



universität
wien

DIPLOMARBEIT

Titel der Diplomarbeit

„Smartphone-Fitness-Apps: Einflussfaktoren auf
Tracking und Methoden zur Verbesserung der
Wegaufzeichnung im urbanen Raum“

Verfasser

Florian Bauer

angestrebter akademischer Grad

Magister der Naturwissenschaften (Mag.rer.nat.)

Wien, 2012

Studienkennzahl lt. Studienblatt:

A 455

Studienrichtung lt. Studienblatt:

Kartographie und Geoinformation

Betreuerin / Betreuer:

Ass.-Prof. Mag. Dr. Andreas Riedl

Inhalt

Inhalt.....	i
Abbildungsverzeichnis	v
Tabellenverzeichnis	vii
Kurzfassung	ix
Abstract	xi
Vorwort.....	xiii
1 Einleitung.....	1
2 Smartphones mit besonderem Fokus auf Fitness-Apps	7
2.1 Entwicklung von Smartphones.....	7
2.2 Applikationsplattformen.....	9
2.3 Apps als Zukunft der Smartphones	11
2.4 Gesundheit- und Fitness-Apps im Speziellen	12
2.5 Zukünftige Entwicklung von Gesundheits-Apps	14
3 Einflussfaktoren auf die Wegaufzeichnung	17
3.1 Positionsbestimmung	17
3.2 Mathematische Modelle der Positionsbestimmung.....	17
3.2.1 Lateration	18
3.2.2 Triangulation	18
3.2.3 Flächenschwerpunkt.....	19
3.3 Positionierungstechnologien	19
3.3.1 Einfache Positionierungsmethoden	20
3.3.1.1 Deduced Reckoning (DR).....	20
3.3.1.2 Time Of Arrival (TOA)	21
3.3.1.3 Time Difference Of Arrival (TDOA)	21
3.3.1.4 Angle of Arrival (AOA)	22
3.3.2 Satellitenbasierende Positionierung.....	23
3.3.2.1 GPS (Global Positioning System).....	23
3.3.2.2 Galileo	24

3.3.2.3	Assisted Global Positioning System (A-GPS).....	25
3.3.3	Netzwerkbasierter Positionierung	26
3.3.3.1	Zellen-ID (Cell-ID), Ursprungszelle (Cell Of Origin; COO)	26
3.3.3.2	WiFi Lokalisierung	26
3.4	Genauigkeit bei der Positionsbestimmung.....	27
3.5	Aufzeichnungsrate.....	28
3.6	Ausblick bei den Positionierungssystemen	28
4	Verwendung von Map-Matching für die Anpassung von Tracks	31
4.1	Map-Matching-Algorithmen	31
4.1.1	Geometrische Analyse	32
4.1.2	Topologische Analyse.....	33
4.1.3	Wahrscheinlichkeitstheoretische Algorithmen.....	34
4.1.4	Erweiterte Map-Matching-Algorithmen.....	35
4.2	Quantität der Map-Matching-Algorithmen	35
4.2.1	Lokale / Inkrementelle Map-Matching-Algorithmen	35
4.2.1.1	Look-Ahead.....	37
4.2.2	Globale Map-Matching-Algorithmen.....	37
4.3	Map-Matching für Fitness-Apps	38
5	Smartphone-Fitness-Apps und deren Unterscheidungsmerkmale	39
5.1	Auswahl der Apps.....	39
5.2	Aufnahmeprozess.....	40
5.2.1	Aufnahmeigenschaften	40
5.2.2	Aufnahmeinstellungen.....	41
5.3	Interfaces der Fitness-Apps	42
5.3.1	Endomondo Sports Tracker	42
5.3.1.1	Smartphone-App	43
5.3.1.2	Webinterface	44
5.3.1.3	Datenübertragung.....	45
5.3.2	Runkeeper	46
5.3.2.1	Smartphone-App	47
5.3.2.2	Webinterface	48

5.3.2.3	Datenübertragung	50
5.3.3	Runtastic.....	50
5.3.3.1	Smartphone-App.....	51
5.3.3.2	Webinterface.....	52
5.3.3.3	Datenübertragung	55
5.4	Vergleich der Fitness-Apps	55
5.4.1	Smartphone-App	56
5.4.2	Webinterface	56
5.4.3	Exportmöglichkeit	56
5.4.4	Zusammenfassung und Aussicht.....	56
5.5	Dateiformate	59
5.5.1	GPS Exchange Format (GPX).....	59
5.5.2	Keyhole Markup Language (KML).....	61
5.5.3	Training Center Database XML (TCX)	62
6	Analyse der Wegaufzeichnungen	65
6.1	Datenaufbereitung	65
6.1.1	Aufbereitung des Straßennetzwerks	65
6.1.2	QuantumGIS (QGIS).....	67
6.1.3	ESRI ArcGIS.....	68
6.2	Quantitativer Vergleich	71
6.3	Visuelle Analyse der Tracks.....	74
6.3.1	Aufzeichnungen im Detail.....	75
6.3.2	Generelle Merkmale	79
7	Diskussion	81
8	Literatur.....	85
Anhang.....		89
Anhang A:	Erste Aufzeichnung	89
Anhang B:	Zweite Aufzeichnung	90
Anhang C:	Dritte Aufzeichnung	91
Anhang D:	Vierte Aufzeichnung	92
Anhang E:	Fünfte Aufzeichnung	93

Anhang F: Sechste Aufzeichnung	94
Anhang G: Siebte Aufzeichnung	95
Zusammenfassung und Ausblick	96
Lebenslauf	99

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Aufteilung der Smartphone-Betriebssysteme	8
Abbildung 2: Vergleich von verfügbaren Apps	9
Abbildung 3: Google Play App-Downloads	10
Abbildung 4: Entwicklung von Smartphone-Apps (2011 vs. 2012).....	11
Abbildung 5: Aufgliederung von Gesundheits-Apps.....	12
Abbildung 6: Entwicklung des Ertrags im mobilen Gesundheitsbereich	13
Abbildung 7: Prognose der Smartphones mit Gesundheits-Apps im Jahr 2015.....	15
Abbildung 8: Trilateration	18
Abbildung 9: Triangulation.....	19
Abbildung 10: Flächenschwerpunkt	19
Abbildung 11: Gliederung der Positionierungstechnologien.....	20
Abbildung 12: Time of Arrival (TOA)	21
Abbildung 13: Time Difference of Arrival (TDOA)	22
Abbildung 14: Angle of Arrival (AOA).....	22
Abbildung 15: Satelliten beim Umkreisen der Erde	23
Abbildung 16: Assisted-GPS (A-GPS)	25
Abbildung 17: Beispiel für inkrementelles Map-Matching	36
Abbildung 18: Inkrementelles Map-Matching Beispiel mit Look-Ahead	37
Abbildung 19: Übersichtskarte mit Untersuchungsgebiet	40
Abbildung 20: Orthofoto des Untersuchungsgebietes	41
Abbildung 21: Logo von Endomondo.....	42
Abbildung 22: Endomondo – Aufnahme	43
Abbildung 23: Endomondo – Aktivität.....	44
Abbildung 24: Endomondo – Detailansicht einer Aktivität.....	45
Abbildung 25: Endomondo - Streckenverlauf einer Aktivität	45
Abbildung 26: Endomondo – Exportmöglichkeit	46
Abbildung 27: Logo von RunKeeper.....	46
Abbildung 28: Runkeeper – Trackinginterface.....	47
Abbildung 29: Runkeeper – Webinterface.....	48

Abbildung 30: Runkeeper – Editiermöglichkeit des Tracks	49
Abbildung 31: Logo von Runtastic	50
Abbildung 32: Runtastic – Aufnahme.....	51
Abbildung 33: Runtastic – Aktivität	52
Abbildung 34: Runtastic – Listenansicht	53
Abbildung 35: Runtastic – Webinterface.....	53
Abbildung 36: Runtastic - Streckenverlauf einer Aktivität.....	54
Abbildung 37: Runtastic – Gliederung in Abschnitte	54
Abbildung 38: Runtastic – Exportfunktion.....	55
Abbildung 39: OSM-Ausschnitt eines Teilgebietes im UG.....	66
Abbildung 40: Straßennetzwerk-Ausschnitt eines Teilgebiets im UG	67
Abbildung 41: QGIS – Einlesen der GPX-Datei	68
Abbildung 42: ArcMap-Modell mit der GPXtoFeatures Funktion.....	69
Abbildung 43: ArcMap-Modell zur der Aufbereitung der Track-Daten.....	70
Abbildung 44: Distanz je Track und App	71
Abbildung 45: Differenzen zur angepassten Strecke	72
Abbildung 46: Durchschnittliche Aufzeichnungsrate.....	74
Abbildung 47: Abweichungen bei der ersten Aufzeichnung	75
Abbildung 48: Abweichungen bei der zweiten Aufzeichnung	75
Abbildung 49: Abweichungen bei der dritten Aufzeichnung	76
Abbildung 50: Abweichungen bei der vierten Aufzeichnung.....	77
Abbildung 51: Abweichungen bei der fünften Aufzeichnung	78
Abbildung 52: Abweichungen bei der sechsten Aufzeichnung	78

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Funktionsumfang der drei Apps im Bereich der App am Smartphone.....	57
Tabelle 2: Funktionsumfang der drei Apps im Bereich der Webinterfaces.....	58
Tabelle 3: Funktionsumfang der drei Apps bei der Exportmöglichkeit.....	59
Tabelle 4: Extremwerte und Summe der Abweichungen	72
Tabelle 5: Prozentuelle Abweichung auf die Gesamtdistanz	73
Tabelle 6: Positionspunkte je Track und App.....	73
Tabelle 7: Zusammenhang von Aufzeichnungsrate und prozentueller Differenz	74
Tabelle 8: Abbiegungen und Differenz für EM	79
Tabelle 9: Reihung der Abbiegungen und Differenzen für EM.....	79
Tabelle 10: Abbiegungen und Differenz für RT	80
Tabelle 11: Reihung der Abbiegungen und Differenzen für RT	80

Kurzfassung

Am Beginn wird die Entwicklung von Smartphone-Apps allgemein und die der Fitness-Apps im Speziellen beschrieben. Dabei werden verschiedene Faktoren, wie die Anzahl der angebotenen Apps und die Anzahl der heruntergeladenen Apps herangezogen um die Entwicklung der verschiedenen Applikationsplattformen zu beschreiben. Bei der weiteren Auseinandersetzung mit den Fitness-Apps zeigt sich, dass für den möglichst perfekten Track viele Faktoren entscheidend sind. Schon bei der Aufnahme selbst ist es wichtig, dass man optimale Einstellungen in Bezug auf die Positionsbestimmung vornimmt. Speziell im urbanen Raum in den Häuserschluchten ist GPS alleine nicht ausreichend, weshalb eine Kombination mit anderen Systemen sinnvoll ist. A-GPS, WiFi-Assisted-GPS, DR Systeme und Galileo bieten sich in Kombination mit GPS an. Die Anpassung von Tracks an vorhandene Straßengeometrie basiert auf Map-Matching. Für die Unterscheidung werden die allgemeinen Map-Matching-Algorithmen mittels verschiedener Kriterien gegliedert und vorhandene Algorithmen entsprechend zugeordnet.

Der praktische Teil widmet sich den Smartphone-Fitness-Apps. Zu Beginn erfolgt eine Auswahl der zu verwendenden Apps aufgrund intensiver Literatur- und Internetrecherche. Insgesamt wurden drei Apps für die weitere Analyse ausgewählt. Die ausgewählten Apps Runkeeper, Endomondo und Runtastic wurden allgemein und speziell anhand der Bereiche App, Webinterface und Datenexport analysiert. Aufgrund verschiedener Bewertungskriterien werden diese benotet. Für die detaillierte Analyse der Datenqualität der Aufzeichnungen erfolgte die Aufbereitung der Daten für den späteren Vergleich. Bei der Aufbereitung werden verschiedene Möglichkeiten mit QGIS und ArcGIS aufgezeigt. Die Vergleiche werden jeweils für die drei aufgenommen Tracks und dem angepassten Track einer Aufzeichnung durchgeführt. Zuerst erfolgt ein quantitativer Vergleich in Bezug auf die Distanzunterschiede. Aufgrund des quantitativen Vergleichs konnten erste Erkenntnisse gewonnen werden, jedoch ist es für eine detailliertere Analyse unumgänglich die Tracks visuell zu untersuchen. So werden vereinzelt starke Abweichungen erkannt, die teilweise dazu führen, dass eine automatische Anpassung anhand von Map-Matching nicht mehr möglich ist.

Abstract

The beginning of this work gives an overview of smartphone apps and especially fitness apps. The development is based on the number of available apps and on the number of downloaded apps. The further discussion shows that there are many important factors which influence the most perfect track (mpt). During the recording process it is important that the user makes optimal settings related to the positioning. Especially in urban areas in the street canyons, GPS alone is not sufficient. A-GPS, WiFi-Assisted-GPS, Galileo and DR systems are a good combination with GPS. The adjustment of recorded tracks on existing road geometry is done with map-matching. General map-matching algorithms are divided into different groups and existing algorithms are assigned to these groups.

The practical part is dedicated to study smartphone fitness apps. Based on intensive literature and internet research different apps are selected. These apps are RunKeeper, Endomondo and Runtastic which are analyzed in general and especially with focus on the application itself, the web interface and the data export. Based on various evaluation criteria the apps are ranked. For the detailed analysis of the data quality of the recordings, a preparation of the data is required. For this purpose, different possibilities (QGIS and ArcGIS) are shown. Differences between the recorded tracks and the adjusted track are computed. Based on the OSM data adjustments on the road geometry are made. In the beginning a quantitative comparison is made with respect to the distance differences based on absolute and percentage values. Quantitative comparison gives a first impression of the length differences. A more detailed visual analysis helps to precisely detect strong deviations. Sometimes the errors are too large, that an automatic adjustment based on map-matching would be impossible.

Vorwort

Ein Gedanke,

„Diplomarbeit schreiben ist ein langwieriger Prozess,

welcher am Ende

einen plötzlichen Abschluss finden muss.“

Das trifft zumindest auf mich, als eine der letzten Personen im aktuellen Studienplan zu.

Ich bin kein Mensch der großen Worte, trotzdem möchte ich mich bei meinem Betreuer Andreas Riedl für die richtungsweisenden Gespräche im Zuge der Diplomarbeit und das von ihm in mich gesetzte Vertrauen während meines ganzen Studiums bedanken.

Besonderer Dank gilt auch meiner Freundin, meiner Familie, meinen Freunden und jenen Studienkollegen, die mich während des Studiums und der Diplomarbeit unterstützt haben.

Es war eine interessante, abwechslungsreiche, zumeist spannende, lehrreiche, und zukunftsweisende Studienzeit.

DANKE!

1 Einleitung

Es wurde wissenschaftlich bewiesen, dass Personen unterschiedlichen Alters, welche regelmäßig physisch aktiv sind und Sport betreiben von physischen, sozialen und mentalen Vorteilen profitieren. Fitness hebt die Produktivität, wirkt gut im Zusammenhang mit der Ernährung, steigert körperliche Möglichkeiten, fördert die soziale Interaktion und reduziert die Kosten im Gesundheitswesen. [GUP-11]

[GUP-11] schildert ein seit einigen Jahren bestehendes kommerzielles und wirtschaftliches Interesse im Sport- und Fitnessbereich, sowie an physischen Aktivitäten im Freizeitbereich. Die in diesem Bereich entwickelten Aktivitäten fallen in die drei Kategorien:

- Computerunterstützte physische Spiele
- Virtuelle Trainer
- Mobile Applikationen und Geräte für physische Aktivitäten

Vor allem der dritte Bereich ist sehr zukunftsweisend, weil es den Benutzer jederzeit und überall unterstützen kann. Die mobilen Applikationen und Geräte können in folgende drei Kategorien gegliedert werden:

- eigenständige Geräte
- Smartphones
- hybride Systeme

Die eigenständigen Geräte von Garmin, Suunto und Fitbit zeichnen Echtzeitdaten in einem Flashspeicher im Gerät selbst auf. Der Vorteil ist, dass die Sensoren meist einfach zu tragen sind und die gesammelten Daten sehr genau sind. Zum Export der Daten vom Gerät zum Computer benötigt man Software-Treiber am Computer und einen USB-Dongle wodurch die Daten drahtlos oder mit einem Kabel übertragen werden. Der Nachteil von eigenständigen Fitnesslösungen ist, dass der Benutzer nicht die Möglichkeit hat die Daten der physischen Aktivitäten untereinander zu vergleichen. Zusätzlich ist es schwer möglich die Leistung der physischen Aktivität mit Freunden oder der Familie zu teilen.

Es gibt hunderte von Smartphone-Apps für Gesundheit und Fitness für die verschiedenen Smartphone-Betriebssysteme. Diese Applikationen nutzen GPS oder Bewegungssensoren oder beide Arten um Benutzerbewegungen zu erkennen. Bekannte

Apps sind unter anderem iTreadMill, RunKeeper und Endomondo. Solche Apps ermöglichen Aufzeichnungen von Lauf-/Radrouten, Trainingsdaten und eine umfangreiche Trainingsentwicklung, sowie das Teilen der Trainingsleistung mit Freunden und Familie mittels Facebook, Twitter, E-Mail und dem Webinterface des jeweiligen Anbieters. Zusätzliche Features sind unter anderem die Musikauswahl während der Aktivität und Geo-Tagging von Bildern. Nachteile von Smartphone-Fitnesslösungen sind die verwendeten geräteeigenen Sensoren, wodurch keine Anbindung von Herzfrequenzmonitoren möglich ist. Mittels Bewegungssensor gesammelte Daten sind im Vergleich zu einem Pedometer, welcher am Fuß angebracht ist, ungenau. Auch die Mitnahme bzw. Anbringung des Smartphones am Arm ist nicht unproblematisch, da es während der sportlichen Aktivität Schaden nehmen kann.

Für genauere Ergebnisse ist es sinnvoll externe Sensoren und Smartphones zu kombinieren. Diese sogenannten hybriden Systeme sind unter anderem Nike+, Digifit und Adidas MiCoach, welche mehr Aufmerksamkeit der Konsumenten bekommen und welche wachsende Marktanteile verzeichnen. Bei diesen Lösungen muss das Smartphone während des Sports mitgenommen werden. [GUP-11]

Trotz dieser Nachteile überwiegen die Vorteile von Smartphones und vor allem die Tatsache, dass es für Einsteiger und Hobbyathleten einfacher und billiger ist auf schon vorhandene Hardware zurückzugreifen. Statistiken zeigen, dass sich der Smartphone Markt sehr schnell weiterentwickelt. Im Jahr 2010 betrug der Anteil von Smartphones am Mobilfunkmarkt noch 22%. Mit 2011 war eine Steigerung von 67% vorhanden, womit der Marktanteil auf 36% anstieg [GFK-12]. Nicht nur der Smartphone-Markt selbst, sondern auch der Sport-Tracking-Geräte Markt wächst und zwar weg von proprietären Systemen in Richtung Smartphone-Apps [ABI-12].

Durch erste eigene Erfahrungen im Bereich der Smartphone-Fitness-Apps stellte sich die Frage welche Einflussfaktoren bei einer Aufzeichnung gegeben sind. Aufgrund nicht zufriedenstellender Tracking-Ergebnisse befasst sich die vorliegende Arbeit unter anderem mit der Verbesserung der Erfassung der Tracks.

Vorhandene wissenschaftliche Arbeiten beschäftigen sich grundlegend mit der Positionsbestimmung von Objekten/Personen, oftmals im Kontext der Navigation. Es gibt auch Arbeiten die auf die Genauigkeit der Verortung von verschiedenen Systemen eingehen. Auch zur Anpassung an vorhandene Straßengeometrie, dem sogenannten „Map-Matching“ gibt es eine Vielzahl an Arbeiten, die sich damit auseinandersetzen.

Mit Stand 1. August 2012 liegen nach gründlicher Recherche keine wissenschaftlichen Arbeiten vor, welche sich direkt mit der Genauigkeit von Smartphone-Fitness-Apps in

Bezug auf Tracking oder Verbesserung der Tracks beschäftigen. Deshalb ist es ein Ziel in dieser Arbeit die Möglichkeiten der Positionsbestimmung mit Smartphones und deren Genauigkeit zu begutachten und verschiedene Aspekte der Map-Matching-Methoden zu diskutieren, welche in Zukunft für Smartphone-Fitness-Apps eine Rolle spielen könnten.

Die **wissenschaftlichen Fragestellungen** sind dabei:

- Welche Methoden bieten Potential um sich an den „möglichst perfekten Track“ (*mpT*) anzunähern?
- Welche Anforderungen sind an vorhandene Straßengeometrie im urbanen Raum für die Messung von Laufdistanzen zu stellen?
- Kann mittels GIS-Analyse ein entscheidender Distanzunterschied zwischen aufgenommenen und angepassten Tracks festgestellt werden?

Die Fragestellung zum „möglichst perfekten Track“ (*mpT*) ist eine sehr umfassende. Es bezieht die für Smartphones am jeweiligen Ort sinnvolle Positionierungstechnologie mit ein. Weiter wird auf die optimalen Map-Matching-Algorithmen und auf die bei empirischen Tests gefundenen Besonderheiten Bezug genommen.

Bei der zweiten Fragestellung werden Datenqualitätskriterien eine Rolle spielen. Eine wichtige Rolle wird die Vollständigkeit und Genauigkeit der vorhandenen Straßengeometrie spielen. Eine Anpassung macht nur Sinn, wenn diese Kriterien erfüllt werden. Mit der Hypothese „die absolvierte Strecke wird möglichst parallel zur Straße zurückgelegt“, erreicht man, dass eine Anpassung der Tracks an vorhandene Straßengeometrie erstrebenswert ist.

Nicht nur vom ästhetischen Standpunkt soll die Anpassung sinnvoll sein, sondern auch aufgrund der Distanzunterschiede. Es wird durch eigene empirische Aufnahmen analysiert, in welchem Ausmaß Distanzunterschiede zwischen den aufgenommenen Tracks untereinander bestehen, und weshalb es zu diesen Unterschieden kommt.

Die **Zielsetzung** für die Arbeit ist es einen Überblick von verschiedenen Einflussfaktoren auf Tracks zu geben und potentielle Verbesserungen in Bezug auf die Qualität der von Smartphone-Fitness-Apps aufgezeichneten Tracks zu eruieren.

Zum Erreichen der Ziele und zur Beantwortung der Fragestellungen werden verschiedene **Methoden** verwendet. Auf Basis der Literaturrecherche zu den unterschiedlichen Themenbereichen wird ein theoretisches Grundgerüst konzipiert. In einer praktischen Analyse der Apps wird dann unter anderem auf dieses eingegangen.

Durch den empirischen Vergleich von Aufnahmen sollen verwertbare Erkenntnisse gezogen werden.

Kapitel 2 wird sich mit Smartphone-Apps im Allgemeinen und mit Fitness-Apps im Speziellen auseinandersetzen. Dazu wird kurz auf die Entwicklung im Bereich der Smartphones eingegangen und auf dieser aufbauend die Entwicklung von Smartphone-Apps und deren Applikationsplattformen beschrieben. Es werden verschiedene Faktoren zur Messung und zum Vergleich der Applikationsplattformen herangezogen. Der umfassende Werdegang von Apps wird aufgezeigt und die Gesundheits-Apps mit dem Teilbereich Fitness-Apps werden genauer betrachtet. Abschließend erfolgt eine sehr positive Prognose der Gesundheits-Apps.

Kapitel 3 beschreibt die verschiedenen Einflussfaktoren auf die Wegaufzeichnung. Ein Hauptaugenmerk wird vor allem die Positionsbestimmung auf die Positionsbestimmung gelegt. Die mathematischen Modelle zeigen wie die Messung der Position grundlegend durchgeführt wird. Bei den Positionierungstechnologien erfolgt eine Gliederung in die drei Kategorien:

- einfache Positionierungsmethoden
- satellitenbasierende Positionierung
- netzwerkbasierende Positionierung

Innerhalb dieser Gruppen werden die verschiedenen Systeme beschrieben. Abschließend folgen eine Auseinandersetzung mit der Genauigkeit der verschiedenen Technologien, eine Beschreibung des Einflusses der Aufzeichnungsrate und ein Ausblick auf zukünftige Systeme.

Kapitel 4 wird sich mit Map-Matching beschäftigen, wodurch aufgenommene Tracks an vorhandene Straßengeometrie angepasst werden können. Es erfolgt eine Unterscheidung in verschiedene Map-Matching-Algorithmen, die von geometrischen und topologischen Analysen bis zu wahrscheinlichkeitstheoretischen Algorithmen und erweiterten Map-Matching-Algorithmen reichen. Bei der Quantität der Map-Matching-Algorithmen werden lokale / inkrementelle mit globalen Algorithmen verglichen. Abschließend wird Map-Matching in Zusammenhang mit Fitness-Apps betrachtet.

In Kapitel 5 werden Smartphone-Fitness-Apps für die weitere Untersuchung ausgewählt und die Einstellungen und Eigenschaften des Aufnahmeprozesses geschildert. Es folgt eine detaillierte Beschreibung der ausgewählten Smartphone-Fitness-Systeme anhand der Apps, Webinterfaces und des Datenexports. Danach werden die einzelnen Apps

miteinander verglichen und auf die möglichen Dateiformate nach dem Datenexport eingegangen.

In Kapitel 6 werden eigene empirische Aufnahmen analysiert. Die Aufzeichnungen werden mit Geoinformationssystemen aufbereitet um danach einen quantitativen Vergleich und eine visuelle Analyse durchführen zu können. Dabei stehen beim quantitativen Vergleich das Ausmaß von Distanzunterschieden zwischen den aufgenommenen Tracks untereinander und im Vergleich zur vorhanden Straßengeometrie im Vordergrund. Bei der visuellen Analyse wird speziell auf starke Abweichungen eingegangen. Es wird auch auf die Einflüsse, wodurch es zu den Unterschieden kommt, eingegangen.

In Kapitel 7 werden als Abschluss die zuvor gestellten wissenschaftlichen Fragestellungen ausführlich beantwortet.

2 Smartphones mit besonderem Fokus auf Fitness-Apps

Smartphones prägen den Alltag immer mehr und werden neben der Telefonie für verschiedenste andere Anwendungen eingesetzt. Für eine Abgrenzung von Smartphones zu normalen Mobiltelefonen dienen folgende zwei Definitionen:

- Ein Smartphone ist ein Mobiltelefon mit eingebauten Applikationen und Internetzugang. Zusätzlich zum digitalen Sprachdienst bieten moderne Smartphones Textnachrichten, E-Mail, Surfen im Internet, Kameras für Fotos und Videos, MP3-Player, Video-Wiedergabe und -Telefonie. Neben dieser eingebauten Funktionalität gibt es die Möglichkeit unzählige gratis und kostenpflichtige Applikationen zu verwenden, die das Mobiltelefon in einen mobilen Computer verwandeln. [PCM-12a]
- Ein Smartphone ist ein Mobiltelefon, welches zusätzliche Funktionen neben Telefonanrufen und Textnachrichten bietet. Die meisten Smartphones haben die Fähigkeit Fotos anzuzeigen, Videos abzuspielen, E-Mail abzurufen und zu senden, und durch das Web zu surfen. Moderne Smartphones, wie das iPhone und auf Android-basierende Telefone ermöglichen die Verwendung von Applikationen von Drittanbietern, welche endlose Funktionalität bieten. [TEC-12]

Diese zwei Definitionen sind einander sehr ähnlich und zusammenfassend lässt sich folgendes sagen:

Ein Smartphone ist ein Mobiltelefon mit bereits eingebauter erweiterter Funktionalität, und durch Apps von Drittanbietern werden unbegrenzte Möglichkeiten in Richtung eines mobilen Computers geschaffen.

