UNI FR
UNIVERSITÉ DE FRIBOURG
UNVERSITÄT FREIBURG

SCIENCES DU MOUVEMENT ET DU SPORT
BEWEGUNGS- UND SPORTWISSENSCHAFTEN

Validierung der Laufdistanz beim 4-Minuten-Lauf der App *Ready*

Abschlussarbeit zur Erlangung des
Master of Science in Sportwissenschaften
Option Unterricht

eingereicht von

Francesco Canepa

Universität Freiburg, Schweiz
Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät
Departement für Medizin

in Zusammenarbeit mit der
Eidgenössischen Hochschule für Sport Magglingen

Referent
Dr. Thomas Wyss

Sisseln, Oktober 2021

Inhalt

Zusammenfassung ... 2
1 Einleitung ... 3
1.1 Fitness-Apps: Vorteile und Möglichkeiten ... 3
1.2 Die App *ready* der Schweizer Armee ... 6
1.3 Moderne Ortungssysteme und Sensoren zur Standortbestimmung ... 8
1.4 Grundlagen von GPS und anderen globalen Navigationssatellitensystemen ... 11
1.5. Genauigkeit von GNSS in Wearables und Smartphones ... 14
1.6 Zielsetzung der Forschungsarbeiten zum 4-Minuten-Lauf der App *ready* ... 17
2 Methode ... 19
2.1 Studiendesign zur Validierung der Laufdistanz beim 4-Minuten-Lauf ... 19
2.2 Auswahl der Probanden ... 20
2.3 Durchführung der Testläufe ... 21
2.4 Eigener Beitrag zu den Messungen ... 23
2.5 Datenaufbereitung und -auswertung ... 23
3 Resultate ... 25
3.1 Daten des 4-Minuten-Laufs bei ein- und ausgeschaltetem GPS ... 25
3.2 Messfehler der 4-Minuten-Läufe in unterschiedlichen Umgebungen ... 27
3.3 Messfehler der 4-Minuten-Läufe bei unterschiedlichen Untergründen ... 28
3.4 Messfehler der 4-Minuten-Läufe bei unterschiedlichen Smartphone-Typen ... 29
3.5 Auswertung der Daten unter Ausschluss der Messdaten des Huawei P10 ... 31
4 Diskussion ... 32
4.1 Interpretation der Ergebnisse zur Genauigkeit der GPS-Daten ... 32
4.2 Einschränkungen der Daten und Ergebnisse ... 35
4.3 Vorschläge zur Verbesserung der Messgenauigkeit der App *ready* ... 37
4.4 Ausblick und weitere Forschung ... 38
5 Schlussfolgerung ... 39
References ... 40
Anhang ... 44
Rohdaten der 4-Minuten-Läufe mit der App *ready* ... 44

Zusammenfassung

Für viele Menschen stellt ihr Smartphone heutzutage eines der wichtigsten Geräte im Alltag dar. Durch die hervorragende technische Ausstattung mit zahlreichen Sensoren und ihre nahezu flächendeckende Verbreitung eignen sich die Mobiltelefone hervorragend als Medium für Fitnessinterventionen aller Art.

Diesen Ansatz nutzt daher auch die Schweizer Armee, die mit der Fitness-App *ready* zukünftige Rekruten bei der Vorbereitung auf die Rekrutenschule unterstützen will. Dazu führen diese mit Hilfe der Smartphone-App mehrere Tests zu Kraft- und Ausdauerfähigkeiten durch und erhalten anschließend einen auf ihr derzeitiges Fitnessniveau angepassten Trainingsplan. Leider häufen sich negative Bewertungen der App von Nutzern, die die Genauigkeit des zur Evaluation der Ausdauerfähigkeit durchgeführten 4-Minuten-Laufs bemängeln.

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich daher mit der Validierung des 4-Minuten-Laufs der App *ready*. Durch die Kooperation mehrere Studierender und Promovierender konnte eine gemeinsame Datenerhebung zur Untersuchung dieser Fragestellung realisiert werden. Das Hauptaugenmerk dieser Arbeit liegt dabei auf den zur Messung der zurückgelegten Strecke verwendeten GPS-Daten und wie diese von unterschiedlichen Umweltfaktoren, vor allem Gebäuden und Vegetation, beeinflusst werden.

Um den Einfluss von Häusern und Bäumen auf die Ergebnisse beim 4-Minuten-Lauf der App *ready* zu untersuchen, führten fünf Probanden insgesamt 114 Läufe durch. Neben der von der Anwendung erfassten Distanz wurde die Strecke mit einem Maßband abgemessen, um den Messfehler der Smartphone-App zu bestimmen. Außerdem wurde eine Vielzahl an möglichen Einflussfaktoren protokolliert: Neben der Umgebung (offenes Gelände, Wald oder Stadt), der Beschaffenheit des Untergrunds, der Wetterlage war das vor allem auch der Smartphone-Typ und die im Menü bezüglich der Verwendung von GPS-Daten getroffenen Einstellung.

Bei einem durchschnittlichen Messfehler von 15,66 ± 1,36 % zeigte die App *ready* bei der Messung des 4-Minuten-Laufs deutliche Abweichungen von der tatsächlich zurückgelegten Strecke. Der Messfehler war bei eingeschaltetem GPS signifikant geringer als wenn diese Option ausgeschaltet war ($\boldsymbol{t(101) = 2{,}9, p < 0{,}002}$). Bezüglich der unterschiedlichen Umgebungen konnte allerdings kein signifikanter Einfluss auf den Messfehler festgestellt werden. Möglicherweise waren diese nicht genau genug definiert, außerdem fand die Datenerhebung im Winter statt, wenn Wälder typischerweise weniger dicht belaubt sind als in der warmen Jahreshälfte.

1 Einleitung

Das Smartphone ist für viele Menschen heutzutage ein ständiger Begleiter: In der Schweiz nutzten 2019 mehr als 80 Prozent der Menschen ein Mobiltelefon mit Internetzugang (Bundesamt für Statistik, 2018). Gleichzeitig verfügen fast alle Haushalte über zumindest ein Smartphone für den Privatgebrauch. Mehr als die Hälfte besitzt sogar zwei oder noch mehr Geräte. Befragungen in anderen Ländern haben ergeben, dass die Schweiz damit etwa im europäischen Durchschnitt liegt. Ähnliche Zahlen finden sich in anderen westlichen Industrienationen wie den USA oder Kanada (OECD, 2021). Weltweit gibt es Stand 2020 etwa 3,5 Billionen Smartphone-Nutzer. Prognosen gehen davon aus, dass es bis 2023 mehr als vier Billionen sein werden (Newzoo, 2020).

1.1 Fitness-Apps: Vorteile und Möglichkeiten

Dabei geht die Nutzung moderner Smartphones weit über die ursprünglichen Funktionen von Mobiltelefonen hinaus. Stattdessen werden sie zu multifunktionalen Geräten, die den Alltag durchdringen (Kranz et al., 2013). Das liegt einerseits natürlich an den vielfältigen Möglichkeiten der smarten Telefone: Sie können mit dem eingebauten GPS nicht nur die derzeitige Position, sondern auch die beim Ausdauersport zurückgelegten Strecken, detailliert bestimmen und aufzeichnen. Gleichzeitig sorgt das eingebaute Bluetooth dafür, dass auf dem Smartphone die Daten verschiedener Geräte zusammenlaufen. Dadurch können entsprechende Anwendungen für Mobiltelefone auch die von Wearables gesammelten Daten in ihre Auswertungen mit einbeziehen. Durch die zahlreichen Möglichkeiten zur Vernetzung wird das Smartphone zum Mittelpunkt der Leistungsmessung und -aufzeichnung. Gleichzeitig dient es über spezielle Anwendungen und Angebote als persönlicher Coach und Trainingstagebuch. Verglichen mit Web-Anwendungen stellt die Verwendung einer Smartphone-App eine kleinere Hürde dar, wodurch der Dropout sinkt (Carter et al., 2013).

Laut der jährlichen Umfrage des American College of Sport Medicine (ACSM) zu den weltweiten Fitnesstrends sehen viele Beschäftigte im Sport- und Fitnesssektor Wearables derzeit als wichtigsten Trend (Thompson, 2019). Mobile Fitness-Apps befanden sich in der Umfrage für 2019 noch auf Platz 16. Ihre Bedeutung hat laut der Befragten aber in letzter Zeit abgenommen, sodass sie für 2020 nur noch auf Platz 26 landen (Thompson, 2019). Trotzdem haben sie mittlerweile natürlich einen festen Platz in der derzeitigen Sport- und Fitnesslandschaft. Es erscheint außerdem naheliegend, dass die geschlossenen Fitnessstudios und Vereinsangebote während der Covid-19-Pandemie viele Nutzer erstmals oder erneut für Sport-Apps auf dem

Smartphone begeistern konnten. Yang and Koenigstorfer (2020) konnten in einer ersten Befragung unter gesunden Amerikanern nachweisen, dass die Nutzung einer Fitness-App das Absinken der körperlichen Aktivität in Lockdown-Phasen vermindern konnte.

Mittlerweile gibt es eine Vielzahl an Forschungsarbeiten zum Thema Fitness-Apps. Beschäftigten sich Wissenschaftler zu Beginn dieses Trends noch damit, die Wirkung von Fitness-Apps und ihre Effekte zu untersuchen, rückten mit der Zeit einzelne Elemente und deren Auswirkungen auf Motivation und Effektivität der Apps in den Vordergrund. Insgesamt lassen sich Fitness-Apps als vergleichsweise junges und damit noch sehr dynamisches Forschungsfeld einordnen: Liu and Avello (2021) stellen fest, dass rund die Hälfte aller im Jahr 2020 verfügbaren Publikationen zu diesem Thema 2018 und 2019 entstanden sind. Dementsprechend kann in den nächsten Jahren ein stetiger Zuwachs an Informationen und Erkenntnissen in diesem Bereich erwartet werden.

Auffällig ist, dass entsprechende Forschungsarbeiten sowohl einen sportwissenschaftlichen als auch einen medizinischen oder informationswissenschaftlichen Hintergrund haben können. Es handelt sich hier um ein interdisziplinäres Feld, das Kenntnisse in den unterschiedlichen Grundlagen der Anwendungen erfordert. Dementsprechend müssen bei der Entwicklung und Verbesserung von Fitness-Apps immer sowohl sportwissenschaftliche als auch verhaltenspsychologische und informationstechnische Grundlagen beachtet werden.

Viele Sportwissenschaftler schreiben Fitness-Apps ein hohes Potential zu, der steigenden körperlichen Inaktivität in westlichen Industrienationen entgegenzuwirken (Mollee et al., 2017). Dieses Potential beruht vor allem darauf, dass sie einfach und günstig verfügbar sind. Dadurch ist die Einstiegshürde denkbar gering. Gleichzeitig sind die Anwendungen auf dem Smartphone jederzeit erreichbar (Griffiths et al., 2006). Damit begünstigen sie bei langfristiger Verwendung nachhaltige Verhaltensänderungen und tragen dazu zur Gesundheitsförderung bei.

Mollee et al. (2017) identifizieren folgende Möglichkeiten für auf Smartphones laufende Fitness-Apps:

- Aufzeichnen körperlicher Aktivität (manuell oder automatisch)
- Feedback zu absolvierten Trainingseinheiten und Eingaben
- Unterstützung beim Setzen von Fitness-Zielen
- Vernetzung mit anderen Sportlern und über soziale Netzwerke inklusive virtueller Wettkämpfe
- Gamification mittels Auszeichnungen oder Storytelling
- Adaption des Trainingsplans/der Ziele aufgrund von Usereingaben oder Sensordaten

Bereits 2016 veröffentlichten Schoeppe et al. eine Studienübersicht, die sich mit der Effektivität von Fitness-Apps zur Steigerung der körperlichen Aktivität, Reduzierung körperlicher Inaktivität und einer gesünderen Ernährung beschäftigte. Dabei untersuchten sie insgesamt 27 Studien zu diesem Thema. Ein Großteil davon zeigte signifikante positive Effekte bezüglich der Steigerung körperlicher Aktivität (14 von 21), Reduzierung körperlicher Inaktivität (zwei von fünf) und einer gesünderen Ernährung (sieben von 13). Dabei fanden die Forscher Hinweise darauf, dass eine aus mehreren unterschiedlichen Komponenten und Interventionen bestehende App vergleichsweise erfolgreicher war als eine, die auf einem einzigen Prinzip aufbaute. Drei von den elf Studien, die die Nutzungszeit der Fitness-Apps protokollierten, kamen außerdem zu dem Schluss, dass eine längere Nutzungszeit positiv mit den erzielten Effekten korrelierte. Aufgrund der gefundenen Daten kommen Schoeppe et al. zu dem Schluss, dass für die Effektivität von Fitness-Apps im Allgemeinen eine mittlere Evidenz vorliegt. Inwiefern unterschiedliche Faktoren und Gestaltungen diese beeinflussen und wie der Nutzen maximiert werden kann, muss aus ihrer Sicht noch weiter untersucht werden.

Higgins (2016) kommt zu dem Schluss, dass vor allem folgende Inhalte von Fitness-Apps das Verhalten ihrer Nutzer effektiv beeinflussen können: Unterstützung beim Setzen von Zielen und Evaluation des Trainings diesbezüglich, die Aufzeichnung körperlicher Aktivität und Leistung sowie individuelles Feedback. Indem Anwendungen diese Merkmale und Features implementieren und kombinieren, können sie ihre Effektivität steigern und Nutzer besser motivieren.

Um die Art und Weise, auf die Fitness-Apps ihre Nutzer beeinflussen und unterstützen, tiefergehend zu erforschen, beschäftigten sich Gabbiadini and Greitemeyer (2019) über Veränderungen der körperlichen Aktivität hinaus auch mit der Einstellung ihrer Probanden. Sie kamen dabei zu dem Ergebnis, dass Versuchspersonen, die eine Fitness-App zur Aufzeichnung ihrer körperlichen Aktivität nutzen, sich einerseits mehr bewegten. Andererseits nahmen die Nutzer der Fitness-Apps diese nach einer zweiwöchigen Nutzung positiver wahr und standen auch körperlicher Aktivität aufgeschlossener gegenüber. Darüber hinaus stieg die wahrgenommene Selbstwirksamkeit in Bezug auf körperliche Aktivität und sportliches Verhalten. Damit weisen Gabbiadini und Greitemeyer nach, dass Fitness-Apps nicht nur als stetiger äußerer Einfluss Motivationen und Verhalten verändern. Sie wirken auch auf innere Faktoren, die bei der Motivations- und Verhaltensbildung eine entscheidende Rolle spielen. Damit sind sie nicht nur als kurzfristig wirksame Intervention, sondern als Möglichkeit für langfristige Verhaltensänderung zu sehen.

Wang and Collins (2021) weisen Fitness-Apps, je nach deren Funktionsumfang und ihren Inhalten, vier mögliche Rollen für ihren Benutzer zu: Tutor, Rekorder, Spielgefährte oder Cheerleader. Sie stellen dabei, ähnlich wie bereits Schoeppe et al. und Higgins, fest, dass eine Kombination dieser Rollen und Funktionen die Effektivität gegenüber einer einzelnen Aufgabe steigert. Sie weisen außerdem unterschiedliche Präferenzen bei verschiedenen Altersgruppen, Geschlechtern und Fitnesslevels nach. Demnach sollten Fitness-Apps möglichst vielseitig sein, wenn sie ein breites Zielpublikum ansprechen sollen. Andererseits ist mit diesen Daten und Erkenntnissen aber auch eine Massschneiderung auf eine bestimmte Ziel- und Nutzergruppe möglich. Insgesamt fiel auf, dass Gamification-Elemente vor allem bei jüngeren Menschen sehr beliebt waren und hier gute Effekte bezüglich der Steigerung der körperlichen Aktivität erzielen konnten.

1.2 Die App *ready* der Schweizer Armee

Die App *ready* ist eine Fitness-App, die im Auftrag der Schweizer Armee entwickelt wurde. Sie sollte zunächst vor allem Stellungspflichtige ansprechen, die sich körperlich auf den Rekrutierungstag und die erste Zeit in der Rekrutenschule vorzubereiten (Walt, 2019). Ausgangspunkt für ihre Entwicklung waren die hohe Verletzungsrate und die hohen Austrittszahlen unter Schweizer Rekruten, die laut Wyss (2010) wahrscheinlich mit der hohen körperlichen und mentalen Belastung in den ersten zehn Wochen in der Rekrutenschule und einem danach degressiven Verlauf zusammenhängen. In einer weiteren Studie konnten Wyss and Annen (2013) nachweisen, dass durch ein progressiv verlaufendes körperliches Fitnesstraining Verletzungen in der Ausbildung in der Rekrutenschule um ein Drittel reduziert werden konnten. Auch auf die Leistungsmotivation wirkte sich die gezielte Steigerung der Belastungen positiv aus.

In den an diese Untersuchungen aufgestellten Maßnahmenkatalog für die Verbesserung der Situation der Rekruten fiel auch die Entwicklung einer „Sport-App als zeitgemässe Form für den militärischen Nachwuchs, sich auf die Rekrutenschule vorbereiten zu können“ (Walt, 2019). Nach 18 Monaten Entwicklungszeit startete die die App *ready* am 4. März 2019. Darüber hinaus ist die App natürlich auch zivil nutzbar (Walt, 2019).

