anzahl Schritte, als bei langsamen Geschwindigkeiten (3.2km/h). Böhni et al. (2019) zeigten bei ihren Messungen mit GPS-basierten Distanztrackern, dass die Abweichungen bei den langsamen und mittleren Geschwindigkeiten (4.8km/h, 6.5km/h) eher kleiner ist, als bei den höheren Geschwindigkeiten (9.7km/h, 15.7km/h). Die zurückgelegte Distanz wurde über alle Laufgeschwindigkeiten überschätzt. Somit unterstützen diese Daten die vorherigen Ergebnisse nicht, bei welchen bei schnelleren Geschwindigkeiten eine Unterschätzung auftritt. Hingegen zeigten die Messungen von Ammann, Taube, Kummer et al., (2016), welche mit GPS Uhren durchgeführt wurden, keinen signifikanten Einfluss für unterschiedliche Gehgeschwindigkeit. Dort wurden aber Höhendifferenzen gemessen und nicht Distanzen. Eine neuere Studie von Gilgen-Ammann (in press) zeigte, dass der Messfehler beim Rennen signifikant höher war, als beim Laufen oder Radfahren. Dies stimmte mit anderen Studien überein, welche zeigten, dass die beste Übereinstimmung bei 4 bis 6 km/h lag. Diese Geschwindigkeit entspricht dem Gehen und nicht dem Rennen. Es zeigte aber auch, dass die Fortbewegungsart einen Einfluss auf die Messgenauigkeit hat, da beim Radfahren die Messung genauer waren als beim Rennen, obwohl dass die Geschwindigkeit grösser war.

Unsere Messwerte unterstützen die meisten Studien, bei welchen die schnelleren Läufe eher unterschätzt wurden und die langsameren Läufe eher überschätzt in der Distanzmessung. Am genauesten waren die Messwerte bei 7.85 km/h. Das war etwas schneller, als bei anderen Messungen. Wenn jedoch die Messungen mit GPS und ohne GPS unterschieden wurden, dann waren die Messungen mit Beschleunigungssensor bei 6.59 km/h am genauesten Dieser Wert lag ziemlich nahe an den Messwerten mit Beschleunigungssensoren aus der Literatur.

Die Messwerte mit GPS waren bei etwas höheren Geschwindigkeiten am Genauesten (8.37km/h).

Ein weiterer Faktor, welcher nicht zu einem signifikanten Unterschied führte, war der Untergrund auf dem gelaufen wurde. Bei geteertem Boden, auf der Tartanlaufbahn oder auf der Finnenbahn ist der Untergrund unterschiedlich hart. Somit sind die Beschleunigungen bei jedem Schritt unterschiedlich. Diese Differenzen waren aber offensichtlich vernachlässigbar klein, so dass keine signifikanten Unterschiede in der Laufdistanz gemessen werden konnte. Auch in der Literatur wurden keine Hinweise dazu gefunden. Bei den Messungen wurden ebenfalls die Temperaturen notiert. Diese beeinflussten die Resultate aber nicht. Ebenso die Anzahl Schritte der Probanden.

4.2 Antwort auf Fragestellung und Hypothese

Im Bezug zur Fragestellung dieser Arbeit konnte das Betriebssystem des Smartphones mit 9.7 % Anteil an der erklärten Varianz den grössten Einfluss auf die Messgenauigkeit der App ready beim 4-Minuten-Lauf ausüben. Weitere wichtige Einflussfaktoren waren die Beinlänge mit 9.5 %, welche ziemlich sicher bei unseren Messungen von der Variable Betriebssystem beeinflusst wurde. Danach folgte der Bewölkungsgrad mit 7.8 %, welcher wahrscheinlich ein zufälliges Resultat darstellte. An vierter Stelle folgte die Einstellung, ob das GPS-System mit dem Beschleunigungssensor kombiniert wurde, oder nur der Beschleunigungssensor benützt wurde (6.8 %). Weitere signifikante Variablen waren das Alter (3.6 %), der Luftdruck (3.1 %) und die Anzahl Kurven mit 2.1 %.

Diese Resultate konnten anhand des standardisierten Beta-Wertes β der verschiedenen Variablen vergleichbar gemacht werden (siehe Tabelle 2). Das Quadrat des β Wertes ergab eine Schätzung des Anteils der erklärten Varianz einzelner Variablen.