2.1 Entwicklung von Smartphones

Bereits 1994 veröffentlichten IBM und BellSouth eine Kombination aus Telefon und Personal Digital Assistant (PDA) mit dem Namen „Simon Personal Communicator“. Simon wird oftmals als das erste Smartphone genannt, es war jedoch noch teuer und schwer. Es dauerte fast ein Jahrzehnt bis Smartphones klein und leistungsfähig wurden, um eine größere Verbreitung zu erreichen. Im Jahr 2002 wurde das Blackberry durch die gute Einbindung von E-Mailverkehr als Smartphone für Unternehmen bekannt und die Anzahl der Benutzer stieg über die Jahre an. Durch die Veröffentlichung des iPhone im Jahr 2007 prägte Apple die Smartphone-Industrie. [PCM-12c]

Die Einführung des iPhone war die erste echte Änderung seit den Ursprüngen des Smartphone-Marktes. Smartphones wurden immer als etwas angesehen, dass von Geschäftsleuten benutzt wird, und Apple vollbrachte die Wandlung, es für jedermann zugänglich zu machen. Ursprünglich wurden das iPhone mit der dazugehörigen Plattform als zu abgeschottet betrachtet, weil es nicht möglich war Applikationen von Drittanbietern zu installieren. Erst sechs Monate nach der Veröffentlichung des iPhones wurde die Möglichkeit zum Hinzufügen von Drittanbieter-Applikationen geschaffen. [MCC-11]

Als Open-Source-Projekt schaffte es mit Android, ein zweites Smartphone-Betriebssystem sich zu entwickeln. Android zeigte sich als verlässliches, stabiles Betriebssystem, welches auf beliebigen Geräten installiert werden konnte. 2008, nach der Unterstützung des Android-Betriebssystems durch Google, verpflichtete sich HTC der erste Hersteller für Android-Smartphones zu sein. Kurz danach weckte Android Aufmerksamkeit von anderen Herstellern, wie Samsung, LG, Motorola und vielen mehr. [MCC-11]

Der entscheidende Erfolg von Smartphones über die Jahre war nicht nur die gute Funktionalität, sondern der Zugang der erweiterten Entwicklungsmöglichkeiten anhand der Drittanbieter-Apps. Apple's App Store verfügt über den größeren Anteil an Apps, aber Google's Android Market wächst schnell. [MCC-11]

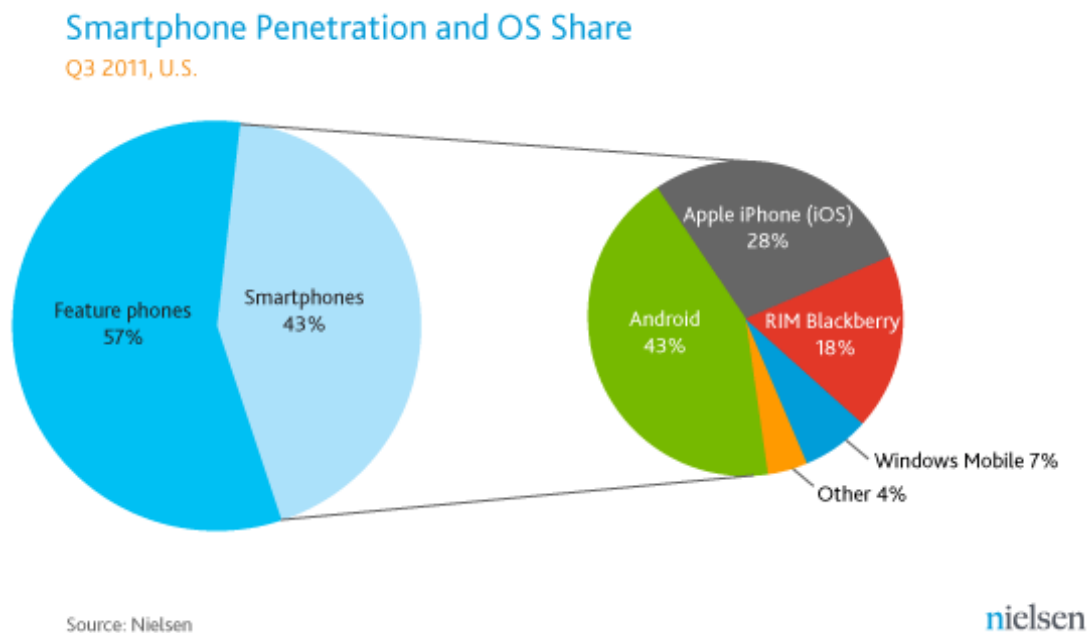


Abbildung 1: Aufteilung der Smartphone-Betriebssysteme

Anteil der Smartphones am Mobilfunkmarkt und dessen Betriebssysteme im dritten Quartal 2011

(Quelle: <http://blog.nielsen.com/nielsenwire/wp-content/uploads/2011/11/smartphone-market.gif>)

Somit haben Apple und Google das Zeitalter des Mobile-Computing erst richtig eingeleitet und dominieren diesen Bereich. Seit 2007 wurden 440 Millionen iOS- und Android-Geräte aktiviert (Stand 31.10.2011) wobei zusätzlich eine Million zusätzlich aktivierter Geräte jeden Tag hinzukommt. [FAR-11]

Der Smartphone-Markt wächst kontinuierlich weiter und steht bei 43% des gesamten Mobilfunkmarktes im dritten Quartal 2011 (siehe Abbildung 1). Bei den Smartphones verbleibt Android mit 43% des Marktes das meist benutzte Betriebssystem in den USA. Apple ist der größte Smartphone-Hersteller und liegt mit dem iOS mit 28% an zweiter Position. Die weiteren Betriebssysteme sind das RIM Blackberry mit 18%, Windows Mobile mit 7% und den Rest teilen sich viele kleine Anbieter. [NIE-11]

2.2 Applikationsplattformen

Im Sommer 2008 erfolgte mit dem Apple App Store die Veröffentlichung der ersten Applikationsplattform [BOW-08]. Mit Ende 2008 wurde mit dem Android-Market die erste auf Android basierende Applikationsplattform veröffentlicht. Zu dieser Zeit war es eine Besonderheit, dass Apps direkt auf das Smartphone heruntergeladen werden konnten. Viele weitere Plattformen folgten. [PCM-12b]

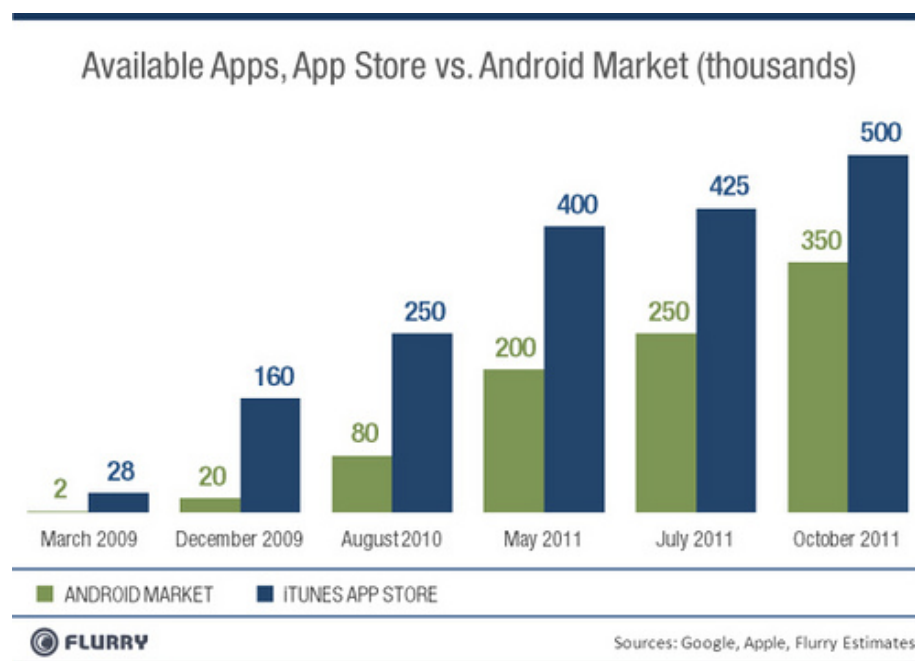


Abbildung 2: Vergleich von verfügbaren Apps

Der Vergleich erfolgt zwischen Android Market und iTunes App Store

(Quelle: http://blog.flurry.com/Portals/41620/images/Flurry_AvailableApps_AppStore_vs_AndroidMarket-resized-600.png)

Zum Vergleich der Betriebssysteme dient unter anderem die Anzahl der in den zwei häufigsten Applikationsplattformen (Apple App Store, Android-Market) verfügbaren Apps. In Abbildung 2 wird die rasante Entwicklung der zwei Plattformen gezeigt und in Bezug zueinander gesetzt.

Der App Store verfügte von Beginn an über mehr Apps als der Android Market und konnte den Vorsprung beibehalten. Aufgrund der größeren Verbreitung von Android-basierenden Smartphones, als iPhones mit dem iOS-Betriebssystem, ist es wahrscheinlich, dass der Android Market auch bei den angebotenen Apps aufholt. Als weiterer Faktor für den Vergleich der beiden Betriebssysteme und Applikationsplattformen dienen die Anzahl der heruntergeladenen Apps.

Mit April 2012 erreichte der App Store die Anzahl von 25 Milliarden heruntergeladenen Apps. Die Plattform verfügte zu diesem Zeitpunkt über ungefähr 600.000 App [ONG-12]. Im September 2012 hatte Apple mehr als 700.000 Apps, wobei 250.000 speziell für das iPad entwickelt wurden. 90% der Apps im App Store werden jeden Monat heruntergeladen und der durchschnittliche User hat mehr als 100 Apps auf dem eigenen Gerät installiert. [OLI-12b]

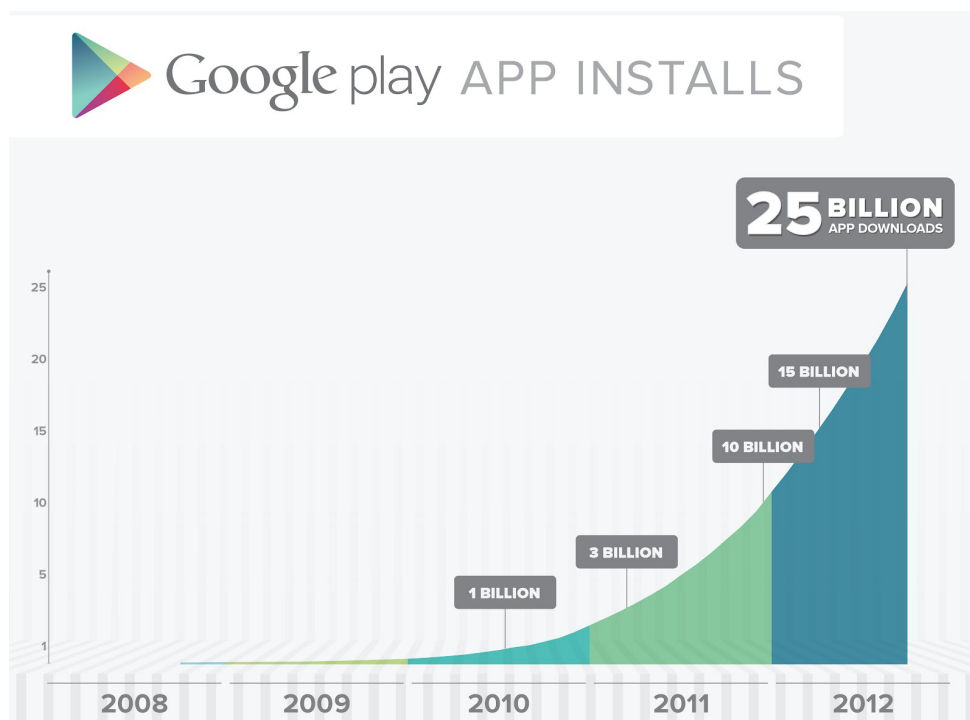


Abbildung 3: Google Play App-Downloads

starker Anstieg bei der Entwicklung der App-Downloads

(Quelle: [http://3.bp.blogspot.com/-](http://3.bp.blogspot.com/-Y7ycBYyZGco/UGLZa5az3_I/AAAAAAAAJyw/IXNgxKGIU_8/s400/25%2BBillion%2BGraph.jpg)

[Y7ycBYyZGco/UGLZa5az3_I/AAAAAAAAJyw/IXNgxKGIU_8/s400/25%2BBillion%2BGraph.jpg](http://3.bp.blogspot.com/-Y7ycBYyZGco/UGLZa5az3_I/AAAAAAAAJyw/IXNgxKGIU_8/s400/25%2BBillion%2BGraph.jpg))

Mit Ende September 2012 feierte Google Play den 25-milliardsten Download. Zur selben Zeit bot es 675000 Apps und Spiele an [ROS-12]. Von Google sind keine Zahlen bekannt, wie viele der heruntergeladenen Apps jeden Monat verwendet werden [OLI-12b].

2.3 Apps als Zukunft der Smartphones

Die Verbreitung von Smartphones ist in den letzten Jahren angestiegen ebenso wie der Zuwachs von Smartphone-Apps. In 2011 hatten in den USA weniger als 40 Prozent der Mobilgerät-Nutzer ein Smartphone. Im Jahr 2012 hat schon die Hälfte aller Nutzer ein Smartphone und der Trend hält an. Dabei haben 88 Prozent der Smartphone-Nutzer in den letzten 30 Tagen eine App heruntergeladen. In nur einem Jahr stieg die durchschnittliche Anzahl von Apps pro Smartphone um 28% von 32 auf 41 Apps. Nicht nur die Anzahl der Downloads stieg, auch wird im Vergleich zum Web mehr Zeit den Apps gewidmet, insgesamt um 10% mehr als im Vorjahr. [NIE-12]

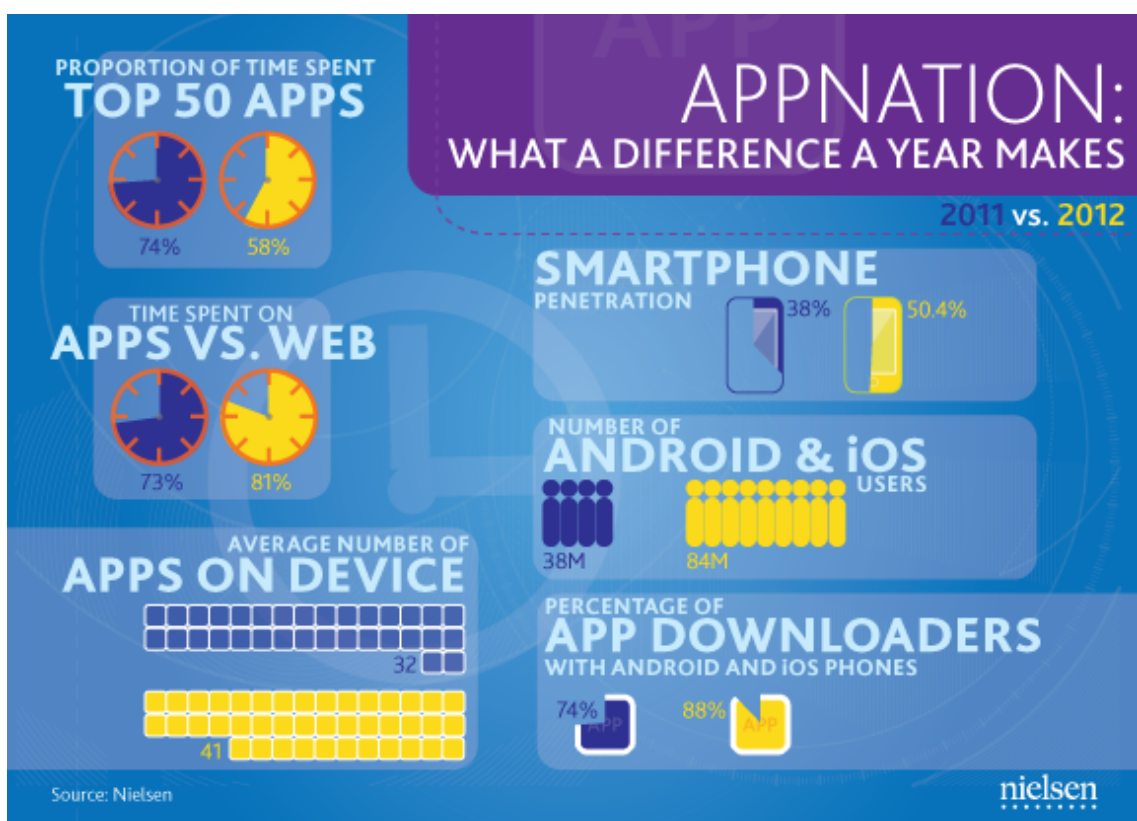


Abbildung 4: Entwicklung von Smartphone-Apps (2011 vs. 2012)

Vergleich von statistischen Werten in Bezug auf Apps

(Quelle: <http://blog.nielsen.com/nielsenwire/wp-content/uploads/2012/05/appnation-what-has-changed.png>)

Weiterhin sind Facebook, Youtube, Android Market, Google Search und Gmail die fünf am häufigsten heruntergeladenen und verwendeten Apps. Ein Smartphone-Benutzer verbringt weiterhin jeden Tag etwa dieselbe Zeit mit Apps (37 Minuten pro Tag in 2011 und 39 Minuten pro Tag 2012). Privatsphäre ist für die Mehrheit der Benutzer ein wichtiges Anliegen. 55 Prozent der Benutzer sind vorsichtig beim Austausch von Informationen über ihren Standort durch Smartphone-Apps. [NIE-12]

2.4 Gesundheit- und Fitness-Apps im Speziellen

In [DOL-12] wird die Entwicklung von Gesundheit- und Fitness-Apps für die USA beschrieben und es erfolgt eine Aufteilung dieser in verschiedene Unterkategorien. Seit dem Start des App Store wächst die Anzahl von Gesundheit- und Fitness-Apps für das iPhone, sogar schneller als je zuvor. Im April 2012 gab es mehr als 13.600 verschiedene Gesundheit- und Fitness-Apps und diese wurden von [DOL-12] in mehr als 80 Unterkategorien eingeteilt. Die schnelle Steigerung der Anzahl der Apps bringt dem Kunden eine größere Auswahl von sinnvoll nutzbaren Apps, aber es erschwert die Auffindbarkeit derselben.

Die größte Kategorie ist die der Fitness-Apps mit insgesamt 16,2% im Bereich der Gesundheits-Apps. Weitere sind den Bereichen Ernährung mit 14,1%, Stressabbau und Erholung mit 10,4% und Krafttraining mit 8,1% zuzuordnen.

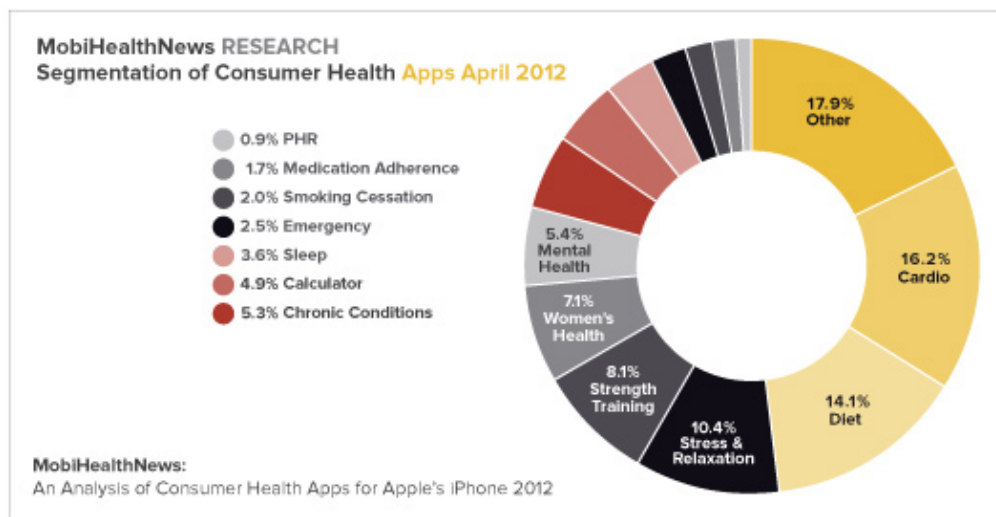


Abbildung 5: Aufgliederung von Gesundheits-Apps

Einteilung in mehr als 80 Unterkategorien mit größter Kategorie, dem Fitness-Bereich
(Quelle: http://mobihealthnews.com/wp-content/uploads/2012/07/Consumer_Apps_Intro_Pie.jpg)

Ein interessanter Trend ist bezüglich der Preisentwicklung von Gesundheits-Apps festzustellen. Im August 2010 war der durchschnittliche Preis von kostenpflichtigen und kostenlosen Apps bei 2,34 Dollar, im Juli 2011 sank dieser um 14 Cent auf 2,20 Dollar. Bis April 2012 fiel der durchschnittliche Preis weiter auf 2,05 Dollar. Trotz des geringeren Durchschnittspreises sind die Gesundheits-Apps am oberen Preissende im App Store anzusiedeln. [DOL-12]

Nicht nur die Anzahl der Apps, sondern auch der Ertrag ist weiter im Ansteigen. [JAH-12] berichtet von einem geschätzten Ertrag von 1,3 Milliarden Dollar im mobilen Gesundheitsmarkt in 2012. Ausgehend von 104 Millionen Dollar im Jahr 2010 und 718 Millionen Dollar im Jahr 2011 gab es deutliche Anstiege. Von 2010 auf 2011 war es ein jährlicher Anstieg von 614 Millionen Dollar (590%) und von 2011 auf 2012 waren es 582 Millionen Dollar (82%). Verglichen mit dem globalen Gesundheitsbereich, welcher einen Umsatz von sechs Billionen aufweist, befindet sich der mobile Gesundheitsmarkt jedoch noch ganz am Anfang. [JAH-12]

Global revenue for mobile healthcare applications in 2012

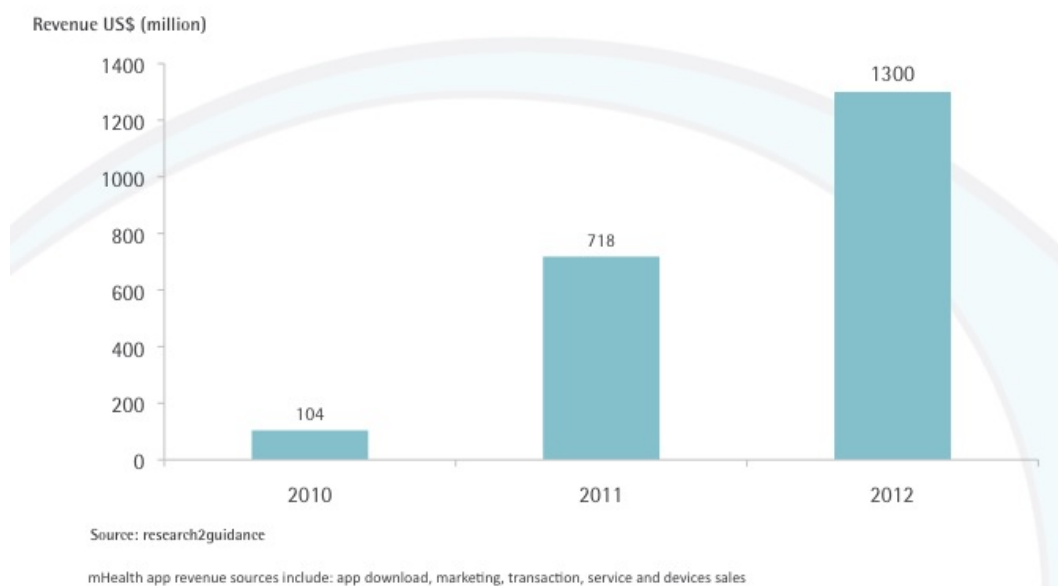


Abbildung 6: Entwicklung des Ertrags im mobilen Gesundheitsbereich

Starker Anstieg beim Ertrag von 2010 bis 2012

(Quelle: <http://www.research2guidance.com/wp-content/uploads/2012/01/Slide1.jpg>)

2.5 Zukünftige Entwicklung von Gesundheits-Apps

Gesundheits-Apps decken einen großen Bereich des Gesundheitswesens ab. Darunter befinden sich Vorbeugung, Diagnose, Behandlung und Überwachung. Mit den Apps ist es dem Benutzer möglich die Daten zu speichern, auf diese jederzeit zuzugreifen und diese mit anderen Benutzern zu teilen. Die Apps verwenden aktuelle Technologien, wie erweiterte Realität oder drahtlose Sensornetzwerke um die Daten teilweise in Echtzeit mit anderen Personen zu teilen. Durch die Integration in Soziale Netzwerke ist eine positive Entwicklung der Gesundheitsapps zu erwarten. [GAY-11]

Die Technologie für die Entwicklung der Apps existiert bereits und die Erzeuger von Applikationen für Smartphones oder Tablets müssen dafür nicht extra ein Betriebssystem oder neue Hardware anfertigen, wodurch eine schnelle und einfache Entwicklung von neuen Apps möglich ist. Dadurch findet mehr Innovation statt, die Raum für schnelle Änderungen und Personalisierung für spezielle Bedürfnisse schafft. Tablets und Smartphones sind bereits verfügbar und die Technologie dahinter kostet relativ wenig verglichen mit anderen Technologien im Gesundheitswesen und professionellen Trainingsgeräten. Smartphones und die Apps verfügen über eine ausreichend gute technische Ausstattung, welche für interaktives Lernen verwendet werden kann. [SMA-12]

Die Applikationen sind grundsätzlich einfach gestaltet, wodurch ein zusätzlicher Lernprozess für die Anwendung der App entfällt. Wenn man ein Basiswissen für die Handhabung von Smartphones oder von Apps hat, kann man schnell die Benützung von neuen Apps erlernen. Mobile Technologie wird komplizierter, aber Apps bieten ein großes Potential einfache, effektive, billige und personalisierte Lösungen für Bedürfnisse im Gesundheitsbereich zu liefern. [SMA-12]

Nach einer Prognose von [RES-10] werden mobile Gesundheits-Apps bis 2015 einen starken Zuwachs aufweisen. Geschätzte 500 Millionen von 1,4 Milliarden Smartphone-Benutzern werden mobile Gesundheits-Apps verwenden. Im November 2010 waren 74% der Applikationen in den Applikationsplattformen kostenpflichtig. Immer mehr traditionelle Anbieter im Gesundheitsbereich entdecken den mobilen App-Markt, weshalb sich die Geschäftsmodelle erweitern. Es werden Gesundheitsdienste, Sensoren, Werbung und der Verkauf von Medizin inkludiert. Mit der Erweiterung der Angebote von mobilen Gesundheits-Apps werden in den nächsten fünf Jahren nur noch 14% des Ertrages als Downloaderlöse angeführt werden. Der Großteil des Ertrags wird aus verwandten Diensten und Produkten (z.B. Sensoren) stammen.

mHealth market 2015: 500m people will be using healthcare smartphone applications

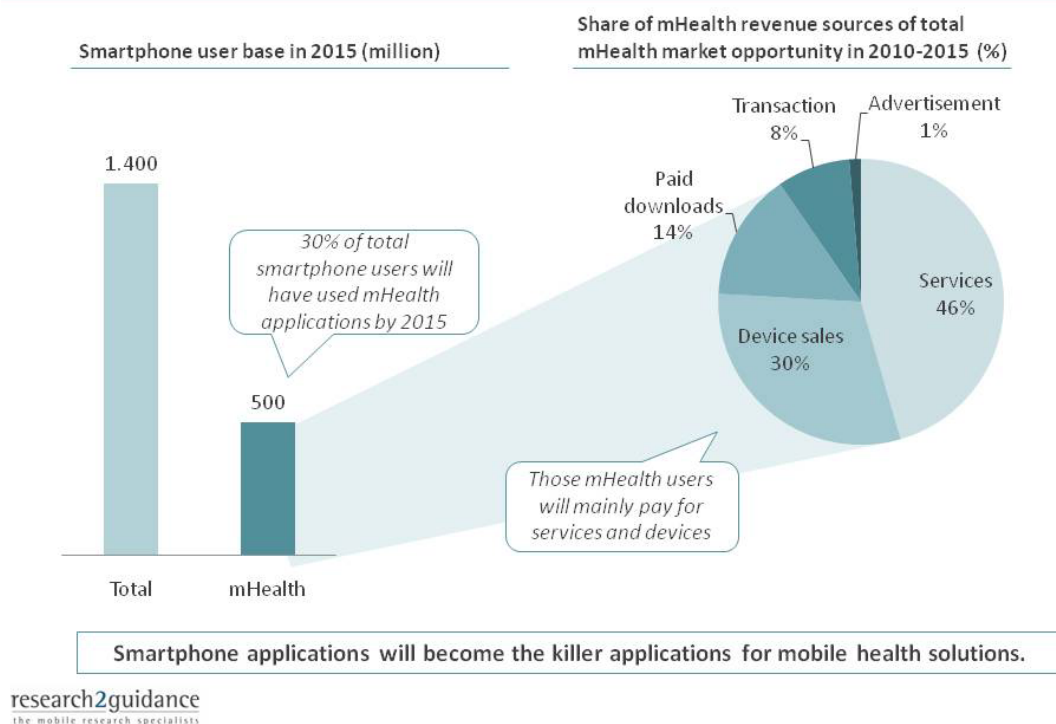


Abbildung 7: Prognose der Smartphones mit Gesundheits-Apps im Jahr 2015

Neben der Prognose für 2015 wird auch der Anteil des Ertrags in verschiedene Bereiche gegliedert
(Quelle: <http://www.research2guidance.com/wp-content/uploads/2010/11/mHealth-market-2015-blog-image.jpg>)

Fitness-Apps sind nur ein Teilbereich der Gesundheitsapps und dienen vor allem den Bereichen Vorbeugung und Überwachung. Durch Training in regelmäßigen Abständen hält man sich fit und durch Aufzeichnung der Aktivitäten ist es einem möglich, die eigenen Leistungen im Auge zu behalten und miteinander zu vergleichen. Die oben beschriebenen Schätzungen liegen vorwiegend für den Gesundheitsbereich im Allgemeinen vor.

In Kapitel 2.4 wurde beschrieben, dass der Anteil der Fitness-Apps im Teilbereich der Gesundheits-Apps bei 16,2% ist. Bei der Annahme eines zumindest annähernd gleichbleibenden Anteils von Fitness-Apps wird die weitere Entwicklung von Fitness-Apps sehr positiv verlaufen.