Wie die meisten Fitness-Apps umfasst auch die App *ready* eine Vielzahl an Funktionen. Zu den wichtigsten gehören laut Beschreibung im App-Store (Schweizer Armee, 2020):

- Individuell an die körperlichen Fähigkeiten und die angestrebte militärische Funktion abgestimmter Trainingsplan
- Vier Trainingseinheiten mit progressiv ansteigendem Intensitätslevel pro Woche
- Training mit dem eigenen Körpergewicht ohne zusätzliche Hilfsmittel

- Mehr als 330 Videoanleitungen zu den einzelnen Übungen
- Kopplung mit Sportuhren und Fitnesstrackern möglich
- Trainingstagebuch für sportliche Aktivitäten
- Wissen und Hintergrundinfos rund um Sport, Ernährung und mentale Stärke
- Gamification über Awards und Auszeichnungen für erreichte Ziele
- Möglichkeit, Erfolge auf sozialen Medien zu teilen
- Fortlaufende Weiterentwicklung und Verbesserung

1.2.1 Der 4-Minuten-Lauf der App *ready*

Zur Bestimmung des körperlichen Fitnesslevels nutzt die App *ready* unter anderem einen 4-Minuten-Lauf zur Bestimmung der Ausdauer-Leistungsfähigkeit. Dabei laufen die Nutzer der App vier Minuten lang, wobei die zurückgelegte Distanz mittels über das im Smartphone integrierte GPS aufgezeichnet wird. Aus der Laufstrecke wird dann auf die Ausdauer-Leistungsfähigkeit geschlossen.

Der 4-Minuten-Lauf ist dabei eine ökonomisierte Version des Cooper-Tests und des daraus abgeleiteten 6-Minuten-Laufs. Der 6-Minuten-Lauf wurde 1983 für die „quantitative Bestimmung der Ausdauerleistungsfähigkeit“ im Schulsport entwickelt (Bös, 2017). Die Durchführung ist einfach: Die Teilnehmer laufen sechs Minuten lang in der Halle, auf einer Rundbahn oder im Gelände. Die bei Ablauf der Zeit erzielte Strecke dient der Ermittlung der Ausdauerleistungsfähigkeit anhand entsprechender Normwerte. Der 6-Minuten-Lauf weist eine hohe Korrelation mit der VO_2max, der aussagekräftigsten Größe in Bezug auf die Ausdauerleistungsfähigkeit, auf. Er ist unter anderem Bestandteil mehrerer Testbatterien, darunter der *Allgemeine sportmotorische Test für Kinder*, der *Düsseldorfer Check* sowie der *Deutsche Motorik-Test*. Er ist vielfach validiert und wird vor allem aufgrund seiner einfachen und ökonomischen Durchführbarkeit geschätzt. Es konnten in Studien aber relevante Abweichungen bei unterschiedlicher Beschaffenheit der Laufstrecken nachgewiesen werden. Die Abweichung zwischen 400-Meter-Bahn und einem Volleyballfeld betrugen durchschnittlich 7 % (Bös, 2017). Der Autor gibt daher zu bedenken, dass die Ergebnisse auf unterschiedlichen Untergründen und bei verschiedenen Umweltbedingungen sich nur eingeschränkt vergleichen lassen. Aufgrund des geringen Aufwands und der einfachen Durchführbarkeit ist der 6-, beziehungsweise 4-Minuten-Lauf trotzdem eine geeignete und ausreichend genaue Methode für eine erste Einstufung der Ausdauerleistungsfähigkeit für Nutzer der App *ready*.

Gerade beim Einstieg in eine App ist es wichtig, das Interesse der Nutzer zu fördern und den Aufwand möglichst gering zu halten. Damit an der Fitness-App Interessierte möglichst schnell eine Einschätzung ihrer Leistungsfähigkeit erhalten, wurde der Lauf noch einmal um zwei Minuten gekürzt. Das hat außerdem den Vorteil, dass mit ihm auch untrainierte Erwachsene nicht überfordert sind. Sind die Anforderungen beim Fitnesstest zu groß, könnte sich der Drop-Out an diesem Punkt kritisch erhöhen.

1.2.2. Feedback zum 4-Minuten-Lauf zur Bestimmung der Ausdauerleistungsfähigkeit

Nutzer bemängeln in den Rezensionen immer wieder, dass die Genauigkeit der Aufzeichnung beim 4-Minuten-Lauf fehlerhaft oder ungenau ist (Google Commerce Ltd, 2021). Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit diesem Problem und wird evaluieren, ob die Laufdistanz beim 4-Minuten-Lauf der App *ready* genau genug ist. Sie untersucht dafür insbesondere den Einfluss unterschiedlicher Umgebungen, Wetterbedingungen, Betriebssysteme und Positionen des Smartphones auf die ermittelten Laufdistanzen.
Durch die Erhebung entsprechender Daten soll die von den Nutzern geäußerte Kritik überprüft und falls möglich die Ursache für das fehlerhafte Tracking in einigen Fällen identifiziert werden. Durch eine aus den Daten abgeleitete Verbesserung der Anweisungen für die Nutzer oder Ideen für die Optimierung der App soll die Zahl der Nutzer vergrößert werden. Gleichzeitig profitiert das gesamte Konzept der App *ready* von präzisen Messdaten, da mit ihnen sowohl die Sportvorbereitung als auch die Gesunderhaltung der Nutzer verbessert werden kann.

1.3 Moderne Ortungssysteme und Sensoren zur Standortbestimmung

Moderne Smartphones verfügen heute ab Werk über mehrere eingebaute Funktionen und Mechanismen zur Ortung der Geräte und Identifizierung von menschlicher Bewegung. Diese werden von den meisten Dazu gehören laut Del Rosario et al. (2015):

- GPS-Empfänger
- Wi-Fi –Empfänger
- Mobilfunkantenne
- Beschleunigungssensoren
- Gyroskop
- Magnetometer
- Barometer

Theoretisch können alle diese Funktionen gleichzeitig verwendet werden, um die Ortung und das Tracking des Smartphones zu perfektionieren. Del Rosario et al. (2015) geben aber zu bedenken, dass alle Prozesse die beim Smartphone begrenzte Ressource Strom verbrauchen. Deswegen optimieren die meisten Algorithmen und Anwendungen Ortung und Tracking auf ein angemessenes Energieverbrauch-Genauigkeit-Level.
In modernen Smartphones sind drei Arten von Ortungsmöglichkeiten implementiert. Diese werden auch als Location Based Services, kurz LBS, zusammengefasst. In der Regel arbeiten alle drei Technologien zusammen, um den Ortungsprozess möglichst genau zu machen.

1.3.1 Ortung über das Mobilfunknetz per Cell Identifier

Die Ortung über Cell Identifier wird auch als Cell ID abgekürzt. Hier erfolgt die Postionsbestimmung des Smartphones über die Informationen zu Längen- und Breitengrad der Basisstationen des Mobilfunkanbieters in Reichweite. Die Genauigkeit schwankt dabei je nach Zellgröße der jeweiligen Basisstation. In der Regel ist Cell ID daher in Städten durch die größere Anzahl an Basisstationen und deren kleinere Zellgröße genauer als in ländlichen Gegenden. Insgesamt schwankt die Größe der Zellen und damit die Genauigkeit von Cell ID zwischen wenigen Metern bis zu mehreren Kilometern (Trevisani & Vitaletti, 2004). Bricht die Mobilverbindung ab, scheitert die Ortung per Cell ID.

1.3.2 Ortung über Wireless Local Area Network (WLAN)

Ortung über Wireless Local Area Network (WLAN): Die Ortung per WLAN basiert auf der Messung der Nähe des Smartphones zu drahtlosen Zugangspunkten anhand der Stärke des empfangenen Signals (Received Signal Strength, kurz RSS). Die RSS ist aber von vielen Faktoren wie der Stärke des Senders, der verwendeten Frequenz, der Topografie der Umgebung und sogar der Haltung des Smartphones abhängig (Dhein & Grimm, 2017). Daher ist diese Art der Ortung ungenau mit Abweichungen von durchschnittlich 30 bis 50 Metern. Sie ist außerdem nur in besiedelten Gebieten mit einer ausreichenden Anzahl an Access Points verfügbar.

1.3.3 Ortung über Global Positioning System (GPS)

GPS ist ein Satellitenortungssystem, das vom US-Verteidigungsministerium für militärische Zwecke entwickelt wurde. Seit 1995 betreibt die US-Regierung unter dem Namen *Navigational Satellite Timing and Ranging – Global Positioning System* (NAVSTAR-GPS) einen für alle Nutzer frei verfügbaren Ortungsdienst. Bis zum Jahr 2000 verschlechterte die Regierung die Ortung per GPS künstlich auf eine Genauigkeit von etwa 100 Metern (United States of

America, 2008). Die neueste Generation an GPS-Satelliten verfügt allerdings nicht mehr über dieses Feature der *Selective Availability*. Der für zivile Anwendungen nutzbare Standard Positioning Service (SPS) erreicht derzeit in Bezug auf das abgestrahlte Signal Genauigkeiten von etwa acht Metern mit einer Standardabweichung von vier Metern (United States of America, 2008).

1.3.4 Standortbestimmung über Bewegungserkennung und Koppelnavigation

Zu den weniger weit verbreiteten Methoden zur Standortbestimmung von Smartphones gehört der Einsatz der Sensoren zur Bewegungserkennung. Mit entsprechender Programmierung kann Software Bewegung mittels dieser Sensoren erkennen und über den Kompass auch die jeweilige Richtung erkennen. Es handelt sich bei den dadurch erzielten Positionsdaten allerdings um relative Angaben. Aus ihnen können nur dann Rückschlüsse über den genauen Standort geschlossen werden, wenn dieser zu Beginn der Bewegung bekannt war (Hoffmann, 2012).
Die Nutzung der Bewegungserkennung im Rahmen der sogenannten Koppelnavigation eignet sich daher für Situationen, in denen das GPS-Signal zwar prinzipiell vorhanden, die Stärke und Genauigkeit aber eingeschränkt ist. Auch wenn es um die reine Distanzmessung geht, ist die Koppelnavigation per Bewegungserkennung bei schlechten Standortsignalen deutlich im Vorteil. Sie kämpft aber mit ihren eigenen Messfehlern und Ungenauigkeiten.

1.3.5 Standortbestimmung von Smartphones aus informationstechnischer Sicht

Die vorgestellten Vor- und Nachteile der Standortermittlung per WiFi, Mobilfunk und GPS sind natürlich auch den Herstellern von Smartphones sowie den Programmierern entsprechender Betriebssysteme bewusst. Diese ermöglichen es Nutzern standardmäßig, in den Einstellungen Präferenzen über die verwendeten Methoden zur Standortbestimmung festzulegen. Dadurch können diese zum Beispiel manuell die Verwendung von GPS zur Standortbestimmung verhindern oder erzwingen.

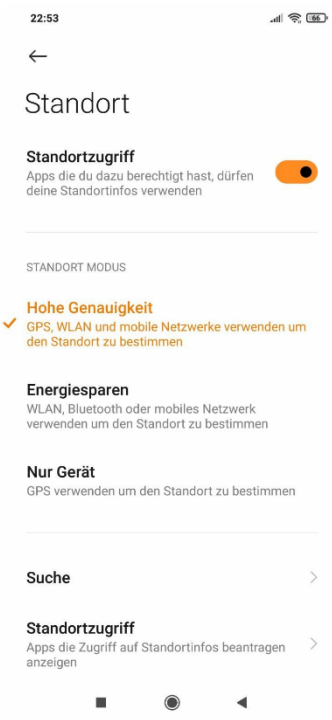

Abbildung 1. Menü eines Android Smartphones zur Festlegung der verwendeten Standort-Technik.

Die in Smartphones integrierten Lokalisierungssysteme werden Apps vom Betriebssystem über sogenannte Location-Provider zur Verfügung gestellt (Hoffmann, 2012). Die App selbst erhält von diesen Providern auf Anfrage Positionsangaben. Je nach Art der Programmierung greifen Anwendungen für Smartphones daher nur die vom Betriebssystem zur Verfügung gestellten Positionsdaten ab, anstatt direkt auf die entsprechenden Sensoren zuzugreifen.

1.4 Grundlagen von GPS und anderen globalen Navigationssatellitensystemen

Aufgrund ihrer überlegenen Genauigkeit eignen sich globale Navigationssatellitensysteme (GNSS) mit Abstand am besten für die Messung und Aufzeichnung sportlicher Aktivitäten. Die Verfügbarkeit ist dabei jedoch auf Sport im Freien beschränkt, weil zur Kommunikation zwischen Satellit und Empfänger eine Sichtverbindung bestehen muss (Dhein & Grimm, 2017).

Das NAVSTAR-GPS der Vereinigten Staaten von Amerika ist das älteste satellitenbasierte Ortungssystem. Es hat in der letzten Dekade aber zunehmend Konkurrenz durch von anderen Staaten initiierte Projekte, die auf den gleichen Prinzipien beruhen, bekommen: GLONASS aus Russland, Galileo von der Europäischen Union und Beidou der Volksrepublik China sind ebenfalls leistungsstarke GNSS. Das Galileo-Projekt der Europäischen Union soll nicht nur die Verfügbarkeit der Satelliten-Navigation und -Ortung durch die erhöhte Anzahl an Satelliten im Orbit verbessern. Die Ortung soll durch stärkere Signale auf zwei Frequenzen und eine bessere

Bodeninfrastruktur gegenüber dem GPS-Standard außerdem deutlich genauer ausfallen (Schüttler, 2014). Durch die Interoperabilität der verschiedenen Satelliten-Navigationssysteme und von der European Global Navigation Satellite Systems Agency (GSA) gestartete Förderprogramme sind moderne Smartphones häufig mit allen drei oder vier verschiedenen Satelliten-Ortungssystemen kompatibel (European GNSS Service Centre).
GPS-Navigation basiert auf speziell auf diesen Dienst ausgelegten Satelliten, die in einer Höhe von 20.200 Kilometern auf einer präzisen Umlaufbahn die Erde umkreisen. Sie übertragen ein hochaufgelöstes Zeitsignal auf Atomuhr-Basis mit der Lichtgeschwindigkeit von 300.000 Kilometern pro Sekunde. Auf Basis der Ankunftszeit beim Gerät kann mit dessen Hilfe die Übertragungszeit und daraus wiederum die Distanz zum Satelliten berechnet werden (Dhein & Grimm, 2017). Zur Positionsberechnung mittels Trigonometrie werden die Signale von drei verschiedenen Satelliten gleichzeitig benötigt. Soll auch die Höhe zuverlässig bestimmt werden, ist mindestens der Kontakt zu vier Satelliten nötig. Nur so können etwaige Zeitdivergenzen vollständig eliminiert werden (Dhein & Grimm, 2017).

1.4.1 Die Genauigkeit von globalen Navigationssatellitensystemen

Ranacher et al. (2016) fassen die Genauigkeit von GPS und die vorhandenen Einschränkungen bezüglich ebendieser wie folgt zusammen: Obwohl globale Satellitennavigationssysteme wie GPS zu den wichtigsten Sensoren für die Bewegungsanalyse gehören und weit verbreitet sind, um die Bewegungen von Objekten oder Lebewesen im geographischen Raum aufzuzeichnen, wie z.B. die Bewegungen von Fahrzeugen, Tieren und Menschen und obwohl die Satellitennavigation eine globale Positionsbestimmung mit bisher unerreichter historischer Genauigkeit ermöglicht, sind GPS-Trajektorien nach wie vor mit Fehlern behaftet. Die zwei Arten von Fehlern bei jeder Art von Bewegungsdaten sind der Messfehler und der Interpolationsfehler. Diese Fehler wirken sich zwangsläufig auch auf die mit einem GPS aufgezeichneten Trajektorien aus. Mess- und Interpolationsfehler führen dazu, dass die mit einem GPS aufgezeichnete Bewegung von der tatsächlichen Bewegung des Objekts abweicht. Dies muss berücksichtigt werden, um aussagekräftige Ergebnisse aus GPS-Daten zu erhalten. Der Interpolationsfehler bezieht sich auf die Grenzen der Interpolation, die die tatsächliche Bewegung zwischen aufeinander folgenden Positionen darstellt. Der Messfehler ist sowohl zufällig, verursacht durch externe Faktoren, als auch systematisch, verursacht durch Systemeinschränkungen.
Laut Ranacher et al. (2016) sind die wichtigsten Einflussfaktoren, die Messfehler bei der Bestimmung von Distanzen per GPS verursachen:

- Ausbreitungsverzögerung: Die Dichte der freien Elektronen in der Ionosphäre, sowie Temperatur, Druck und Feuchtigkeit in der Troposphäre beeinflussen die Geschwindigkeit des GPS-Signals und dadurch auch die Zeit, die benötigt wird um den Empfänger zu erreichen.
- Drift in der GPS-Zeit: Eine Drift in den Borduhren der verschiedenen GPS-Satelliten bewirkt, dass diese asynchron zueinander und zu einer Referenzuhr arbeiten. Selbst kleinste Abweichungen können zu relevanten Messfehlern führen.
- Ephemeridenfehler: Die Berechnung der Ephemeriden, der Orbitalposition eines GPS-Satelliten zu einem bestimmten Zeitpunkt wird von Unsicherheiten beeinflusst.
- Hardware-Fehler: Der GPS-Empfänger ist als Messinstrument fehleranfällig und kann beim der Verarbeitung des GPS-Signals Mess- und Verarbeitungsfehler verursachen.
- Mehrwegeausbreitung: Erdobjekte wie hohe Gebäude und Glasfassaden in der Nähe des Empfängers können das GPS-Signal reflektieren und so seine Reisezeit vom Satelliten zum Empfänger verlängern.
- Geometrie der Satelliten: Die Genauigkeit der Positionsergebnisse kann von einer nicht idealen geometrischen Konstellation der Satelliten verringert werden.