Wenn bei der App ready die Messgenauigkeit verbessert werden sollte, dann am einfachsten durch ein leistungsstarkes Smartphone, bei dem das GPS-System eingeschaltet ist während dem Laufen. Kleine Verbesserungen könnten auch erzielt werden, durch die Auswahl einer Laufstrecke mit möglichst wenig Richtungsänderungen. Diese Faktoren sind alle abhängig vom Nutzer der App ready. Sie könnten aber bei den Anweisungen in der App als Tipps für bessere Messresultate angegeben werden. Die Hersteller der App ready könnten durch eine Anpassung des Algorithmus für die Beinlänge noch etwas zur Messgenauigkeit beisteuern.

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie konnten, wie in der Hypothese angenommen bestätigen, dass das Betriebssystem des Messgerätes den grössten Einfluss auf die Messgenauigkeit

bei der Messung des 4-Minuten-Laufes mit der App ready hat ($\beta = -0.311$, $p = 0.000$) (Tabelle 2).

Um den hohen Anforderungen an die Genauigkeit der Messungen zu entsprechen, sollte die Abweichung $\pm 10\%$ nicht übersteigen. Dieses Ziel wurde erreicht, wenn der Mittelwert des relativen Fehlers betrachtet wird (-9.34%). Hierbei können sich die Über- und Unterschätzten Werte ausgleichen und dadurch den Mittelwert verbessern. Wenn der Mittelwert des relativen Fehlers als Betrag (= RMSE) betrachtet wird, dann betrug der Mittelwert 15.66% Abweichung. Der Durchschnitt der Messungen war nicht genug präzise und die App ready sollte noch weiterentwickelt werden. Insgesamt lagen nur 48.2% aller Messwerte innerhalb der 10% Abweichung.

4.3 Stärken und Schwächen der Arbeit

Die Testmotivation der Probanden kann als sehr gross beschrieben werden. Allerdings spielte sie keinen relevanten Einfluss auf die Messresultate, da es in der Studie nicht um die Leistung der Probanden ging. Eine weitere Stärke dieser Studie war, dass sehr viele mögliche Einflussfaktoren miteinbezogen werden konnten. Darüber hinaus wurden die Messungen mit Smartphones durchgeführt und konnten an unterschiedlichen Orten und Zeitpunkten durchgeführt werden. Angesichts der Tatsache, dass drei Bachelor- und Masterstudenten zusammen den gleichen Datensatz benötigten für ihre Abschlussarbeiten, konnte eine umfassende Menge an 4-Minuten-Läufen gemessen werden.

Als Limitationen dieser Studie können verschiedene Einflüsse genannt werden. Die statistischen Berechnungen mittels der multiplen linearen Regression gehen von einem linearen Modell aus. Dies ist in Wirklichkeit wahrscheinlich nicht 100% der Fall. Es könnten sich auch noch andere Einflussfaktoren auf die Resultate ausgewirkt haben. Die Resultate sollten auch nicht direkt akzeptiert werden, sondern jeweils im Kontext analysiert werden. Die Probandenanzahl war relativ tief, was aber keine grossen Auswirkungen hatte. Aber die Messungen waren zu wenig ausgeglichen. Optimal wäre gewesen, wenn jeder Proband mit jedem Smartphone an den drei Standorten, Wald, Stadt und im Freien, die Messungen gemacht hätte. Zudem hätte auch die Fixierung am Oberarm und an der Hüfte besser kommuniziert werden sollen. Da drei Studenten die Werte sammelten, war die Kommunikation und die einheitliche Durchführung der Messungen etwas erschwert. Unser Betreuer Thomas Wyss entschärfte die Situation dank seiner Rolle als Koordinator. Trotzdem wurde die Geschwindigkeit der Läufe nicht genormt. Dadurch waren bei einigen Probanden die schnellen Läufe langsamer, als bei anderen die Langsamen, was zu einer Verfälschung der Resultate führen könnte.

4.4 Bedeutung der Arbeit und weiterführende Fragestellungen

Die in dieser Studie ermittelten Resultate können in Zukunft dazu dienen, die Schwachstellen der App ready zu finden und die App weiter zu verbessern. So dass sich die zukünftigen Rekruten optimal auf ihren Militärischen Einsatz vorbereiten können.