3 Einflussfaktoren auf die Wegaufzeichnung

Die Positionsbestimmung ist das entscheidende Element für eine zufriedenstellende Wegaufzeichnung, da ein aufgezeichneter Weg aus vielen einzeln zu bestimmenden Positionen besteht. Die Genauigkeit der Verortung hängt vor allem von den verwendeten Systemen (GPS, WiFi, GSM, Bewegungssensoren) ab. Auch die Qualität und Quantität der verwendeten Sensoren und deren Kombinationsmöglichkeit sind für das Ergebnis ausschlaggebend. Genauso ist die Häufigkeit der Positionsbestimmung entscheidend und diese wird durch die Aufzeichnungsrate beschrieben. Als äußere Einflüsse spielen die Umgebung und das Weltraumwetter eine Rolle, wobei nur auf die Umgebung näher eingegangen wird.

3.1 Positionsbestimmung

Positionsbestimmung wird in Zukunft genauso wichtig sein, wie die Bestimmung der Uhrzeit. Es gab bisher schon viele Untersuchungen im Bereich der standortbezogenen Systeme, es besteht immer noch eine Lücke zwischen im Freien stattfindender satellitenbasierender Navigation (Global Navigation Satellite System; GNSS) und drahtloser netzwerkbasierter Systeme (GSM und WiFi) in Gebäuden. [WEY-08]

Angenommen eine Person weiß nicht, wo sie sich befindet und möchte die aktuelle Position möglichst einfach innerhalb kürzester Zeit herausfinden, dann sollte das unabhängig von der Umgebung (ein großer Platz, eine Straße umgeben von großen Gebäuden, innerhalb eines Einkaufszentrums) möglich sein. Mit den derzeitigen im Einsatz befindlichen Systemen wird das nur selten erreicht. [WEY-08]

Die meisten aktuellen Lokalisierungssysteme funktionieren dort nicht, wo die Menschen die meiste Zeit verbringen. Der Empfang dieser Systeme ist eingeschränkt durch die umgebende Situation oder ist beschränkt auf gewisse Gebäude mit geeigneter Infrastruktur. [BEL-10]

3.2 Mathematische Modelle der Positionsbestimmung

Die verschiedenen standortbezogenen Systeme basieren auf verschiedenen Verortungs-Techniken. Folgende drei Modelle sind die Basis von nahezu jeder heutzutage verwendeten Positionsbestimmungs-Technik [WIL-11]:

- Lateration
- Triangulation
- Flächenschwerpunkt

3.2.1 Lateration

Basierend auf der Distanz eines Punktes zu den umgebenden Punkten ist es möglich die genaue Position des Ortes zu berechnen. Die Distanz wird aus den Laufzeitunterschieden der Signale oder der empfangenen Signalstärken bestimmt. [WIL-11]

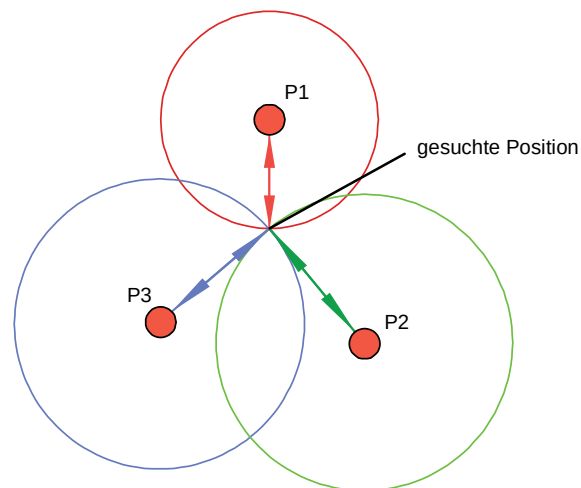


Abbildung 8: Trilateration
Berechnung der Trilateration
(Quelle: [WIL-11], eigene Bearbeitung)

Durch den Empfang von mindestens drei Signalen von verschiedenen Positionen ist eine Standortberechnung für die zu bestimmende Position möglich. Entweder das Empfangsobjekt kann die Differenzen der Signallaufzeiten messen oder die Signallaufzeit wird von den Sendestationen rundherum bemessen. Wenn drei Sendestationen verwendet werden, dann wird diese Messmethode Trilateration genannt, bei mehr als drei Sendestationen bezeichnet man sie als Multilateration. [WIL-11]

3.2.2 Triangulation

Dabei werden die zwei Winkel von zwei Referenz-Punkten zwischen der fraglichen Position gemessen. Mit diesen Winkeln ist es möglich die Position des gewünschten Ortes zu bestimmen, wenn die Distanz der zwei Referenz-Punkte bekannt ist. Der

gesuchte Punkt muss nahe der Kreuzung der zwei Linien von den zwei Referenz-Punkten sein. [WIL-11]

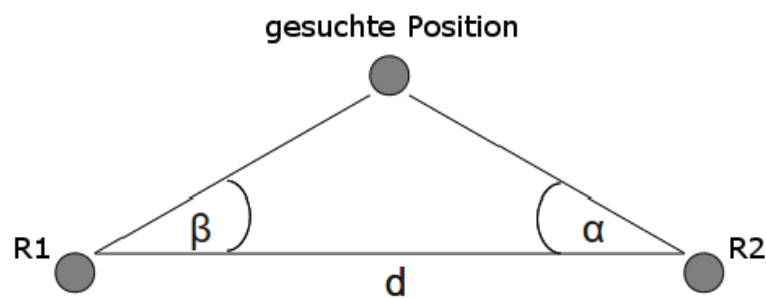


Abbildung 9: Triangulation

Berechnung der Triangulation
(Quelle: [WIL-11], eigene Bearbeitung)

3.2.3 Flächenschwerpunkt

Bei dieser Methode ist es notwendig die Position von drei Punkten zu kennen, von denen ein Signal empfangen wird. Daraufhin kalkuliert das Empfangsgerät das arithmetische Mittel. [WIL-11]

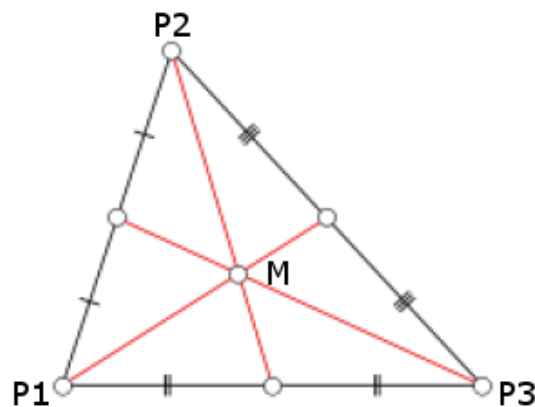


Abbildung 10: Flächenschwerpunkt

Berechnung des Flächenschwerpunkts
(Quelle: [WIL-11], eigene Bearbeitung)

3.3 Positionierungstechnologien

Navigation und Wegfindung sind Standardroutinen in unserem täglichen Leben. Um diese Aufgaben mit modernen Technologien zu vereinen, ist eine hohe Positionsgenauigkeit von großer Bedeutung. Viele mobile Geräte, wie Mobiltelefone,

Smartphones und Laptops verfügen über LBS (Location Based Services), welche anhand GPS-basierender Positionierung oder mittels WIFI und GSM funktionieren. [BEL-10]

Im Folgenden werden die Positionierungsmethoden mit den zuvor erklärten mathematischen Modellen verknüpft. Dabei werden die heutzutage am häufigsten verwendeten Methoden in einfache Positionierungsmethoden, satellitenbasierende Systeme und netzwerkbasierende Systeme unterteilt. Wie diese wiederum unterteilt werden können zeigt Abbildung 11 und wird in den folgenden Abschnitten besprochen.

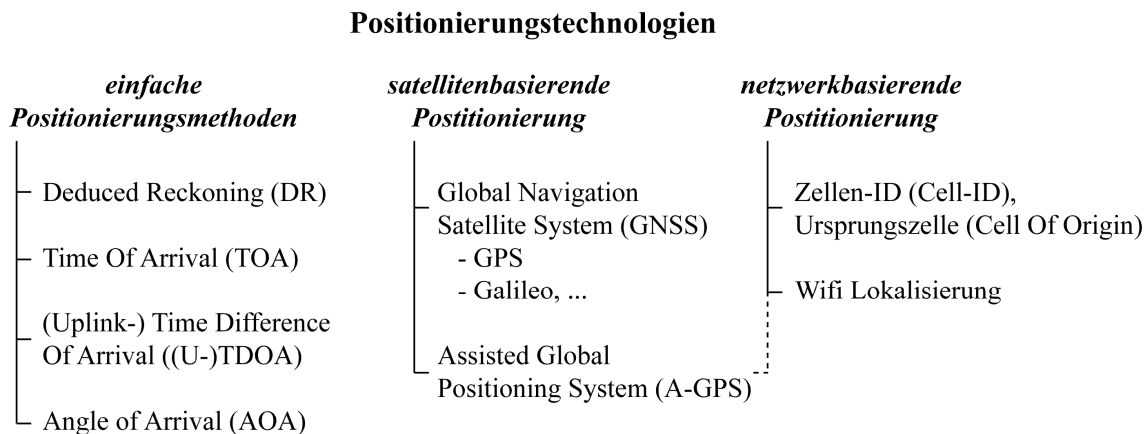


Abbildung 11: Gliederung der Positionierungstechnologien

Einteilung in einfache Positionierungsmethoden, satellitenbasierende Positionierung und netzwerkbasierende Positionierung
(Quelle: eigene Darstellung)

3.3.1 Einfache Positionierungsmethoden

3.3.1.1 Deduced Reckoning (DR)

Diese Methode ist auch unter ‘Dead’ Reckoning oder oftmals nur als DR bekannt [QUD-07]. Dabei beschreibt DR den Prozess die aktuelle Position von jemandem aufgrund folgender Faktoren zu ermitteln: zuvor bestimmte Positionen, bekannte Geschwindigkeit und Beschleunigung, Laufrichtung, abgelaufene Zeit und zurückgelegte Strecke. [WAN-08]

In einem Smartphone sind üblicherweise verschiedene Sensoren (Beschleunigungssensor, Kompass und Gyroskop) eingebaut um DR zu ermöglichen. Mit dem Beschleunigungssensor ist es möglich die Ausrichtung und die Beschleunigung des Gerätes zu bestimmen. Die Messung erfolgt in den drei Raum-Achsen X, Y und Z. Grundsätzlich funktionieren Kompass durch das Erdmagnetfeld [JAM-11]. In Smartphones kann ein Kompass aus einem Magnetometer bestehen, welches die

Ausrichtung in Bezug zum Erdmagnetfeld misst. Das Gyroskop in einem Smartphone ist zumeist ein mikro-elektromechanisches System (micro-electro-mechanical-systems, MEMS), das den Coriolis-Effekt zur Messung von Winkelbeschleunigungen benutzt. [XIA-12]

3.3.1.2 Time Of Arrival (TOA)

Das Endgerät misst die Ankunftszeit der Übertragung von mindestens drei Stellen, wobei die Position von diesen bekannt ist. Mit diesen drei oder mehr Werten ist es für das Endgerät möglich die Position durch Trilateration oder Multilateration zu berechnen. Ein Vorteil ist, dass keine Lagemesseinheit im Netzwerk benötigt wird. Ein Nachteil ist, dass das Gerät entweder eine große Datenbank mit den geographischen Positionen der Referenz-Stellen oder eine genaue Messeinheit zur Messung der Ausbreitung der Signale benötigt. „Radio Detection And Ranging“ (RADAR) verwendet diese Methode um die Position von mobilen Geräten zu schätzen und benützt WiFi-Accesspoints (APs) als Sender. [WIL-11]

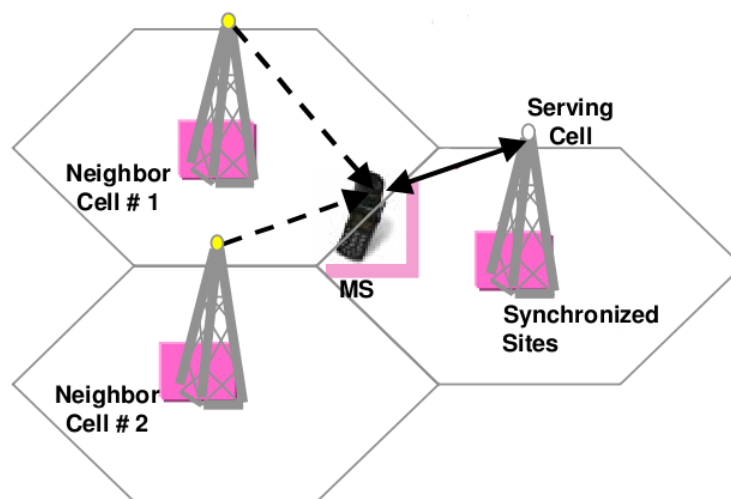


Abbildung 12: Time of Arrival (TOA)

Messung der Ankunftszeit der Übertragung von mind. drei Stellen
(Quelle: [WIL-11])

3.3.1.3 Time Difference Of Arrival (TDOA)

Diese Methode basiert auf den gemessenen Ankunftszeit-Differenzen zwischen den Stellen und dem Endgerät. Es ist dann möglich die Position mittels (Multi-)Lateration zu berechnen. Dabei ist keine zusätzliche Hardware oder Software auf Seiten des Endgeräts notwendig. Auf der Seite des Netzwerks benötigt man jedoch zeitlich genau synchronisierte Lagemesseinheiten, eine Lageberechnung und ein Kontrollzentrum um die Position des Endgeräts zu bestimmen. Es wird von den Stationen zu dem Gerät

gesendet. [WIL-11] Ein Spezialfall von TDOA ist Uplink-Time Difference Of Arrival (U-TDOA). Dabei wird bei U-TDOA im Gegensatz zu TDOA, vom Gerät zu den Stationen gesendet [ITW-12]. U-TDOA ist eine Standardmethode, die für das nordamerikanische Notfallsystem E911 benützt wird [WIL-11].

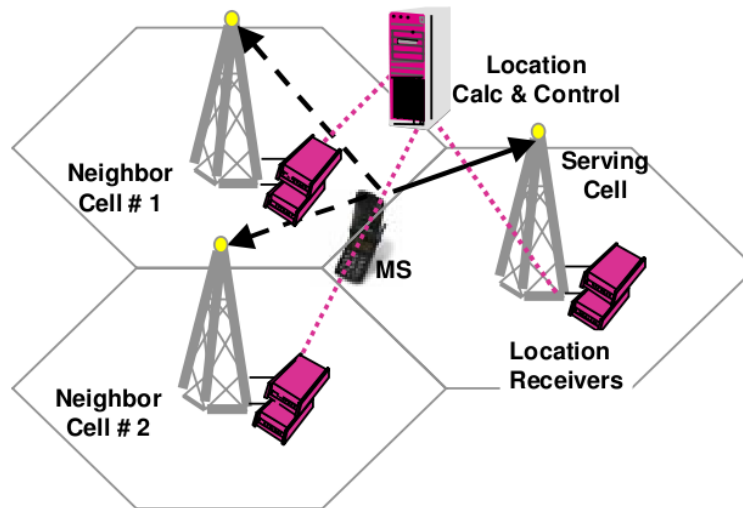


Abbildung 13: Time Difference of Arrival (TDOA)

Messung der Ankunftszeit-Differenzen
(Quelle: [WIL-11])

3.3.1.4 Angle of Arrival (AOA)

Basiert auf dem Winkel von mindestens zwei empfangenen Signalen. Jede Sendestation muss mit einer Anordnung von Antennen, zur Messung der Winkel der Eingangssignale, und mit Positionsbestimmungs- und Steuerungszentrum (Location Calculation and Control Center) ausgestattet sein. [WIL-11]

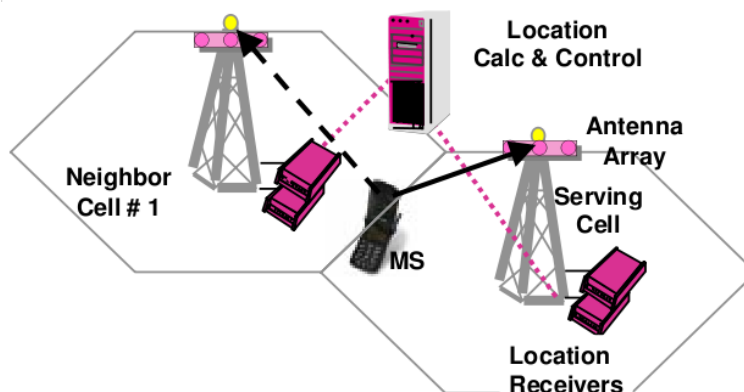


Abbildung 14: Angle of Arrival (AOA)

Die Positionsbestimmung erfolgt durch Messung der Winkeln von den Sendestationen zum Empfänger
(Quelle: [WIL-11])

3.3.2 Satellitenbasierende Positionierung

Die satellitenbasierende Positionierung beruht auf globalen Satelliten-Navigationssystemen (Global Navigation Satellite System, GNSS) und wird heutzutage weltweit in vielen Bereichen (z.B. Freizeit, Militär, Landwirtschaft, Transport) eingesetzt. Die wichtigsten Systeme sind das amerikanische GPS, das europäische Galileo, das russische GLONASS und das chinesische Compass. [BAC-11]

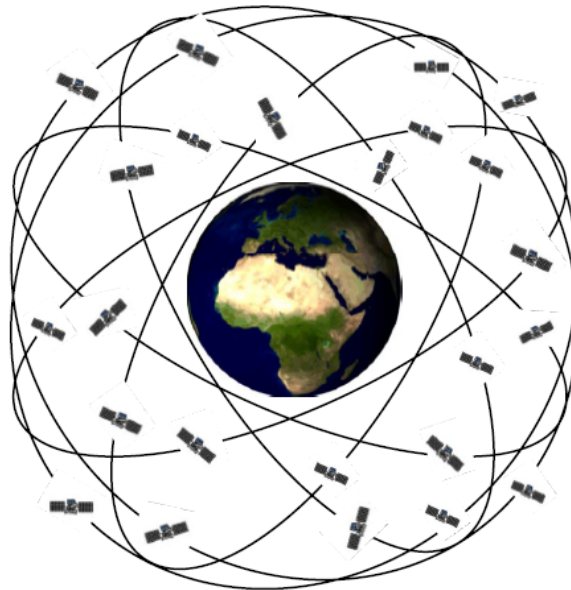


Abbildung 15: Satelliten beim Umkreisen der Erde

Bei GPS umrunden 24 Satelliten die Erde auf einer elliptischen Bahn in ca. 20.200km Höhe
(Quelle: [STR-08])

Satellitenbasierende Navigation ist die am weitest verbreitete Technologie für Navigation im Freien. Dabei hat sich GPS bewährt und mit der Einführung des europäischen Gegenparts Galileo können GNSS-Dienste erweitert und verbessert werden. Jedoch kann GNSS nicht als einzige Ortungstechnologie verwendet werden um alle Bedürfnisse in allen Gebieten abzudecken. In den meisten Gebäuden können GNSS-Signale nicht genügend in die Zimmer eindringen um von Empfangsgeräten empfangen zu werden. In urbanen Gegenden und anderen abgeschatteten Gebieten ist satellitenbasierte Navigation nicht immer selbstverständlich. [WAT-10]

3.3.2.1 GPS (Global Positioning System)

Durch die Entscheidung zur Abschaltung der selektiven Verfügbarkeit von GPS stieg die Benützung von GPS-Geräten extrem an. Aufgrund der Zunahme von Smartphones vergrößerte sich die Popularität von standortbezogenen Diensten (Location Based Services; LBS) noch weiter. [BEL-10]

GPS funktioniert weltweit, aber benötigt eine klare Sicht zu den umkreisenden Satelliten. Es funktioniert nicht in Gebäuden und nur schlecht in vielen Städten mit sogenannten Häuserschluchten, wo das Smartphone oft nicht genügend Satelliten findet um ein gutes Signal zu bekommen. Jedoch sind das jene Gebiete wo die Mehrheit der Menschen ihre Zeit verbringt. [CHE-05]

Bei einem kalten Start eines GPS-Gerätes kann es mehrere Minuten dauern um ein Signal zu bekommen, die sogenannte „Time to First Fix (TTFF)“. Für einige Applikationen dauert diese viel zu lange. Wenn man ein Satellitensignal erhält, wechselt der Empfänger vom Erfassungsmodus zum Tracking-Modus. Jedes Mal wenn man den sogenannten „Lock“ verliert, muss die Erfassung des Satellitensignals wiederholt werden. [WEY-08]

GPS hat Vorteile aufgrund hoher Positionierungsgenauigkeit und guter Verlässlichkeit im Freien, ist jedoch unzuverlässig in Gebäuden und in dichten Häuserschluchten und Tälern aufgrund von Mehrwegeausbreitung, Streuung und Dämpfung. Diese Art der Signalerfassung verbraucht meist mehr Energie als Systeme, welche sich auf lokale Signale beziehen. [BEL-10]

Der hohe Energieverbrauch äußert sich indem z.B. ein voll aufgeladenes Mobiltelefon signifikant unter der Normalakkulaufzeit, den ganzen Akku aufbraucht. Im täglichen Leben wird die Batterie des Mobiltelefons für andere Anwendungen benutzt. Das Energiebudget für die Lokalisierung ist nur ein kleiner Teil der Akkukapazitäten. Wenn dieser Teil mit 25% angenommen wird, dann ist eine durchgehende Lokalisierung für weniger als 2,5 Stunden möglich. [CON-09]

Für gewisse Anwendungen ist ein durchgehend aktiviertes GPS unnötig und kann daher bei Bedarf aktiviert werden (z.B. Geo-Tagging eines Bildes), viele andere Applikationen sind auf durchgehende Lokalisierung für längere Zeiten angewiesen. Darunter fallen vor allem Tracking- oder auch Navigationsapplikationen. [CON-09]

3.3.2.2 Galileo

Die Europäische Raumfahrtagentur (European Space Agency; ESA) ist für die Entwicklung von Galileo zuständig und ist als europäischer Gegenpart zu GPS geplant. Insgesamt besteht das System aus 30 Satelliten, welche in einer Höhe von 23.616 km die Erde umrunden. Durch Messen der Entfernung zu mindestens vier Satelliten wird die Position des Empfängers bestimmt. Die Messung erfolgt anhand eines hochgenauen Zeitsignals, welches von den Satelliten ausgesandt wird und die verstrichene Laufzeit des Signals wird dann beim Empfänger berechnet. [STR-08]

Über ein global verbreitetes Netzwerk von Bodenstation erfolgt der Datentransfer mit den Satelliten. Zusätzlich wird die Qualität des Signals durchgehend von weltweiten Sensor-Stationen überwacht und korrigiert. Das Korrektursignal wird mittels Uplink-Stationen an die Satelliten übermittelt und dort der Navigationsnachricht beigelegt. [STR-08]

Galileo wird mit GPS kompatibel sein und somit können bei weniger optimalen Bedingungen noch immer genügend Satelliten gesichtet werden um die Position des Empfängers zu bestimmen [STR-08]. Trotz der größeren Anzahl an Satelliten für einen bestimmten Punkt auf der Erde, verursachen die Mehrwegausbreitung von Signalen und Satellitenstörungen einen negativen Effekt, speziell in urbanen Gebieten. [QUD-07]

3.3.2.3 Assisted Global Positioning System (A-GPS)

Durch Assisted-GPS (A-GPS) erfolgt eine Verknüpfung von GPS und der Mobilfunktechnologie. A-GPS misst Signale von nahe gelegenen Mobilfunkmasten und meldet die Zeit und Distanz zurück zum Netzwerk um die Antwortzeit von GPS zu verbessern. [BEL-10]

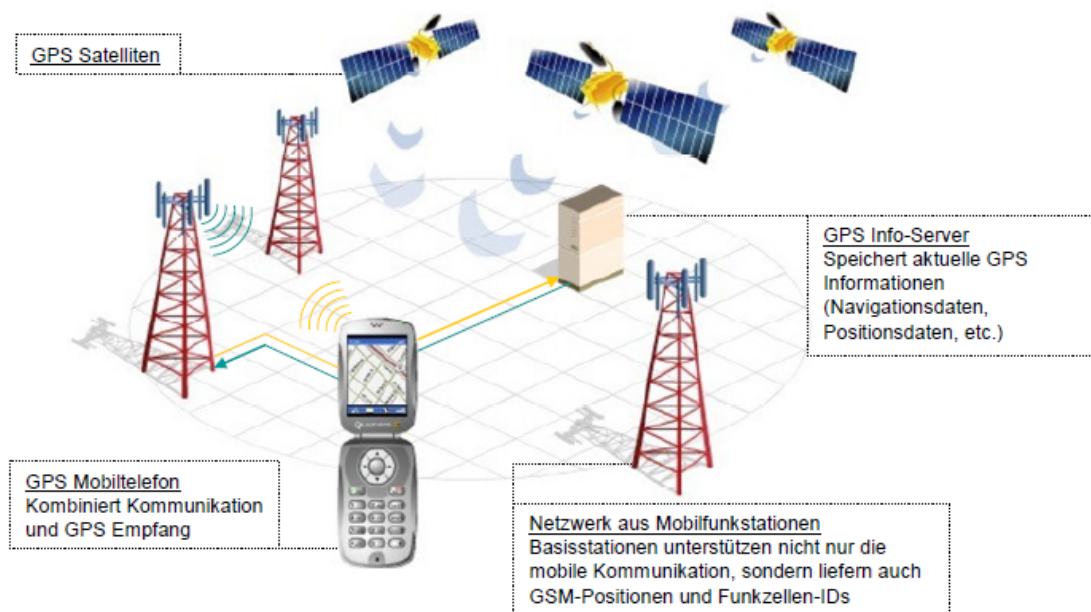


Abbildung 16: Assisted-GPS (A-GPS)

Das Netzwerk aus Mobilfunkstationen schränkt den Suchbereich für Satellitensignale ein und unterstützt den Empfang der Satellitenparameter
(Quelle: [STR-08])

Assisted-GPS überwindet einige Probleme der typischen GPS-Technologie. Mit GPS ausgestattete Mobiltelefone können verschiedene Informationen, wie Satelliten-Ephemeriden, durch das Mobilfunknetzwerk empfangen um die Genauigkeit zu steigern

und die TTFF der Empfänger zu verringern. Satelliten-Ephemeriden sind verschiedene Parameter, die vom Empfangsgerät verwendet werden, um die aktuelle Position der Satelliten und deren Zeitverhalten zu bestimmen. Dieses Angebot muss jedoch vom jeweiligen Mobilfunknetzwerk zur Verfügung gestellt werden. [WEY-08]

Dem A-GPS sehr ähnlich ist „Assisted Galileo and Additional Navigation Satellite System“ (A-GANSS), wobei anstatt von GPS hier Galileo-Satelliten verwendet werden.

3.3.3 Netzwerkbasierte Positionierung

Hier funktioniert die Positionierung über Mobilfunk-Netzwerke oder WiFi-Netzwerke. Die erstmalige Bestimmung der Position findet schneller statt als bei GPS.

3.3.3.1 Zellen-ID (Cell-ID), Ursprungszelle (Cell Of Origin; COO)

Zellen-ID und Ursprungszelle basieren auf der Kenntnis der geographischen Position jeder Stelle, wobei jede Stelle eine eigene ID/Mac-Adresse aufweist. Wenn die Position mit einer eindeutigen ID bekannt ist, womit das Endgerät verknüpft ist, dann ist auch die ungefähre Position des Endgeräts bekannt. GSM-Netzwerke haben eine hohe Abdeckung, aber eine nicht sehr gute Genauigkeit. [WIL-11]

Generell ist die Genauigkeit der Zellen-ID Methoden sehr abhängig von der Dichte der Netzabdeckung. In ländlichen Gebieten deckt eine Zelle manchmal ein Gebiet bis zu 30 Kilometer ab, wobei in Städten eine Zelle nur 10 Meter abdeckt. Bei einer Untersuchung war in 43% der Fälle das Endgerät nicht mit der am nächsten gelegenen Zelle verbunden, womit die Genauigkeit weiter abnimmt. [WIL-11]

3.3.3.2 WiFi Lokalisierung

In [CHE-05] wird untersucht inwieweit es machbar ist ein großräumiges auf 802.11-WiFi-basierendes Positionierungssystem aufzubauen. Es werden dabei einige drahtlose-radio-basierende Positionierungsalgorithmen verglichen um zu verstehen wie diese für einen verbreiteten Einsatz mit minimaler Kalibrierung verwendet werden können. Speziell wird die Auswirkung der beschränkten Kalibrierung auf die Genauigkeit der Positionierungsalgorithmen untersucht. Die Ergebnisse zeigen eine geschätzte Benutzerposition mit einer Medianabweichung von 13-40 Metern (abhängig von Umgebungseigenschaften).