1.4.2 Verbesserung der Genauigkeit durch Korrekturdaten

Die GPS-Genauigkeit kann durch den Einsatz von differentiellen globalen Positionierungssystemen (DGPS) wie dem European Geostationary Navigation Overlay Service erhöht. Die einzelnen DGPS-Stationen befinden sich an genau vermessenen Koordinaten. Dementsprechend können sie die durch Ionosphäre-, Troposphären- und Satellitenbahnfehler verursachte Ausbreitungsverzögerung, die die GPS-Positionsbestimmung verfälschen herausrechnen. Mittels dieser Korrekturdaten verleihen sie globalen Navigationssatellitensystemen eine höhere Genauigkeit.

Je nach Entfernung zur nächsten Referenzstation liegt die Genauigkeit der GPS-Standortbestimmung dadurch bei zwischen wenigen Zentimetern bis zu einem halben Meter (Matosevic et al., 2006). Da der Empfang der Korrekturdaten in der Regel kostenpflichtig ist, werden diese nicht zur Verbesserung der Standortermittlung von Smartphones verwendet. Stattdessen kommt es hauptsächlich in der kommerziellen Schiff- und Luftfahrt sowie für militärische Zwecke und genaue Bodenvermessungen zum Einsatz.

Modsching et al. (2006) konnten in ihren Feldversuchen zur GPS-Genauigkeit in mittelgroßen Städten Abweichungen von durchschnittlich 24,5 Metern beobachten. Dabei stellten sie große

Unterschiede zwischen verschiedenen Versuchsorten fest. Diese ließen sich am besten mit der lokalen Topografie erklären: In einer schmalen Straße mit hohen Gebäuden an beiden Seiten waren die Abweichungen deutlich größer als in einer breiten Straße mit niedrigerer Bebauung.

1.4.3 Verbesserung der Standortbestimmung in Smartphones

Jede der drei Hauptmethoden zur Standortbestimmung, die von Smartphones verwendet werden, hat ihre Vor- und Nachteile. Zusammengenommen können sie sich aber gegenseitig ergänzen, um dadurch insgesamt genauere Positionsdaten zu liefern. Dieser Ansatz ist auch unter dem Begriff des Assisted GPS (A-GPS) bekannt (Bell et al., 2010).

Hier werden GPS und Mobilfunktechnologie miteinander verknüpft: Indem Mobilfunkmasten mit einem eigenen GPS-Sender ausgestattet sind oder Zugriff auf einen GPS Info-Server haben, verkürzt sich die Latenz bei der Positionsbestimmung entscheidend. Dadurch können vor allem während schneller Bewegungen mehr einzelne Punkte erfasst und die zurückgelegte Strecke genauer dokumentiert werden. Gleichzeitig hilft A-GPS viele Einschränkungen der satellitengestützten Positionsbestimmung für Smartphones zu überwinden: Da kein direkter Sichtkontakt mehr nötig ist, funktioniert die Standortermittlung auch in Gebäuden sowie in stark bebauten Gebieten.

1.5. Genauigkeit von GNSS in Wearables und Smartphones

Als einfaches und effektives Tool zur Verringerung der Ungenauigkeit schlagen Modsching et al. (2006) die Korrektur auf Basis von Kartendaten vor. Das ist aber natürlich nur möglich, wenn das GPS-Tracking auch wirklich entlang einer festen Straße oder eines auf Karten eingezeichneten Weges erfolgt. Das ist bei vielen Feld- und Waldwegen, die gerne von Läufern genutzt werden, nicht der Fall. Auch für die Messung einer zurückgelegten Strecke auf der Tartanbahn ist diese Art der Korrektur nicht von Bedeutung.

1.5.1 Dynamische Genauigkeit von GPS-Empfängern unter realen Umweltbedingungen

Mit der dynamischen Genauigkeit von GPS-Tracking unter echten Umweltbedingungen beschäftigten sich Schipperijn et al. (2014). In ihre Tests bezogen die Autoren dabei sowohl die Fortbewegung zu Fuß als auch mit dem Fahrrad, Bus oder Auto ein. Dabei unterschieden sie, je nach Bebauung drei unterschiedliche Areale, je nach Bebauung: Offenes Gelände, halboffenes Gelände und städtische Schluchten.

Insgesamt betrug die Abweichung der mit GPS gemessenen Route gegenüber der wahren Route durchschnittlich etwa 2,9 Meter. Dabei befanden sich etwas weniger als die Hälfte der Datenpunkte innerhalb eines Radius von 2,5 Metern um die tatsächlichen Streckenpunkte. Etwas mehr als 20 % der Datenpunkte hatten eine Abweichung von mehr als 10 Metern. Dabei erzielten die Fußgänger gegenüber den anderen Fortbewegungsarten die geringste Genauigkeit. Offene Areale hatten die geringsten Abweichungen, gefolgt von halboffenen Arealen mit durchschnittlich 2,6 Metern und 5,2 Metern in den städtischen Schluchten, die beidseitig bebaut waren. Als Erklärung für die schlechtere Genauigkeit bei der Aufzeichnung von Fußgängerrouten vermuten die Autoren, dass diese im städtischen Umfeld oft besonders nah an Gebäuden entlanglaufen und daher häufiger Probleme mit dem Sichtkontakt zu den GPS-Satelliten sowie mit der Mehrwegausbreitung haben. Insgesamt erachten die Autoren die gemessenen Daten aber als genau genug, um GPS-Messungen als valides Mittel zum Bewegungstracking für Gesundheitsstudien zu empfehlen. Sie geben darüber hinaus aber zu bedenken, dass ihre Ergebnisse jahreszeitlich bedingt, die Messungen fanden in der Winterhälfte des Jahres statt, überdurchschnittlich gut ausgefallen sein könnten. Von Frühjahr bis Herbst könnte sich die Genauigkeit des dynamischen GPS-Trackings in Gebieten mit vielen Bäumen aufgrund deren Blätter verschlechtern (Schipperijn et al., 2014).

Weitere Anhaltspunkte, in welchen Dimensionen sich die Abweichungen beim Messen von Strecken beim Laufen im Freien bewegen, liefert eine Studie von Nielsen et al. (2013). Im Rahmen ihrer Untersuchungen zum Zusammenhang zwischen wöchentlichem Trainingsvolumen und Verletzungen bei Läufern validierten die Autoren auch die Genauigkeit des Streckentrackings per GPS. Einmal maßen sie die verwendeten GPS Uhren im Vergleich mit einem bis auf wenige Zentimeter genauen GPS1200+ Leica Geosystem. Zudem untersuchten sie auch die Reliabilität der GPS Uhren, indem sie Abweichungen untereinander verglichen. Dabei untersuchten sie drei Arten von Strecken: Gerade Wege mit klarem Blick zum Himmel, urbane Umgebungen mit nahen Gebäuden und Strecken im Wald. Insgesamt kamen Nielsen et al. (2013) dabei zu folgenden Ergebnissen:

- Gegenüber dem Goldstandard weisen die GPS-Uhren in allen Geländearten statistisch signifikante Abweichungen auf – sowohl auf einer Strecke von 300 Metern als auch auf einem Kilometer.
- Am größten fällt die Abweichung auf einen Kilometer im Wald aus (durchschnittlich 62 Meter), gefolgt von der Stadt (14 Meter) und der geraden Strecke mit klarem Blick (8 Meter).

- Die GPS-Uhren weisen sich selbst gegenüber keine signifikanten Abweichungen auf einer Strecke von 300 Metern auf – unabhängig vom Terrain.
- Auf einem Kilometer gerader Strecke mit klarem Blick und in der Stadt gab es bei den GPS-Uhren untereinander signifikante Abweichungen. Diese sind auf gerader Strecke aber sehr gering (durchschnittlich weniger als 1 Meter). In der Stadt betrug die Abweichung auf einen Kilometer durchschnittlich 20 Meter.

Insgesamt geben die Autoren für das GPS-Tracking mithilfe einer Laufuhr auf dem freien Feld eine Abweichung von etwa 0,8 %, für die Stadt etwa 1,2 % und für den Wald 6,2 % an. Die Autoren sind der Meinung, dass Abweichungen unter 10 % für klinische Messungen nicht relevant sind. Damit ordnen sie die verwendeten GPS-Uhren als genau genug für ihre Zwecke ein und empfehlen diese Art der Messung auch anderen Autoren (Nielsen et al., 2013).

1.5.2 Die Genauigkeit von GPS-Daten zur Messung von Strecken per Smartphone-App

Zusätzlich zu den bereits genannten systematischen Einschränkungen und Problemen von GPS-Systemen hinsichtlich der Genauigkeit, eröffnet die Implementierung dieser Technologie in Anwendungen auf Smartphones neue Herausforderungen. Neben der allgemeinen Genauigkeit der Satelliten-Ortung müssen daher auch die Möglichkeiten und durchschnittlich erzielten Werte solcher Implementierungen beachtet werden.

Gleichzeitig konnten Hess et al. (2012) nachweisen, dass verschieden Smartphones mit unterschiedlichen Betriebssystemen und GPS-Empfängern zum Teil starke Unterschiede in Sachen Genauigkeit von GPS-Daten aufweisen. Auf die vom Nutzer verwendete Hardware haben Programmierer von Fitness-Apps aber keinerlei Einfluss.

Bauer (2013) untersuchte in einem anderen Ansatz neun unterschiedliche beliebte Fitness-Apps auf die Genauigkeit ihrer Messungen hin. Sie verwendete dafür immer das gleiche Setup. Die Abweichungen der unterschiedlichen Anwendungen lagen bei einer Strecke von einem Kilometer zwischen 0 und 60 Metern. Die Ergebnisse legen nahe, dass auch die Datenverarbeitung der Fitness-Anwendungen Abweichungen bei der gemessenen Strecke verursachen kann. Es ist aber unklar, ob die Autoren gleichbleibende Wetterbedingungen und andere Faktoren, die zu Abweichungen führen könnten, bei ihren Messungen beachtet haben. Gegebenenfalls könnten die Abweichungen auch auf diese zurückzuführen sein.

Fest steht: Es gibt eine Vielzahl an unterschiedlichen Faktoren, die zu Messfehlern im dynamischen GPS-Tracking über das Smartphone und Abweichungen von der tatsächlich zurückgelegten Strecke führen können.

1.6 Zielsetzung der Forschungsarbeiten zum 4-Minuten-Lauf der App *ready*

Die Sichtung der derzeitigen Forschungslage macht klar, dass die Positionsbestimmung von Smartphones per GPS äußerst fehleranfällig ist. Welche Faktoren genau zu den von den Nutzern berichteten Abweichungen beim 4-Minuten-Lauf in der *ready* App führen, ist jedoch nicht klar. Dementsprechend kann ohne weitere Untersuchungen keine Empfehlung für die Verbesserung der App ausgesprochen werden.

Es ist denkbar, dass die berichteten Abweichungen auf schlechtem GPS-Empfang durch Bebauung oder andere Umweltfaktoren wie das Wetter zurückgehen. Andererseits könnten aber auch eine falsche Durchführung des Tests oder die Position des Smartphones am Körper Ursache für die Unzufriedenheiten mit der Genauigkeit der Ergebnisse sein. Nicht zuletzt handelt es sich bei den Nutzer-Bewertungen nicht um objektive Angaben. Deswegen soll im Rahmen dieser und weiterer Abschlussarbeiten der 4-Minuten-Lauf der App *ready* anhand wissenschaftlicher Forschungsdaten validiert werden.

Liegen belastbare Daten zu den unterschiedlichen Variablen, die die Genauigkeit der Messung beeinflussen können, vor, lassen sich daraus Empfehlungen zur Verbesserung der Messgenauigkeit und damit der gesamten Anwendung ableiten.

1.6.1 Ziel dieser Arbeit

Der Schwerpunkt dieser Arbeit liegt darauf, den Einfluss der Umgebung auf die Genauigkeit der durch GPS-Messungen bestimmten Distanz beim 4-Minuten-Lauf zu untersuchen. Wie bereits erläutert, gehört zu den größten Vorteilen von Fitness-Apps, dass sie das Aufsuchen einer bestimmten Lokalität zum Sport treiben überflüssig machen. Wer mit ihnen trainiert, kann überall und jederzeit laufen gehen und seine Strecke dabei frei wählen. Übt die Umgebung jedoch einen negativen Einfluss auf die Messgenauigkeit der Distanz aus, sollte dieses Problem behoben oder zumindest erwähnt werden.

Derzeit empfiehlt die App *ready* in den Anweisungen, den 4-Minuten-Lauf auf einer Rundbahn oder ebenen Strecke durchzuführen. Je nachdem, zu welchen Ergebnissen die Validierung des Ausdauertests kommt, können diese Anweisungen präzisiert oder überarbeitet werden.

1.6.2 Präzisierung der Fragestellung

Von den rund 8,5 Millionen Einwohnern der Schweiz leben fast 5,5 Millionen im städtischen Kernraum (Bundesamt für Statistik, 2020). Diese absolvieren den 4-Minuten-Lauf der App *ready* daher mit einer hohen Wahrscheinlichkeit in einer dicht bebauten Umgebung. Da schon Schipperijn et al. (2014) größere Messfehler durch Gebäudeschluchten festgestellt haben, liegt

die Frage nahe, inwiefern die umliegende Bebauung auch das Ergebnis des 4-Minuten-Laufs verfälscht.

Für die Messfehler von GPS-Signalen in Städten gibt es zwei Hauptursachen: Einerseits reflektieren Glas- und andere Fassaden die Signale und verlängern dadurch deren Reisezeit. Neben der Mehrwegeausbreitung kann durch hohe Gebäude andererseits aber auch der Sichtkontakt unterbrochen werden, was zu einem schlechten GPS-Signal führt und die genaue Positionsbestimmung verzögert. Dadurch entstehen in dicht bebauten städtischen Gebieten unter Umständen längere Perioden, in denen keine ausreichend exakte Standortbestimmung durchgeführt werden kann. Ähnliche Probleme können im Wald auftreten. Hier blocken Bäume mit dichtem Laub das GPS-Signal. Läufern für eine genauere Messung der zurückgelegten Strecke zu einem 4-Minuten-Lauf in der unbebauten Natur zu raten, könnte also ebenfalls kontraproduktiv sein.

Um die Validität des 4-Minuten-Laufs der App *ready* einzuschätzen und gegebenenfalls Empfehlungen für deren Verbesserung zu geben, soll in dieser Arbeit folgende Fragen beantwortet werden:

1. Welchen Einfluss haben Bäume im Wald und Häuser in der Stadt auf die Messgenauigkeit der App *ready* beim 4-Minuten-Lauf?
2. Ist der 4-Minuten-Lauf der App *ready* derzeit genau genug, um den Fitnesszustand vor Aufnahme eines Trainings mit progressiv ansteigender Intensität einzuschätzen?
3. Was sind mögliche und wahrscheinliche Fehlerquellen für Messungenauigkeiten? Wo gibt es weiteren Forschungsbedarf?
4. Wie könnte die Messgenauigkeit der App *ready* beim 4-Minuten-Lauf verbessert werden?

Um die Fragestellung wissenschaftlich zu untersuchen, wurden folgende Hypothesen aufgestellt:

H0: Bäume und Häuser entlang der Laufstrecke haben keinen oder nur einen geringfügen Einfluss auf die Messgenauigkeit beim 4-Minuten-Lauf der App *ready*.

H1: Bäume und Häuser entlang der Laufstrecke verfälschen die per GSSN gewonnenen Standortdaten des Smartphones und führen dadurch zu Fehlern bei der zurückgelegten Distanz beim 4-Minuten-Lauf in der App *ready*.

2 Methode

Zur Beantwortung der Fragestellung bezüglich des Einflusses von Bäumen und Häusern auf die Messgenauigkeit beim 4-Minuten-Lauf der App *ready* wurde ein quantitativer Ansatz in Form von Versuchsreihen mit besagtem 4-Minuten-Lauf gewählt. Dadurch soll eine umfassende Datenlage zur Genauigkeit des Laufs unter verschiedenen Umweltbedingungen gewonnen werden. Anschließend können in der Auswertung der Ergebnisse die wichtigsten Faktoren identifiziert werden.