Es gibt bislang wenige Studien, welche sich mit Messdaten von Applikationen auf Smartphones beschäftigen. Vor allem solche, die nicht unter Laborbedingungen stattfinden. Hier liegt ein grosses Potential an neuen Fragestellungen. Die Smartphones werden länger je wichtiger in vielen Bereichen unseres Alltags.

Um in zukünftigen Studien genauere Aussagen über den Einfluss der Beinlänge und somit auch Körpergrösse des Probanden auf die Messungen zu machen, sollte angestrebt werden, dass jeder Proband mit jedem Messgerät die Ausdauer tests absolviert. Als weiterer Parameter könnte bei den Richtungswechseln quantifiziert werden, wie stark sich eine 180° Wendungen im Vergleich zu einer leichten Kurve (oder noch mehr Untergruppen) auswirkt. Eine weitere Möglichkeit würde darin bestehen, die App ready mit anderen verfügbaren Sport-Applikationen zu vergleichen.

5 Schlussfolgerung

Smartphones sind eine sehr praktische Art, ohne grossen Aufwand, das Training zu überwachen oder Leistungsteste durchzuführen. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigten, dass das Betriebssystem des Smartphones mit 9.7 % Anteil an der erklärten Varianz, den grössten Einfluss auf die Messgenauigkeit der App ready beim 4-Minuten-Lauf aufweist. Somit kann vermutet werden, dass sich die Messgenauigkeit mit neueren, leistungsstärkeren Smartphones automatisch weiter verbessern wird. Die Messgenauigkeit ist aber nicht nur vom Smartphone, sondern auch von der Applikation abhängig zeigt Bauer (2013), in ihrer Studie, in welcher neun unterschiedliche Tracking-Apps auf dem gleichen Smartphone getestet wurden. Das Einschalten des GPS-Systems und eine interne Anpassung der Schrittlänge beim Beschleunigungssensor der App könnte die Messgenauigkeit weiter merklich verbessern. Wenn der Benutzer der App zusätzlich eine Laufstrecke wählt, welche möglichst wenig Richtungsänderungen beinhaltet, steht einem gut abgestimmten Trainingsplan und einer optimalen Vorbereitung auf das Militär nichts im Wege.

Im Durchschnitt unterschätzte die App ready die zurückgelegten Distanzen eher mit einem Mittelwert des relativen Fehlers von -9.34 %. Dieser Wert liegt innerhalb der gewünschten 10 % Genauigkeit, darf aber mittels der vorhin genannten Faktoren noch weiter verbessert werden. Vor allem da nur 48.2 % der einzelnen Messwerte innerhalb der 10 % Toleranzzone liegen. Für zukünftige Studien sollte angestrebt werden, dass alle Probanden die Messungen mit jedem Messgerät vornehmen, um zufällige Resultate einzugrenzen.

Literaturverzeichnis

- Akademie für Sport und Gesundheit. (2019). VO2max, Maximale Sauerstoffaufnahme. Zugriff unter <https://www.akademie-sport-gesundheit.de/lexikon/vo2max.html>
- Ammann, R. (2016). *Quantifizierung und Optimierung von Laufparametern mit Hilfe von körpertragbaren Sensoren* (Unveröffentlichte Dissertation). Universität Freiburg, Freiburg.
- Ammann, R., Taube, W., Neuhaus, M. & Wyss, T. (2016). The influence of the gait-related arm swing on elevation gain measured by sport watches. *Journal of Human Kinetics*, 51, 53–60. <https://doi.org/10.1515/hukin-2015-0170>
- Ammann, R., Wolfgang Taube, Kummer, F. & Wyss, T. (2016). Accuracy of elevation recording using sport watches while walking and running on hilly and flat terrain. *Sports Engineering*, 19, 283-287. <https://doi.org/10.1007/s12283-016-0207-9>
- Andrew Jones & Vanhatalo, A. (2017). Critical Power Concept. *Sports Medicine*, 47, 65-78. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0688-0>
- Apple (2020). iPhone Beschreibung. www.apple.com, aufgerufen am 25.03.2020
- Balow, A. (2019). VO2max verbessern: Wie du deine Werte langfristig optimieren kannst. <https://gps.de/vo2max-verbessern/>
- Bauer, C. (2013). On the (In-)Accuracy of GPS Measures of Smartphones: A Study of Running Tracking Applications. *Proceedings of International Conference on Advances in Mobile Computing & Multimedia - MoMM '13*, 335–341. <https://doi.org/10.1145/2536853.2536893>
- Böhni C., Leiggener R., Martinschitz N. & Vetter S. (2019). Validierung der Laufdistanz bei der mobilen Trainingsapplikation «ready». 2019, 22.
- Böttcher, J. (2019). Beschleunigungssensoren – Messtechnik und Sensorik [Buch: Kompendium Messtechnik und Sensorik]. <https://messtechnik-und-sensorik.org/beschleunigungssensoren/>
- Braillard, L. (2017). Cours de Cartographie, GS.0154, SP 2017 [Vorlesungsfolien].
- Buchheit, M. (2014). Monitoring training status with HR measures: Do all roads lead to Rome? *Frontiers in Physiology*, 5, 73. <https://doi.org/10.3389/fphys.2014.00073>
- Buchheit, M., Al Haddad, H., Simpson, B. M., Palazzi, D., Bourdon, P. C., Di Salvo, V. & Mendez-Villanueva, A. (2014). Monitoring accelerations with GPS in football: Time to slow down? *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(3), 442–445. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2013-0187>