Obwohl die Genauigkeit geringer ist als bei existierenden Positionierungsverfahren, bedarf es eines geringeren Kalibrierungsaufwands, ein einfaches Errichten und eine Überdeckung von großen Stadtgebieten. PlaceLab entschied sich dafür den

Kalibrierungsaufwand zu minimieren, dafür die Reichweite des Positionierungssystems zu erhöhen. Es basiert auf benutzergenerierten Daten gesammelt durch „war driving“. Dabei wird mittels Software auf mit WiFi und GPS ausgestatteten Systemen durch ein Stadtgebiet gefahren oder gegangen und WiFi-Signale gesammelt um die Positionen der WiFi-Accesspoints zu kartieren. Ein typischer War Drive durch einen Stadtteil dauert weniger als eine Stunde. [CHE-05]

In der Trainingsphase wird eine Karte (Radio Map) mit den Signalstärken zu den Accesspoints erzeugt, die dann in der Positionierungsphase benutzt wird. Für die Positionierung innerhalb von Gebäuden werden sogenannte Fingerabdrücke (Fingerprints) an gut bekannten Positionen mit einer Distanz von einem bis drei Metern installiert. Unter freiem Himmel gibt es im Normalfall ein weniger dichtes Referenznetzwerk, weil es nicht praktikabel ist Fingerabdrücke alle drei Meter zu erzeugen. Ein Problem mit den Fingerabdrücken ist, dass die meisten Geräte verschiedene Signalstärken von demselben Accesspoint aufzeichnen. [WEY-08]

3.4 Genauigkeit bei der Positionsbestimmung

Heutzutage verfügen Smartphones über verschiedene Technologien zur Positionsbestimmung, welche als Standardfeatures betrachtet werden können. GPS-Technologie, Positionierung mittels WLAN und auf Mobilfunkzellen-ID basierende Positionierung werden zumeist verwendet um die Position eines Smartphones zu bestimmen. Mit GPS wird eine Genauigkeit von fünf bis zehn Metern erreicht, jedoch benötigt es mehrere Sekunden bis Minuten um die Position zu bestimmen. WLAN basierende Positionierung ist allgemein 30-50 Meter genau. Dazu sind registrierte drahtlose Hotspots notwendig, welche hauptsächlich in dicht besiedelten Gebieten vorhanden sind. Mobilfunkzellen-ID basierende Positionsbestimmung ist überall möglich, wo der Empfang eines Mobilfunknetzes vorhanden ist. Der große Nachteil dieser Technologie ist die geringere Genauigkeit mit einer Abweichung von mehreren hundert Metern. Die GPS-, WLAN- und Mobilfunkzellen-ID-basierte Positionsbestimmungs-Technologien werden unterschiedlich in Smartphones verwendet, wodurch die Genauigkeit der Ergebnisse variieren. [WAT-10]

Die Genauigkeitsunterschiede der verschiedenen zuvor beschriebenen Lösungen reichen von zehn Metern bis einen Kilometer. Es besteht immer noch ein Mangel an einer kostengünstigen und weltweit nutzbaren Standardmethode zur Positionsbestimmung, die eine Genauigkeit von etwa einem Meter aufweist. Zur Lösung dieses Problems bestehen Ideen, dem WiFi-Signal einen Zeitstempel hinzuzufügen um WiFi-

Positionierung genauer durchzuführen oder verschiedene Systeme miteinander zu kombinieren. [WIL-11]

Wenn in der Zukunft die Nachfrage nach genauerer Positionierung steigt, werden sich wahrscheinlich bessere Positionierungslösungen aufgrund sinkender Entwicklungskosten durchsetzen. Standardisierte Lösungen sollten sich durchsetzen, vor allem im WiFi-Sektor. Hybride Methoden werden den größten Erfolg aufweisen, da eine nahtlose Positionierung in verschiedenen Umgebungen möglich sein wird, sie in den meisten Fällen eine höhere Genauigkeit bringen und TTFF am besten mit hybriden Lösungen funktioniert. [WIL-11]

3.5 Aufzeichnungsrate

Für viele Anwendungen wird GPS verwendet und aufgrund des hohen Energieverbrauchs ist es oftmals notwendig die Aufzeichnungsrate zu reduzieren. Viele Map-Matching-Ansätze basieren auf einer hohen Aufzeichnungsrate der GPS-Daten. Bei geringerer Rate nimmt die Qualität der Daten meistens ab. Aufgrund des größeren Abstandes zwischen zwei aufgezeichneten Punkten, kann es zu größeren Ungenauigkeiten kommen. Das Problem wird noch größer, wenn sich das Objekt mit einer hohen Geschwindigkeit bewegt oder viele Abzweigungen zwischen zwei aufgenommenen Punkten vorkommen. [LOU-09]

In Kapitel 6.2 wird anhand empirischer Versuche gezeigt, in welchem Bereich eine optimale Aufzeichnungsrate liegt. Eine zu hohe Rate bringt für manche Zwecke nicht unbedingt die besten Ergebnisse.

3.6 Ausblick bei den Positionierungssystemen

Die Durchführbarkeit von Nicht-GPS-Systemen hängt mit dem Erreichen der Positionsgenauigkeit von GPS zusammen (<10 Meter Genauigkeit). Die Integration von GPS- und Nicht-GPS-Positionierungssystemen, auch als Erweiterte Positionierungssysteme (EPS) bekannt, hat den Vorteil, dass es möglich ist Nicht-GPS-Systeme zu informieren, falls in einem Bereich kein GPS vorhanden ist. GPS funktioniert nicht innerhalb von Gebäuden oder in Bereichen mit schlechter Sicht zum Himmel (Häuserschluchten oder natürliche Canyons). Durch diese Einschränkungen ist die Entwicklung von EPS naheliegend. [BEL-10]

WiFi und GSM-basierende Lokalisierungen sind kein geeigneter Ersatz für GPS. Während diese Methoden energieeffizienter sind, weisen sie vergleichsweise höhere (unmittelbare) Positionierungsfehler auf (ca. 40 bis 400 Meter). Das erlaubt energietechnisch gesehen eine größere Anzahl an Positionsabrufen, wobei hier geringere Genauigkeiten zu erwarten sind. [CON-09]

4 Verwendung von Map-Matching für die Anpassung von Tracks

Üblicherweise besteht eine GPS-Aufzeichnung aus einer Abfolge von Punkten mit geographischer Länge sowie Breite und einer Zeit-Information. Jedoch sind diese Daten aufgrund von Messfehlern, der Aufzeichnungsrate und Einschränkungen bei den Messungen durch Häuserschluchten und Blattwerk nicht immer genau genug. Deshalb ist es oftmals notwendig aufgenommene GPS-Positionen an ein Straßennetzwerk einer digitalen Karte anzupassen. Dieser Prozess ist als Map-Matching bekannt und ist ein grundlegender Vorbearbeitungsschritt für viele auf Wegaufzeichnung basierende Anwendungen. Die Umsetzung hängt sehr von der Genauigkeit der GPS-Aufnahmen und der Aufzeichnungsrate ab. [LOU-09]

Wegaufzeichnungsdaten sind im Wesentlichen eine unbearbeitete Grundlage für viele verschiedene Applikationen, wie Verkehrsmanagement und -kontrolle, Routing und Navigation. Bei dieser Art von Daten ist die Genauigkeit ein entscheidender Faktor. Um die Daten nutzbar zu machen, müssen sie an das zugrundeliegende Straßennetzwerk angepasst werden und das erfolgt anhand von Map-Matching-Algorithmen. [BRA-05]

4.1 Map-Matching-Algorithmen

Die Qualität der Map-Matching-Algorithmen hängt zu einem großen Maß mit der Qualität der Vektorgeometrien des Straßennetzwerks zusammen. Eine schlechte Qualität der Karte kann zu großen Fehlern beim Map-Matching führen. [QUD-07]

Ein Map-Matching-Algorithmus kann für Echtzeitanwendungen verwendet werden, aber auch für jene wo eine Nachbearbeitung ausreichend ist. Bei großen GPS-Daten wird oftmals eine Map-Matching-Methode zur Nachbearbeitung verwendet. Entscheidend für einen Map-Matching-Algorithmus ist, dass die jeweiligen Bedürfnisse für ein bestimmtes Service erfüllt werden. [QUD-07]

Nach [QUD-07] können die verschiedenen Map-Matching-Ansätze in vier verschiedene Kategorien eingeteilt werden: geometrische, topologische, wahrscheinlichkeitstheoretische und andere fortgeschrittene Techniken. Im Folgenden werden diese Algorithmen genauer beschrieben, wobei anzumerken ist, dass die in diesem Unterkapitel beschriebenen Algorithmen vorrangig im Rahmen der Fahrzeugnavigation verwendet werden.

In [QUD-07] ist die Rede von über 35 Map-Matching-Algorithmen, die zwischen 1989 und 2006 entstanden und veröffentlicht wurden. Dabei haben sich die Genauigkeit und die Qualität von diesen Algorithmen im Laufe der Jahre weiterentwickelt. Dies beruht vor allem auf den fortgeschrittenen Techniken und Grundlagen bei diesen Algorithmen (z.B. der Kalman-Filter, Fuzzy-Logik, Wahrscheinlichkeitstheorie), der Verbesserung der Leistung von Positionssensoren und der Qualität und Quantität von Straßennetzwerksdaten.

4.1.1 Geometrische Analyse

Ein geometrischer Map-Matching-Algorithmus benützt die geometrische Information der Straßennetzwerk-Daten und dabei nur die Form der Verbindungen. Die Art der Verknüpfung der Verbindungen miteinander wird nicht berücksichtigt. [QUD-07]

Der am häufigsten verwendete geometrische Map-Matching-Algorithmus ist ein einfacher Suchalgorithmus. Bei diesem Ansatz wird jede Positionsbestimmung an den nächstgelegenen „Knoten“ oder „Shape-Punkt“ eines Straßensegments angepasst, bekannt unter Punkt-auf-Punkt-Matching. In der Literatur existieren einige Datenstrukturen und Algorithmen um den nächstgelegenen Knoten oder Shape-Punkt eines Straßensegments auszuwählen. Dieser Ansatz ist grundsätzlich einfach zu implementieren und sehr schnell. Jedoch ist es sehr davon abhängig wie die Straßennetzwerk-Daten erzeugt wurden und daraus können in der Praxis viele Probleme entstehen. Tracks mit mehr Shape-Punkten werden wahrscheinlicher richtig angepasst. Bei einer Geraden mit zwei Endknoten werden alle zu positionierenden Punkte auf der Linie nur auf den Endknoten der Linie angepasst. [QUD-07]

Ein anderer geometrischer Map-Matching-Ansatz ist die Punkt-auf-Kurve-Anpassung. Dabei wird die mit dem Navigationssystem bestimmte Position an die am nächst gelegene Kurve des Netzwerks angepasst. Jede Kurve enthält Liniensegmente, die stückweise linear sind. Es wird die Distanz aus der Positionsbestimmung zu jedem der Liniensegmente berechnet. Das Objekt bewegt sich offensichtlich auf dem Liniensegment, welches die geringste Distanz zur jeweiligen Position aufweist. Dieser Ansatz liefert bereits bessere Ergebnisse als Punkt-auf-Punkt-Matching. Er ist jedoch ungeeignet in der Praxis, vor allem durch instabile Ergebnisse aufgrund der hohen Straßendichte im urbanen Bereich, wo die am nächsten gelegene Linie nicht immer die richtige Linie ist. [QUD-07]

Ein weiterer geometrischer Ansatz ist der Vergleich von Aufzeichnungsdaten mit bekannten Straßen, welcher als Kurve-auf-Kurve-Matching bezeichnet wird. Zuerst

werden die möglichen Knoten, sogenannte Anwarter-Knoten durch Punkt-auf-Punkt-Matching identifiziert. Ausgehend von dem gegebenen Anwarter-Knoten werden stückweise lineare Kurven von den Pfaden erzeugt, welche aus dem Anwarter-Knoten entspringen. Anhand der Aufzeichnungsdaten werden stückweise lineare Kurven erzeugt und die Distanz zwischen dieser Kurve und der Kurve zugehörig zum Straßennetzwerk bestimmt. Die Straßenlinie mit der geringsten Distanz zu der Kurve, welche aus den Positionspunkten der Aufzeichnung geformt wurde, ist die Straße auf der sich das Objekt bewegt. Dieser Ansatz ist empfindlich bei Ausreißern und ist abhängig von Punkt-auf-Punkt-Matching, wodurch teilweise unerwartete Ergebnisse entstehen. [QUD-07]

4.1.2 Topologische Analyse

In Geoinformationssystemen (GIS) verweist die Topologie auf die Beziehung zwischen Entitäten (Punkten, Linien und Flächen). Die Beziehung wird definiert als Angrenzen (im Falle von Polygonen), Konnektivität (im Falle von Linien) oder Einschließung (im Falle von Punkten in Polygonen). Ein Map-Matching-Algorithmus, welcher sowohl die geometrischen Eigenschaften der Kanten, aber auch die Konnektivität und den Zusammenhang der Kanten berücksichtigt, ist als topologischer Map-Matching-Algorithmus bekannt. [QUD-07]

[QUD-07] beschreibt die verschiedenen von Greenfeld geprüften Ansätze zur Lösung des Map-Matching-Problems, wobei ein gewichteter topologischer Algorithmus empfohlen wird. Dieser basiert auf einer topologischen Analyse des Straßennetzwerks und benützt nur die Koordinateninformationen von vermerkten Benutzerpositionen. Der Algorithmus berücksichtigt keine Richtungs- oder Geschwindigkeitsinformation basierend auf GPS. Diese Methode ist sehr empfindlich gegenüber Ausreißern, da diese zu falsch berechneten Richtungsinformationen führen können.

Desweiteren geht [QUD-07] auf die von Meng verwendete topologische Analyse des Straßennetzwerks ein, welcher einen vereinfachten Map-Matching-Algorithmus zu entwickeln versucht. Dieser basiert auf der Korrelation zwischen den Aufzeichnungsdaten und den topologischen Eigenschaften der Straße (Abzweigung, Verbindung). Es werden einige bedingte Tests durchgeführt um Straßensegmente auszuschließen, welche die vordefinierten Kriterien nicht erfüllen. Die Kriterien werden durch statistische Analysen von Feldversuchen gewonnen. Der Algorithmus wird auf Basis von Navigationsdaten von GPS/DR und Straßennetzwerk-Daten implementiert. Zur Leistungssteigerung werden Informationen zu Abzweigungseinschränkungen bei

Kreuzungen ergänzend verwendet. Der Algorithmus arbeitet bei Kreuzungen mit ähnlicher Lage der verbindenden Straßen nicht optimal. In diesem Fall wechselt der Algorithmus in einen Nachbearbeitungsmodus um die korrekte Verbindung zu identifizieren und ist somit unbrauchbar für Echtzeit-Applikationen.

Ein von Quddus et al. entwickelter erweiterter topologischer Map-Matching-Algorithmus basiert auf verschiedenen Ähnlichkeitskriterien zwischen der Straßennetzwerksgeometrie und den gesammelten Aufzeichnungsdaten. Die Ziele der Untersuchung sind weniger Eingaben zu verwenden um den Algorithmus so einfach und schnell wie möglich zu machen. Das entwickelte Vergleichskriterium von Greenfeld wird auch angewendet. Um die Leistung zu verbessern wird das Gewichtungssystem durch die Einführung von zusätzlichen Kriterien und anderen Parametern wie Fahrzeuggeschwindigkeit, Position des Fahrzeugs relativ zu den Anwärter-Kanten, und Richtungsdaten erweitert. Verschiedene Gewichtungsgrößen werden verwendet um die Wichtigkeit der unterschiedlichen Kriterien zu regeln und damit die beste Map-Matching-Methode zu bestimmen. [QUD-07]

4.1.3 Wahrscheinlichkeitstheoretische Algorithmen

Der wahrscheinlichkeitstheoretische Algorithmus benötigt die Bestimmung eines elliptischen oder rechteckigen Vertrauensbereichs rund um die bestimmte Position des Navigationssensors. Zhao verwendet diesen Ansatz für GPS und schlägt vor den Fehlerbereich anhand der Fehlervarianzen zu bestimmen. Der Fehlerbereich wird mit dem Straßennetzwerk überlagert um die Straßensegmente zu bestimmen, auf denen sich das Objekt befindet. Wenn ein Fehlerbereich mehrere Segmente beinhaltet, dann beginnt die Auswertung der Anwärter-Strecke anhand Richtungsinformation, Konnektivitäts- und Entfernungskriterien. Als weitere Parameter könnten die Fahrzeuggeschwindigkeit und die Distanz in Fahrtrichtung zur nächsten Kreuzung verwendet werden um den Map-Matching-Prozess zu verbessern. [QUD-07]

Ochieng et al. entwickelte einen erweiterten wahrscheinlichkeitstheoretischen Map-Matching-Algorithmus, wo der Fehlerbereich nur erzeugt wird, wenn sich ein Objekt über eine Kreuzung bewegt. Dadurch wird der Algorithmus schneller und verlässlicher, da die Generierung des Fehlerbereichs zu einer fehlerhaften Kantenfindung führen kann, wenn andere Kanten sich in der Nähe des bewegenden Objektes befinden. Basierend auf empirischen Studien ist ein Erkennen von Wendemanövern an einer Kreuzung möglich, wodurch ein Wechseln des Objekts auf eine andere Kante möglich ist. Es wird auch die ungenaue Richtungsinformation des Navigationssensors berücksichtigt, wenn das

Objekt mit einer langsamen Geschwindigkeit unterwegs ist. Das hilft dem Algorithmus die bei geringer Geschwindigkeit bestimmten Positionen richtig anzupassen. Speziell in urbanen Gebieten mit vielen Halten kommt das zur Geltung. [QUD-07]

4.1.4 *Erweiterte Map-Matching-Algorithmen*

Erweiterte Map-Matching-Algorithmen sind jene Algorithmen, die schon auf verfeinerten Konzepten, wie Kalman-Filtern oder Erweiterter Kalman-Filtern, Dempster-Shafer's mathematischer Beweistheorie, einem flexiblen Zeit-Raum-Modell mit Partikelfiltern, Interaktion mehrerer Modelle, Fuzzy-Logik Modelle, oder Anwendungen der Bayes'sche Inferenz. Eine zusammenfassende Beschreibung dieser Algorithmen wird in [QUD-07] gegeben.

4.2 **Quantität der Map-Matching-Algorithmen**

Die Algorithmen unterscheiden sich bezüglich der Menge der aufgezeichneten Punkte, die für eine Anpassung verwendet werden [BRA-05]. Nach [LOU-09] erfolgt eine Unterscheidung in lokale / inkrementelle und globale Algorithmen.

4.2.1 *Lokale / Inkrementelle Map-Matching-Algorithmen*

Viele Map-Matching-Ansätze verwenden lokale oder inkrementelle Algorithmen, welche die aktuellen oder benachbarten Positionen auf einem Straßennetzwerk anpassen. Für Ansätze, welche nur die aktuellen Positionen verwenden ist das Ergebnis sehr von Messfehlern abhängig. Die Genauigkeit ist generell gering, da die Beziehung zu benachbarten Punkten außer Acht gelassen wird. Die inkrementelle Anpassungsmethode baut auf der lokalen Methode auf, aber verwendet auch vorhergehende und nachfolgende Positionen. [LOU-09]

Lokale und inkrementelle Methoden versuchen aufgrund lokaler Gegebenheiten eine Anpassung durchzuführen. Die inkrementelle Methode verwendet zwei Vergleichsgrößen um zu bewerten, auf welcher Straße ein aufgezeichneter Track angepasst werden soll. Dabei ist eine Größe die Distanz und die andere die Ausrichtung. Der kombinierte Vergleichswert wird aus der Summe der einzelnen Werte berechnet. Im Allgemeinen berücksichtigt diese Methode nur eine geringe Anzahl von Punkten der Aufzeichnung und zwar jene die nahe der aktuellen Position liegen. Die Algorithmen laufen schnell und erzielen auch eine gute Qualität, wenn die Aufzeichnungsrate sehr

hoch ist (ca. zwei bis fünf Sekunden). Wenn die Aufzeichnungsrate abnimmt, dann tritt das Problem von übersprungenen Kanten auf und bringt eine geringe Genauigkeit. [LOU-09]

Ein wichtiges Ziel, vor allem wenn ein Track viele Punkte enthält, ist es einen schnellen Verarbeitungs-Algorithmus zu erzeugen. Das Hauptaugenmerk liegt auf lokalen Gegebenheiten. Dabei werden sequentiell einzeln die gesammelten Tracks mit der selektierten Geometrie eines Straßennetzwerks verglichen. Der allgemeine Algorithmus verfolgt eine Punkt-auf-Punkt- und eine Kante-auf-Kante-Strategie. Die Anpassung einer Position p_i an eine Straßenkante, bei einer schon vorhergehenden angepassten Position p_{i-1} , ist wie folgt: Zuerst werden die möglichen Kanten, an denen eine Anpassung erfolgen kann, festgestellt, welche von der zuletzt angepassten Kante weggehen. [BRA-05]

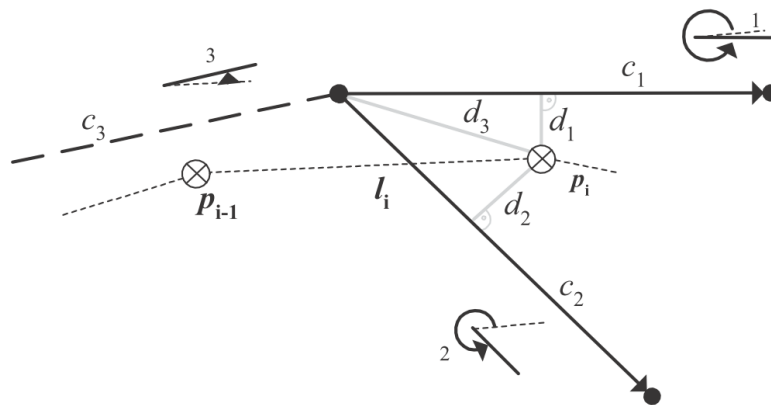


Abbildung 17: Beispiel für inkrementelles Map-Matching

Berücksichtigung der zuvor angepassten Position p_{i-1}
(Quelle: [BRA-05])

Dabei werden die zwei Faktoren Distanz und Orientierung zu den möglichen Kanten bestimmt. Die Distanz von der aufgezeichneten Position zu den verschiedenen Kanten wird anhand einer gewichteten Liniensegment-Distanz berechnet. Die Liniensegment-Distanz von einem Punkt zu einer Linie ist die senkrechte Liniendistanz, wenn die Projektion des Punktes auf ein Liniensegment sich zwischen den Endpunkten befindet. Ansonsten ist es die Distanz von dem Punkt zu dem nächsten Endpunkt des Liniensegments. Bei der Orientierung wird der Winkel der Aufzeichnung in Beziehung mit der potentiellen Kante gemessen. Das kombinierte Ähnlichkeitsmaß wird aus der Summe des Distanz- und des Orientierungs-Maß berechnet. Je höher das Maß, umso besser eignet sich der Track für eine Anpassung. [BRA-05]

4.2.1.1 Look-Ahead

Um diesen einfachen Algorithmus zu verbessern wird eine rekursive „Look-Ahead“-Strategie eingesetzt. Für jede potentielle Kante c_j wird rekursiv der Wert für die beste potentielle Kante unter den „existierenden“ Kanten berechnet. Diese Strategie geht mehr in die Richtung einer globalen Map-Matching-Methode durch Untersuchung von verschiedenen Abzweigungen. Schlussendlich kann immer nur eine Möglichkeit das Ergebnis sein. Aufgrund empirischer Untersuchungen ist die Anzahl der „Look-Ahead“-Kanten auf vier definiert. Diese ist optimal in Bezug auf die Anpassungsqualität und Berechnungszeit.

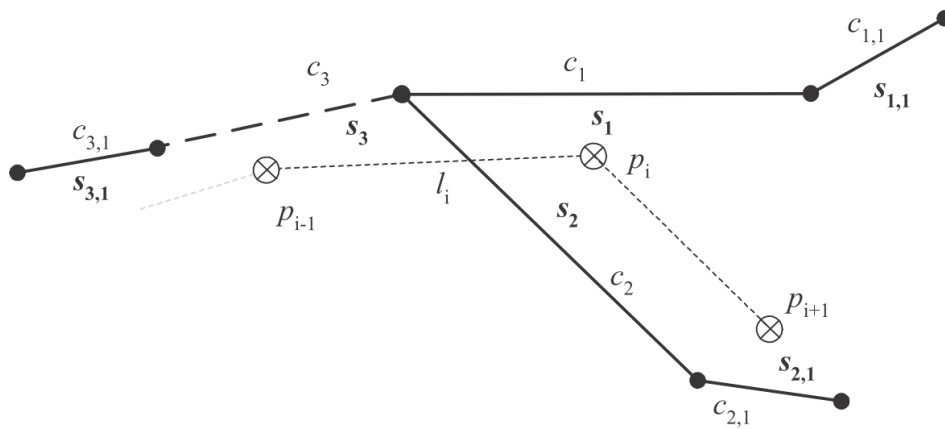


Abbildung 18: Inkrementelles Map-Matching Beispiel mit Look-Ahead

Vorrausschau bei der Anpassung von aufgezeichneten Punkten
(Quelle: [BRA-05])

In Abbildung 18 ist ein einfaches Beispiel eines Look-Ahead von zwei Kanten dargestellt. Mit c_2 als potentieller Kante ist $c_{2,1}$ die beste potentielle Kante für die Anpassung von p_{i+1} , falls p_i auf c_2 angepasst wird. Mit c_1 als potentielle Kante ist c_1 auch der beste Kandidat um p_{i+1} dort anzupassen, wenn p_i auf c_1 angepasst wird. Das finale Ergebnis für die Anpassung von p_i auf die Kanten c_j wird als Summe der Ergebnisse für jeden „besten“ Teilpfad berechnet.

4.2.2 Globale Map-Matching-Algorithmen

Bei der globalen Methode wird die gesamte Positionsaufzeichnung an das Straßennetzwerk angepasst. Dabei erreicht der globale Ansatz eine höhere Genauigkeit, welche mit einer längeren Berechnungszeit einhergeht. Existierende globale Anpassungsalgorithmen basieren auf Distanz- und Ähnlichkeitsmessungen. Viele dieser Algorithmen verwenden nur räumliche Analysen und vergessen auf Zeit- und

Geschwindigkeitsaspekte. Vor allem bei einer geringeren Aufzeichnungsrate sind diese zusätzlichen Aspekte gravierend. [LOU-09]

In [YIN-04] wird eine Offline-Anpassungsmethode ausgeführt, die darauf abzielt einen minimalen gewichteten Pfad auf Basis der Entfernungen des Tracks zur angepassten Route zu finden. Andere Methoden basieren auf der Fréchet-Distanz oder deren Varianten. Die Fréchet-Distanz ist gut geeignet zum Vergleich von Aufnahmen. Globale Methoden zielen darauf ab die Fréchet-Distanz zwischen der Aufnahme und der angepassten Straßensegmente zu minimieren. [YIN-04] Für eine detailliertere Auseinandersetzung mit der Fréchet-Distanz ist am besten [ALT-95] heranzuziehen.

4.3 Map-Matching für Fitness-Apps

Für den Erhalt der wahren absolvierten Strecke eines aufgezeichneten Tracks und zur Berechnung von genaueren Distanzen erscheint ein Map-Matching als sinnvoll. Bei der wahren Strecke handelt es sich oftmals um generalisierte Straßengeometrie, da sich diese meist auf die Straßenmitte bezieht. Jedoch ist man z.B. als Läufer normalerweise nicht in der Straßenmitte unterwegs. Durch die Annahme, dass man sich als Läufer parallel zur Straßengeometrie bewegt, ist eine Anpassung an diese sinnvoll.

Es wurden verschiedene Arten von Map-Matching-Methoden beschrieben. Bei Fitness-Apps für Läufer und ähnlichen Aktivitäten sollte aufgrund der geringen Geschwindigkeit im Gegensatz zu Autos ein besseres Tracking für eine spätere Anpassung möglich sein. Die zurückgelegte Entfernung zwischen zwei aufgezeichneten Punkten ist im Normalfall um einiges kürzer.

In der Praxis werden für Map-Matching große Eingabedaten verwendet und deshalb wird die Leistung der Algorithmen immer wichtiger [CHE-11]. In Kapitel 4 wird auf die deutlichen Distanzunterschiede zwischen den aufgezeichneten Aktivitäten und der anhand der Straßengeometrie angepassten Strecke eingegangen.

5 Smartphone-Fitness-Apps und deren Unterscheidungsmerkmale

Im praxisorientierten Teil der Arbeit erfolgt eine Auswahl von bekannten und beliebten Apps und Beschreibung dieser Apps, sowie eigene Versuche um Unterschiede in der Aufnahmequalität aufzuzeigen.

5.1 Auswahl der Apps

Mit einer Kombination aus Literatur- und Internetrecherche wurde eine Auswahl von drei Apps getroffen. Neben vorhandener Literatur [GUP-11], erleichterten vor allem etliche Blogs mit verfassten Bewertungen [ANA-12], [KOL-12] und Internetseiten mit Feedback von Benutzern die Auswahl erheblich [KLO-12], [ALT-12].