Insgesamt beschäftigen sich mehrere Studierende mit der Validierung des 4-Minuten-Laufs der App *ready*. Dadurch kann im Rahmen einer Zusammenarbeit eine größere Datenerhebung realisiert werden. Die Untersuchungen zu den verschiedenen Einflussfaktoren auf die Ergebnisse und Messungen des 4-Minuten-Laufs können dadurch umfassend alle möglichen Einflussfaktoren beleuchten und mögliche Zusammenhänge prüfen. Die vorliegende Arbeit legt ihren Fokus dabei ausschließlich auf den Einfluss von Bäumen im Wald und Häusern in der Stadt auf die Genauigkeit der aufgezeichneten Strecke. Die Durchführung der Studie wurde im Voraus unter ethischen Aspekten mit dem Internal Review Board der EHSM erörtert und von diesem freigegeben.

2.1 Studiendesign zur Validierung der Laufdistanz beim 4-Minuten-Lauf

Um die Messgenauigkeit der App *ready* beim 4-Minunten-Lauf im Zusammenhang mit umliegender Bebauung und Abschirmung durch Bäume zu untersuchen, wurde eine große Zahl von Testläufen in unterschiedlichen Umgebungen durchgeführt. So wurden möglichst viele Daten über mögliche Messfehler beim 4-Minuten-Lauf der App *ready* gesammelt und standen anschließend für die systematische Auswertung zur Verfügung. Um insbesondere den Einfluss von GPS-Daten auf die Genauigkeit zu ermitteln, wurden sowohl Läufe durchgeführt, während die Verwendung von GPS-Daten zur Standortermittlung eingeschaltet war als auch mit deaktivierter Verwendung von GPS-Daten zur Positionsermittlung.

Um möglichst genaue und valide Daten zu erhalten, wurden die unabhängigen Variablen möglichst konstant gehalten. Wo das nicht möglich war, wurden diese genau protokolliert um mögliche Einflüsse im Nachhinein zu erkennen und bei der Auswertung zu berücksichtigen. Dazu zählten einerseits der Proband, der den 4-Minuten-Lauf absolviert, andererseits aber auch die verwendete Hardware sowie Umweltbedingungen wie das Wetter und die Trageposition des Smartphones.

Um die Messgenauigkeit der App *ready* beim 4-Minuten-Lauf überprüfen zu können, wurde die zurückgelegte Strecke möglichst genau erfasst. Dabei wurde mit einem Maßband die von den Läufern absolvierte Strecke metergenau erfasst und protokolliert. Die App *ready* gibt die per Standortermittlung über das Smartphone ermittelte Strecke beim 4-Minuten-Lauf ebenfalls auf den Meter genau an. Dadurch ist auch der ermittelte Messfehler etwa auf einen Meter genau.

2.2 Auswahl der Probanden

Die Datenerhebungen fanden an verschiedenen Orten in der Schweiz im Zeitraum zwischen November 2019 und Januar 2020 statt. Als Probanden dienten, neben den Studierenden, die die Daten für ihre Arbeiten verwenden, auch zwei zufällig ausgewählte Personen. Dadurch konnte insgesamt ein größeres Spektrum an Körpergrößen und unterschiedlichen Altersgruppen abgedeckt werden. Die insgesamt fünf Läufer im Alter zwischen 14 und 57 Jahren absolvierten zahlreiche 4-Minuten-Läufe mit variierenden Umweltbedingungen.

Die Entscheidung, unterschiedliche Läufer zu wählen beruhte darauf, dass dadurch auch Körpergröße und Beinlänge sowie Laufstil und Lauftempo auf ihren Einfluss auf das Messergebnis hin untersucht werden können.

Sowohl die gesamte Körperlänge als auch die Beinlänge wurden mit einem entsprechenden Messgerät bestimmt. Grundlage für die Beinlänge war dabei die Länge des Beins gemessen an der Innenseite. Das Gewicht wurde von den einzelnen Probanden mit einer handelsüblichen Körperwaage ermittelt.

Tabelle 1
Die Probanden der 4-Minuten-Läufe

Proband	**Alter (Jahre)**	**Größe (cm)**	**Beinlänge (cm)**	**Gewicht (kg)**	**Geschlecht**
1	26	165	76	65	Weiblich
2	57	163	75	57	Weiblich
3	14	183	85	69	Männlich
4	25	169	90	58	Männlich
5	32	175	87	74	Männlich

2.3 Durchführung der Testläufe

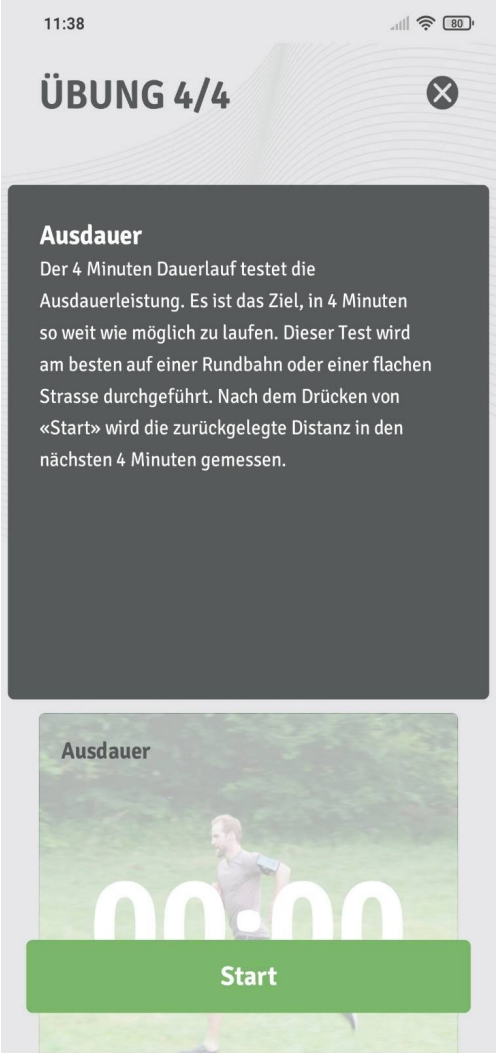

Abbildung 2. Anweisungen in der App *ready* zum untersuchten 4-Minuten-Lauf.

Im Vorfeld der 4-Minuten-Läufe machte sich jeder Proband umfassend mit der verwendeten App *ready* vertraut. Außerdem wurde im Rahmen von Testläufen die zu erwartende Distanz ermittelt und die Strecke gemäß den Anforderungen an die jeweiligen Umweltbedingungen optimiert. Dadurch wird sichergestellt, dass alle Strecken das jeweilige Profil so gut wie möglich erfüllen.

Insgesamt wurden drei Typen von Umgebungen unterschieden:

1. Offene Umgebung ohne nennenswerte Bebauung oder Vegetation
2. Wald mit entsprechend dichter Baumvegetation
3. Stadt mit entsprechend dichter Bebauung entlang der Laufstrecke

Darüber hinaus erfolgte die Protokollierung der Laufstrecke in Bezug auf den Untergrund und einen Kurvenindex. Dieser gibt an, wie viele Kurven und Richtungswechsel die während des 4-Minuten-Laufs zurückgelegte Distanz enthielt.
Um den Einfluss der Wetterbedingungen auf die Genauigkeit der gemessenen Distanz beim 4-Minuten-Lauf zu untersuchen wurden sowohl der Bewölkungsgrad als auch der Luftdruck und die Außentemperatur protokolliert.
Um hardwareseitige Messfehler zu untersuchen wurden verschiedene Smartphone-Modelle und Betriebssysteme verwendet. Dabei kamen sowohl Android- als auch Apple-Geräte zum Einsatz. Zusammen haben diese beiden Betriebssysteme Stand 2020 einen Marktanteil von mehr als 99 % und decken damit quasi den gesamten Smartphone-Markt ab (Scarsella & Stofega, 2020). Die verwendeten Smartphone-Modelle waren:

- Huawei P10 mit Android Version 9
- iPhone 6S mit verschiedenen Versionen von iOS 13
- iPhone 8 mit iOS 12.4.1
- Nokia 9 mit Android Version 9
- iPhone 7 mit iOS 12.4.1
- iPhone 10R mit iOS 13.3
- Samsung S7 Edge mit Android Version 8

Verschiedene Einstellungen in Bezug auf die Verwendung von GPS zur Positionsbestimmung sollen außerdem Aufschluss darüber geben, inwiefern die einzelnen Möglichkeiten der Standortermittlung von der App *ready* verwendet werden und welchen Einfluss sie auf die Genauigkeit der ermittelten Laufdistanz beim 4-Minuten-Lauf haben.
Zum Ein- und Ausschalten des GPS wurde jeweils sowohl die in der App *ready* integrierte Option, die sich unter dem Menüpunkt «Einstellungen» befindet, als auch die entsprechende Einstellung des Betriebssystems genutzt. Geräte mit Android bieten ihren Nutzern die Möglichkeit, die Erfassung von Standortdaten mittels GPS mit einem einfachen Tippen in den Einstellungen ein- und auszuschalten. Primär existiert dieser Shortcut, um den Akku des Geräts zu schonen und den Sensor mit vergleichsweise hohem Stromverbrauch effektiv auszuschalten. Im Rahmen dieser Studie konnte mit ihm aber auch sichergestellt werden, dass keinerlei durch GPS gewonnene Standortdaten bei der App *ready* ankommen. Auch bei iPhones mit iOS existiert in den Geräteeinstellungen eine entsprechende Option zum Ein- und Ausschalten der Gewinnung von GPS-Daten für die vom Betriebssystem bereitgestellten Ortungsdienste.

Das Tragen des Smartphones in der Hosentasche oder am Oberarm kann außerdem Aufschluss darüber geben, inwiefern die Trageposition die Distanzmessung beeinträchtigen kann.
Zur Bestimmung der tatsächlich gelaufenen Strecke zählten die Läufer die von ihnen zurückgelegten Schritte. Außerdem wurde die jeweilige Laufstrecke mit einem Maßband auf einen Meter genau vermessen. Nach Abschluss des 4-Minuten-Laufes erfolgte außerdem die Protokollierung der von der App *ready* erfassten Distanz.

2.4 Eigener Beitrag zu den Messungen

Ich selbst habe im Rahmen der Datenerhebungen im November und Dezember 2019 24 4-Minuten-Läufe zu Testzwecken und Erweiterung des Satzes an Messdaten durchgeführt. Mit jeweils acht Läufen im Wald, der Stadt und auf der Rundbahn wurde ein grundlegender Datensatz für die Auswertung der Fragestellung dieser Arbeit gelegt. Das ist insbesondere deswegen von großer Bedeutung, weil von den anderen Probanden vor allem Läufe auf der Rundbahn und nur wenige Messdaten im Wald beigesteuert wurden. Indem ich bei den 4-Minuten-Läufen sowohl ein iPhone 10R als auch ein von der EHSM ausgeliehenes Samsung 7 Edge verwendete, dienen die Daten einem Abgleich zu Unterschieden zwischen den beiden dominierenden Betriebssystemen auf dem Smartphone-Markt. Indem die Einstellungen bezüglich GPS und die Trageperson des Smartphones zwischen den Läufen gewechselt wurden, konnten außerdem weitere Messdaten zur Auswertung spezifisch auf diese Faktoren bezogener Fragestellungen gesammelt werden.

2.5 Datenaufbereitung und -auswertung

Nachdem alle Daten in einer zentralen Excel-Datei gesammelt wurden, wurden diese für weitere Auswertungen in das Statistikprogramm SPSS von IBM importiert, wo sie mittels statistischer Tests auf die zu untersuchenden Fragestellungen hin ausgewertet wurden. Zuerst erfolgte eine Erkundung der einzelnen abhängigen Variablen und vor allem des absoluten und relativen Messfehlers mit Hilfe von Verfahren der Explorativen Datenanalyse: Ermittlung der Häufigkeiten, des Mittelwerts sowie der Standardabweichung sowie die Darstellung als Bootstrap zur besseren Veranschaulichung. Dies wurde sowohl für alle Daten als auch für einzelne Bedingungen wie ausgeschaltetes oder eingeschaltetes GPS, in Abhängigkeit zur Umgebung, zur Bodenbeschaffenheit sowie für die verschiedenen verwendeten Smartphones durchgeführt.
Um statistisch signifikante Unterschiede bezüglich der tatsächlichen und der von der App *ready* angegebenen Strecke sowie zwischen Läufen mit unterschiedlichen Bedingungen zu finden,

wurden t-Tests zwischen den jeweiligen Mittelwerten der Gruppen durchgeführt. Das Signifikanzniveau lag dabei bei 5 Prozent für einen Messfehler 1. Grades.
Dort, wo aufgrund von mehr als zwei verschiedenen Gruppen kein t-Test möglich war, wurde zur Prüfung auf systematische Unterschiede bezüglich des Messfehlers unter unterschiedlichen Bedingungen eine einfaktorielle Varianzanalyse durchgeführt. Wo diese signifikant ausfiel, erfolgte außerdem ein Bonferroni-Post-Hoc-Test, um die sich unterscheidenden Gruppen zu identifizieren.

3 Resultate

Insgesamt absolvierten die 5 Probanden 114 4-Minuten-Läufe mit der App *ready* unter unterschiedlichen Bedingungen:

Tabelle 2
Anzahl der Läufe pro Proband in unterschiedlicher Umgebung mit GPS an oder aus

Proband/ Details	Läufe gesamt	GPS on: Offen	GPS on: Wald	GPS on: Stadt	GPS off: Offen	GPS off: Wald	GPS off: Stadt
1	16	4	4	0	4	4	0
2	16	4	4	0	4	4	0
3	18	8	0	0	10	0	0
4	16	4	4	0	4	4	0
5	48	8	8	8	8	8	8
Summe	114	28	20	8	30	20	8

Für alle Läufe ergab sich eine durchschnittliche Abweichung von 110,52 ± 11,27 Meter zwischen der tatsächlich gelaufenen Strecke und der von der App *ready* aufgezeichneten Distanz. In 26,3 % der Fälle (30 von 114 Läufen) war die von der App *ready* angezeigte Laufdistanz größer als die mit dem Maßband ermittelte. In einem Fall stimmten beide Werte exakt überein. Insgesamt lagen die Differenzen dabei in einem Bereich zwischen 3 und 561,6 Metern, beziehungsweise bei bis zu 62 %. Die durchschnittliche prozentuale Abweichung betrug 15,66 ± 1,36 %. Ein t-Test der von der App *ready* angegebenen und der tatsächlich zurückgelegten Strecke zeigt eine hochsignifikante Abweichung: $\boldsymbol{t(113) = 46{,}69,\ p < 0{,}001}$. Die von der App *ready* angegebene Strecke betrug durchschnittlich 574 ± 131 Meter, während die mit dem Maßband ermittelte Strecke bei 653 ± 156 Metern lag.

3.1 Daten des 4-Minuten-Laufs bei ein- und ausgeschaltetem GPS

Bei den Läufen, die mit ausgeschaltetem GPS durchgeführt wurden, betrug die mittlere Abweichung der von der App *ready* aufgezeichneten Laufstrecke gegenüber der mit dem Maßband vorgenommenen Messung 134,78 ± 18,1 Meter, beziehungsweise 19,38 ± 2,14 %. Bei eingeschaltetem GPS waren es hingegen 85,39 ± 12,54 Meter, beziehungsweise 11,81 ± 1,5 %.

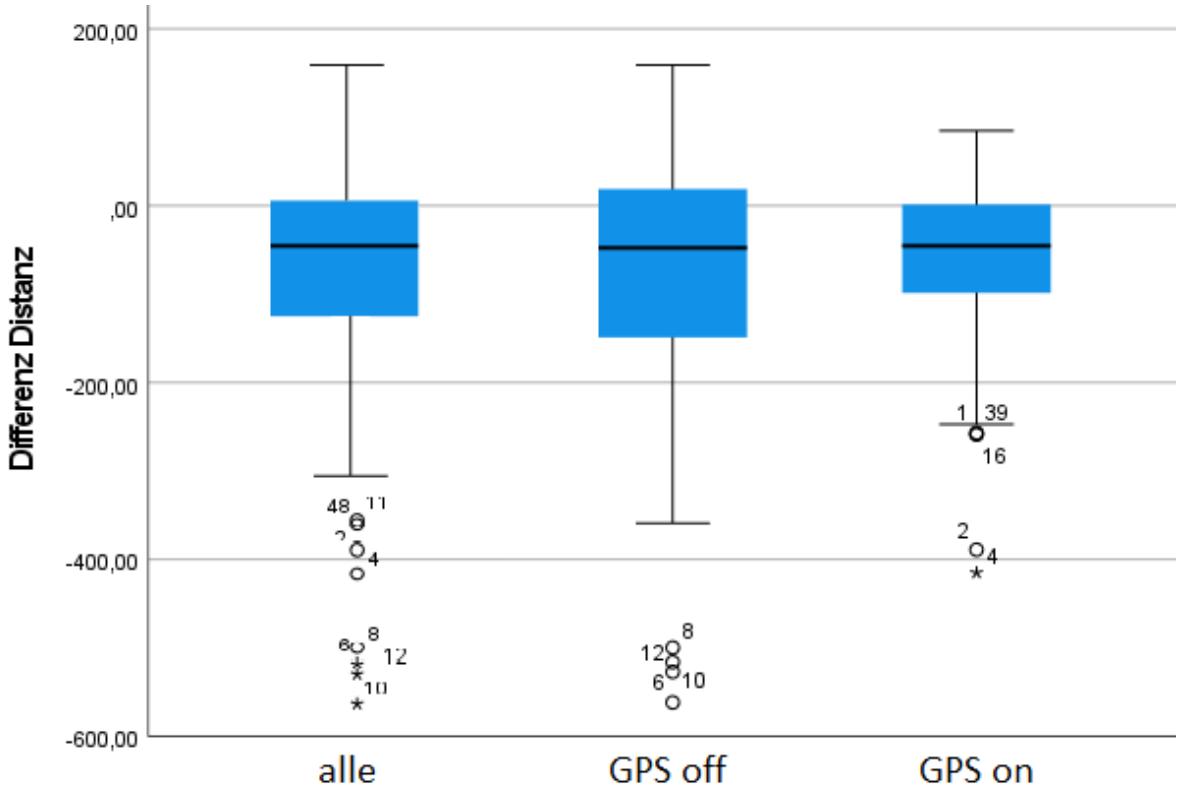

Abbildung 3. Boxplots des relativen Messfehlers bei unterschiedlichen Einstellungen für die Standortermittlung.