- Cazorla, G. (2014). Evaluation des capacités physiologiques et physiques, 3. Evaluation des capacités aérobies [Vorlesungsfolien]. 20.
- Düking, P., Hotho, A., Holmberg, H.-C., Fuss, F. K. & Sperlich, B. (2016). Comparison of Non-Invasive Individual Monitoring of the Training and Health of Athletes with Commercially Available Wearable Technologies. *Frontiers in Physiology*, 7. <https://doi.org/10.3389/fphys.2016.00071>
- Duncan, M. J., Mummery, W. K. & Dascombe, B. J. (2007). Utility of Global Positioning System to Measure Active Transport in Urban Areas. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 39(10), 1851–1857. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e31811ff31e>
- Duncan, M. J., Wunderlich, K., Zhao, Y. & Faulkner, G. (2018). Walk this way: Validity evidence of iphone health application step count in laboratory and free-living conditions. *Journal of Sports Sciences*, 36(15), 1695–1704. <https://doi.org/10.1080/02640414.2017.1409855>
- Fokkema, T., Kooiman, T. J. M., Krijnen, W. P., VAN DER Schans, C. P. & DE Groot, M. (2017). Reliability and Validity of Ten Consumer Activity Trackers Depend on Walking Speed. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 49(4), 793–800. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001146>
- Frick J., Métral J., Auguet G. & Jornod B. (2019). Validierung der Laufdistanz bei der mobilen Trainingsapplikation «ready». 2019, 22.
- Gilgen-Ammann, R., Theresa Schweizer, Thomas Wyss (in press). Accuracy of Distance Recordings in Eight Positioning-Enabled Sport Watches: An Instrument Validation Study. *JMIR mHealth*
- Grosser, M., Starischka, S., Zimmermann, E. & Zintl, F. (1993). *Konditionstraining: Theorie und Praxis aller Sportarten* (6., völlig überarb. Aufl.). BLV-Buchverl.
- Halsen, S. L. (2014). Monitoring Training Load to Understand Fatigue in Athletes. *Sports Medicine (Auckland, N.z.)*, 44(Suppl 2), 139–147. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0253-z>
- Hess, B., Farahani, A. Z., Tschirschnitz, F. & von Reischach, F. (2012). Evaluation of Fine-granular GPS Tracking on Smartphones. Proceedings of the First ACM SIGSPATIAL International Workshop on Mobile Geographic Information Systems, *ACM Digital Library*, 33–40. <https://doi.org/10.1145/2442810.2442817>
- Hollmann, W. & Strüder, H. K. (2009). *Sportmedizin: Grundlagen für körperliche Aktivität, Training und Präventivmedizin; mit 91 Tabellen* (5. Auflage). Stuttgart: Schattauer Verlag.