In [GUP-11] wird über iTreadMill, RunKeeper und Endomondo berichtet, wobei nur die letzten zwei für Android-Smartphones geeignet sind. [ANA-12] empfiehlt auch RunKeeper und Endomondo zur Aufzeichnung der eigenen Laufaktivitäten. Eine sehr detaillierte Auseinandersetzung mit dem Thema liefert [KOL-12]. Es werden zehn verschiedene Lauf-Apps bezüglich Benutzerinterface, Funktionalität und Kombinationsmöglichkeit mit anderen Geräten beschrieben. Aufgrund dieser Faktoren erfolgt eine Bewertung der verschiedenen Apps, wobei Runtastic als Sieger der Tests hervorgeht. Als die fünf besten Smartphone-Lauf-Apps empfiehlt [KLO-12] RunKeeper, Endomondo, Nike+ Running, MapMyRun und als spielerische Variante „Zombies, Run!“. Auf der Internetseite von [ALT-12] ist es möglich Alternativen zu Fitness-Apps zu finden und diese anhand von „Likes“ oder einer separaten Bewertung zu reihen. Gelistet nach dieser Bewertung ist RunKeeper vor Endomondo, CardioTrainer, SportsTracker und Runtastic. Auch bei den „Likes“ ist RunKeeper vor Endomondo und an dritter Stelle Runtastic.

Es zeigte sich eine hohe Popularität von RunKeeper und Endomondo bei den meisten Quellen. Durch den Sieg in den ausführlichen Tests von [KOL-12] und der sehr guten Bewertung von [SIM-12], wurde Runtastic als dritte App für die durchzuführenden Tests ausgewählt. Mit diesen drei Apps erfolgten die ersten Versuche. Die Bedienung und Funktionalität war bei allen drei gut, nur die Aufnahmequalität der Tracks ließ teilweise Verbesserungspotential erkennen. Diese hängt mit den in Kapitel 2 beschriebenen Einflussfaktoren und mit den zu treffenden Aufnahmeeinstellungen (siehe Kapitel 5.2.2) zusammen.

5.2 Aufnahmevorgang

Ausgehend von ersten Aufnahmen und Versuchen mit den drei verschiedenen Apps, wurden diverse Rahmenbedingungen getroffen. Diese betreffen verschiedene Aufnahmeeigenschaften und -einstellungen.

5.2.1 Aufnahmeeigenschaften

Unter den Aufnahmeeigenschaften werden das Aufnahmegebiet, der Aufnahmezeitraum, die Strecke und die Zeit zusammengefasst. Die sieben verschiedenen Aufzeichnungen befinden sich alle im 16. und 17. Bezirk der Stadt Wien.

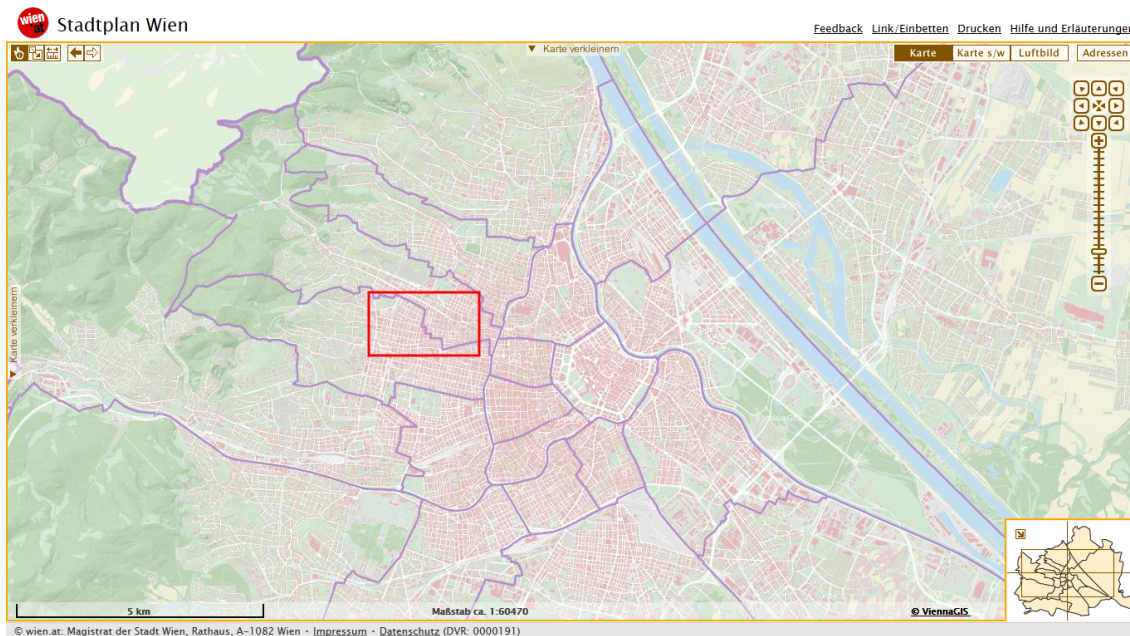


Abbildung 19: Übersichtskarte mit Untersuchungsgebiet

Karte der Stadt Wien mit einem Ausschnitt des Untersuchungsgebiets

(Quelle: Stadt Wien – ViennaGIS [VIE-12])

Dabei wurden die Routen immer als annähernder Rundlauf mit Start und Ziel in der Bergsteiggasse im 17. Wiener Gemeinde-Bezirk absolviert. Es wurde überwiegend im zentrumsnahen Teil der zwei Bezirke gelaufen, wodurch das Hauptgebiet ein urbaner Raum mit einem Schwerpunkt von zwei- bis fünfstöckigen Wohnhäusern ist. Die erste der sieben Aufnahmen fand am 5. Juli 2012 und die letzte am 2. September 2012 statt.

Innerhalb dieser zwei Bezirke wurden sieben verschiedene Laufrouten aufgenommen, die zwischen 4,5 und 6,5 Kilometer lang sind. Teilweise bestanden Aufzeichnungen aus Strecken mit hauptsächlich langen Geraden, andermal kamen bei der Route viele Abbiegungen vor.

Für einen besseren Vergleich der Apps untereinander wurden bei jedem Laufvorgang die drei Apps gleichzeitig verwendet. Durch einen fünfzehn Sekunden Countdown bei Runtastic und einen zehn Sekunden Countdown bei Endomondo war es möglich die Apps innerhalb weniger Sekunden zu starten und zu beenden. Die Laufzeiten betrugen zwischen 27 und 41 Minuten.

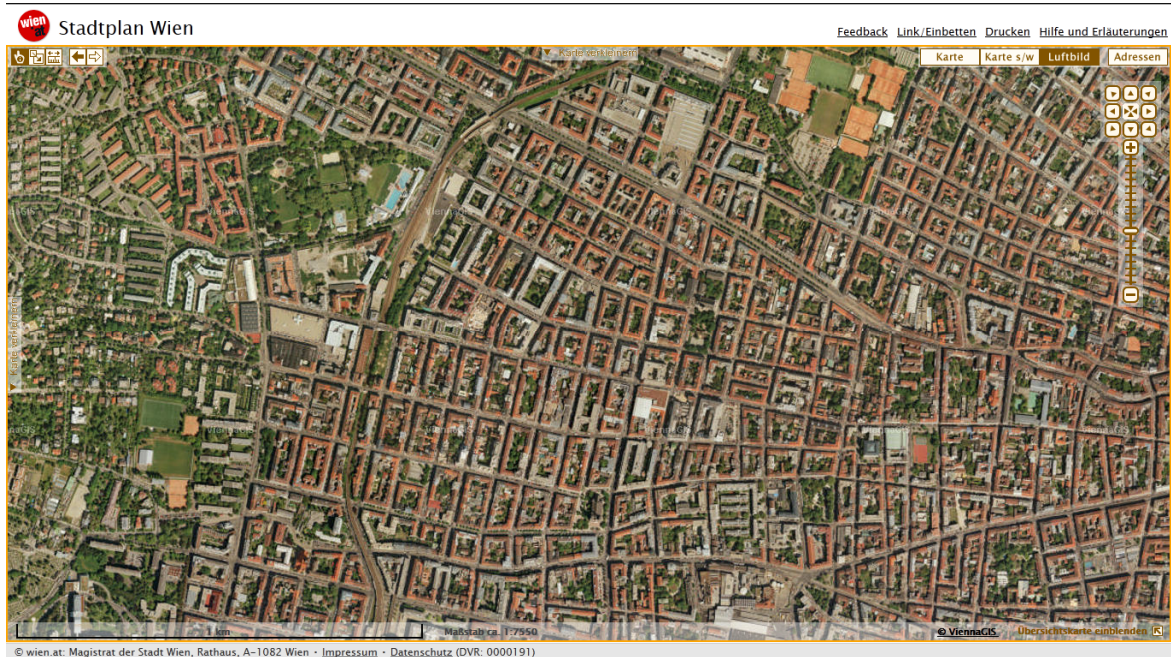


Abbildung 20: Orthofoto des Untersuchungsgebietes

Ansicht der urbanen Gebäudestruktur
(Quelle: Stadt Wien – ViennaGIS [VIE-12])

5.2.2 Aufnahmeeinstellungen

Zur Aufnahme wurde ein ZTE Blade mit der Android-Version 2.3.7 und der Mod-Version CyanogenMod-7.1.0-Blade verwendet. Das Android Smartphone, welches für den Massenmarkt erzeugt wurde, umfasst GPS, einen Kompass und einen Beschleunigungssensor [ZTE-12]. Zusätzlich können zur Positionsbestimmung Drahtlosnetzwerke herangezogen werden. In den Einstellungen im Bereich „Standort & Sicherheit“ ist es möglich GPS und die Verwendung der Drahtlosnetzwerke zu aktivieren und auch wieder zu deaktivieren. Für die Aktivierung von Kompass und Beschleunigungssensor sind keine zusätzlichen Einstellungen zu treffen.

Wenige Minuten vor jeder Aufnahme wurden der GPS-Sensor und der Empfang für Drahtlosnetzwerke aktiviert und das Smartphone zu einem Fenster in der eigenen Wohnung gestellt um einen sogenannten „Fix“ für das GPS-Signal zu erhalten. Um

aktuelle Kartenansichten während des Laufes zu bekommen, wurde das mobile Internet aktiviert. Für eine eventuelle Verbesserung der Trackingqualität wurde der WiFi Sensor eingeschalten. Das Smartphone befand sich während des Laufens in einer Hosentasche ohne spezielle Fixierung.

5.3 Interfaces der Fitness-Apps

Eine Fitness-App besteht meistens nicht nur aus der App selbst, sondern wird durch ein eigenes Webinterface des jeweiligen App-Entwicklers unterstützt. Dabei erfüllt die App die Basisfunktionalität und gemeinsam mit dem Webinterface wird ein relativ komplettes Paket geschaffen, womit die meisten Bedürfnisse für Fitness-Aktivitäten abgedeckt werden. Für eine längerfristige Nutzung sind eine einfache Bedienung, übersichtliche Gestaltung und gute Interaktion zwischen der App und dem Webinterface von Vorteil.

Bei der Untersuchung im Rahmen dieser Diplomarbeit liegt ein Schwerpunkt bei der Datenqualität der Tracks. Deshalb ist ein wichtiger zusätzlicher Faktor die Exportmöglichkeit um die aufgezeichneten Daten für weitere Analysen verwenden zu können. Somit wird bei den in den folgenden Unterkapiteln beschriebenen Fitness-Apps näher auf die Interfaces der Smartphone-Apps, die Webinterfaces und auf die Exportmöglichkeiten eingegangen.

5.3.1 Endomondo Sports Tracker



Abbildung 21: Logo von Endomondo

(Quelle: [END-12b])

Endomondo ist ein soziales Sport- und Fitness-Netzwerk mit Community-Interface, welches im November 2007 gegründet und im September 2008 gestartet wurde. Es verknüpft weltweit Menschen und fördert dadurch sportliche Betätigungen, gleichermaßen für Freizeit- und Leistungssportler. Das Motto von Endomondo ist, dass Fitness-Aktivitäten Spaß machen und fesselnd sind. [END-12a] Bei den Untersuchungen wurde die Version 7.1.3 benutzt.

5.3.1.1 Smartphone-App

Zu Beginn eines Trainings kann man die Art der auszuführenden Aktivität auswählen, wobei standardmäßig die zuletzt absolvierte Trainingsart eingestellt ist. Zum Starten gibt es eine direkte Startmöglichkeit oder einen zehn Sekunden Countdown, welcher bei den Tests verwendet wurde. Während einer Trainings-Aktivität werden Dauer, absolvierte Distanz, aktuelle Geschwindigkeit und abhängig von der Sportart und den Körpereigenschaften im Profil, die verbrauchten Kalorien angezeigt. In der Kartenansicht wird die aktuelle Position mit einem Punkt groß markiert und man sieht die bereits gelaufene Strecke. Durch Betätigen des Sperrsymbols ist ein Bewegen oder Zoomen in der Karte möglich.

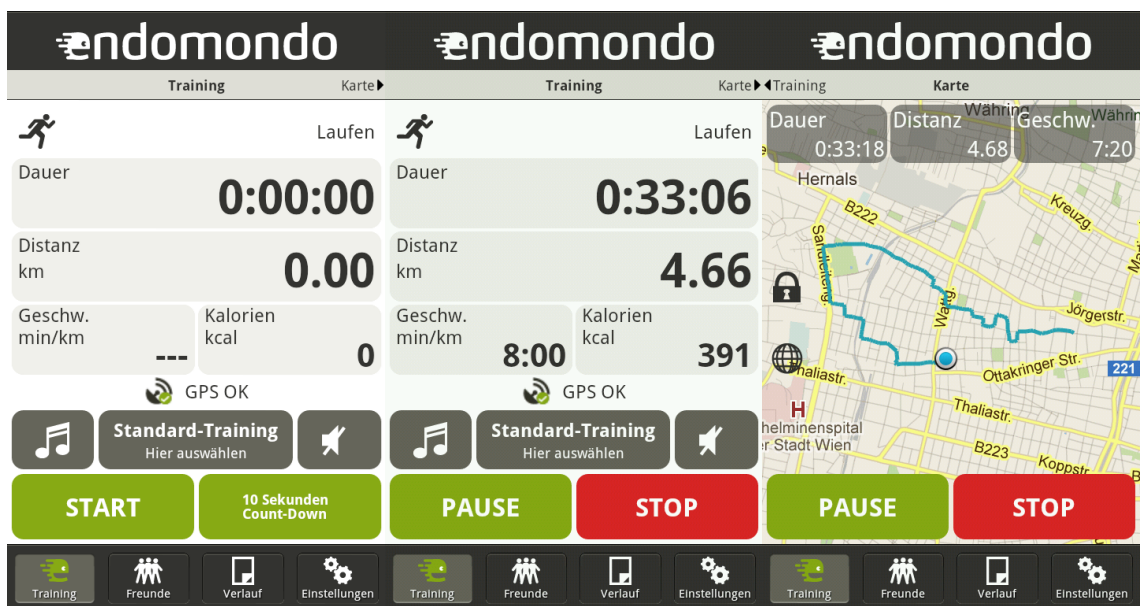


Abbildung 22: Endomondo – Aufnahme

Startbildschirm (links), während einer Aktivität (mitte), Karte (rechts)
(Quelle: Endomondo)

Ist die Aktivität beendet, bekommt man eine Zusammenfassung der absolvierten Strecke (siehe Abbildung 23). Diese wird gespeichert und ist später noch abrufbar.

Für eine noch genauere Aufzeichnung sind die Runden und die Karte hilfreich. Bei den Runden sieht man die Zeit nach Kilometern aufgegliedert. Um die Extremwerte zu signalisieren wird ein Hase für die schnellste und eine Schildkröte für die langsamste Runde verwendet. Auf der Karten-Seite ist der gelaufene Track ohne Zusatzinformation eingezeichnet. Als Hintergrund wird eine Google-Maps-Karte oder ein Satellitenbild verwendet.

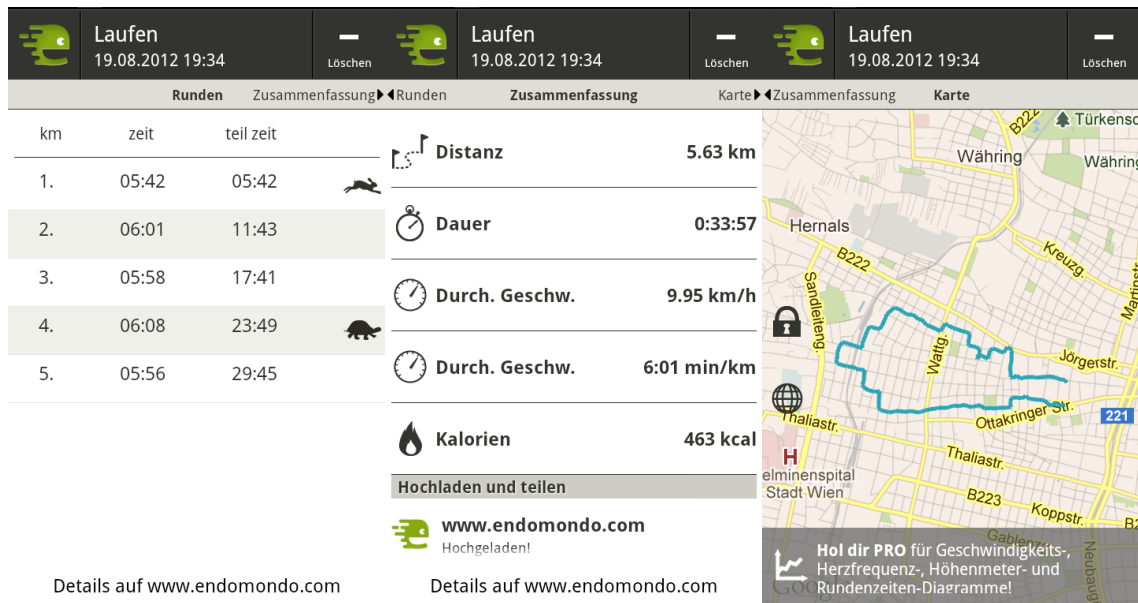


Abbildung 23: Endomondo – Aktivität

Runden bei einer Aktivität (links), Zusammenfassung einer Aktivität (mitte), Kartenansicht (rechts)
(Quelle: Endomondo)

5.3.1.2 Webinterface

Dieser Teil des Gesamtpakets gibt für die Analyse und Auswertung der eigenen Aktivitäten einen guten und zusammenfassenden Überblick. Es werden unter anderem persönliche Bestzeiten (z.B. beste Zeit auf einen Kilometer) und Gesamtzahl der absolvierten Aktivitäten, sowie absolvierte Dauer und Distanz angezeigt. Zusätzliche Informationen zu der Anzahl von „verbrannten Hamburgern“ oder „Trips um die Welt“ werden angezeigt um Sportbegeisterte kreativ zu motivieren.

Weiterführende Statistiken können generell oder nach Sportart angezeigt werden, aber auch nach bspw. Gesamtdistanz, Gesamtdauer oder Durchschnittsgeschwindigkeit. Diese können zeitlich untergliedert werden und zwar nach Tagen, Wochen, Monaten und Jahren. Zusätzlich kann man unter anderem die Aktivitäten mit denen anderer Personen vergleichen, bei Wettbewerben mit anderen Endomondo-Usern teilnehmen und auch Informationen zu Sportveranstaltungen im eigenen Land finden.

Eine ausgewählte Aktivität wird in einer großen Kartenansicht präsentiert. Im Vergleich zur App sind hier die Kilometerpunkte zu sehen. Nebenan werden alle erfassten Messwerte nochmals angezeigt und auch die graphische Illustrierung der langsamsten und schnellsten Runde ist eingebaut. Um Besonderheiten oder generelle Notizen zu vermerken gibt es eine Kommentarfunktion.

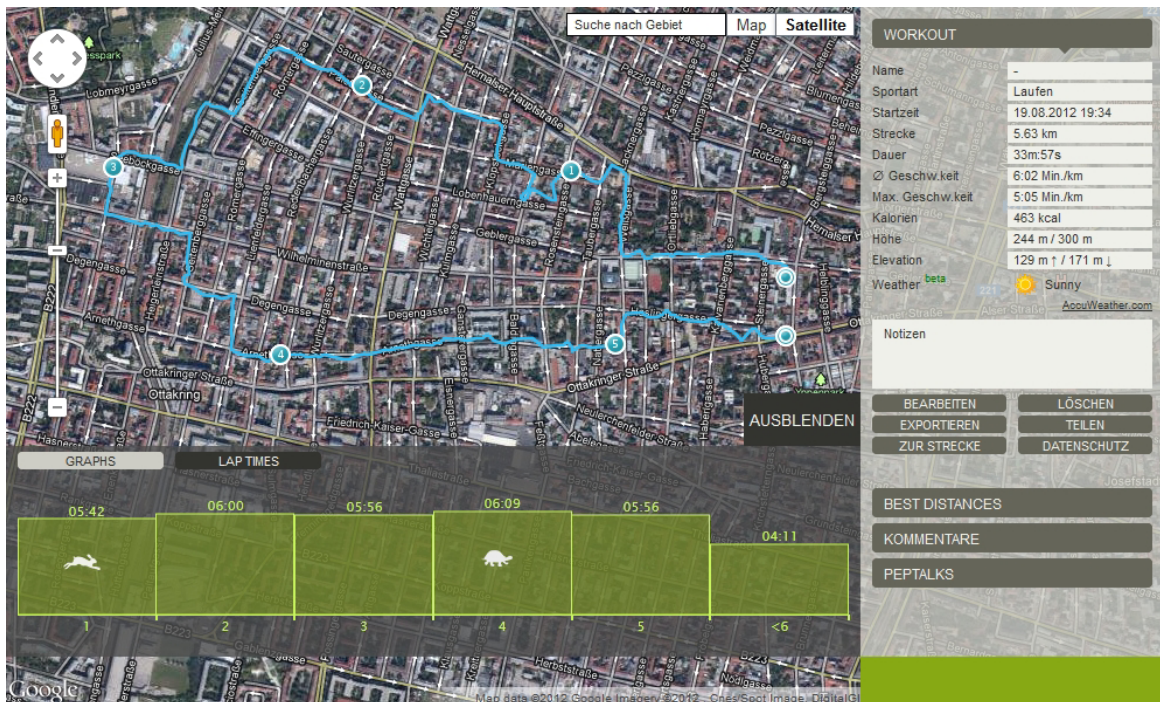


Abbildung 24: Endomondo – Detailsansicht einer Aktivität

Kombination aus Kartenansicht, Rundenzeiten und allgemeine Informationen zur Aktivität
(Quelle: Endomondo)

Neben der Ansicht der einzelnen Abschnitte ist es auch möglich einen durchgehenden Verlauf anhand von Graphen anzuzeigen. Es stehen Pace und Höhe über dem Meeresspiegel zur Auswahl und die Möglichkeit der Anzeige anhand der Zeit oder der Distanz. Beim Bewegen des Mauszeigers über die Graphen erscheint eine detaillierte Anzeige mit den Informationen zu dem jeweiligen Punkt der Strecke. Zusätzlich wird ein roter Punkt in der Karte eingeblendet, wo man sich zu diesem Zeitpunkt befand.

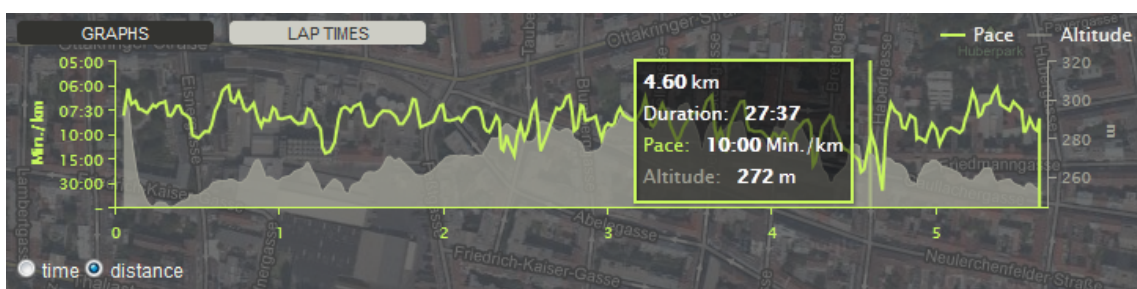


Abbildung 25: Endomondo - Streckenverlauf einer Aktivität

Anzeige von Pace und Höhe über dem Meeresspiegel
(Quelle: Endomondo)

5.3.1.3 Datenübertragung

Bei den jeweiligen Aktivitäten ist es möglich diese zu exportieren und zwar als TXC-Datei und GPX-Datei. TCX ist ein Garmin Dateiformat und funktioniert für die meisten

Garmin-Geräte. GPX (GPS Exchange Format) ist ein einheitliches Austauschformat für GPS-Tracks. Eine nähere Beschreibung der Dateiformate erfolgt in Kapitel 5.5.

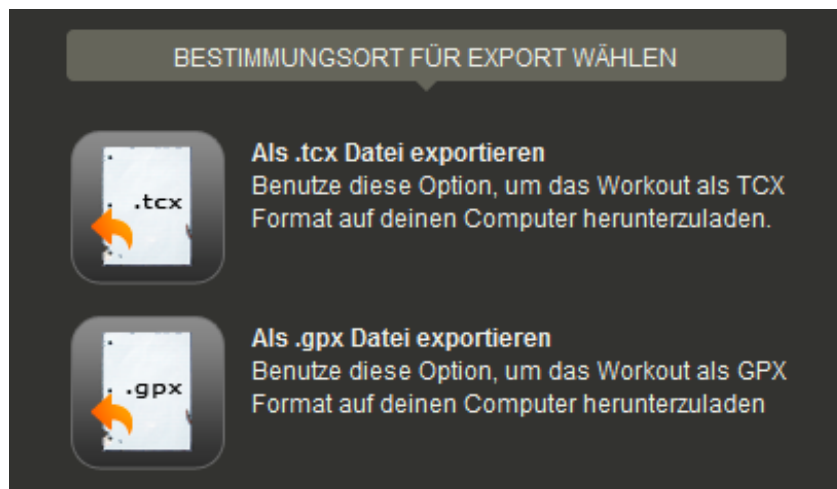


Abbildung 26: Endomondo – Exportmöglichkeit

Export in die zwei Dateiformate TCX und GPX
(Quelle:Endomondo)

Bei Verwendung einer der zwei Exportfunktionen wird die Datei unter dem Namen „no name.gpx“ gespeichert oder geöffnet. Will man viele Tracks exportierten, ist es eine sinnvolle automatische Dateibenennung erwünscht. Die Tracks müssen hier im Nachhinein extra umbenannt werden.

5.3.2 Runkeeper



Abbildung 27: Logo von RunKeeper
(Quelle: [RUK-12c])

RunKeeper ist eine mobile Fitness-Plattform mit der einfachen Mission, dass „Fitness Tracking und Training einfacher zu benützen und mehr Spaß machen soll“. Es besteht keine Notwendigkeit für teure Standalone-Geräte, heutzutage ist die Verwendung von Smartphones zum Aufnehmen der Aktivitäten einfach, genauso wie das Teilen dieser

mit Freunden. Das Unternehmen wurde im Juni 2008 gegründet und befindet sich in Boston [RUK-12a]. Für die Aufzeichnungen wurde die Version 2.11.1.0 verwendet.

5.3.2.1 Smartphone-App

Der Startbildschirm bei Runkeeper ist recht einfach gestaltet. Die Basiseinstellungen sind die Art der Aufzeichnungsmethode, die Art der Aktivität und eine Coaching-Einstellung. Sehr positiv hervorzuheben ist die Anzeige bezüglich der Stärke des GPS-Signals, welche die Endomondo-App nicht aufweist. Dort wird nur angezeigt, ob es ein Signal gibt oder nicht. Die Unterscheidung wird anhand der drei Ampelfarben rot, gelb und grün dargestellt und in „schlecht, ausreichend und gut“ gegliedert. Wenn GPS aktiviert ist und ein Signal vorhanden ist, kann die Aktivität gestartet werden.

Unter „Activities“ kann der gesamte Verlauf der absolvierten Aktivitäten in einer einfachen Listenansicht angezeigt werden und in den „Settings“ können unter anderem Einstellungen zu Anzeigeeoptionen und Maßeinheiten getroffen werden.



Abbildung 28: Runkeeper – Trackinginterface

Beginn einer Aktivität (links), Während einer Aktivität (mitte), Karte einer beendeten Aktivität (rechts)
(Quelle: Runkeeper)

Im Tracking-Modus werden die Dauer, Signalstärke, durchschnittliche Geschwindigkeit je Kilometer, verbrauchte Kalorien, absolvierte Distanz, aktuelle Geschwindigkeit (in min/km) angezeigt. Es ist möglich Bilder während der Aufnahme zu machen und auf die Kartenansicht zu wechseln. Abgeschlossene Aktivitäten in ähnlicher Form, wie während der Aufnahme angezeigt. Die Karte basiert auf der Google Maps Karte und zeigt Start- und Endpunkt an und hat zu jedem vollen Kilometer einen Pin in der Karte.