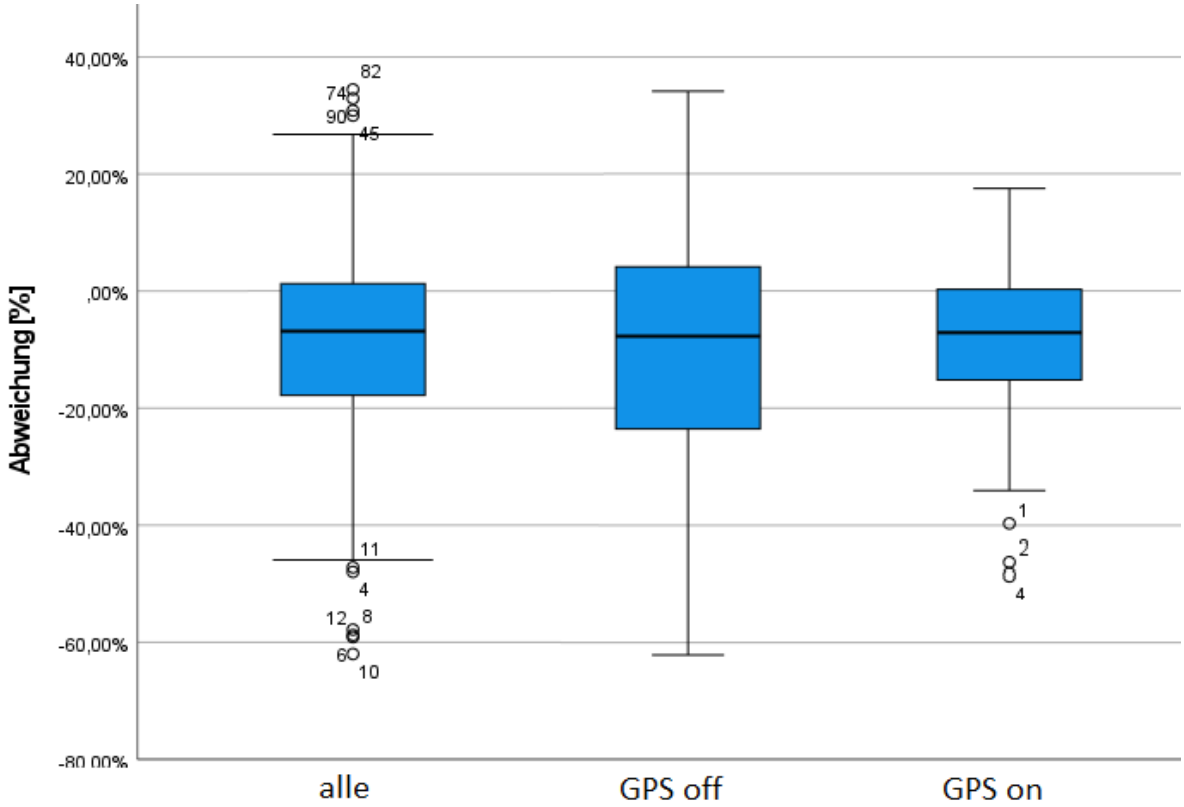

Abbildung 4. Boxplots der relativen Messfehler mit aktivierter oder deaktivierter Verwendung von GPS-Daten zur Standortermittlung.

Die im Boxplot zu erahnende geringere Abweichung der Messung mit eingeschaltetem GPS gegenüber der 4-Minuten-Läufe mit ausgeschaltetem GPS stellte sich bei einer Überprüfung mit einem t-Test für unabhängige Stichproben als signifikant heraus:

$\boldsymbol{t(101) = 2{,}24,\ p < 0{,}014}$.

Die Abweichungen zwischen den relativen Messfehlern war hochsignifikant:

$\boldsymbol{t(101) = 2{,}9,\ p < 0{,}002}$.

3.2 Messfehler der 4-Minuten-Läufe in unterschiedlichen Umgebungen

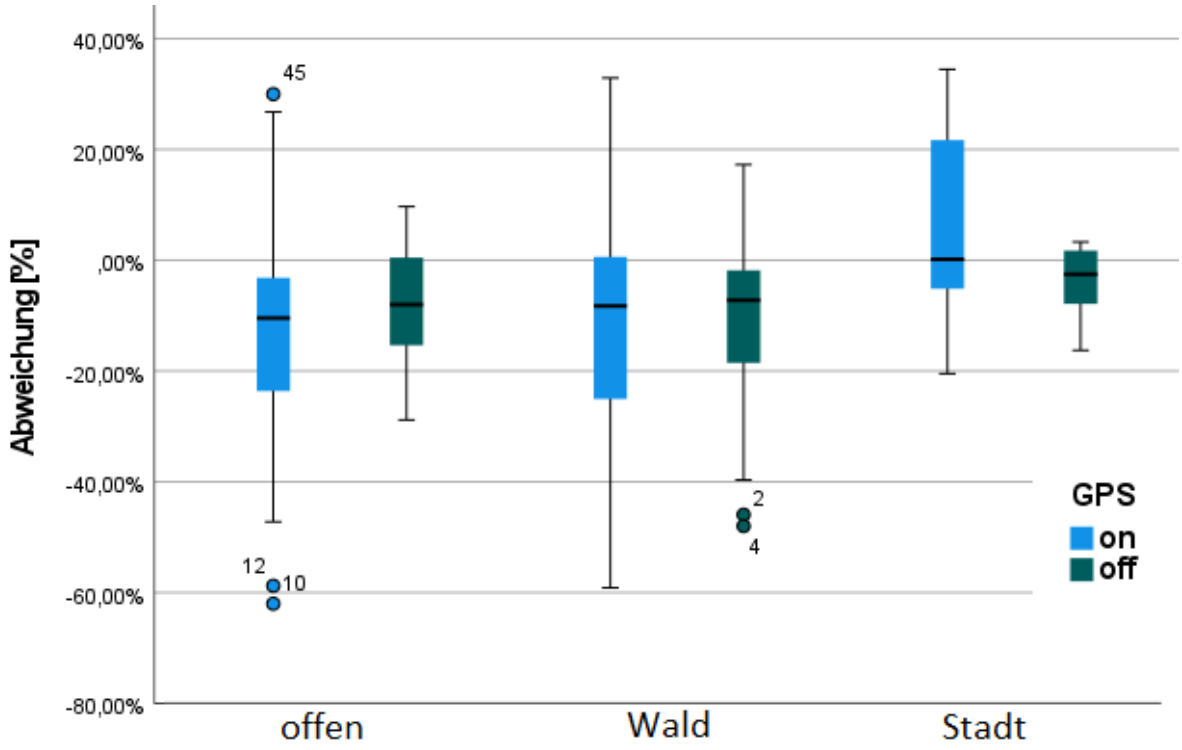

Abbildung 5. Boxplots der relativen Messfehler in den unterschiedlichen Umgebungen mit den jeweiligen GPS-Einstellungen.

Unter Einbezug sowohl der Messdaten mit eingeschaltetem als auch ausgeschaltetem GPS lassen sich bei einer einfaktoriellen Varianzanalyse keine signifikanten Unterschiede in der Höhe des Messfehlers der App *ready* in unterschiedlichem Gelände feststellen: $\boldsymbol{F(2, 111) = 2{,}11,\ p = 0{,}12}$.

Auch wenn lediglich die Werte der Messungen, die mit angeschaltetem GPS durchgeführt wurden, ausgewertet werden, ist bei einer einfaktoriellen Varianzanalyse kein signifikanter Unterschied des relativen Messfehlers zwischen den drei klassifizierten Umgebungstypen vorhanden: $\boldsymbol{F(2, 53) = 2{,}65,\ p = 0{,}08}$.

Beim Vergleich der Messfehler mit ein- oder ausgeschaltetem GPS in den unterschiedlichen Umgebungen per stichprobenunabhängigem t-Test können folgende Unterschiede ermittelt werden:

Tabelle 3
Vergleich des relativen Messfehlers in den unterschiedlichen Umgebungen mittels t-Test

Umgebung	Mittelwert		Standardabweichung		Ergebnis t-Test	Signifikanzniveau
	GPS an	GPS aus	GPS an	GPS aus		
Offen	10,8 %	19,2 %	8,5 %	16,5 %	**$t(44) = 2{,}47$**	**$p < 0{,}01$**
Wald	15,6 %	21,6 %	14,8 %	17,7 %	**$t(38) = 1{,}16$**	**$p = 0{,}128$**
Stadt	5,6 %	14,5 %	5,2 %	12,7 %	**$t(9) = 1{,}82$**	**$p = 0{,}101$**

3.3 Messfehler der 4-Minuten-Läufe bei unterschiedlichen Untergründen

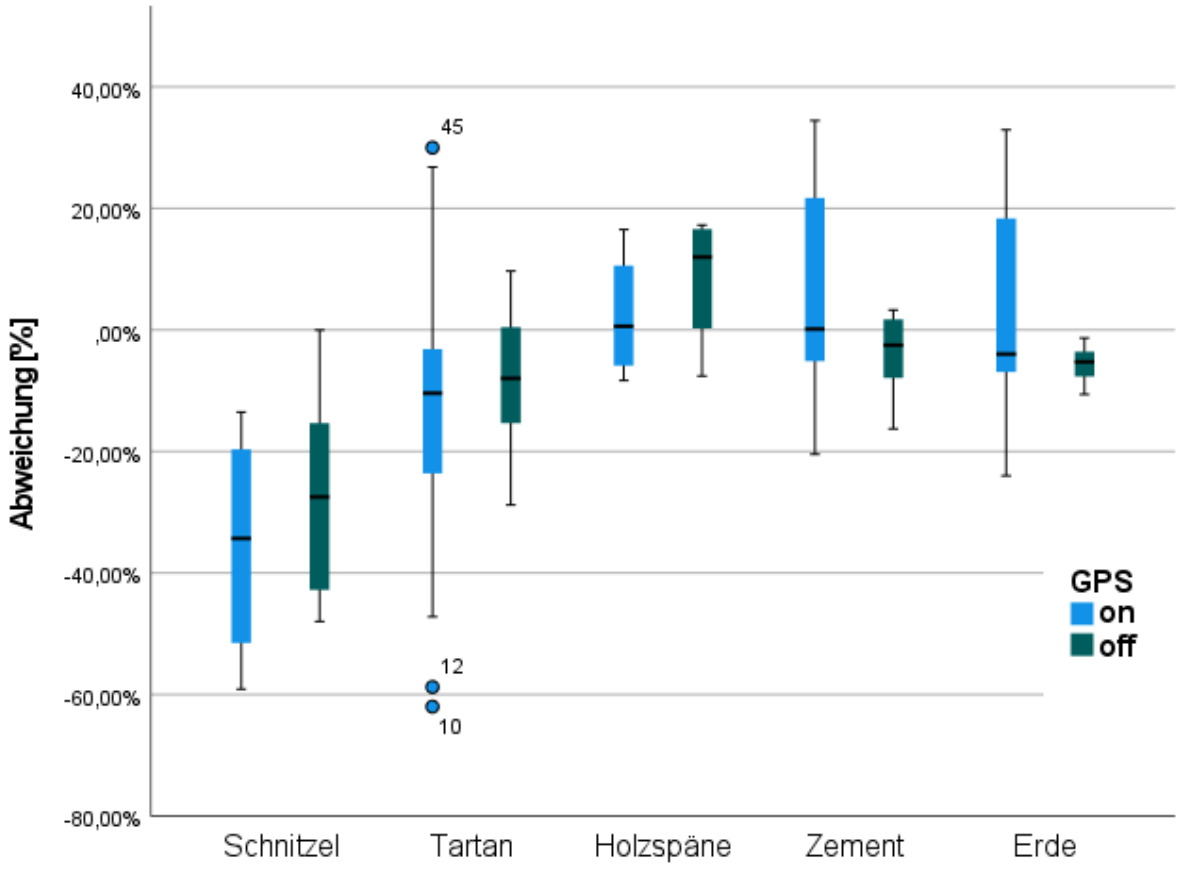

Abbildung 6. Boxplots der relativen Messfehler auf unterschiedlichen Untergründen mit oder ohne aktiviertes GPS.

Insgesamt legten die Probanden den 4-Minuten-Lauf der App *ready* auf fünf unterschiedlichen Untergründen zurück. Dabei finden sich signifikante Unterschiede im relativen Messfehler: **$F(4, 109) = 7{,}724$, $p < 0{,}001$**.

Der Bonferroni-Post-Hoc-Test zeigt, dass sich die Läufe, die mit Schnitzeln als Untergrund durchgeführt wurden, sich signifikant von denen auf anderen Untergründen unterscheiden. Zwischen den anderen Gruppen gibt es keine signifikanten Unterschiede.

3.4 Messfehler der 4-Minuten-Läufe bei unterschiedlichen Smartphone-Typen

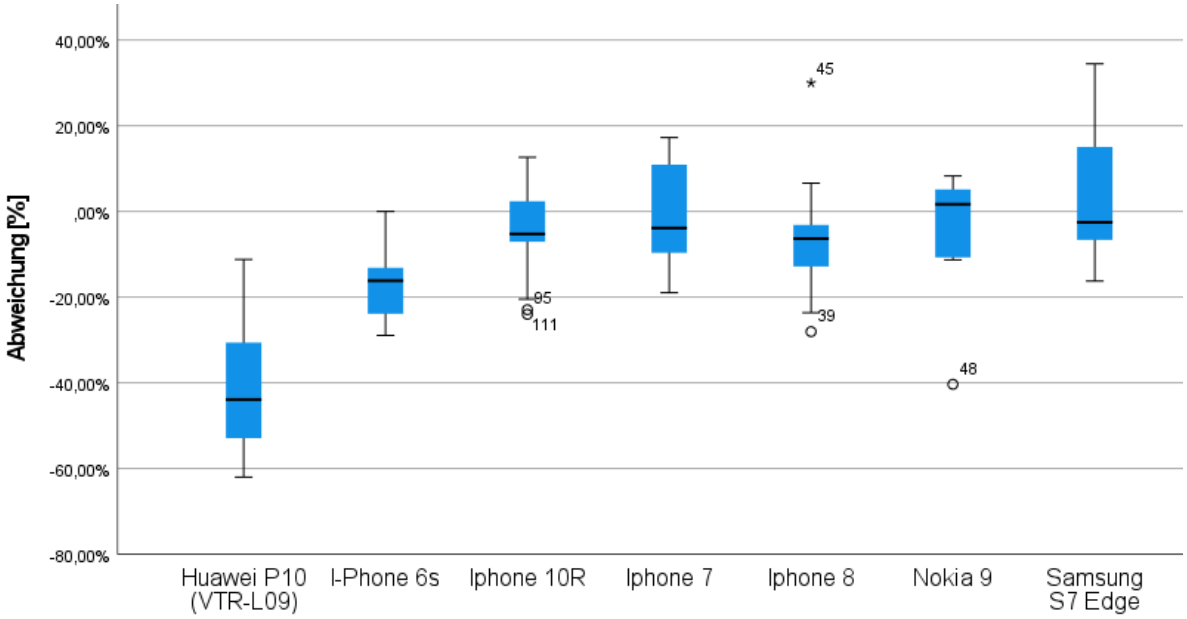

Abbildung 7: Boxplots der relativen Messfehler beim 4-Minuten Lauf der App ready geordnet nach Smartphone-Modellen.

Eine einfaktorielle Varianzanalyse zwischen den relativen Messfehlern der sieben verwendeten Smartphones ergibt signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Modellen: $\boldsymbol{F(6, 107) = 21{,}73, p < 0{,}001}$.

Ein Bonferroni Post-Hoc-Test zeigt, dass der Messfehler des Huawei P10 signifikante Unterschiede zu denen aller anderen Smartphones zeigt. Ansonsten finden sich keine signifikanten Abweichungen. Die Differenz zwischen iPhone 6s und iPhone 10R bleibt mit $\boldsymbol{p = 0{,}066}$ knapp unter dem Signifikanz-Niveau.