- Krenn, P. J., Titze, S., Oja, P., Jones, A. & Ogilvie, D. (2011). Use of Global Positioning Systems to Study Physical Activity and the Environment. *American Journal of Preventive Medicine*, 41(5). <https://doi.org/10.1016/j.amepre.2011.06.046>
- Machguth, H. (2016). Plattformen, Satellitenorbit und das Fernerkundungsbild, GG.0313 [Vorlesungsfolien]. 62.
- Maddison, R. & Ni Mhurchu, C. (2009). Global positioning system: A new opportunity in physical activity measurement. *The International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 6, 73. <https://doi.org/10.1186/1479-5868-6-73>
- Menard, T., Miller, J., Nowak, M. & Norris, D. (2011). Comparing the GPS capabilities of the Samsung Galaxy S, Motorola Droid X, and the Apple iPhone for vehicle tracking using FreeSim_Mobile. *2011 14th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, 985–990. <https://doi.org/10.1109/ITSC.2011.6083141>
- Mok, E., Retscher, G. & Wen, C. (2012). Initial test on the use of GPS and sensor data of modern smartphones for vehicle tracking in dense high rise environments. *2012 Ubiquitous Positioning, Indoor Navigation, and Location Based Service (UPINLBS)*, 1–7. <https://doi.org/10.1109/UPINLBS.2012.6409789>
- Multiple Regressionsanalyse. (2018, August 13). Methodenberatung, Multiple Regressionsanalyse, Universität Zürich. https://www.methodenberatung.uzh.ch/de/datenanalyse_spss/zusammenhaenge/mreg.html
- Parviainen, J., Kantola, J. & Collin, J. (2008). Differential barometry in personal navigation. 148–152. <https://doi.org/10.1109/PLANS.2008.4570051>
- Patrick. (2018). VO2max steigern: Wenn Du schnell sein willst, dann laufe schnell – und auch langsam. *Laufschritte.de*. <http://laufschritte.de/2018/05/vo2max-steigern-wenn-du-schnell-sein-willst-dann-laufe-schnell-und-auch-langsam/>
- Patterson, M., & Caulfield, B. (2010). A method for monitoring reactive strength index. *Procedia Engineering*, 2(2), 3115–3120. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2010.04.120>
- Reber, C., Schneider, P., Vogler, R. & von Siebenthal, L. (2019). Validierung der Laufdistanz bei der mobilen Trainingsapplikation «ready». 2019, 22.
- Roos, L., Taube, W., Brandt, M., Heyer, L. & Wyss, T. (2013). Monitoring of daily training load and training load responses in endurance sports: What do coaches want? *Schweizerische Zeitschrift Fur Sportmedizin Und Sporttraumatologie*, 61, 30–36.
- Rouvenaz, A. (2015). Endurance 1, Theorie des principes d'entraînement, SP.0710 [Vorlesungsfolien].
- Swisstopo. (2014). GPS-Messnetz, *MeteoSchweiz*. Aufgerufen am 17 December 2019, Zugriff

- unter <https://www.meteoschweiz.admin.ch/home/mess-und-prognosesysteme/atmosphaere/gps-messnetz.html>
- Terrier, P. & Schutz, Y. (2005). How useful is satellite positioning system (GPS) to track gait parameters? A review. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, 2, 28. <https://doi.org/10.1186/1743-0003-2-28>
- Trillo, F. (2012). So funktioniert der Beschleunigungssensor in Deinem Smartphone. GIGA. <https://www.giga.de/smartphones/iphone-4s/news/so-funktioniert-der-beschleunigungssensor-in-deinem-smartphone/>
- Vanhatalo, A., Jones, A. M. & Burnley, M. (2011). Application of Critical Power in Sport. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 6, 128-136.
- Wahl, Y., Düking, P., Droszez, A., Wahl, P. & Mester, J. (2017). Criterion-Validity of Commercially Available Physical Activity Tracker to Estimate Step Count, Covered Distance and Energy Expenditure during Sports Conditions. *Frontiers in Physiology*, 8, 725. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00725>
- Walt, F. (2019). Get ready #teamarmee! <https://www.vtg.admin.ch/content/vtg-internet/de/aktuell/kampagnen/ready.detail.news.html/vtg-internet/verwaltung/2019/19-03/ready-app.html>
- Weineck, J. (2019). *Optimales Training Leistungsphysiologische Trainingslehre unter besonderer Berücksichtigung des Kinder- und Jugendtrainings* (17. Auflage). Balingen: Spitta-Verlag.
- Wick, R. (2013). *Unsicherheiten und Positionsfehler von GPS-Trajektorien* [Masterarbeit]. Universität Zürich, Zugriff unter https://www.geo.uzh.ch/dam/jcr:27698d4e-da2e-437b-aca9-f43946f6c16d/MA2013_Reto_Wick.pdf.
- Witte, T. H. & Wilson, A. M. (2004). Accuracy of non-differential GPS for the determination of speed over ground. *Journal of Biomechanics*, 37(12), 1891–1898. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2004.02.031>
- Wyss, T., Scheffler, J. & Mäder, U. (2012). Ambulatory Physical Activity in Swiss Army Recruits. *International Journal of Sports Medicine*, 33(09), 716–722. <https://doi.org/10.1055/s-0031-1295445>