5.3.2.2 Webinterface

Ausgehend von der doch relativ einfachen Gestaltung der App bietet das Interface auch hier eine erweiterte Funktionalität. Man kann wiederum einzelne Aktivitäten genauer begutachten und sogar die aufgezeichnete Route editieren. Genauso kann man Aktivitäten mit denen anderer Personen vergleichen, bei Wettbewerben mit anderen Usern teilnehmen und auch eigene Routen und zusammenfassende Reports von den letzten Aktivitäten erstellen.

In Abbildung 29 sieht man im linken Bereich den Überblick der Aktivitäten aller Monate in denen Tracks aufgenommen wurden. Bei der Selektion eines Monats sieht man bei den einzelnen Aktivitäten bereits den Tag an dem diese aufgenommen wurden und die absolvierte Distanz. Beim Auswählen einer bestimmten Aktivität wird sie im Detail angezeigt. Neben der Kartenansicht kann man sich den Verlauf der Höhe über den Meeresspiegel, die Pace oder die Geschwindigkeit anzeigen lassen.

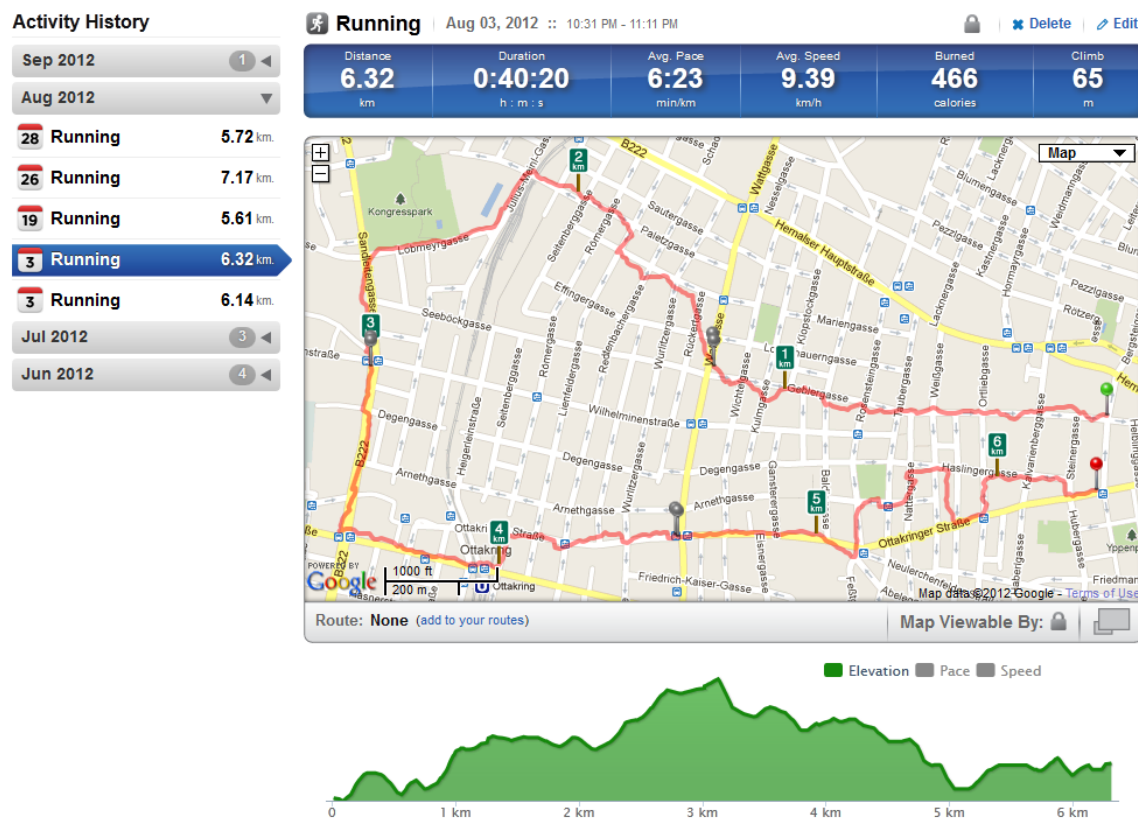


Abbildung 29: Runkeeper – Webinterface

Anzeigen einer Aktivität mit verschiedenen Anzeigeeoptionen
(Quelle: Runkeeper)

Eine speziell im Hinblick auf die Untersuchung sehr interessante Funktion ist die Möglichkeit Tracks mit einer Editierfunktion anzupassen. Dabei können vorhandene

Aktivitäten editiert werden, oder aber auch neue Aktivitäten hinzugefügt und dabei editiert werden. Die Editierfunktion bietet die Möglichkeiten Punkte und Linien zu bewegen und Punkte zu Löschen. Zusätzlich kann man mit der „Snap To Roads“-Funktion die Tracks auf vorhandene Straßen „snappen“.

Ein Vergleich von Abbildung 29 und Abbildung 30 lässt feststellen, dass sich die absolvierte Distanz (Original Track: 6,32km, Editierter Track: 6,14km) um 0,18km unterscheidet. Das ist eine Abweichung von 2,85% der Länge des Original Tracks. Mit diesen Unterschieden wird sich diese Arbeit in Kapitel 6.2 noch detaillierter auseinandersetzen.

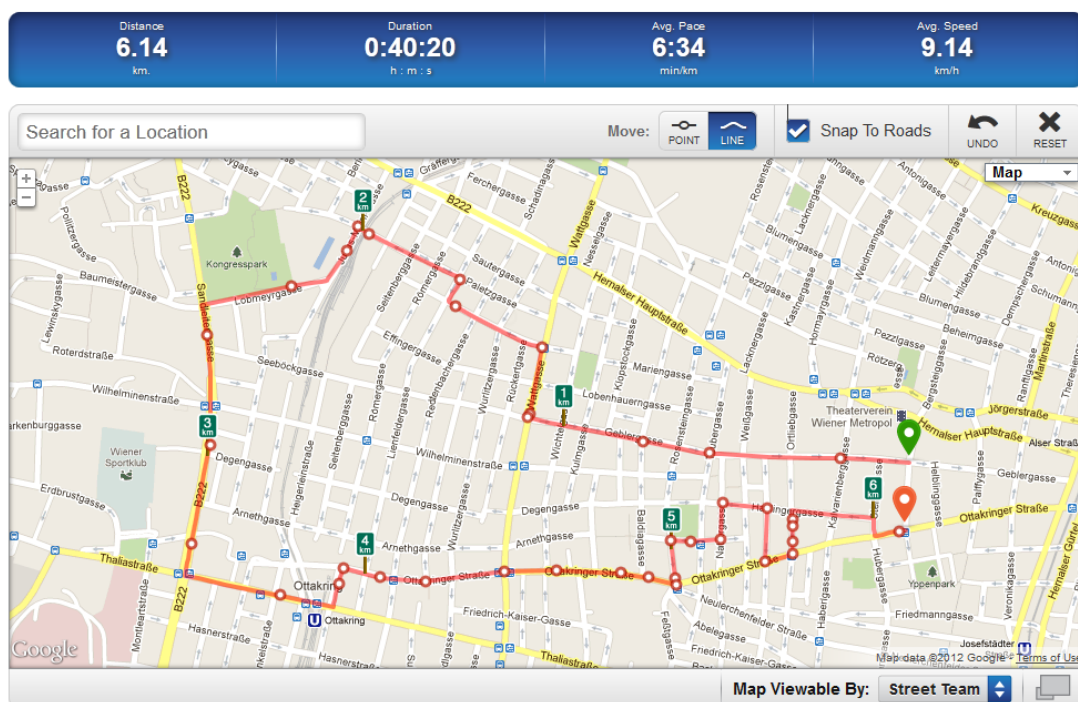


Abbildung 30: Runkeeper – Editiermöglichkeit des Tracks

Ansicht eines editierten Tracks
(Quelle: Runkeeper)

Gleich vorweg, die Editierfunktion ist nur für Personen mit viel Geduld ratsam und ohne „Undo-Button“ kommt man nur selten aus. Die beste Methode ist ohne der Snap-Funktion zu arbeiten, da die Funktion einen seltsamen Fehler aufweist. Bei dieser wird zwar das bewegte Straßensegment an die Straße angepasst, jedoch wird zusätzlich immer ein kleines Straßenstück vertikal zum Straßenverlauf eingefügt, wodurch die Snap-Funktion nicht sinnvoll ist. Je nach Zoomstufe werden unterschiedlich viele Punkte angezeigt, die versetzt werden können. Auch die Funktion zum Bewegen der Punkte funktioniert nicht wie bei einer Standard-Geoinformationssoftware.

Grundsätzlich ist es jedoch begrüßenswert, dass Runkeeper die Möglichkeit bietet die Tracks zu editieren. Die App-Hersteller haben erkannt, dass ein Bedarf diesbezüglich gegeben ist. Die Ausführung ist jedoch noch sehr mangelhaft, und wenn man die Kommentare im Runkeeper Support-Bereich heranzieht, war sie Anfang August 2012 noch viel schlimmer. [RUK-12b]

5.3.2.3 Datenübertragung

Bei jeder aufgezeichneten Aktivität gibt es die Möglichkeit die Aufnahmen als GPX oder KML (Keyhole Markup Language) zu exportieren, wobei diese Funktion etwas versteckt unter „Advanced Options“ vorzufinden ist. Die Dateibenennung erfolgt automatisch, bestehend aus „RK_<Dateiformat> _<Jahr>-<Monat>-<Tag>_<Startuhrzeit in Stunde und Minuten>“. Ein Beispiel ist „RK_gpx _2012-08-28_2130“. Somit ist eine eindeutige Zuordnung gegeben, wodurch eine Handhabung von vielen Dateien erleichtert wird.

5.3.3 Runtastic



Abbildung 31: Logo von Runtastic
(Quelle: [RUT-12b])

Runtastic beschreibt sich selbst als ein Unternehmen, welches „Produkte und Dienstleistungen rund um die Erfassung und Verwaltung von Sportdaten“ anbietet [RUT-12a]. Dabei dienen deren Produkte für ein breites Spektrum von Aktivitäten bei welchen der Spaß für jede Person im Vordergrund stehen soll. Das wird durch ein Gesamtpaket von Apps, Internetplattform und Shop für die eigenen Geräte gut kombiniert. Gegründet wurde das Unternehmen 2009 mit dem Firmensitz in Pasching bei Linz. Bei den Tests wurde die Version 3.2.2 der App verwendet.

5.3.3.1 Smartphone-App

Die Basis-Version der App bietet einen großen Funktionsumfang. Bei Aufruf der App lässt sich theoretisch gleich ein Workout starten. Davor kann man noch verschiedene Basiseinstellungen, wie Art der Aktivität (einfaches Tracking, Workout mit einem Zeit- oder Distanzziel, oder manuelle Erfassung) einstellen. Eine ungefähre Positionserfassung ist auch ohne GPS möglich, durch Ortung mittels Drahtlosnetzwerken. Die Stärke des Signals wird auch bei Runtastic mittels der Ampelfarben angezeigt, wobei hier rot kein Signal bedeutet und die anderen zwei Farben nicht klar definiert sind.

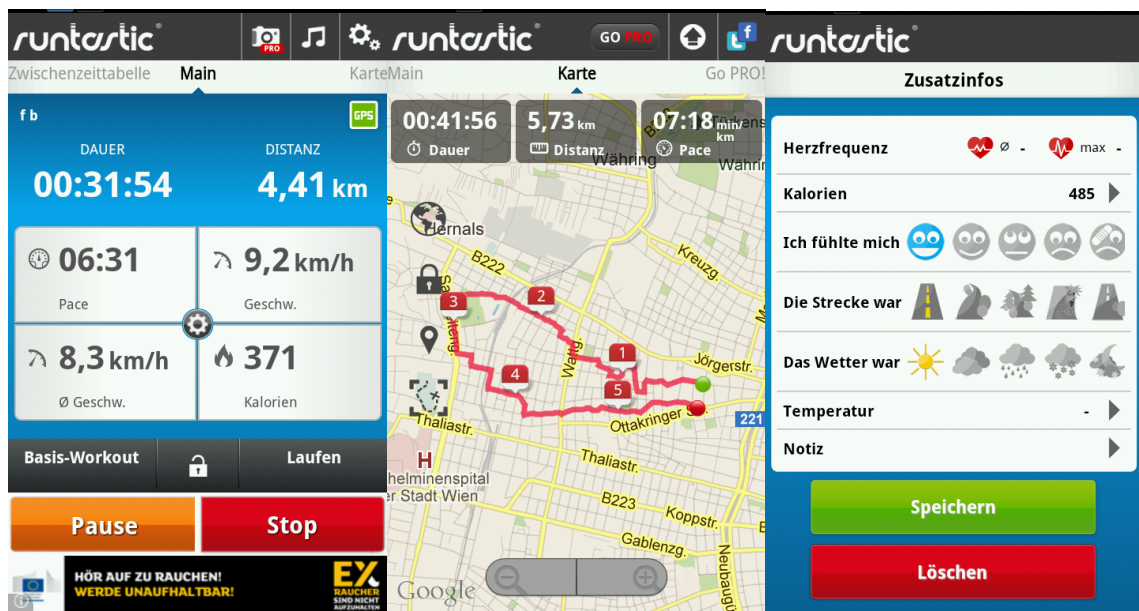


Abbildung 32: Runtastic – Aufnahme

Hauptansicht (links), Karte (mitte), Zusatzinfos am Ende der Aufnahme (rechts)
(Quelle: Runtastic)

Während der Aktivität wird Dauer, Distanz und GPS-Empfang ständig angezeigt und zusätzlich ist eine teilweise eigene Interfacegestaltung möglich. Man kann sich aus den neun möglichen Anzeigeeoptionen „Geschwindigkeit, durchschnittliche Geschwindigkeit, Pace, durchschnittliche Pace, Kalorien, aufwärts und abwärts gelaufene Distanz, Seehöhe und Zeit vier selbst gewählte anzeigen lassen. Beim Beenden der Aktivität kann man ein persönliches Feedback zum eigenen Befinden, zur Strecke und zum Wetter angeben. Durch Benützen dieser Funktionen können in der Zukunft noch weitere Rückschlüsse auf die eigene Trainingsleistung gemerkt werden.

Nach dem Beenden einer Aktivität oder ansonsten im Verlauf kann man die Trainingsleistungen genauer begutachten. Im Verlauf ist eine sehr gute zeitliche Aufgliederung aller Aktivitäten vorhanden. Dabei werden die absolvierten Aktivitäten

nach Monate gegliedert und die Gesamtdistanz und Gesamtzeit dieser je Monat angezeigt. Es kann jeweils ein Monat aufgeklappt werden um Informationen zu den Aktivitäten des Monats zu bekommen. Bei Auswahl einer Aktivität selbst, kommt man zu deren Detailansicht, wo die in Abbildung 33 gezeigten Ansichten zur Verfügungen stehen.

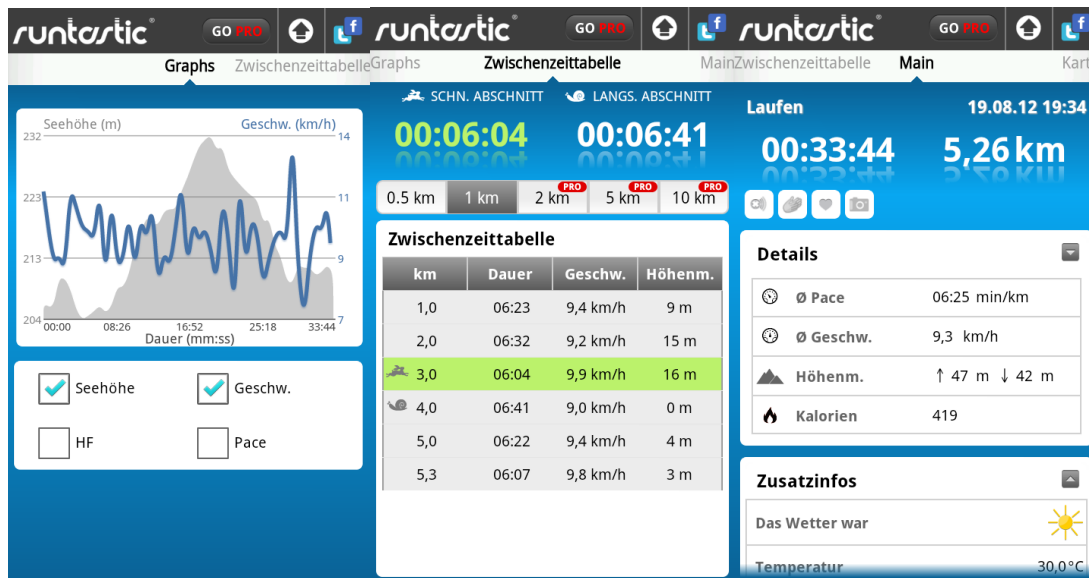


Abbildung 33: Runtastic – Aktivität

Graphenansicht (links), Zwischenzeittabelle (mitte), Hauptansicht (rechts)
(Quelle: Runtastic)

Bei der Hauptansicht einer Aktivität werden übersichtlich Informationen zur gelaufenen Strecke angezeigt (Abbildung 33 (Rechts)), in der Ansicht mit der Zwischenzeittabelle kann man sich in der Basis-Version die Zeiten mit Geschwindigkeit und Höhenmeterunterschied auf halben und einen Kilometer-Abschnitten anzeigen lassen. Dabei werden der schnellste und langsamste Abschnitt mit einem Hasen- bzw. Schnecken-Symbol angezeigt. In der Graphenansicht kann man verschiedene Werte visualisieren, wobei Geschwindigkeit und Pace sehr sprunghaft wirken. Nur die Seehöhe im Hintergrund weist eine gleichmäßige Form auf.

5.3.3.2 Webinterface

Obwohl die App schon sehr umfangreich ist, bietet auch hier das Webinterface noch zusätzliche Features. Die Aktivitäten werden hier grundsätzlich nach Monaten gegliedert, jedoch ist eine Gliederung nach Sportart, Distanz, Dauer, Ort, Empfinden, Wetter und Untergrund möglich. In der Runtastic-Gold Version ist auch eine kombinierte Gliederung möglich. Bei Auswahl eines Filters bleiben diejenigen Aktivitäten übrig, die diesem entsprechen und diese werden in Form einer Liste angezeigt. Darin sind schon alle Informationen zu den jeweiligen Aktivitäten enthalten

(siehe Abbildung 34). Anhand der Scrollbar können die weiteren Werte sichtbar gemacht werden.

	▲ Datum	Sportart	Distanz	Dauer	Ø Geschwindigkeit	Pace	kCal
✕	03.08.2012	Laufen	6.11 km	40:59	8.94 km/h	6:42 min/km	496 kcal
✕	19.08.2012	Laufen	5.25 km	33:44	9.35 km/h	6:25 min/km	419 kcal
✕	26.08.2012	Laufen	6.98 km	44:00	9.53 km/h	6:18 min/km	553 kcal
✕	28.08.2012	Laufen	5.45 km	34:59	9.34 km/h	6:25 min/km	434 kcal
Gesamtstatistiken			23.79 km	2:33:42			1902 kcal

Abbildung 34: Runtastic – Listenansicht
gefilterte Aktivitäten mit all deren Informationen
(Quelle: eigene Darstellung)

Bei der Auswahl einer Aktivität gelangt man zu der Detailansicht, welche mit einer Karte verknüpft ist. Die in der Listansicht gezeigten Informationen sind auch hier nochmal ersichtlich und können noch editiert werden. Ausgenommen von der Bearbeitungsfunktion ist dabei der Track selbst. Als Basiskarte gibt es hier die breiteste Auswahl mit Google Maps, Orthofoto, OSM (OpenStreetMap) und OCM (OpenCycleMap).

The screenshot displays the Runtastic web interface for a running activity. On the left, there is a sidebar with a user profile icon, a 'Neue Aktivität' button, and a list of 15 activities. Below this, statistics for September are shown: 3 activities, 15.2 km, and 6h 46m 12s. The main content area features a map of a running route in Vienna, Austria, with a red line indicating the path. The map includes street names like 'Hernals Hauptstraße' and 'Hernals Gürtel'. On the right side of the map, a list of statistics is provided: Distanz (5.26 km), Dauer (00:31:39), Ø Pace (06:01 min/km), Ø Geschwindigkeit (9.97 km/h), Kalorien (411 kcal), Höhenmeter (31 m / 27 m), and Herzfrequenz (- / -). The interface also includes social media sharing options and a 'Herunterladen' button.

Abbildung 35: Runtastic – Webinterface
Ansicht einer Aktivität in Runtastic
(Quelle: Runtastic)

Ein Feature ist eine Verlaufsansicht der Höhenmeter, Geschwindigkeit und Pace. Es besteht die Möglichkeit nur eine Option anzuzeigen oder mehrere Optionen zu kombinieren. Durch bewegen des Mauszeigers über den Graphen erfolgt eine genaue Anzeige für den jeweiligen Punkt, der auch in der Karte hervorgehoben wird.

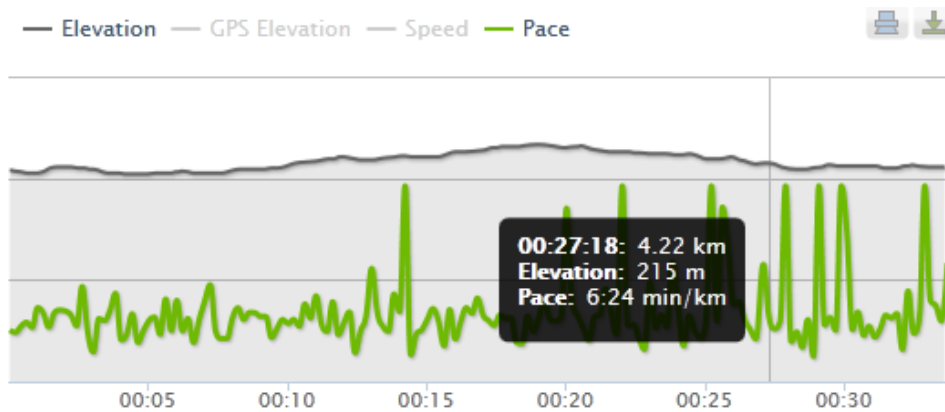


Abbildung 36: Runtastic - Streckenverlauf einer Aktivität
Anzeige von Höhe über dem Meeresspiegel und der Pace
(Quelle: Runtastic)

Für eine Aufteilung in einzelne Abschnitte gibt es eine „Split Tabelle“, die in verschiedene Größen (einen, zwei, fünf und zehn) und Maßeinheiten (Kilometer, Meilen) eingeteilt werden kann. Die Tabelle wird anhand der ausgewählten Einheiten gegliedert und die gemessenen Werte je Abschnitt dargestellt.

Split Table

Choose split 1 2 5 10

Show as: km mi

Distance	Pace	Speed Avg.	Duration	Elev. gain	Elev. loss
1.00 km	6:29 min/km	9.25 km/h	6:38	9 m	10 m
2.00 km	6:34 min/km	9.12 km/h	13:05	15 m	4 m
3.00 km	6:11 min/km	9.69 km/h	19:29	16 m	3 m
4.00 km	6:32 min/km	9.17 km/h	25:47	0 m	12 m
5.00 km	6:18 min/km	9.52 km/h	32:09	7 m	13 m
5.24 km	6:31 min/km	9.20 km/h	33:37	0 m	0 m

Abbildung 37: Runtastic – Gliederung in Abschnitte
Auswahl von unterschiedlichen Gliederungseinheiten möglich
(Quelle: Runtastic)

Um die eigene Entwicklung besser mitverfolgen zu können gibt es verschiedene Statistiken. Der Trainingsverlauf kann nach verschiedenen Kriterien (Trainingseinheiten, Gesamtdistanz, Gesamtdauer, Gesamte Höhenmeter abwärts/aufwärts und verbrannte Kalorien) und nach unterschiedlichen Zeiträumen (Tage, Wochen, Monate, Jahre) angezeigt werden. Im Gegensatz dazu gibt es noch

einen Performancefortschritt, welcher nach verschiedenen Durchschnittswerten (Geschwindigkeit, Pace, Herzfrequenz, Distanz und Dauer) wiederum nach unterschiedlichen Zeiträumen gegliedert werden kann. Auch hier ist anzumerken, dass es mit Runtastic-Gold noch eine erweiterte Funktionalität gibt.

5.3.3.3 Datenübertragung

Runtastic bietet die Kombination der Dateiformate der anderen zwei Apps und zwar GPX, KML und TCX. Über einen klar ersichtlichen „Herunterladen-Button“ wird ein Popup-Fenster angezeigt, wo die verschiedenen Optionen auswählbar sind. Die Benennung erfolgt automatisch mit „*runtastic_<Jahr><Monat><Tag>_<Startuhrzeit in Stunde und Minuten>_<Art der Aktivität>*“, wodurch man die heruntergeladenen Aufzeichnungen gut im Überblick behält. Ein Beispiel ist „*runtastic_20120819_1808_Running.gpx*“.



Abbildung 38: Runtastic – Exportfunktion
Exportmöglichkeit in verschiedene Dateiformate
(Quelle: Runtastic)

5.4 Vergleich der Fitness-Apps

Grundsätzlich sind alle Fitness-Apps schon auf einem hohen Level in Bezug auf Interfacegestaltung, Kommunikation zwischen App und Webinterface und auch der Export in das wichtigste geographische Austauschformat GPX funktioniert bei allen Anbietern.

5.4.1 Smartphone-App

Die Apps von Endomondo und Runtastic sind in ihrer Funktionalität schon sehr ausgereift. Bei Runtastic ist sogar eine individuelle Interfacegestaltung bei der App möglich. Runkeeper ist im Vergleich dazu sehr einfach gestaltet, weist aber die fürs Tracking notwendige Grundfunktionalität auf und die Anzeige der Stärke des GPS-Signals ist bei Runkeeper hervorzuheben. In Bezug auf die Übersicht der absolvierten Aktivitäten ist Runtastic am besten durch die monatliche Gliederung und zusammenfassende Statistiken. Generell ist Runtastic die am meisten ausgereifte App, gefolgt von Endomondo und Runkeeper mit recht einfacher Funktionalität.

5.4.2 Webinterface

Den wohl interessantesten Ansatz, auch im Hinblick auf den in dieser Diplomarbeit gestellten Schwerpunkt, bietet Runkeeper mit der Editierfunktion der Tracks. Die Umsetzung derselben ist mangelhaft, aber vermutlich gibt es in diesem Bereich noch Weiterentwicklungen. Ansonsten bieten die drei Interfaces gute Auswahlmöglichkeiten und Ansichten der eigenen Aktivitäten. In Hinblick auf Statistiken und Kartenansichten haben alle ihre Möglichkeiten. Runkeeper gibt es nur in Englisch, wobei das nicht unbedingt als Nachteil zu werten ist. In Bezug auf das Webinterface hebt sich kein Anbieter von den anderen ab.

5.4.3 Exportmöglichkeit

Insgesamt ist ein Export in die drei Formate GPX, KML und TCX bei den verschiedenen Apps möglich. Runtastic bietet alle an und hat eine gute automatische Dateibenennung. Endomondo und Runkeeper bieten beide nur zwei Formate an, wobei das wichtigste mit GPX vorhanden ist. Bei TCX sind mehr Informationen als in KML enthalten, deshalb ist dieses als zweites Format zu bevorzugen. Eine gute automatische Dateibenennung gibt es bei Runkeeper und Runtastic, nur Endomondo hinkt mit der immer gleichen Benennung hinterher.

5.4.4 Zusammenfassung und Aussicht

Es erfolgt eine Berücksichtigung und Bewertung der drei Schwerpunkte App, Webinterface und Exportmöglichkeit. Je Schwerpunkt wurden unterschiedliche Faktoren herangezogen und begutachtet, ob die jeweiligen Apps diese erfüllen.

Bei dem Schwerpunkt Apps wurden Standardfunktionen, wie Verwendung von GPS und eine generelle Aufnahme der Aktivität vorausgesetzt. Insgesamt wurden 12 Faktoren überprüft, ob diese von den jeweiligen Apps erfüllt werden oder noch nicht. Darunter sind Auswahl der Aktivität, Stärke des GPS-Signals, individuelle Anzeigeeoptionen, Geschwindigkeitsanzeige in km/h, Aktivitätenübersicht, Gliederung bei den Aktivitäten, Kartenansicht der Aktivität, Anzeigen der Abschnitte in der Kartenansicht, verschiedene Kartenansichten, Zwischenzeittabelle je km innerhalb einer Aktivität, Zusatzinformationen und automatischer Abgleich der Daten.