Die signifikanten Unterschiede zwischen den Smartphone-Typen zeigen sich auch, wenn ausschließlich die Läufe ohne GPS ($\boldsymbol{F(6, 51) = 18{,}28, p < 0{,}001}$) oder mit GPS ($\boldsymbol{F(6, 49) = 12{,}227, p < 0{,}001}$) verglichen werden. Hier lassen sich vereinzelt auch signifikante Unterschiede zwischen einzelnen anderen Modellen feststellen. Diese sind aber keinesfalls so auffällig wie die des Huawei P10.

Beim Vergleich der Messfehler der iPhones des Herstellers Apple mit dem Betriebssystem iOS und denen von Huawei, Nokia und Samsung, die mit Android betrieben werden, zeigt sich kein

signifikanter Unterschied zwischen Android mit -12,7 ± 25,6 % und Apple mit -6,9 ± 12,42 %: $\boldsymbol{t(65) = -1{,}31, p = 0{,}196}$. Lässt man allerdings die Richtung der Abweichung außer Acht und vergleicht nur die Beträge, ergibt sich für Android ein relativer Messfehler von 21,2 ± 19 % und für Apple 11,6 ± 8,1 %, woraus folgt $\boldsymbol{t(61) = 3{,}18, p < 0{,}002}$.

3.4.1 Einfluss der Umgebung auf den Messfehler einzelner Smartphone-Typen

Nicht mit jedem der verwendeten Smartphones wurde der 4-Minuten-Lauf der App *ready* in allen Umgebungen durchgeführt. Das iPhone 8 und das Nokia 9 kam beide nur in offener Umgebung zum Einsatz, sodass für sie keine Unterschiede im Messfehler für die verschiedenen Umgebungen ermittelt werden können. Folgende Ergebnisse ergeben einfaktorielle Varianzanalysen, die die den Einfluss der Umgebung auf den Messfehler untersuchen:

- Huawei P10: $\boldsymbol{F(1, 14) = 2{,}02, p = 0{,}172}$
- iPhone 6S: $\boldsymbol{F(1, 14) = 0{,}41, p = 0{,}533}$
- iPhone 10R: $\boldsymbol{F(2, 21) = 0{,}17, p = 0{,}847}$
- iPhone 7: $\boldsymbol{F(1, 14) = 5{,}67, p = 0{,}032}$
- Samsung S7 Edge: $\boldsymbol{F(2, 21) = 0{,}04, p = 0{,}965}$

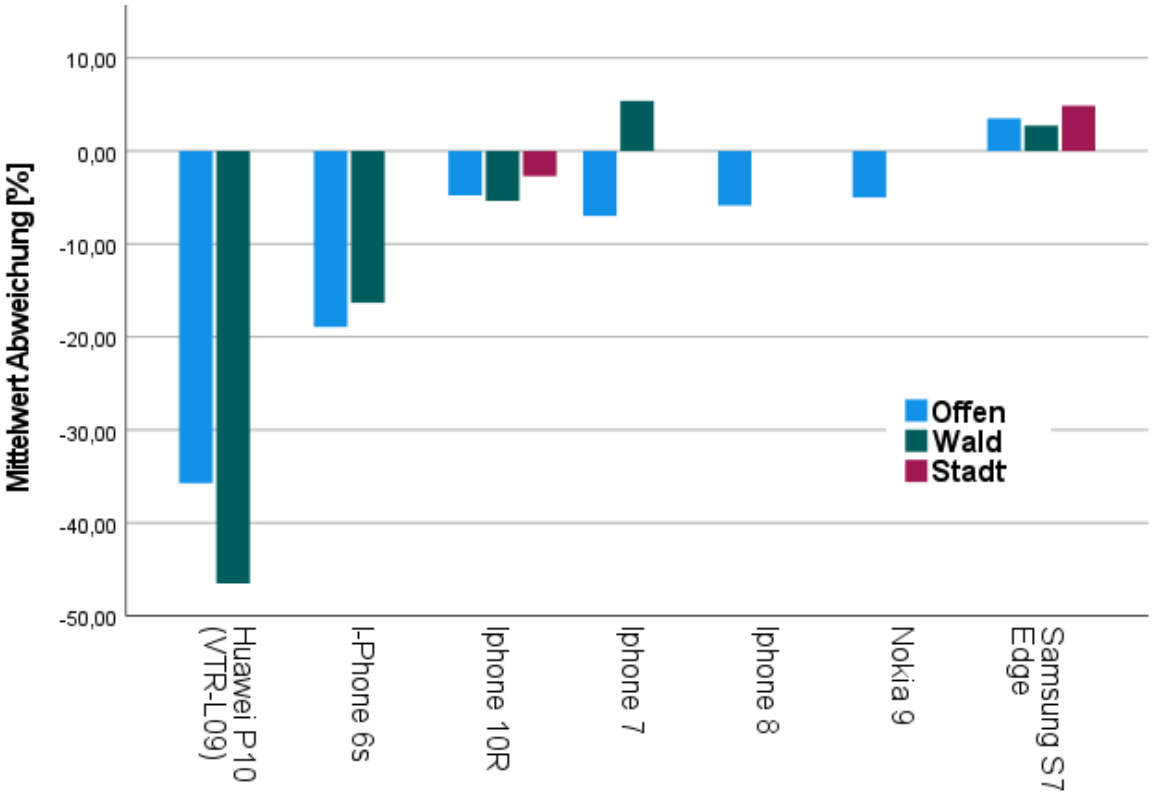

Abbildung 8. Mittlerer relativer Messfehler der einzelnen Smartphone-Typen in unterschiedlichen Umgebungen.

Das iPhone 7 erfasste in offener Umgebung durchschnittlich 6,98 % zu wenig, während es im Wald durchschnittlich 5,39 % zu viel maß, was eine signifikante Abweichung des Messfehlers bezüglich unterschiedlicher Umgebungen darstellt. Ansonsten gab es innerhalb der einzelnen Smartphone-Modelle keine signifikanten Varianzen des Messfehlers, die auf die Umgebung beim 4-Minuten-Lauf zurückzuführen sind.

3.4.2 Einfluss der Standortermittlung auf den Messfehler einzelner Smartphone-Typen

Im Folgenden wird mit Hilfe von t-Tests untersucht, ob sich bei den einzelnen Smartphone-Typen signifikante Unterschiede beim Messfehler ergeben je nachdem, ob das GPS beim 4-Minuten-Lauf an- oder ausgeschaltet war. Lediglich beim Huawei P10 und beim Samsung S7 Edge zeigt sich ein signifikanter Unterschied bezüglich der GPS-Einstellungen auf den relativen Messfehler der App *ready* beim 4-Minuten-Lauf.

Tabelle 4

Ergebnisse der t-Tests in Bezug auf das GPS für die unterschiedlichen Smartphone-Typen

Smartphone	Mittelwert		Standardabweichung		Mittlere Differenz	T	Signifikanz p
	GPS an	GPS aus	GPS an	GPS aus			
Huawei P10	-30,4 %	-51,8 %	13,6 %	16 %	-21,33 %	-3,772	< 0,002
iPhone 6S	-16 %	-19,3 %	8,8 %	7,3 %	-3,26 %	-0,808	0,433
iPhone 10R	-3,2 %	-5,4 %	4,7 %	12,5 %	-2,23 %	-0,579	0,572
iPhone 7	-0,8 %	-0,8 %	13,2 %	11,4 %	0,04 %	0,006	0,995
iPhone 8	-13,1 %	-1 %	10,3 %	18,3 %	12,07 %	1,184	0,271
Nokia 9	4,4 %	-14,4 %	3,3 %	18,8 %	-18,73 %	-1,969	0,096
Samsung S7	-3,8 %	11,3 %	6,9 %	18,2 %	15,1 %	2,686	0,018

3.5 Auswertung der Daten unter Ausschluss der Messdaten des Huawei P10

Die in Kapitel 3.4 erwähnte und durchgeführte Varianzanalyse in Bezug auf die Unterschiede, die sich bei den verschiedenen Smartphone-Typen hinsichtlich des Messfehlers ergaben, identifizierte das Huawei P10 als signifikant ungenauer in der Hinsicht auf die Validität des 4-Minuten-Laufs der App *ready*.

Die Wiederholung der statistischen Auswertung unter Ausschluss dieser Daten konnte aber keine neuen Erkenntnisse oder signifikanten Unterschiede zwischen den Messfehlern in unterschiedlicher Umgebung oder bei verschiedenen Untergründen liefern.

4 Diskussion

Im Rahmen dieser und weiterer Forschungsarbeiten wurden 114 4-Minuten-Läufe unter unterschiedlichen Umweltbedingungen mit der App *ready* aufgezeichnet. Dabei wich die von der Anwendung registrierte zurückgelegte Distanz hochsignifikant von der tatsächlich zurückgelegten Strecke ab. Die von Nutzern geäußerten Bedenken bezüglich der Genauigkeit der App (Google Commerce Ltd, 2021) scheinen also gerechtfertigt zu sein. Um den Programmierern eine Empfehlung zur Verbesserung der Standortermittlung und Aufzeichnung der zurückgelegten Strecke geben zu können, müssen jedoch erst einmal die genauen Ursachen der Abweichungen, beziehungsweise die wichtigsten Faktoren, die sich negativ auf die Messgenauigkeit auswirken, bestimmt werden.

In jedem Fall scheint der 4-Minuten-Lauf der App *ready* mit einem durchschnittlichen Messfehler von mehr als 15 % und Extremen bis hin zu 62 % definitiv noch verbesserungswürdig. Nicht zuletzt treten diese Messfehler sehr wahrscheinlich nicht nur bei der Evaluation des Fitnesslevels, sondern auch bei den Läufen im Rahmen des Trainings mit der App auf.

Sperlich et al. (2013) geben die in einer intensiven Ausdauertrainingseinheit erzielte Steigerung der die Ausdauerfähigkeit bestimmenden VO_2max mit etwa 0,5 bis 0,7 Prozent an. Die durchschnittliche Abweichung der Messergebnisse beim 4-Minuten-Lauf der App *ready* entsprechen damit in etwa den Ergebnissen, die durch konsequentes und intensives Ausdauertraining in 25 Einheiten erreicht werden können. Das entspricht bei zwei reinen Ausdauereinheiten pro Woche dem Fortschritt, den Nutzer mit der App innerhalb von etwa zwei Monaten machen.

4.1 Interpretation der Ergebnisse zur Genauigkeit der GPS-Daten

Die vorliegenden Arbeiten bezüglich der Genauigkeit von GPS unter verschiedenen Umweltbedingungen legten nahe, dass es vor allem in urbanen Umgebungen mit hoher Bebauung sowie im Wald zu größeren Messfehlern kommt. Aufgrund dieser Einschränkungen wurde von den Entwicklern der App *ready* in den Anweisungen zum 4-Minuten-Lauf die Durchführung auf einer freien Fläche empfohlen. Gleichzeitig stand unter Berücksichtigung der Vielfalt der Möglichkeiten, die modernen Smartphones zur Ermittlung ihres Standorts zur Verfügung stehen, aber auch im Raum, dass Smartphones die in der Stadt auftretenden Schwierigkeiten durch ergänzende Methoden zur Standortbestimmung, wie A-GPS, WiFi und die Signale der umliegenden Mobilfunkmasten, eventuell kompensieren können.

Bei der Auswertung der Messfehler aus 114 4-Minuten-Läufen mit der App *ready* konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen offenem Gelände, Läufen im Wald und Messungen

in städtischer Umgebung gefunden werden. Dementsprechend scheinen Bäume im Wald und Häuser in der Stadt keinen signifikanten Einfluss auf die Messgenauigkeit der App *ready* beim 4-Minuten-Lauf zu haben.

Dies könnte ein Hinweis darauf sein, dass moderne Smartphones die ihnen für die Standortermittlung zur Verfügung stehenden Daten so kombinieren können, dass sie auch unter bisweilen schwierigen Bedingungen relativ genaue Standortdaten erzeugen können. Es ist anzunehmen, dass die durch Reflektionen durch hohe Bebauung verfälschten GPS-Daten durch WiFi, Mobilfunkmasten und A-GPS ausreichend korrigiert werden können, dass trotzdem eine mit der auf freiem Feld vergleichbare Genauigkeit erreicht wird.

Auch wenn der erwartete Einfluss der Umgebung auf die Genauigkeit der Messungen der App *ready* ausblieb, konnte doch die Bedeutung von GPS für die Standortbestimmung und Messgenauigkeit im Allgemeinen nachgewiesen werden: Bei den 4-Minuten-Läufen mit aktiviertem GPS war ein signifikant kleinerer Messfehler zu verzeichnen als wenn die Verwendung von Satellitensignalen zur Standortermittlung deaktiviert war. Am stärksten und signifikant zeigte sich dieser Effekt, wie erwartet in offenem Gelände. Im Wald und der Stadt konnte hingegen kein signifikanter Effekt der Standortermittlung per GPS auf die Genauigkeit der von der App *ready* ermittelten Laufdistanz festgestellt werden. Ob das daran liegt, dass die Genauigkeit und Verfügbarkeit der Satellitenortung in diesem Gelände zu schlecht oder ungenau ist oder die durch andere Sensoren ermittelten Standortdaten schlicht genauer sind, bleibt Gegenstand zukünftiger Forschungen.

Kritisch hinterfragt werden müssen die erzielten Ergebnisse in Bezug auf die Unterschiede in der Messgenauigkeit auf verschiedenen Untergründen. Hier gab es lediglich bezüglich den Läufen auf Schnitzel-Untergrund signifikante Abweichungen zu Tartan, Holzspänen, Zement und Erde. Da nicht mit jedem Smartphone auf jedem Untergrund Messungen durchgeführt wurden und gleichzeitig oft ein großer Zusammenhang zwischen Gelände und Umgebung besteht, müssten diese Ergebnisse noch einmal in einer separaten Untersuchung mit besser kontrollierten Bedingungen durchgeführt werden.

4.1.1 Genauigkeit der Standortermittlung per GPS bei unterschiedlichen Smartphones

Das für die Aufzeichnung der 4-Minuten-Läufe mit der App *ready* verwendete Smartphone stellte sich bei der Auswertung der Ergebnisse als eine nicht unerhebliche Variable für die Höhe des Messfehlers heraus. Klar ist, dass die technischen Komponenten im Laufe der Zeit immer besser geworden sind und damit die Genauigkeit der Standortermittlung von Smartphones erhöhen können. Diese Entwicklung bezieht sich sowohl auf die Sensoren und GPS-Empfänger

als auch auf die Prozessoren, die die eingehenden Daten möglichst schnell und exakt verarbeiten können müssen.
Warum genau die App *ready* auf dem Huawei P10 signifikant größere Messfehler produzierte als auf allen anderen verwendeten Smartphone-Modellen, bleibt fraglich. Erschienen 2017 und mit Version 9 des Android-Betriebssystems ausgestattet, sollte es keine schlechteren technischen Voraussetzungen als das bereits ein Jahr früher erschienene, ebenfalls bei der Datengewinnung verwendete, Samsung S7 Edge mit Android Version 8 haben. Allerdings gibt es eine ganze Reihe an Faktoren, die nicht ermittelt wurden und die ebenfalls einen signifikanten Einfluss auf die Genauigkeit der Standortermittlung haben können. Da das Huawei P10 ebenfalls signifikante Unterschiede im Messfehler zwischen ein- und ausgeschaltetem GPS zeigte liegt nahe, dass die Schwachstelle in den alternativen Techniken zur Standortbestimmung zu verorten sein könnte. So ist beispielsweise denkbar, dass einige Netzbetreiber ihre Kunden weniger zuverlässig mit Standortdaten versorgen als andere. Auch ein Netzausfall oder der Betrieb des Smartphones ohne SIM-Karte könnten die Genauigkeit der Standortermittlung stark einschränken. Nicht zuletzt könnten auch Personalisierungen wie dicke Hüllen und Schutzfolien die Effektivität der Ortung des Smartphones einschränken. Auch bestimmte Einstellungsmöglichkeiten in den Optionen des Betriebssystems können einen Einfluss auf die Standortgenauigkeit haben. Diese werden von Nutzern oft unwissentlich und mit bester Absicht gesetzt, ohne dass diese sich ihrer zum Teil weitreichenden Folgen bewusst sind.