Anhang

Anhang 1 persönliche Kommunikation

Abdallah, B. (31.03.2020). Huawei Support.

Daubert M. (03.04.2020). Samsung Support.

Gilgen-Ammann R. (18.12.2019) 4-Minuten-Lauf und 12-Minuten-Lauf Vergleich.

Anhang 2 Messstrecken

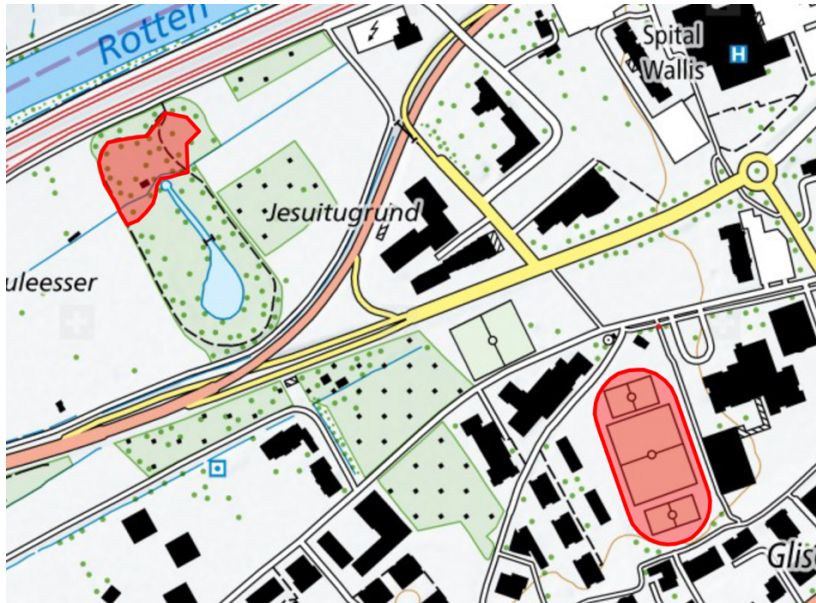


Abbildung 23. Laufdistanzmessungen in Brig. Finnenbahn im Wald (Koordinaten: 2'641'363, 1'129'586) und Tartanbahn (2'641'766, 1'129'355).

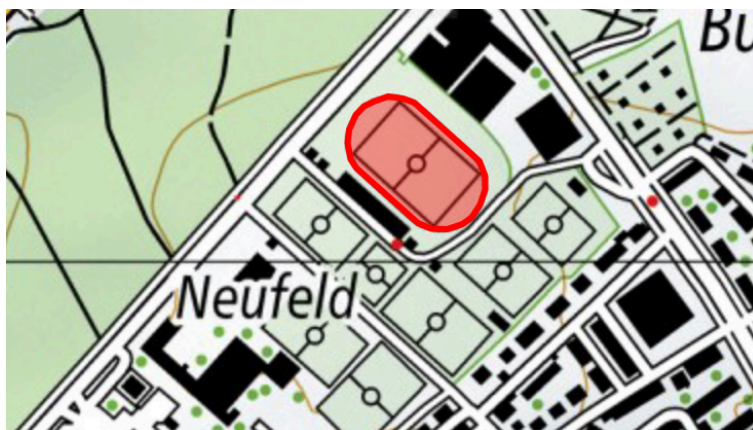


Abbildung 24. Laufdistanzmessungen in Bern, Tartanbahn, Koordinaten : 2'599'441, 1'201'099.