4.1.2 Die wichtigsten Einflussfaktoren für die Genauigkeit der Ortung per GPS

Exakte Daten zum Messfehler in Bezug auf die GPS-Daten liegen bei der Messung des 4-Minuten-Laufs mit der App *ready* im Grunde gar nicht vor. Die App greift auf die Standortdienste des Betriebssystems zu und verwertet deren Standort, unabhängig davon, ob dieser per GPS oder anderen Ortungsmethoden ermittelt wurde. Durch das manuelle Deaktivieren des GPS-Empfängers kann die Verarbeitung von GPS-Daten ausgeschlossen werden. Die Aktivierung der entsprechenden Option sorgt allerdings nicht dafür, dass ausschließlich GPS-Daten zur Standortermittlung genutzt werden. Stattdessen wählt das Betriebssystem in diesem Fall die Methode, die das genaueste Ergebnis liefert.
Wie gut und genau die GPS-Daten zur Standortermittlung sind, lässt sich daher aufgrund der durchgeführten Messungen nur per Ausschlussverfahren feststellen: Dort, wo es signifikante Unterschiede im Messfehler zwischen 4-Minuten-Läufen mit aktiviertem und deaktiviertem GPS gab, spielte diese Art der Standortermittlung augenscheinlich eine wichtige Rolle, die

GPS-Daten dort müssen also vergleichsweise genau, zumindest genauer als die anderer Methoden zur Standortermittlung gewesen sein.
Solche signifikanten Unterschiede in den Messfehlern zeigen sich bezogen auf die Umgebung ausschließlich in offener Landschaft ohne Bäume oder Häuser. Dementsprechend ist die Standortermittlung per GPS hier genauer als die Positionsbestimmung anhand anderer Daten. Ob die Ursache dafür die geringere Genauigkeit von GPS in Wald und Stadt oder die geringere Genauigkeit alternativer Techniken abseits dicht bevölkerter Gebiete ist, bleibt offen. Da sich keine signifikanten Unterschiede in Bezug auf den Messfehler in unterschiedlichen Umgebungen feststellen lassen, scheint eine Mischung aus beiden Faktoren, die sich in Bezug auf die verschiedenen Standorte gegenseitig wieder aufhebt, wahrscheinlich.

4.2 Einschränkungen der Daten und Ergebnisse

Durch die Kooperation mehrerer Studierender konnte eine große Vielfalt an Daten und Faktoren, die die Messgenauigkeit beim 4-Minuten-Lauf der App *ready* potentiell beeinflussen können, gewonnen und gemessen werden. Trotzdem bleiben Einschränkungen, die bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden sollten.
Ungenauigkeiten und Fehler beim Vermessen der tatsächlich gelaufenen Strecke wirken sich unmittelbar auf die Untersuchungsergebnisse aus und können diese entscheidend verfälschen.
Die Bestimmung der tatsächlich zurückgelegten Distanz sollte im Rahmen dieser Studie aber nicht nur möglichst genau, sondern außerdem einfach und jederzeit durchzuführen sein und kein teures Equipment erfordern. Die Verwendung hochpräziser GPS-Messgeräte wurde daher verworfen. Sie würden zumindest teilweise den gleichen Beschränkungen unterliegen wie die Standortdaten des Smartphones. Als einfachste Lösung fiel die Wahl daher auf ein klassisches Maßband. Indem die zurückgelegte Strecke metergenau damit vermessen wurde, wurden mit vergleichsweise geringem Aufwand sehr genaue und belastbare Daten gewonnen. Trotzdem unterliegt die Ermittlung des Messfehlers der 4-Minuten-Laufs der App *ready* in dieser Studie einem Rundungs- und Messfehler, weil sowohl die von der App gemessene als auch die tatsächliche Strecke auf den Meter genau gerundet wurden. Bei der durchschnittlichen Abweichung der mit der App *ready* erfassten Strecken von 110,52 ± 11,27 Metern erscheint ein Rundungsfehler von weniger als einem Prozent allerdings vernachlässigbar.

4.2.1 Fehlende Randomisierung und ungewollte Korrelationen

Nicht jeder der Probanden führte alle Läufe mit allen möglichen Konstellationen an unterschiedlichen Faktoren und Settings durch. Dadurch können ungewollte Korrelationen entstehen, die leicht als mögliche Kausalitäten gedeutet werden können. Zum Beispiel verwendeten die meisten Probanden ihr eigenes Smartphone, sodass ungewollte Korrelationen zwischen für den jeweiligen Probanden typischen Merkmalen wie Größe oder Gewicht und den für den Smartphone-Typ charakteristischen Abweichungen entstehen konnten. Auch dass die meisten Läufe an einem Stück und damit bei gleichbleibenden Wetterbedingungen durchgeführt wurden, ist zwar einerseits wünschenswert. Andererseits liegen dadurch nicht genug Daten für den Ausschluss dieser Faktoren als entscheidender Einfluss auf das Messergebnis, beziehungsweise den von der App *ready* produzierten Messfehler vor.

Um solche ungewollt auftretenden Korrelationen zu vermeiden, sollten ähnliche Messungen künftig mit einer möglichst großen Varianz an Bedingungen für alle Probanden durchgeführt werden. Das wird möglich, indem jeder Läufer seine Testläufe an verschiedenen Tagen, mit unterschiedlichen Smartphones und natürlich in verschiedenen Umgebungen durchführt.

4.2.2 Ungenaue Definition der Umgebungsfaktoren

Die ausbleibenden signifikanten Unterschiede im Messfehler in den verschiedenen Umgebungen können viele Ursachen haben. Eine bisher noch nicht erwähnte ist die unzureichende Definition und Protokollierung der genauen Umgebung. Offenes Gelände, Wald und Stadt sind eher allgemeine Kategorien, die nicht unbedingt genau genug sind, um den Einfluss von Gebäuden und Bäumen auf die Genauigkeit des GPS-Signals hin zu untersuchen. Wälder können unterschiedlich dicht und belaubt sein, je nachdem ob es sich um Laub-, Misch- oder Nadelwälder handelt. Auch die Jahreszeit der Messungen spielt unter Umständen eine wichtige Rolle: Laubwälder sind in der Winterhälfte des Jahres weniger dicht belaubt und daher wahrscheinlich ein geringerer Störfaktor für GPS-Signale als im Sommer oder Nadelwälder im Allgemeinen.

Schipperijn et al. konnten in ihren Studien nachweisen, dass die Höhe und Dichte der Bebauung einen entscheidenden Einfluss auf die Genauigkeit von GPS-Empfängern hat. Indem das allgemeine Kriterium Stadt als Umgebung gewählt wurde bleibt offen, wie stark die Beeinträchtigung des Signals durch Reflektionen und Abschirmung wirklich war.

4.2.3 Fehlende Kontrolle von Einflüssen und möglichen Faktoren

Natürlich gibt es eine nahezu unendliche Vielfalt an Faktoren, die die Genauigkeit der Standortbestimmung von Smartphones beeinflussen kann. Einige davon wurden in den Testläufen

für diese Untersuchung gezielt kontrolliert und beeinflusst, um ihren Einfluss zu untersuchen. Trotzdem bleiben andere Faktoren unberücksichtigt, weil sie entweder nicht detailliert genug erfasst und protokolliert oder schlicht und einfach vergessen wurden. Dabei können auch der Anbieter des Mobilfunknetzes, die Verwendung von Schutzhüllen und Folien oder Beschädigungen durch Stürze des Smartphones die Messgenauigkeit der App *ready* verfälschen. Im Betriebssystem oder den Geräteeinstellungen vorgenommene Optionen sind ebenso mögliche Faktoren wie andere auf dem Smartphone installierte Apps, die mit der App *ready* um Rechenleistung konkurrieren können.

4.2.4 Fehlende Informationen zum technischen Hintergrund

Der wichtigste Faktor, der bei der Datenerhebung nicht kontrolliert wurde, waren alternative Methoden zur Standortbestimmung, die Smartphones standardmäßig neben GPS-Signalen verarbeiten. Indem weder Netzstärke noch Bevölkerungsdichte oder verfügbare WLAN-Netzwerke rund um die Teststrecke ermittelt und protokolliert wurden, bleibt der entscheidende Einfluss dieser Faktoren leider unberücksichtigt. Zukünftige Untersuchungen sollten diesen Faktor keinesfalls vernachlässigen und falls möglich versuchen, den Einfluss alternativer Methoden zur Standortbestimmung, die Smartphones zur Verfügung stehen, zu kontrollieren. Denkbar wäre zum Beispiel, das Deaktivieren des WLANs oder die Aktivierung des Flugmodus, um die Verwendung von Standortdaten des Netzbetreibers und Dritter zu verhindern.

4.2.5 Ungenügende Stichprobengröße

Viele der erwarteten Unterschiede bezüglich der verschiedenen Umgebungen und der Auswirkungen von aktivierter oder deaktivierter Nutzung von GPS-Daten zur Standortermittlung deuten sich zwar an, stellen sich aber bei der Überprüfung mittels t-Test als nicht signifikant heraus. Grund dafür könnte eine zu kleine Stichprobe sein. Während die Zahl der insgesamt durchgeführten Läufe durchaus ausreichend erscheint, ist die Verteilung auf die unterschiedlichen Umgebungen deutlich asymmetrisch. Mehr als die Hälfte der Läufe wurde in offenem Gelände durchgeführt, aber nur 16 insgesamt in der Stadt. Damit könnte es möglich sein, dass für diese Umgebung nicht genug Daten vorliegen und sich deswegen keine signifikanten Abweichungen zwischen den Messfehlern in den unterschiedlichen Gruppen zeigen.

4.3 Vorschläge zur Verbesserung der Messgenauigkeit der App *ready*

Leider konnte im Rahmen dieser Arbeit kein einzelner entscheidender Faktor, der die Messgenauigkeit beim 4-Minuten-Lauf der App *ready* einschränkt, identifiziert werden. Konkrete

Vorschläge für die Verbesserung der Messung bei den Läufen mit der App gestalten sich deshalb schwierig. Um die Zufriedenheit der Nutzer, denen die deutlichen Messfehler ja anscheinend durchaus auffallen, zu erhöhen, könnte eine Option zum manuellen Eintragen der zurückgelegten Distanz implementiert werden. So erhalten Sportbegeisterte, deren Motivation durch falsche Entfernungsmessungen einen Dämpfer erhalten hat, zumindest sofort die Möglichkeit, die App *ready* weiterhin leistungs- und fitnessorientiert zu nutzen.
Ein Feature, das in anderen, vergleichbaren Anwendungen bereits gute Dienste leistet, ist der Import entsprechender Daten von Wearables und Smartwatches. Die Kopplung der App *ready* mit einem Gerät, das bereits eine sehr genaue Streckenmessung implementiert hat, sorgt dafür, dass viele Nutzer auf ohnehin schon vorhandene Ressourcen zurückgreifen können und senkt die Zahl an Nutzern, die auf die Verbesserung der App warten müssen, um ihre Laufstrecken genau zu tracken und aufzuzeichnen.
Bedenkt man die Ergebnisse von (Schipperijn et al., 2014), bei dessen Messungen etwa die Hälfte der mit GPS erfassten Messpunkte innerhalb eines Radius von 2,5 Metern waren, 20 % aber Abweichung von mehr als 10 Metern aufwiesen, scheint nicht unwahrscheinlich, dass wenige große Messfehler für einen Großteil des gesamten Messfehlers verantwortlich sind. Kleinere Abweichungen von wenigen Metern fallen hingegen wahrscheinlich weniger ins Gewicht und produzieren Messfehler, die sich noch im tolerablen Rahmen befinden.
Es wäre daher denkbar, einen Algorithmus zu implementieren, der für einen gleichmäßigen Lauf untypisch schnelle Standortveränderungen als Messfehler erkennt und die Messung dementsprechend korrigiert.

4.4 Ausblick und weitere Forschung

Um gezielte Verbesserungsvorschläge zu machen und die Genauigkeit des 4-Minuten-Laufs der App *ready* zu verbessern, sind weitere Messungen nötig. Denkbar sind dabei die in 4.2.4 bereits angesprochenen Methoden, um die verschiedenen Größen, aus denen moderne Smartphones ihren Standort ermitteln, besser einzeln messen und kontrollieren zu können. Gleichzeitig sollte ein neuer und gezielterer Ansatz erfolgen, dichte Bebauung und Bepflanzung auf ihren Einfluss hin zu untersuchen. Denkbar sind in dieser Hinsicht zum Beispiel Lichtmessungen am Boden, um festzustellen, wie stark Lichtsignale tatsächlich abgeschirmt werden.
Um den Einfluss eines bestimmten Smartphone-Modells oder Betriebssystems auf die Messgenauigkeit beim 4-Minuten-Lauf weiter zu untersuchen, können Nutzer befragt werden.

5 Schlussfolgerung

Der Einfluss von Bäumen und Gebäuden auf die Genauigkeit der Standortermittlung bei der Aufzeichnung des 4-Minuten-Laufs der App *ready* der Schweizer Armee konnte im Rahmen dieser Arbeit nur unzureichend geklärt werden. Bei der Auswertung der Messfehler von 114 Testläufen in unterschiedlichen Umgebungen zeigten sich keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Bebauung und Vegetation. Die Untersuchung wies jedoch einige entscheidende Schwächen auf, die die Ergebnisse nur eingeschränkt verwendbar machen. So fanden sie Läufe im Wald im Winter statt, wenn die Blätter der Laubbäume, die den Hauptteil des hier zu erwartenden Einflusses darstellen, gar nicht vorhanden waren. Die Höhe und Dichte der Bebauung in der Stadt wurde im Vorfeld nicht genau definiert und im Rahmen der Durchführung auch nicht protokolliert, was die Aussagekraft der Ergebnisse ebenfalls entscheidend schwächt. Außerdem ist nicht gewiss, ob die durchgeführte Untersuchung groß genug war, um einen systematischen Fehler durch Gebäude nachweisen zu können.

Insgesamt konnte im Rahmen der Arbeit jedoch nachgewiesen werden, dass bei den 4-Minuten-Läufen der App *ready* systematische Messfehler von durchschnittlich 15 % der Strecke auftreten, die die Einschätzung des Fitnesszustandes des Nutzers verfälschen.

Da die genaue Ursache dieser Messfehler nach wie vor nicht eindeutig bestimmt werden kann, müssen weitere Untersuchungen und Messungen durchgeführt werden. Bis diese ausgewertet sind und die entsprechenden Ergebnisse vorliegen, kann die App durch die Möglichkeit zur manuellen Erfassung der Strecke beim 4-Minuten-Lauf oder durch die Verknüpfung mit Wearables kurzfristig verbessert werden.

References

Bauer, C. (2013). On the (in-)accuracy of gps measures of smartphones. In R. Mayrhofer (Ed.), *ACM Digital Library, Proceedings of international conference on advances in mobile computing & multimedia* (pp. 335–341). ACM. https://doi.org/10.1145/2536853.2536893

Bell, S., Jung, W. R., & Krishnakumar, V. (2010). Wifi-based enhanced positioning systems. In S. Winter (Ed.), *Proceedings of the 2nd acm sigspatial international workshop on indoor spatial awareness* (p. 3). ACM. https://doi.org/10.1145/1865885.1865888

Bös, K. (Ed.). (2017). *Handbuch Motorische Tests: Sportmotorische Tests, motorische Funktionstests, Fragebögen zur körperlich-sportlichen Aktivität und sportpsychologische Diagnoseverfahren* (3., überarbeitete und erweiterte Auflage). Hogrefe.

Bundesamt für Statistik. (2018). *Erhebung zur Internetnutzung*. BFS. https://www.bfs.admin.ch/hub/api/dam/assets/7766267/master

Bundesamt für Statistik. (2020). *Struktur der ständigen Wohnbevölkerung nach Kanton*. BFS. https://www.bfs.admin.ch/bfsstatic/dam/assets/13707204/master

Carter, M. C., Burley, V. J., Nykjaer, C., & Cade, J. E. (2013). Adherence to a smartphone application for weight loss compared to website and paper diary: Pilot randomized controlled trial. *Journal of Medical Internet Research*, *15*(4), e32. https://doi.org/10.2196/jmir.2283

Del Rosario, M. B., Redmond, S. J., & Lovell, N. H. (2015). Tracking the evolution of smartphone sensing for monitoring human movement. *Sensors (Basel, Switzerland)*, *15*(8), 18901–18933. https://doi.org/10.3390/s150818901

Dhein, A., & Grimm, R. (2017). Standortlokalisierung in modernen Smartphones. *Informatik-Spektrum*, *40*(3), 245–254. https://doi.org/10.1007/s00287-016-0964-7

European GNSS Service Centre. *Frequently asked questions: are there multi-constellation receivers capable of using gps, galileo, glonass and others?* GSA. https://www.gsc-europa.eu/galileo/faq#equipment

Gabbiadini, A., & Greitemeyer, T. (2019). Fitness mobile apps positively affect attitudes, perceived behavioral control and physical activities. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, *59*(3), 407–414. https://doi.org/10.23736/S0022-4707.18.08260-9

Google Commerce Ltd. (2021, January 6). *Ready – fit for #teamarmee: bewertungen von nutzern*. https://play.google.com/store/apps/details?id=ch.zem.ready&showAllReviews=true

Griffiths, F., Lindenmeyer, A., Powell, J., Lowe, P., & Thorogood, M. (2006). Why are health care interventions delivered over the internet? A systematic review of the published literature. *Journal of Medical Internet Research*, *8*(2), e10. https://doi.org/10.2196/jmir.8.2.e10

Hess, B., Farahani, A. Z., Tschirschnitz, F., & Reischach, F. von (2012). Evaluation of fine-granular gps tracking on smartphones. In C.-Y. Chow (Ed.), *Proceedings of the first acm sigspatial international workshop on mobile geographic information systems* (p. 33). ACM. https://doi.org/10.1145/2442810.2442817

Higgins, J. P. (2016). Smartphone applications for patients' health and fitness. *The American Journal of Medicine*, *129*(1), 11–19. https://doi.org/10.1016/j.amjmed.2015.05.038

Hoffmann, A. (2012). *Augmented reality: Navigation und standortbezogene dienste mit android-smartphones* [Diplomarbeit]. TU München, München. http://www.eislab.fim.uni-passau.de/files/publications/students/Hoffmann-Diplomarbeit.pdf

Kranz, M., Möller, A., Hammerla, N., Diewald, S., Plötz, T., Olivier, P., & Roalter, L. (2013). The mobile fitness coach: Towards individualized skill assessment using personalized mobile devices. *Pervasive and Mobile Computing*, *9*(2), 203–215. https://doi.org/10.1016/j.pmcj.2012.06.002

Liu, Y., & Avello, M. (2021). Status of the research in fitness apps: A bibliometric analysis. *Telematics and Informatics*, *57*, 101506. https://doi.org/10.1016/j.tele.2020.101506

Matosevic, M., Salcic, Z., & Berber, S. (2006). A comparison of accuracy using a gps and a low-cost dgps. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, *55*(5), 1677–1683. https://doi.org/10.1109/TIM.2006.880918

Modsching, M., Kramer, R., & Hagen, K. ten. (2006). *Field trial on GPS Accuracy in a medium size city: The influence of built-up*. http://modsching.com/papers/fieldtrialongpsaccuracy10pages2006-02-10_06crcit.pdf

Mollee, J. S., Middelweerd, A., Kurvers, R. L., & Klein, M. (2017). What technological features are used in smartphone apps that promote physical activity? A review and content analysis. *Personal and Ubiquitous Computing*, *21*(4), 633–643. https://doi.org/10.1007/s00779-017-1023-3

Newzoo (Ed.). (2020). *Global Mobile Market Report.*

Nielsen, R. O., Cederholm, P., Buist, I., Sørensen, H., Lind, M., & Rasmussen, S. (2013). Can gps be used to detect deleterious progression in training volume among runners? *Journal of Strength and Conditioning Research*, *27*(6), 1471–1478. https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182711e3c

OECD. (2021). *Mobile broadband subscriptions (indicator)*. https://data.oecd.org/broadband/mobile-broadband-subscriptions.htm https://doi.org/10.1787/1277ddc6-en

Ranacher, P., Brunauer, R., Trutschnig, W., van der Spek, S., & Reich, S. (2016). Why gps makes distances bigger than they are. *International Journal of Geographical Information Science : IJGIS*, *30*(2), 316–333. https://doi.org/10.1080/13658816.2015.1086924

Scarsella, A., & Stofega, W. (2020). *Worldwide Smartphone Forecast Update 2020 –2024.*

Schipperijn, J., Kerr, J., Duncan, S., Madsen, T., Klinker, C. D., & Troelsen, J. (2014). Dynamic accuracy of gps receivers for use in health research: A novel method to assess gps accuracy in real-world settings. *Frontiers in Public Health*, *2*, 21. https://doi.org/10.3389/fpubh.2014.00021

Schoeppe, S., Alley, S., van Lippevelde, W., Bray, N. A., Williams, S. L., Duncan, M. J., & Vandelanotte, C. (2016). Efficacy of interventions that use apps to improve diet, physical activity and sedentary behaviour: A systematic review. *The International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, *13*(1), 127. https://doi.org/10.1186/s12966-016-0454-y

Schüttler, T. (2014). Galileo. In T. Schüttler (Ed.), *Technik im Fokus. Satellitennavigation: Wie sie funktioniert und wie sie unseren Alltag beeinflusst* (pp. 111–127). Springer Vieweg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-53887-2_5

Schweizer Armee. (2020, October 19). *Ready – fit for #teamarmee.* Google Commerce Ltd. https://play.google.com/store/apps/details?id=ch.zem.ready

Sperlich, B., Hoppe, M. W., & Haegele, M. (2013). Ausdauertraining-dauermethode versus intensive intervallmethode im fußball. *Dtsch Z Sportmed*, *64*, 10–17.

Thompson, W. R. (2019). Worldwide survey of fitness trends for 2020. *ACSM's Health & Fitness Journal*, *23*(6), 10–18. https://doi.org/10.1249/FIT.0000000000000526

Trevisani, E., & Vitaletti, A. (2004). Cell-id location technique, limits and benefits: An experimental study. In *Proceedings / sixth ieee workshop on mobile computing systems and applications, wmcsa 2004: 2 - 3 December 2004, windermere, cumbria, United Kingdom* (pp. 51–60). IEEE Computer Society. https://doi.org/10.1109/MCSA.2004.9

(2008). *Global Positioning System: Standard Positioning Service Performance Standard.* Department of Defense. https://www.gps.gov/technical/ps/2008-SPS-performance-standard.pdf

Walt, F. (2019). *Get ready #teamarmee!* Schweizer Armee. https://www.vtg.admin.ch/content/vtg-internet/de/aktuell/kampagnen/ready.detail.news.html/vtg-internet/verwaltung/2019/19-03/ready-app.html

Wang, Y., & Collins, W. B. (2021). Systematic evaluation of mobile fitness apps: Apps as the tutor, recorder, game companion, and cheerleader. *Telematics and Informatics*, *59*, 101552. https://doi.org/10.1016/j.tele.2020.101552

Wyss, T. (2010). *Physical activities and demands in swiss soldiers* [, ETH Zurich]. DataCite.

Wyss, T., & Annen, H. (2013). *Studie PROGRESS: Einfluss von progressiv aufgebauter körperlicher Belastung, Sport und Führungsstil auf Fitness, Verletzungen, Austritte, militärische Leistungsfähigkeit, Stress und Motivation bei Schweizer Rekruten*. Interner Bericht.

Yang, Y., & Koenigstorfer, J. (2020). Determinants of physical activity maintenance during the covid-19 pandemic: A focus on fitness apps. *Translational Behavioral Medicine*, *10*(4), 835–842. https://doi.org/10.1093/tbm/ibaa086

Anhang

Rohdaten der 4-Minuten-Läufe mit der App *ready*

Nr.	Luftdruck [kPa]	Wolken	Temperatur [°]	Untergrund	Umgebung	Brand Smartphone	GPS	Ready [m]	Distanz [m]	Differenz [m]	Abweichung [%]
1	949,3	1	-3,7	Schnitzel	2	Huawei P10	on	391,2	648	-257	-40%
1	949,3	1	-3,7	Schnitzel	2	Huawei P10	on	458,1	847	-389	-46%
1	949,3	1	-3,7	Schnitzel	2	Huawei P10	on	476,5	720	-244	-34%
1	949,3	1	-3,7	Schnitzel	2	Huawei P10	on	450,1	865	-415	-48%
1	949,3	1	-3,7	Schnitzel	2	Huawei P10	off	394	686	-292	-43%
1	949,3	1	-3,7	Schnitzel	2	Huawei P10	off	357	873	-516	-59%
1	949,3	1	-3,7	Schnitzel	2	Huawei P10	off	369	673	-304	-45%
1	949,3	1	-3,7	Schnitzel	2	Huawei P10	off	364,4	864	-500	-58%
1	949,3	1	-3,7	Tartan	1	Huawei P10	off	387,9	664	-276	-42%
1	949,3	1	-3,7	Tartan	1	Huawei P10	off	344,4	906	-562	-62%
1	949,3	1	-3,7	Tartan	1	Huawei P10	off	396,6	751	-354	-47%
1	949,3	1	-3,7	Tartan	1	Huawei P10	off	370	897	-527	-59%
1	949,3	1	-3,7	Tartan	1	Huawei P10	on	649	731	-82	-11%
1	949,3	1	-3,7	Tartan	1	Huawei P10	on	747	931	-184	-20%
1	949,3	1	-3,7	Tartan	1	Huawei P10	on	578,5	704	-126	-18%
1	949,3	1	-3,7	Tartan	1	Huawei P10	on	686,3	945	-259	-27%
2	949,3	1	-3,7	Schnitzel	2	I-Phone 6s	on	638	638	0	0%
2	949,3	1	-3,7	Schnitzel	2	I-Phone 6s	on	611	775	-164	-21%
2	949,3	1	-3,7	Schnitzel	2	I-Phone 6s	on	605	710	-105	-15%
2	949,3	1	-3,7	Schnitzel	2	I-Phone 6s	on	668	794	-126	-16%
2	949,3	1	-3,7	Schnitzel	2	I-Phone 6s	off	589	705	-116	-16%
2	949,3	1	-3,7	Schnitzel	2	I-Phone 6s	off	705	815	-110	-13%
2	949,3	1	-3,7	Schnitzel	2	I-Phone 6s	off	535	693	-158	-23%
2	949,3	1	-3,7	Schnitzel	2	I-Phone 6s	off	610	825	-215	-26%
2	949,3	1	-3,7	Tartan	1	I-Phone 6s	off	534	705	-171	-24%
2	949,3	1	-3,7	Tartan	1	I-Phone 6s	off	610	858	-248	-29%
2	949,3	1	-3,7	Tartan	1	I-Phone 6s	off	633	737	-104	-14%
2	949,3	1	-3,7	Tartan	1	I-Phone 6s	off	808	878	-70	-8%
2	949,3	1	-3,7	Tartan	1	I-Phone 6s	on	647	742	-95	-13%
2	949,3	1	-3,7	Tartan	1	I-Phone 6s	on	754	848	-94	-11%
2	949,3	1	-3,7	Tartan	1	I-Phone 6s	on	566	740	-174	-24%
2	949,3	1	-3,7	Tartan	1	I-Phone 6s	on	611	858	-247	-29%
3	962,5	3	12	Tartan	1	Iphone 8	on	909	965	-56	-6%
3	962,5	3	12	Tartan	1	Nokia 9	on	1045	965	80	8%
3	962,5	3	12	Tartan	1	Iphone 8	on	406	460	-54	-12%
3	962,5	3	12	Tartan	1	Nokia 9	on	467	460	7	2%
3	962,5	3	12	Tartan	1	Iphone 8	off	828	950	-122	-13%
3	962,5	3	12	Tartan	1	Iphone 8	off	661	620	41	7%
3	962,5	3	12	Tartan	1	Iphone 8	on	662	920	-258	-28%
3	962,5	3	12	Tartan	1	Nokia 9	on	974	920	54	6%
3	962,5	3	12	Tartan	1	Iphone 8	on	503	540	-37	-7%
3	962,5	3	12	Tartan	1	Nokia 9	on	550	540	10	2%

3	962,5	4	15	Tartan	1	Iphone 8	off	832	860	-28	-3%
3	962,5	4	15	Tartan	1	Nokia 9	off	898	860	38	4%
3	962,5	3	15	Tartan	1	Iphone 8	off	689	530	159	30%
3	962,5	3	15	Tartan	1	Nokia 9	off	476	530	-54	-10%
3	962,5	2	16	Tartan	1	Iphone 8	off	680	890	-210	-24%
3	962,5	2	16	Tartan	1	Nokia 9	off	531	890	-359	-40%
3	962,5	2	16	Tartan	1	Iphone 8	off	523	540	-17	-3%
3	962,5	2	16	Tartan	1	Nokia 9	off	479	540	-61	-11%
4	1036	1	5,6	Holz-späne	2	Iphone 7	on	680	735,6	-56	-8%
4	1036	1	5,6	Holz-späne	2	Iphone 7	on	594	512,3	82	16%
4	1036	1	5,6	Holz-späne	2	Iphone 7	off	638	695,7	-58	-8%
4	1036	1	5,6	Holz-späne	2	Iphone 7	off	466	482,6	-17	-3%
4	1036	1	5,6	Holz-späne	2	Iphone 7	on	720	666,3	54	8%
4	1036	1	5,6	Holz-späne	2	Iphone 7	on	575	490,3	85	17%
4	1036	1	5,6	Holz-späne	2	Iphone 7	off	728	695,7	32	5%
4	1036	1	5,6	Holz-späne	2	Iphone 7	off	542	465,2	77	17%
4	1035	1	4	Tartan	1	Iphone 7	on	655	667,5	-13	-2%
4	1035	1	4	Tartan	1	Iphone 7	on	389	480	-91	-19%
4	1035	1	4	Tartan	1	Iphone 7	off	735	860	-125	-15%
4	1035	1	4	Tartan	1	Iphone 7	off	438	490	-52	-11%
4	1035	1	4	Tartan	1	Iphone 7	on	738	808	-70	-9%
4	1035	1	4	Tartan	1	Iphone 7	on	574	643	-69	-11%
4	1035	1	4	Tartan	1	Iphone 7	off	785	820	-35	-4%
4	1035	1	4	Tartan	1	Iphone 7	off	569	500	69	14%
5	969	3	0	Zement	3	Iphone 10R	on	649	687,7	-39	-6%
5	969	3	0	Zement	3	Samsung S7 Edge	on	645	687,7	-43	-6%
5	969	3	0	Zement	3	Iphone 10R	on	473	468	5	1%
5	969	3	0	Zement	3	Samsung S7 Edge	on	471	468	3	1%
5	969	3	0	Zement	3	Iphone 10R	off	584	625,7	-42	-7%
5	969	2	-1	Zement	3	Samsung S7 Edge	off	603,3	625,7	-22	-4%
5	969	2	-1	Zement	3	Iphone 10R	off	519	461	58	13%
5	969	2	-1	Zement	3	Samsung S7 Edge	off	603,3	461	142	31%
5	969	2	-1	Zement	3	Iphone 10R	on	569	629	-60	-10%
5	969	2	-1	Zement	3	Samsung S7 Edge	on	526,8	629	-102	-16%
5	969	2	-1	Zement	3	Iphone 10R	on	470	455	15	3%
5	969	2	-1	Zement	3	Samsung S7 Edge	on	466	455	11	2%
5	969	2	-1	Zement	3	Iphone 10R	off	477	599,7	-123	-20%
5	969	2	-1	Zement	3	Samsung S7 Edge	off	579,7	599,7	-20	-3%
5	969	2	-1	Zement	3	Iphone 10R	off	452	436	16	4%

5	969	2	-1	Zement	3	Samsung S7 Edge	off	586,3	436	150	34%
5	963	3	-1	Erde	2	Iphone 10R	on	609	640	-31	-5%
5	963	3	-1	Erde	2	Samsung S7 Edge	on	585,8	640	-54	-8%
5	963	3	-1	Erde	2	Iphone 10R	on	466	477	-11	-2%
5	963	3	-1	Erde	2	Samsung S7 Edge	on	426,4	477	-51	-11%
5	963	3	-1	Erde	2	Iphone 10R	off	549	598,2	-49	-8%
5	963	3	-1	Erde	2	Samsung S7 Edge	off	574	598,2	-24	-4%
5	963	3	-1	Erde	2	Iphone 10R	off	488	433,2	55	13%
5	963	3	-1	Erde	2	Samsung S7 Edge	off	575,9	433,2	143	33%
5	963	3	-1	Erde	2	Iphone 10R	on	563	604,2	-41	-7%
5	963	3	-1	Erde	2	Samsung S7 Edge	on	574,1	604,2	-30	-5%
5	963	3	-1	Erde	2	Iphone 10R	on	439	464,5	-26	-5%
5	963	3	-1	Erde	2	Samsung S7 Edge	on	458,3	464,5	-6	-1%
5	963	3	-1	Erde	2	Iphone 10R	off	472	621	-149	-24%
5	963	3	-1	Erde	2	Samsung S7 Edge	off	586,3	621	-35	-6%
5	963	3	-1	Erde	2	Iphone 10R	off	450	468	-18	-4%
5	963	3	-1	Erde	2	Samsung S7 Edge	off	580,5	468	113	24%
5	966	2	7,5	Tartan	1	Iphone 10R	on	667	657,4	10	1%
5	966	2	7,5	Tartan	1	Samsung S7 Edge	on	654,1	657,4	-3	-1%
5	966	2	7,5	Tartan	1	Iphone 10R	on	465	444,2	21	5%
5	966	2	6	Tartan	1	Samsung S7 Edge	on	436,7	444,2	-8	-2%
5	966,5	2	6	Tartan	1	Iphone 10R	off	650	684	-34	-5%
5	966,5	2	6	Tartan	1	Samsung S7 Edge	off	609,9	684	-74	-11%
5	966,5	2	6	Tartan	1	Iphone 10R	off	509	490	19	4%
5	966,5	2	6	Tartan	1	Samsung S7 Edge	off	590	490	100	20%
5	966,5	2	6	Tartan	1	Iphone 10R	on	609	656,8	-48	-7%
5	966,5	2	6	Tartan	1	Samsung S7 Edge	on	598,7	656,8	-58	-9%
5	966,5	2	6	Tartan	1	Iphone 10R	on	422	451,8	-30	-7%
5	966,5	2	5	Tartan	1	Samsung S7 Edge	on	495,6	451,8	44	10%
5	966,5	2	5	Tartan	1	Iphone 10R	off	501	650	-149	-23%
5	967	2	5	Tartan	1	Samsung S7 Edge	off	604,2	650	-46	-7%
5	967	2	5	Tartan	1	Iphone 10R	off	453	484	-31	-6%
5	967	2	4	Tartan	1	Samsung S7 Edge	off	613,7	484	130	27%