Abbildung 25. Laufdistanzmessungen in Bern. Geteerter Untergrund in städtischer Umgebung (Koordinaten: 2'596'178, 1'199'675) und im Wald (Koordinaten : 2'597'032, 1'199'996).

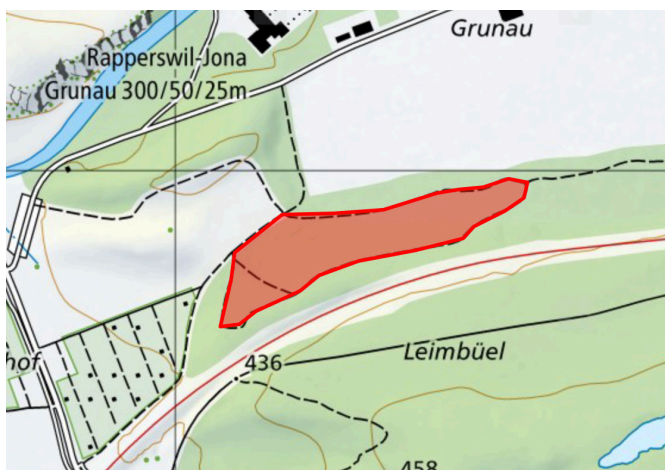


Abbildung 26. Laufdistanzmessungen in Jona, Finnenbahn im Wald, Koordinaten : 2'706'111, 1'232'951.

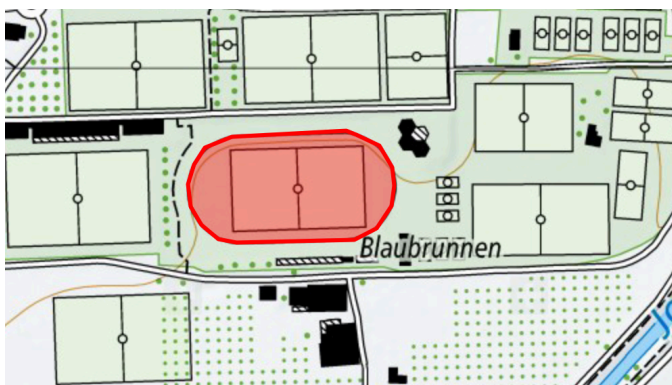


Abbildung 27. Laufdistanzmessungen in Jona, Tartanbahn, Koordinaten : 2'706'418, 1'230'923.



Abbildung 28. Laufdistanzmessungen in Magglingen, Tartanbahn, Koordinaten : 2'582'561, 1'220'900.

Anhang 3 Fotos Messtag: 06.12.2019, Brig.



Abbildung 29. Abmessen der Schnitzelbahn in Brig mit Rollrad und Messband.



Abbildung 30. App ready in Anwendung.



Abbildung 31. Probandin während einem Messlauf, Distanzmarkierung im Vordergrund.



Abbildung 32. Probandin startet Lauf mit Smartphone in Hüfttasche.



Abbildung 33. Messrad auf Tartanbahn.



Abbildung 34. Messrad mit Distanzanzeige.

Dank

Ich bedanke mich herzlich bei meiner Probandin Lucia für ihre Motivation bei den Messungen, trotz den frostigen Temperaturen. Weiter bedanke ich mich bei meinen Studienkollegen Francesco und Carmen, welche ihre Masterarbeit, bzw. Bachelorarbeit auch über die App ready schrieben, für die angenehme Zusammenarbeit. Die Messwerte zusammenzutragen erleichterte uns allen die Arbeit.

Ein besonderer Dank geht an meinen Betreuer Dr. Thomas Wyss, welcher jederzeit auf meine fragenden E-Mails antwortete und mir auch in Person zur Verfügung stand. Durch die konstruktive Begleitung und schnellen Rückmeldungen war es sehr angenehm an dieser Arbeit zu schreiben. Danke auch an Dr. Rahel Gilgen-Ammann für das zur Verfügung stellen Ihrer Doktorarbeit und Studien, welche in einem ähnlichen Themenbereich forschten, wie diese Masterarbeit.

Bedanken möchte ich mich auch bei meinem Freund und meiner Familie für das dieser Studie entgegengebrachte Verständnis und Ihre stetigen Ermutigungen.