Funktionen	RK	EM	RT
Auswahl der Art der Aktivität	1	1	1
Stärke des GPS-Signals	1	0	1
individuelle Anzeigeeoptionen	0	0	1
Geschwindigkeitsanzeige (km/h)	0	1	1
Aktivitätenübersicht	1	1	1
gegliederte Ansicht der Aktivitäten	0	0	1
Kartenansicht der Aktivität	1	1	1
Abschnitte in der Kartenansicht	1	0	1
verschiedene Kartenansichten	0	1	1
Zwischenzeittabelle (je km)	0	1	1
Zusatzinformationen	0	0	1
automatischer Abgleich der Daten	1	1	1
	6	7	12

Tabelle 1: Funktionsumfang der drei Apps im Bereich der App am Smartphone

Bewertung: nicht erfüllt (=0), erfüllt (=1)

(Quelle: eigene Darstellung)

Die meisten Funktionen sind selbsterklärend, bei den „individuellen Anzeigeeoptionen“ ist eine teilweise eigene Interfacegestaltung möglich. Die „Aktivitätenübersicht“ ist der Verlauf der absolvierten Aktivitäten und die „gegliederte Ansicht“ weist z.B. eine monatsweise Gliederung auf. Unter „Abschnitte der Kartenansicht“ versteht man die Anzeige von Kilometerpunkten in der Karte. Die Option „Zusatzinformationen“ können Daten zu Wetter, zur Strecke oder ähnliches sein, die man für eine aufgenommene Aktivität vermerken kann. Der automatische Abgleich der Daten gibt an, ob eine absolvierte Aktivität sofort ins Webinterface geladen werden kann.

Es zeigt sich, dass RT mit Abstand den größten Funktionsumfang aufweist, wobei angemerkt sei, dass alle Apps die Grundfunktionalität für Tracking klar erfüllen.

Für den zweiten Schwerpunkt wurde das Webinterface definiert und der Funktionsumfang der Webinterfaces der Apps überprüft. Es wurden neun Funktionen definiert und fast alle werden von den kostenlosen Versionen der Apps in Bezug auf das Webinterface erfüllt. Als „verschiedene Gliederungsmöglichkeiten“ sind unterschiedliche Einteilungsmöglichkeiten von auswählbaren Aktivitäten gemeint. „Statistiken“ sollen zusammenfassenden Überblick von diversen Werten über unterschiedliche Zeiträume bieten.

Die Karte ist wieder ein wichtiges Kriterium und deshalb werden gleich drei Funktionen und zwar die „Editiermöglichkeit der Tracks“, „verschiedene Kartenansichten“ und „Abschnitte in der Kartenansicht“ überprüft. Weitere Funktionen sind der „Höhenverlauf“, „Zwischenzeiten je Kilometer“ und wiederum die „Zusatzinformationen (Wetter, Streckenverlauf)“ für den Track.

Funktionen	RK	EM	RT
verschiedene Gliederungsmöglichkeiten	1	1	1
Statistiken	0	1	1
Aktivitätenübersicht	1	1	1
Editiermöglichkeit des Tracks	1	0	0
verschiedene Kartenansichten	1	1	1
Abschnitte in der Kartenansicht	1	1	1
Höhenverlauf	1	1	1
Zwischenzeiten (je km)	1	1	1
Zusatzinformationen je Track	1	1	1
	8	8	8

Tabelle 2: Funktionsumfang der drei Apps im Bereich der Webinterfaces

Bewertung: nicht erfüllt (=0), erfüllt (=1)

(Quelle: eigene Darstellung)

Bis auf das Fehlen von Statistiken bei der kostenlosen Version von RK und dem Nicht-Vorhandensein einer Editiermöglichkeit bei den anderen zwei Anbietern weisen die Webinterfaces ein sehr umfangreiches Angebot an Funktionen auf.

Der Schwerpunkt der Exportmöglichkeit liegt bei den Formaten, in denen die Aufzeichnung exportiert werden kann. Ein Kriterium ist die Lokalisierung der Exportfunktion, ob sie einfach zu finden ist und auch ob die automatische Benennung der Datei in einem sinnvoll Format erfolgt.

Bei den Exportmöglichkeiten erfüllt RT alle Funktionen und die anderen zwei erfüllen nur drei der fünf Funktionen. Allgemein weist RT die meisten Funktionen auf und es ist nachvollziehbar, wieso RT bei [KOL-12] Testsieger wurde.

Funktionen	RK	EM	RT
Export in GPX	1	1	1
Export in KML	1	0	1
Export in TCX	0	1	1
Lokalisierung der Exportfunktion	0	1	1
automatische Dateibenennung	1	0	1
	3	3	5

Tabelle 3: Funktionsumfang der drei Apps bei der Exportmöglichkeit

Bewertung: nicht erfüllt (=0), erfüllt (=1)

(Quelle: eigene Darstellung)

5.5 Dateiformate

Um einen Überblick über die Inhalte und Unterschiede der verschiedenen Dateiformate zu geben, wird im Folgenden näher auf die Dateistrukturen eingegangen.

5.5.1 GPS Exchange Format (GPX)

GPX ist ein XML-Format, welches speziell für den Austausch von GPS-Daten zwischen Applikationen und Webservices im Internet entwickelt wurde. In einer GPX-Datei sind Tracks, Wegpunkte- und Routendaten enthalten. [TOP-12a]

Im Folgenden wird ein Ausschnitt einer GPX-Datei von einer Runtastic-Aufzeichnung in zwei Teilen gezeigt. Den Beginn bilden die Headerinformationen der GPX-Datei und danach werden die Wegpunkteinformationen dargestellt.

Headerinformation einer GPX-Datei:

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<gpx version="1.1" creator="runtastic - makes sports funtastic,
http://www.runtastic.com"
xsi:schemaLocation="http://www.topografix.com/GPX/1/1
http://www.topografix.com/GPX/1/1/gpx.xsd
http://www.garmin.com/xmlschemas/GpxExtensions/v3
http://www.garmin.com/xmlschemas/GpxExtensionsv3.xsd
http://www.garmin.com/xmlschemas/TrackPointExtension/v1
http://www.garmin.com/xmlschemas/TrackPointExtensionv1.xsd"
xmlns="http://www.topografix.com/GPX/1/1"
xmlns:gpstpx="http://www.garmin.com/xmlschemas/TrackPointExtension/v1"
xmlns:gpxx="http://www.garmin.com/xmlschemas/GpxExtensions/v3"
xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance">
  <metadata>
    <name>runtastic_20120803_1631_Running</name>
    <desc></desc>
    <author>
```

```

    <name>f-b_f-b_28</name>
    <email id="b.flo" domain="gmx.at"/>
  </author>
  <copyright author="www.runtastic.com">
    <year>2012</year>
    <license>http://www.runtastic.com</license>
  </copyright>
  <link href="http://www.runtastic.com">
    <text>runtastic</text>
  </link>
  <time>2012-08-03T16:31:00.000Z</time>
</metadata>

```

Im Header werden Namespaces referenziert und Metadaten angegeben. In den Metadaten stehen Informationen über die GPX-Datei, den Autor und urheberrechtliche Einschränkungen. Durch die Metadaten ist es einfacher möglich GPS-Daten zu suchen und zu benutzen.

Geographischen Informationen einer GPX-Datei:

```

<trk>
  <name>runtastic_20120803_1631_Running</name>
  <link href="http://www.runtastic.com/sport-sessions/20619125">
    <text>Visit this link to view this activity on
runtastic.com</text>
  </link>
  <trkseg>
    <trkpt lon="16.3347797393799006" lat="48.2164573669434020">
      <ele>205.0</ele>
      <time>2012-08-03T16:31:55.000Z</time>
    </trkpt>
    <trkpt lon="16.3345146179199006" lat="48.2164535522461009">
      <ele>217.0</ele>
      <time>2012-08-03T16:31:58.000Z</time>
    </trkpt>
    <trkpt lon="16.3343086242675994" lat="48.2164535522461009">
      <ele>222.0</ele>
      <time>2012-08-03T16:32:04.000Z</time>
    </trkpt>
  </trkseg>
</trk>
</gpx>

```

Die geographischen Informationen werden ab dem Track-Tag (TRK) beschrieben. Ein Track ist eine geordnete Liste von Punkten, welche einen Pfad beschreiben. Die Liste der Track-Punkte (TRKPT) wird in einem Track-Segment (TRKSEG) gespeichert. In einem TRK können ein oder mehrere TRKSEG enthalten sein. Immer wenn ein GPS-Track durch Signalverlust oder durch Abschalten des Empfängers unterbrochen wurde, wird ein neues TRKSEG gestartet. Bei einem TRKPT werden der Längengrad und Breitengrad, die Höhe über den Meeresspiegel und die jeweilige Aufzeichnungszeit erfasst. [TOP-12b]

Die gezeigten geographischen Informationen der GPX-Datei sind nur ein Ausschnitt. Im Normalfall wurden während einer Aufzeichnung mehrere hundert TRKPT erfasst. Für weitere Analysen lässt sich die Aufzeichnungsrate aus der Zeit zwischen zwei aufgenommenen Punkten errechnen. In der Beispielsdatei wurde knapp 41 Minuten lang aufgezeichnet, wobei ca. 1350 Zeilen an Code im GPX-File entstanden.

5.5.2 Keyhole Markup Language (KML)

Mit KML als Dateiformat werden geographische Daten in Google Earth und Google Maps dargestellt. KML verwendet eine Tag-basierende Struktur mit verschachtelten Elementen und Attributen und basiert auf dem XML-Standard. Bei den Tags wird in Groß- und Kleinschreibung unterschieden und die Tags müssen genau wie in der KML-Referenz angegeben verwendet werden. [KML-12]

Das folgende Beispiel einer KML-Datei ist eine Runtastic-Aufzeichnung, da es im Vergleich zu Runkeeper schon mit dem neuen KML 2.2-Schema arbeitet. Im Vergleich zu GPX sind weniger Informationen in der Datei enthalten. Allgemein wird für den gesamten Track die Zeitspanne anhand der Start- und Endzeit angegeben und zusätzlich werden graphische Werte (Farbe, Breite) angegeben. Die Punkte selbst werden nur anhand des Längengrades, des Breitengrades und der Höhe über den Meeresspiegel erfasst.

Ausschnitt einer KML-Datei:

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<kml xmlns="http://www.opengis.net/kml/2.2"
xmlns:gx="http://www.google.com/kml/ext/2.2"
xmlns:kml="http://www.opengis.net/kml/2.2"
xmlns:atom="http://www.w3.org/2005/Atom">
  <Document>
    <name>runtastic_20120803_1631_loc_running.kml</name>
    <description></description>
    <TimeSpan>
      <begin>2012-08-03T16:31:00.000Z</begin>
      <end>2012-08-03T17:11:59.000Z</end>
    </TimeSpan>
    <Placemark>
      <name>Running</name>
      <Style>
        <LineStyle>
          <color>ffff0000</color>
          <width>5</width>
        </LineStyle>
      </Style>
      <LineString>
        <tessellate>1</tessellate>
      </LineString>
    </Placemark>
  </Document>
</kml>
```

```
16.3345146179199006, 48.2164535522461009, 217.0000000000000000  
16.3343086242675994, 48.2164535522461009, 222.0000000000000000  
</coordinates>  
  </LineString>  
</Placemark>  
</Document>  
</kml>
```

Von den Ursprungsdaten ausgehend ist ein Verlust von Informationen zu beanstanden. Dieser Informationsverlust lässt sich auch quantitativ anhand der Menge der Zeilen in der zuvor beschriebenen Beispielsdatei identifizieren. Bei der KML-Datei werden nur ca. 350 Zeilen für die Beschreibung der gesamten Aufnahme benötigt. Für die graphische Anzeige in Google Maps und Google Earth ist es ein gut zu verwendendes Dateiformat.

5.5.3 Training Center Database XML (TCX)

Das TCX-Dateiformat ist ein von Garmin entwickeltes XML-Dateiformat. Es beinhaltet zusätzliche Daten für jeden Track-Punkt (z.B. Herzfrequenz, Trittfrequenz und bereits absolvierte Distanz) und eine benutzerdefinierte Struktur. Das Format wird hauptsächlich von Garmin GPS-Geräten verwendet. [EAR-12]

Headerinformation einer TCX-Datei:

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>  
<TrainingCenterDatabase version="1.0" creator="runtastic - makes  
sports funtastic, http://www.runtastic.com"  
xsi:schemaLocation="http://www.garmin.com/xmlschemas/TrainingCenterDat  
abase/v2  
http://www.garmin.com/xmlschemas/TrainingCenterDatabasev2.xsd"  
xmlns:ns5="http://www.garmin.com/xmlschemas/ActivityGoals/v1"  
xmlns:ns3="http://www.garmin.com/xmlschemas/ActivityExtension/v2"  
xmlns:ns2="http://www.garmin.com/xmlschemas/UserProfile/v2"  
xmlns="http://www.garmin.com/xmlschemas/TrainingCenterDatabase/v2"  
xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"  
xmlns:ns4="http://www.garmin.com/xmlschemas/ProfileExtension/v1">  
  <Activities>  
    <Activity Sport="running">  
      <Id>2012-08-03T16:31:00.000Z</Id>  
      <Lap StartTime="2012-08-03T16:31:00.000Z">  
        <TotalTimeSeconds>2459</TotalTimeSeconds>  
        <DistanceMeters>6105</DistanceMeters>  
        <Calories>496</Calories>  
        <AverageHeartRateBpm>  
          <Value>0</Value>  
        </AverageHeartRateBpm>  
        <MaximumHeartRateBpm>  
          <Value>0</Value>  
        </MaximumHeartRateBpm>  
        <MaximumSpeed>8.38555555555555556</MaximumSpeed>  
        <Notes></Notes>  
        <Cadence></Cadence>  
        <TriggerMethod>Manual</TriggerMethod>
```

Zu Beginn der Datei werden verschiedene Namespaces referenziert. Mit dem ACTIVITY-Tag wird definiert um welche Art von Aktivität es sich handelt und daran schließen allgemeine Informationen zur Aktivität selbst an. Innerhalb der Aktivität startet mit dem TRACK-Tag der Track selbst. In der Runtastic-Datei werden Zeitpunkt, absolvierte Distanz des Tracks, Höhe über dem Meeresspiegel, Breiten- und Längengrad je aufgenommen Punkt angegeben. Zusätzliche Informationen, die in einer TCX-Datei enthalten sein können, sind dem XML-Schema von TCX-Dateien zu entnehmen (siehe [TCX-12]).

Track einer TCX-Datei:

```
<Track>
  <Trackpoint>
    <Time>2012-08-03T16:31:55.000Z</Time>
    <DistanceMeters>0</DistanceMeters>
    <AltitudeMeters>205.0</AltitudeMeters>
    <Position>
      <LatitudeDegrees>48.2164573669434020</LatitudeDegrees>
      <LongitudeDegrees>16.3347797393799006</LongitudeDegrees>
    </Position>
  </Trackpoint>
  <Trackpoint>
    <Time>2012-08-03T16:31:58.000Z</Time>
    <DistanceMeters>19</DistanceMeters>
    <AltitudeMeters>217.0</AltitudeMeters>
    <Position>
      <LatitudeDegrees>48.2164535522461009</LatitudeDegrees>
      <LongitudeDegrees>16.3345146179199006</LongitudeDegrees>
    </Position>
  </Trackpoint>
  <Trackpoint>
    ....
  </Trackpoint>
  <Trackpoint>
    <Time>2012-08-03T17:12:25.000Z</Time>
    <DistanceMeters>6105</DistanceMeters>
    <AltitudeMeters>265.0</AltitudeMeters>
    <Position>
      <LatitudeDegrees>48.2146415710449006</LatitudeDegrees>
      <LongitudeDegrees>16.3344001770019993</LongitudeDegrees>
    </Position>
  </Trackpoint>
</Track>
</Lap>
</Activity>
</Activities>
</TrainingCenterDatabase>
```

Auch in der Menge des Quellcodes macht sich die zusätzliche Information bemerkbar, sind es doch fast 3000 Zeilen, die das TCX-File der Beispielsaktivität aufweist.

6 Analyse der Wegaufzeichnungen

Es wird durch eigene empirische Aufnahmen analysiert, in welchem Ausmaß Distanzunterschiede zwischen den aufgenommenen Tracks untereinander bestehen, und anhand welcher Gründe es zu diesen Unterschieden kommt. Genauso werden aber die Distanzunterschiede der Tracks im Vergleich zu der tatsächlich absolvierten Route untersucht, wodurch sich aufzeigen lässt wie weit aufgezeichnete Tracks von der Realität abweichen.

Zur Durchführung der Analyse ist eine Aufbereitung der mit den Smartphone-Apps aufgenommen und von dort heruntergeladenen Daten notwendig. Die Analyse selbst erfolgt anhand verschiedener quantitativer Vergleiche in Bezug auf Distanzunterschiede, Aufzeichnungsrate und Anzahl der aufgezeichneten Punkte. Damit lassen sich grobe Fehler und sonstige große Abweichungen nicht immer identifizieren. Deshalb wird mittels visueller Analyse versucht diese zu erkennen und zu beschreiben.

6.1 Datenaufbereitung

Für die weitere Verarbeitung ist es notwendig die exportierten GPX-Dateien so aufzubereiten, dass sie mit einer Geoinformationssoftware weiter verarbeitet werden können. Dafür bieten sich verschiedene Möglichkeiten an, wobei im Folgenden auf eine Bearbeitung mit QuantumGIS und ArcGIS eingegangen wird. Aber nicht nur die GPX-Dateien müssen aufbereitet werden, sondern auch das von OpenStreetMap (OSM) stammende Straßennetzwerk.

6.1.1 Aufbereitung des Straßennetzwerks

Bei der Wahl des Straßennetzwerks war die Entscheidung schnell auf OSM gefallen, da es frei verfügbare Daten [OSM-12] sind und die Erfassung in Wien gut ist. Für die Analyse von den Laufaufzeichnungen ist eine Erfassung abseits von den Straßen auch notwendig. Das Vorhandensein von Fußwegen in Parks und zwischen Wohngebäuden bei OSM-Daten ist deswegen sehr von Vorteil.

Bezogen wurden die Daten von geofabrik.de, welche jeden Tag aktuelle Auszüge aus den OSM-Daten von Österreich anbieten. Die Auszüge liegen in verschiedenen Dateiformaten vor, unter anderem auch als ESRI-Shapefile (EPSG: 4326), welches im Rahmen dieser Arbeit verwendet wird.

Zur Abgrenzung des Gebietes dient „Open Government Data“ von Wien. Unter [OGD-12] sind die Bezirksgrenzen als Shapefile bereitgestellt, woraus sich das Untersuchungsgebiet, die Bezirke 16 und 17, ausschneiden lässt. Um das Straßennetzwerk nur für das Untersuchungsgebiet zu erhalten, werden die Straßendaten von ganz Österreich anhand des Untersuchungsgebietes ausgeschnitten, womit nur noch die Straßen für den 16. und 17. Wiener Gemeindebezirk übrig bleiben.

Im somit erhaltenen Straßennetzwerk des Untersuchungsgebietes wird überprüft, ob es die für die weitere Analyse notwendigen Anforderungen erfüllt. Abbildung 39 zeigt den Bereich als Karte, der in Abbildung 40 nur anhand der Straßengeometrie dargestellt wird.

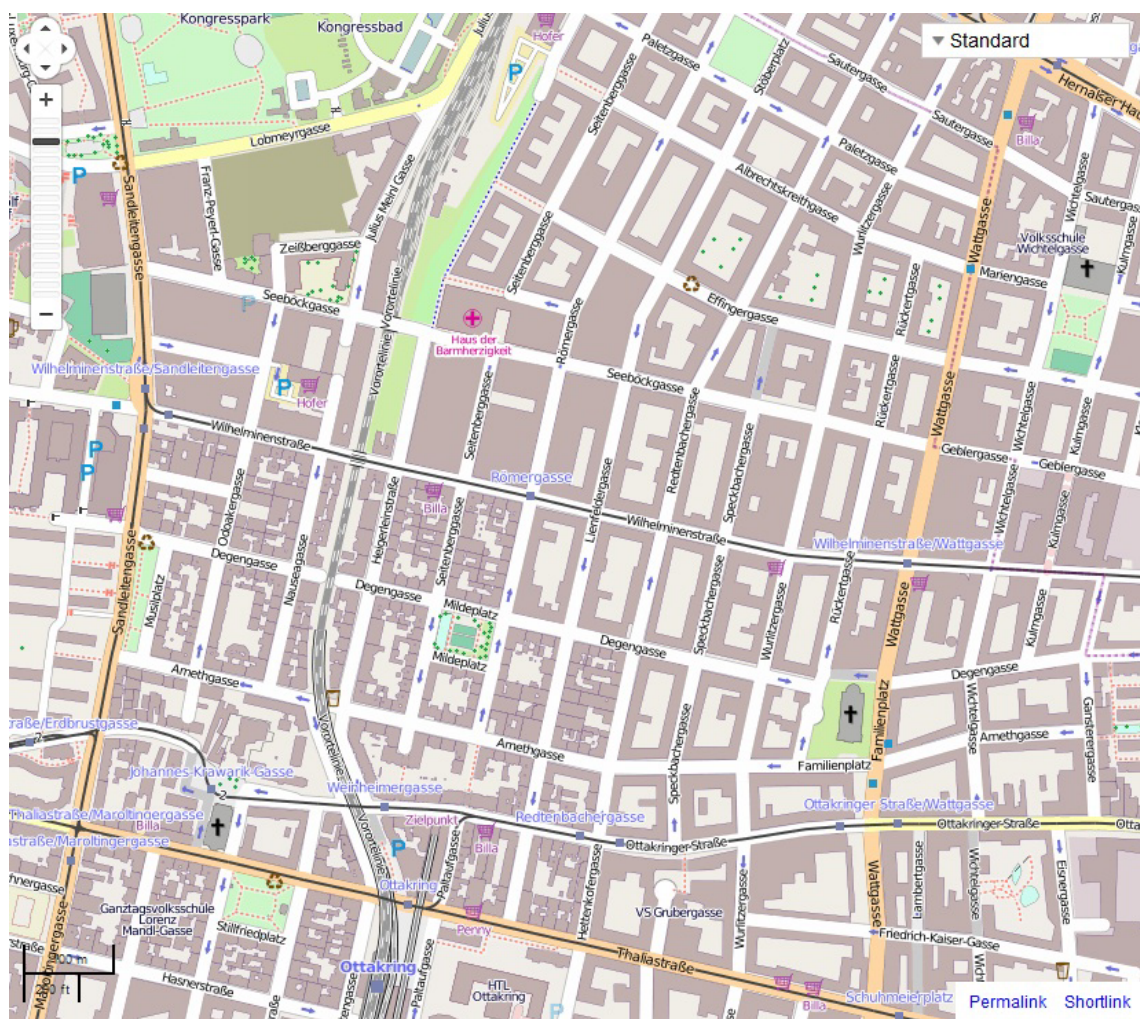


Abbildung 39: OSM-Ausschnitt eines Teilgebietes im UG

Kartenansicht des westlichen Bereiches des UGs

(Quelle: <http://www.openstreetmap.org/>)

In Abbildung 40 ist ein einzelnes Straßensegment selektiert. Dabei zeigt sich, dass es topologisch nicht korrekt ist. Richtigerweise müsste eine Linie bei einer Abzweigung enden und danach eine neue starten.

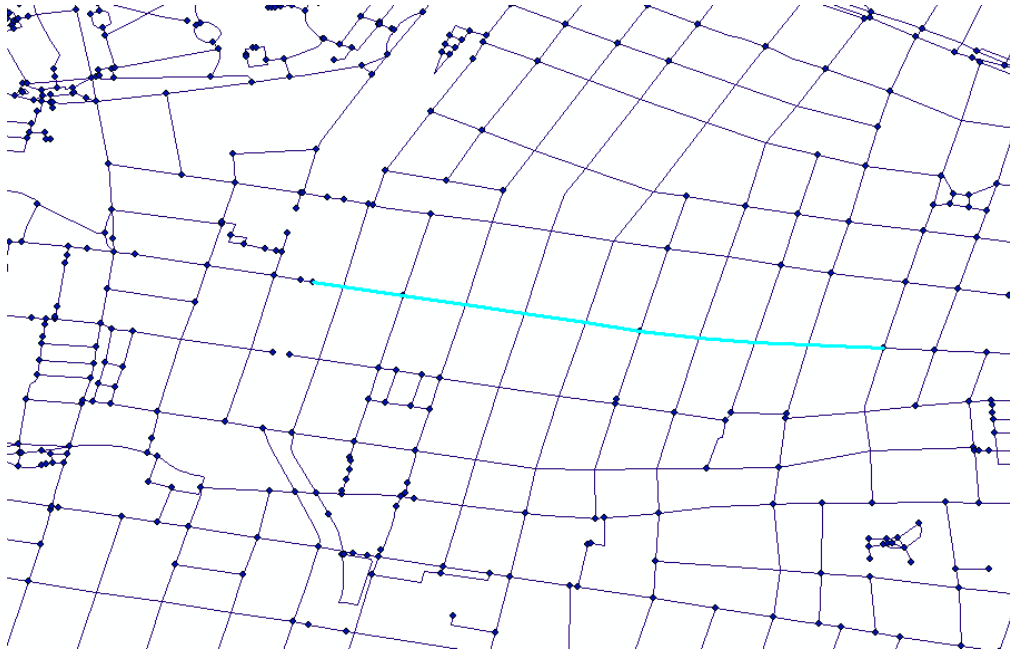


Abbildung 40: Straßennetzwerk-Ausschnitt eines Teilgebiets im UG

Auswahl eines Straßensegments mittels ArcGIS

(Quelle: ArcGIS 10.0)

Damit bei der späteren Analyse keine Probleme entstehen, werden die Daten anhand der ArcGIS-Funktion „Planarize Lines“ verbessert. Mit dieser Funktion werden sich kreuzende Linien aufgeteilt.

6.1.2 QuantumGIS (QGIS)

Für die Aufbereitung der Straßennetzwerk-Daten wurde zwar schon ArcGIS verwendet, aber um die Möglichkeiten mittels frei verfügbarer Software vorzustellen, wird auch auf eine Bearbeitung mit QGIS kurz hingewiesen.

In QuantumGIS ist der Import von GPX-Dateien sehr einfach. Dies funktioniert über „Vektorlayer hinzufügen“. Es muss die zu öffnende Datei selektiert werden um dann zu entscheiden, welche Ebenen der GPX-Datei importiert werden sollen. Die selbstgetätigten Aufnahmen verfügen nur über die zwei Ebenen „tracks“ und „track_points“, welche auch eingefügt werden.

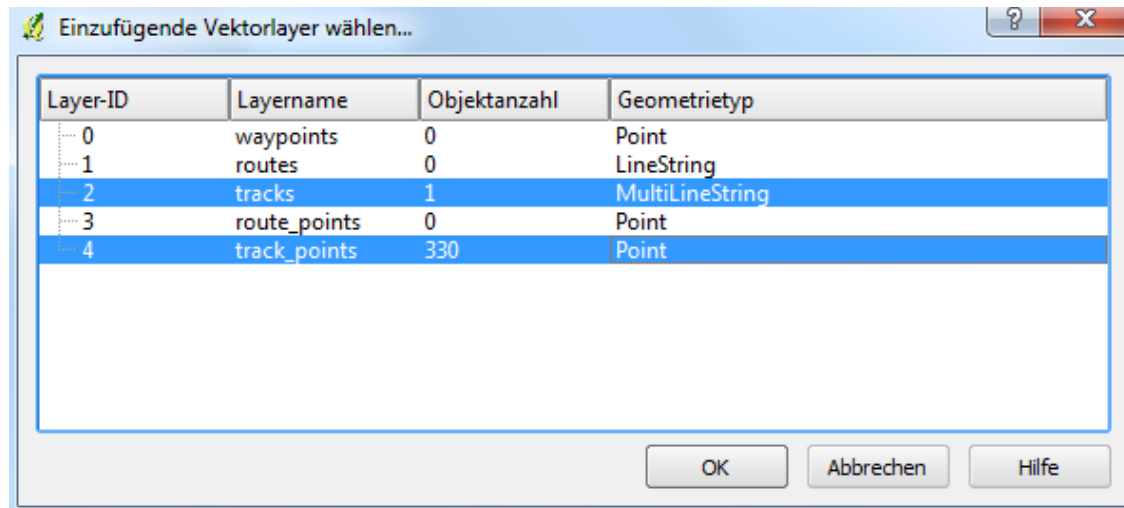


Abbildung 41: QGIS – Einlesen der GPX-Datei

Aus den fünf möglichen Ebenen werden „tracks“ und „track_points“ ausgewählt
(Quelle: QuantumGIS)

Die ausgewählten Ebenen werden unter demselben Namen in der Layeransicht angezeigt. Zwar ist eine Umbenennung möglich, aber etwas umständlich für die Vielzahl der aufgenommenen Tracks. Mit dem Sextante-Plugin [SEX-12] gibt es die Möglichkeit der Automatisierung in QGIS, jedoch ist dieser Plugin noch in der Entwicklung.

Für die Berechnung von Distanzen ist eine Änderung der Projektion in ein projiziertes Koordinatensystem notwendig. Für das Gebiet von Wien wird dabei das vom Militärgeographischen Institut entwickelte „MGI Austria GK M34“ mit dem „EPSG-Code 31259“ verwendet.

Die Berechnung der Distanzen erfolgt im Bearbeitungsmodus. Dazu einfach in der Attributtabelle den Feldrechner öffnen und dort mit dem „Länge“-Operator den Wert für die Distanz ermitteln. Das erfolgt für alle aufgenommenen Tracks, aber um einen Vergleich mit einem angepassten Track zu tätigen ist es zuerst notwendig einen angepassten Track zu bekommen. Um den angepassten Track zu bekommen, werden die abgelaufenen Straßensegmente selektiert und exportiert.

6.1.3 ESRI ArcGIS

Standardmäßig ist es mit ArcGIS in der Version 10.0 nicht möglich GPX-Dateien zu öffnen oder anderweitig zu importieren. Erst in der Version 10.1 [ARC-12] ist eine „GPX to Features“-Funktion in der Software inkludiert. Positiverweise gibt es im „ArcGIS Resource Center“ ein „GPX to Features Tool“ [GPX-12] zum Download,

welches in der ArcToolbox aufgerufen werden kann. Bei Benützung dieses Tools werden die GPS-Punkte einer GPX-Datei als Punkt-Shapefile gespeichert. Aus der Punktdaten kann die Summe der Aufzeichnungspunkte ausgelesen werden, woraus in Kombination mit der Zeitdauer der Aufzeichnung die Aufzeichnungsrate errechnet werden kann.

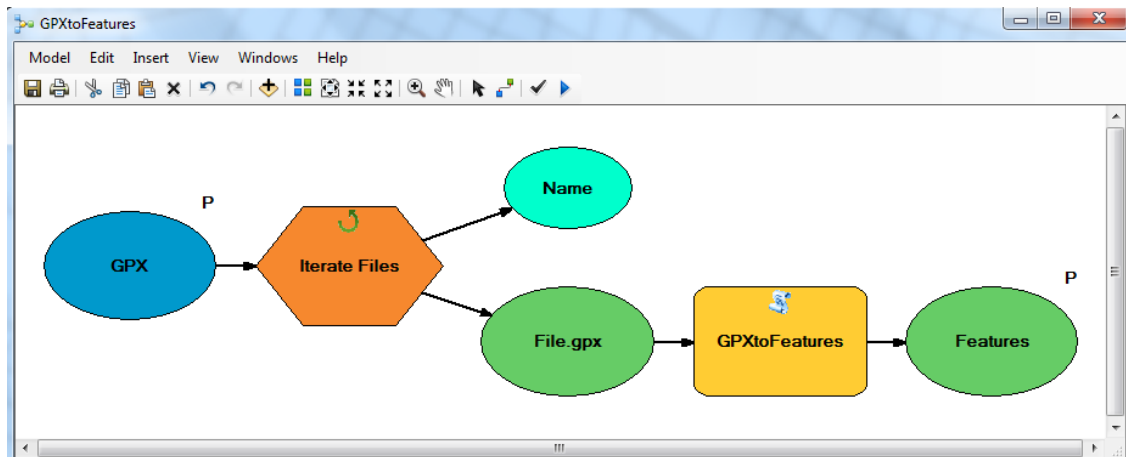


Abbildung 42: ArcMap-Modell mit der GPXtoFeatures Funktion

Durchlaufen aller Dateien eines Verzeichnisses und Umwandlung in ein Shapefile
(Quelle: ArcGIS)

Um den Prozess der Umwandlung zu vereinfachen, wird ein Modell erstellt, welches die GPX-Ausgangsdaten eines gesamten Verzeichnisses durchläuft und die Dateien jeweils in das Punkt-Shapefile umwandelt. Dafür müssen die Dateinamen der RK-Dateien umbenannt werden, weil sie Bindestriche enthalten. Diese führen ansonsten zu einem Fehler beim Durchlaufen im Modell.

Für die Distanzmessung ist es notwendig aus den Punktdaten eine Liniendatei zu erzeugen, das mit dem ArcToolbox-Script „Points to Line“ möglich ist. Dabei werden die Punkte mit Linien verknüpft, wodurch eine Datei mit einem Linienelement erzeugt wird. Bei diesem Linienelement werden Start- und Endpunkt an Beginn der Bergsteiggasse und die darauffolgende Kreuzung in derselben Gasse angepasst. Während der Aktivitäten wurde immer an diesen zwei Kreuzungen die Aktivität begonnen und beendet. Somit erfolgt die Anpassung um bei diesen Tracks einen einheitlichen Beginn und ein einheitliches Ende aller Aufzeichnungen zu bekommen.

Die Daten liegen noch in einem geographischen Koordinatensystem vor und in diesem ist eine Berechnung von Längen nicht sinnvoll möglich. Die gebräuchlichste Funktion „Calculate Geometry“ ist deaktiviert, bzw. die darin enthaltene Funktion zur Längenberechnung. Nur mit der Funktion „!shape.length@meters!“ im „Field Calculator“ ist es möglich die Länge zu berechnen, wobei jedoch falsche Werte

entstehen. Deshalb ist eine Umwandlung in ein projiziertes Koordinatensystem notwendig. Für das Gebiet von Wien wird dabei das vom Militärgeographischen Institut entwickelte „MGI Austria GK M34“ mit dem „EPSG-Code 31259“ verwendet. Erst in dieser Projektion kann die Länge der Linien gemessen werden.

Auch für weitere Datenaufbereitung werden eigene Modelle in ArcMap verwendet, wodurch eine Automatisierung der einzelnen Schritte möglich ist. Dabei entstehen verschiedene Modelle für die gesamte Bearbeitung einer GPX-Datei bis zur fertigen Datei mit der berechneten Länge. Dieser Prozess wird in Abbildung 43 gezeigt, wobei nach der zweiten Funktion die manuelle Anpassung von Start- und Endpunkt erfolgt. Sämtliche Modelle funktionieren dank Schleifen für ganze Verzeichnisse.

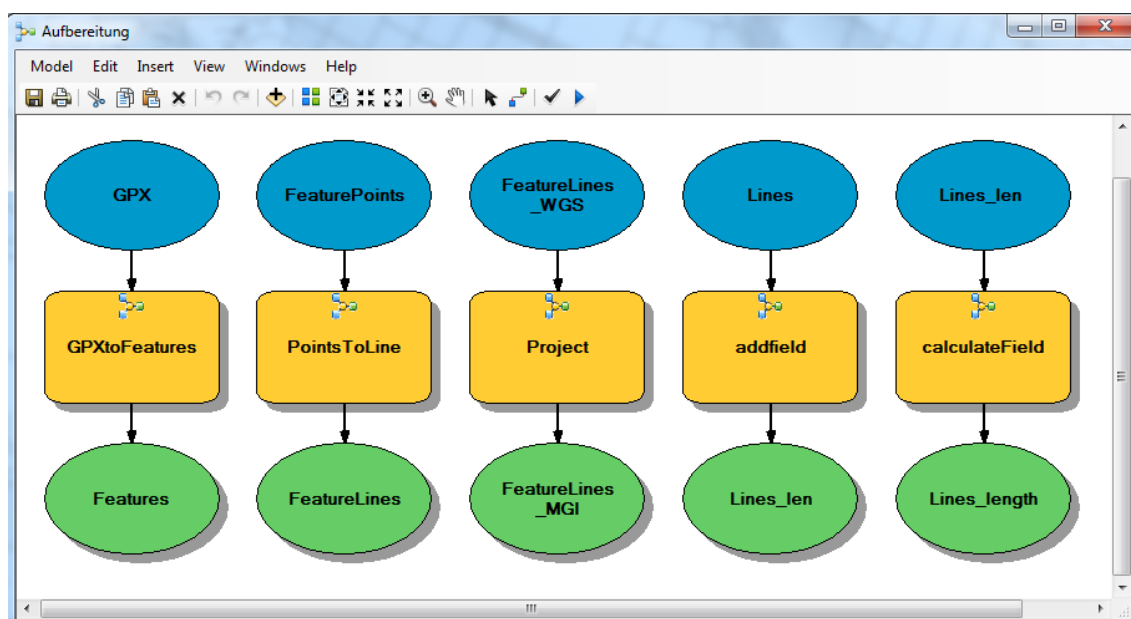


Abbildung 43: ArcMap-Modell zur der Aufbereitung der Track-Daten

Gesamte Bearbeitung einer GPX-Datei bis zur fertigen Datei mit der berechneten Länge
(Quelle: ArcGIS)

Wenn die linienhaften Shape-Dateien in der richtigen Projektion vorliegen und die Länge berechnet wurde, dann müssen die Werte für weitere Analysen nur noch in der Attributtabelle ausgelesen werden.

Für die Erzeugung des angepassten Tracks werden die je Aufnahme abgelaufenen Straßensegmente selektiert und dann exportiert. Die exportierten Segmente werden zusammengefügt, sodass man eine zusammenhängende Linie erhält. Aus dieser Datei kann mit den zuvor beschriebenen Modellen die Länge berechnet und ausgelesen werden.

6.2 Quantitativer Vergleich

Insgesamt erfolgten sieben Aufzeichnungen wo die drei Apps gleichzeitig liefen und es keine größeren Probleme bei der Erfassung gab. Bei einer weiteren Aufnahme wurde die Zeit und die Länge bei der Runtastic-App gespeichert, aber seltsamerweise der Track selbst nicht. Deshalb wird diese Aufzeichnung nicht in der Analyse verwendet, da weder aufgezeichnete Punkte, noch Aufzeichnungsrate erfasst wurden und auch keine visuelle Analyse möglich ist. Schon zuvor wurden zahlreiche einzelne Tests mit den verschiedenen Apps durchgeführt, wodurch schon Kenntnisse gewonnen wurden, die bei den vergleichenden Aufnahmen mit einfließen.

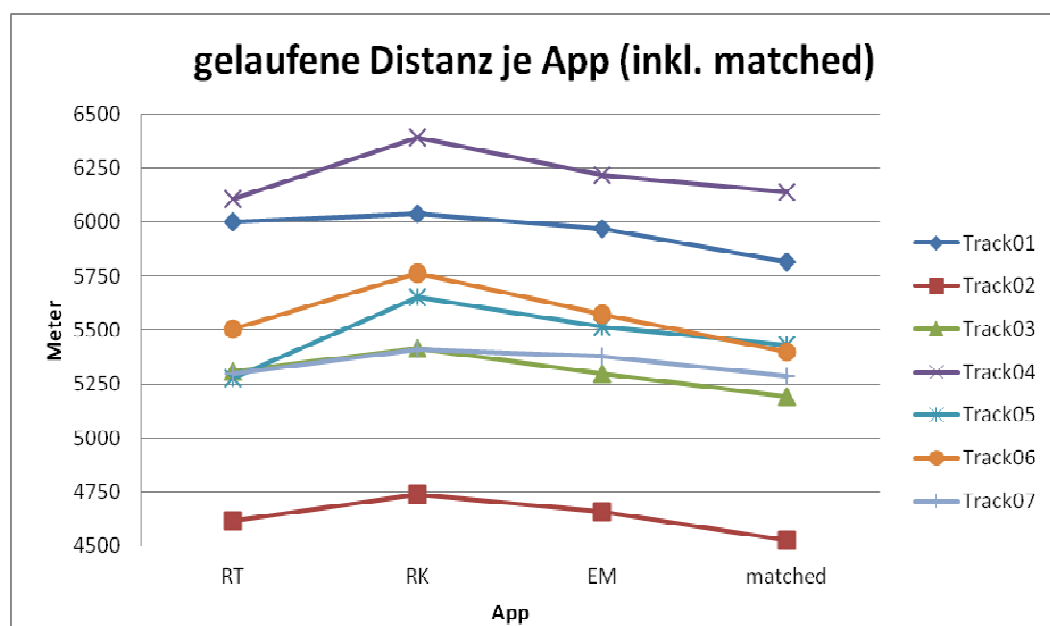
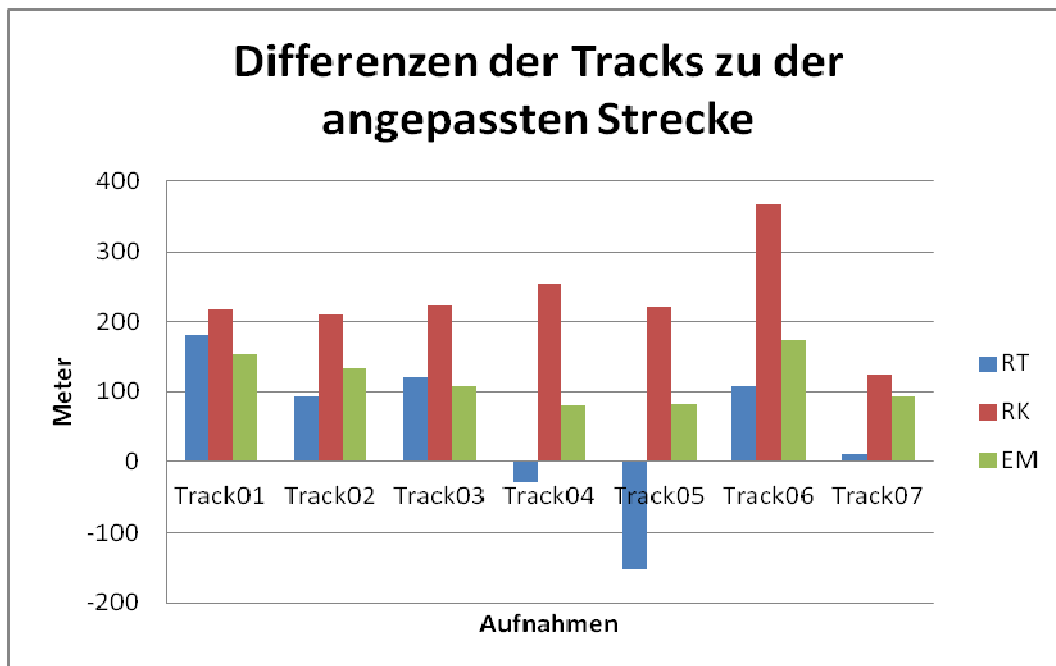


Abbildung 44: Distanz je Track und App

Darstellung aller Tracks inklusive der angepassten Strecke je Track
(Quelle: eigene Darstellung)

Ein Überblick der gelaufenen Strecken zeigt, dass die Distanzen der Aufnahmen in einem Bereich von 4,5 bis 6,5 Kilometer liegen. Runkeeper (RK) zeichnet dabei immer die längste gelaufene Distanz auf. Der angepasste Track (matched) weist dabei mehrheitlich die geringste Distanz auf. Endomondo (EM) und Runtastic (RT) pendeln sich, bis auf zwei Ausnahmen, immer dazwischen ein.

Um einen besseren Überblick über die Abweichungen der Tracks von der angepassten Strecke zu bekommen wurden die Differenzen zu dem angepassten Track berechnet. Dabei haben die Aufnahmen mit RK immer die größten Abweichungen zur angepassten Strecke. Die Abweichungen sind sogar sechsmal über 200 Meter, wohingegen die Differenzen von RT und EM um nie mehr als 200 Meter abweichen.

**Abbildung 45: Differenzen zur angepassten Strecke**

Unterschiede in der Größe der Abweichungen
(Quelle: eigene Darstellung)

In folgender Tabelle werden alle Werte der einzelnen Tracks je App zusammengefasst. Durch Berechnen der Extremwerte und der Summe der Abweichungen wird ein sehr schlechtes Abschneiden von RK gezeigt. Die beiden Apps RT und EM sind annähernd auf Augenhöhe mit einem kleinen Vorsprung für RT.

	Maximum	Minimum	Summe
RT	152	11	694
RK	366	124	1617
EM	174	81	826

Tabelle 4: Extremwerte und Summe der Abweichungen

Zusammenfassung aller Tracks
(Quelle: eigene Darstellung)

Es wurde deutlich, dass Differenzen zu der Distanz des angepassten Tracks bestehen. Nun ergibt sich die Frage wie stark wirken sich diese in prozentueller Hinsicht aus. Deshalb wird der Betrag der Abweichung herangezogen, mit der Gesamtdistanz der angepassten Strecke dividiert und mal 100 multipliziert um die prozentuelle Abweichung auf die Gesamtdistanz zu bekommen.

Die Abweichungen reichen von 0,19% bis 6,29%. Der Mittelwert aller Abweichungen ist 2,57% und bis auf zwei RT-Aufnahmen ist die Distanz der aufgenommenen Tracks

immer größer. Mit fast 4% ist die durchschnittliche Abweichung von RK knapp größer als die der anderen beiden zusammen.

	Track01	Track02	Track03	Track04	Track05	Track06	Track07	Ø
RT	3,11	1,60	2,06	0,50	2,61	1,86	0,19	1,70
RK	3,75	3,63	3,83	4,37	3,80	6,29	2,13	3,97
EM	2,65	2,29	1,86	1,39	1,43	2,99	1,60	2,03

Tabelle 5: Prozentuelle Abweichung auf die Gesamtdistanz

Extremwerte und Durchschnitt je App sind markiert

(Quelle: eigene Darstellung)

Die Positionspunkte sind ein absolutes Maß für die Anzahl der aufgezeichneten Punkte. Dabei hängt die Anzahl grundsätzlich mit der Zeit und der Distanz zusammen. Bei RK und RT trifft das annähernd zu (eine bzw. zwei Ausnahmen). Nur bei EM gibt es diesbezüglich mehrere Abweichungen.

	Track01	Track02	Track03	Track04	Track05	Track06	Track07	Ø
RT	345	253	299	330	295	303	280	301
RK	569	444	506	591	527	527	495	523
EM	470	313	404	430	377	391	392	397

Tabelle 6: Positionspunkte je Track und App

absolute Anzahl der aufgezeichneten Punkte mit dem Durchschnittswert je App

(Quelle: eigene Darstellung)

Es zeigt sich, dass RT generell und im Durchschnitt am wenigsten Punkte erfasst. Als nächstes folgt EM mit nicht ganz hundert Punkten mehr. Deutlich am meisten Punkte werden von RK erfasst. Bei Track02 sieht man deutlich, dass es die kürzeste Strecke ist, indem von allen Apps am wenigsten Punkte erfasst wurden. Die längste Distanz und Zeit weist Track04 auf und nicht Track01.

Die Aufzeichnungsrate lässt sich anhand der aufgenommen Punkte und der gelaufenen Zeit ableiten. Sie ist die Zeit, die vergeht bis im Durchschnitt ein neuer Punkt bestimmt wird. Genauer gesagt ist es die Zeit dividiert durch die Anzahl der aufgezeichneten Punkte. Man spricht von einer hohen Aufzeichnungsrate, wenn der Wert gering ist. Umgekehrt ist ein hoher Wert eine vergleichsweise geringe Aufzeichnungsrate. Bei RK wird somit sehr oft getrackt, im Durchschnitt je Aufzeichnung alle 3,8 bis 4,1 Sekunden. Die anderen zwei Apps weisen im Durchschnitt geringere Raten mit 4,6 bis 5,6 bei EM und 6,4 bis 7,5 bei RT auf. Aufgrund der Tatsache, dass es sich nur um Durchschnittswerte handelt und es bei jeder Aufzeichnung teilweise längere Pausen gibt, ist die Aufzeichnungsrate für die meiste Zeit während einer Aufzeichnung höher.

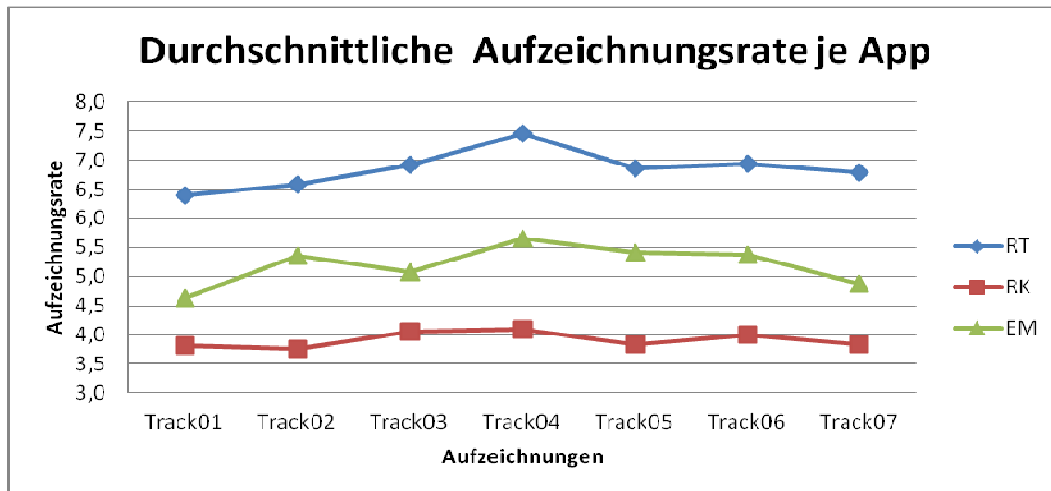


Abbildung 46: Durchschnittliche Aufzeichnungsrate

Berechnung erfolgte je App und Track

(Quelle: eigene Darstellung)

Beim Vergleich von durchschnittlicher Aufzeichnungsrate und den prozentuellen Abweichungen zur angepassten Strecke erweist sich eine geringere Aufzeichnungsrate von Vorteil. RT hat die geringste Aufzeichnungsrate mit fast sieben Sekunden und RK die höchste Aufzeichnungsrate mit fast vier Sekunden. Durch die hohe Aufzeichnungsrate von RK ergeben sich in Summe größere Abweichungen.

	Aufzeichnungsrate	Differenz in %
RT	6,95	1,70
EM	5,10	2,03
RK	3,95	3,97

Tabelle 7: Zusammenhang von Aufzeichnungsrate und prozentueller Differenz

Hohe Aufzeichnungsraten bei den Apps weisen große Distanzabweichungen auf

(Quelle: eigene Darstellung)

Aufgrund der quantitativen Werte lassen sich schon einige Tendenzen aufzeigen, aber für eine zielführende Auseinandersetzung mit diesem Thema ist die folgende visuelle Analyse von ebenso hoher Bedeutung.

6.3 Visuelle Analyse der Tracks

Für die visuelle Analyse werden die mit den drei Apps aufgenommenen Tracks mit der angepassten Strecke in ArcGIS angezeigt und verglichen. Es wird auf auffällige Abweichungen und grobe Fehler eingegangen. Quantitativ wird die Anzahl der Abbiegungen erhoben, da Abbiegungen bei den vorausgehenden Tests oftmals abgeschnitten wurden. Nacheinander werden so die sieben Aufzeichnungen begutachtet,

wobei im Anhang A-G die einzelnen Aufzeichnungen angefügt sind. Bei den folgenden Darstellungen weisen die Apps und die angepasste Strecke jeweils eine bestimmte Farbe auf: RK (rot), EM (grün), RT (blau) und die angepasste Strecke (gelb).

6.3.1 Aufzeichnungen im Detail

Die erste Aufzeichnung zeigt einen sehr geraden Lauf und es ist zum Großteil klar erkennbar wo gelaufen wurde. Bei der Sandleitengasse im Westen des Gebietes findet man ein längeres Stück mit einer Abweichung von 25-30 Meter vor und eine extreme Abweichung von der gelaufenen zur angepassten Strecke ist beim Johann-Nepomuk-Berger-Platz. Dort weichen die Aufzeichnungen mit 30 bis 50 Meter deutlich von der angepassten Strecke ab. Aufgrund der vielen Straßen in dieser Gegend würde es bei einem Map-Matching zu Problemen kommen.



Abbildung 47: Abweichungen bei der ersten Aufzeichnung

Sandleitengasse (links), Johann-Nepomuk-Berger-Platz (rechts)

(Quelle: eigene Darstellung)

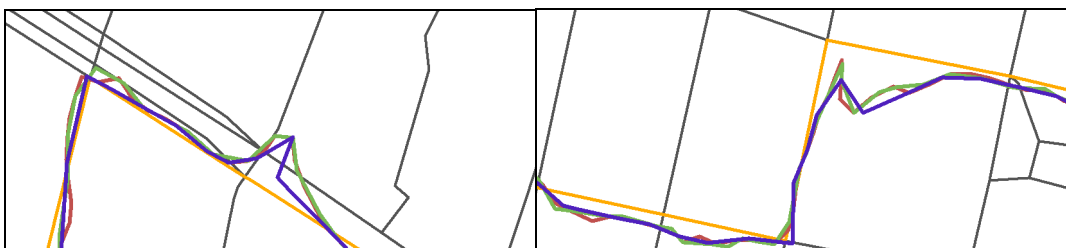


Abbildung 48: Abweichungen bei der zweiten Aufzeichnung

Hernalser Hauptstraße (links), Mariengasse zur Wattgasse (rechts)

(Quelle: eigene Darstellung)

Bei der zweiten Aufzeichnung sieht man eine seltsame Ausbuchtung bei der Hernalser Hauptstraße und bei der Abbiegung von der Mariengasse zur Wattgasse. Ansonsten ist es ein etwas kürzerer Lauf aufgrund von leichtem Regen. Der Lauf weist zwölf Abbiegungen auf und es ist klar erkennbar wo gelaufen wurde.

Die Strecke der dritten Aufzeichnung führt unter anderem durch den Kongresspark. Im Park ist eine wenig zufriedenstellende Abweichung festzustellen, wie auch noch in dem darauf folgenden Bereich in der Sandleitengasse mit einer Abweichung von 30 bis 40 Meter. Weitere starke Differenzen sind beim Manner-Werk und in der Albrechtskreithgasse von bis zu 30 Meter und bei der Steinergasse zur Ottakringer Straße mit 25 bis 30 Meter. Insgesamt weist die Aufzeichnung 14 Abbiegungen auf, die Laufroute ist erkennbar, aber trotzdem ist die Qualität der Tracks wenig zufriedenstellend.

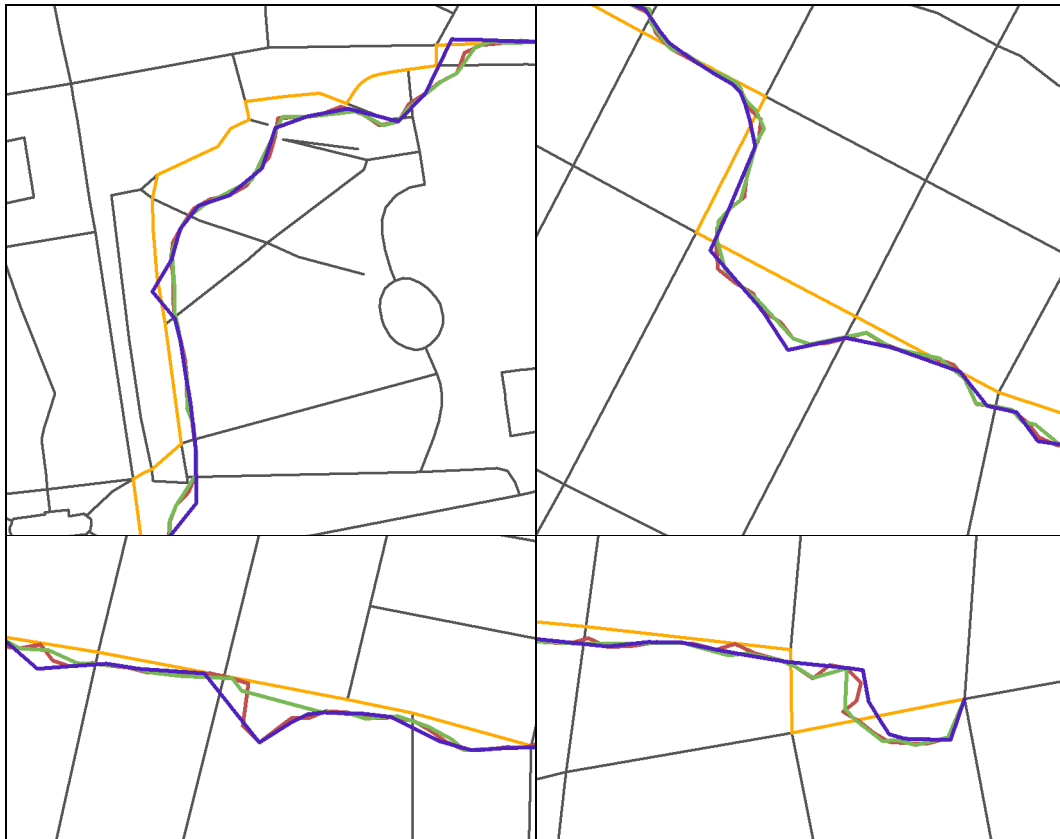


Abbildung 49: Abweichungen bei der dritten Aufzeichnung

Kongresspark (links oben), Albrechtskreithgasse (rechts oben),
Geblergasse beim Manner-Werk (links unten), Ottakringer Straße (rechts unten)
(Quelle: eigene Darstellung)

In der vierten Aufzeichnung wurde die Abbiegung bei der Wattgasse sehr schlecht getrackt und zwar mitten durch zwei Häuserblocks, womit nicht klar ist, wo wirklich gelaufen wurde. Von der Sandleitengasse zur Thaliastraße ist die Abbiegung extrem

abgeschnitten und auch ab der Teichgasse wurden die vielen Abbiegungen schlecht getrackt. Ab der Kreuzung Frauengasse/Ottakringer Straße wurde wieder besser aufgezeichnet. Zu einer Straße zuordnen war der Lauf in diesem Bereich trotzdem. Insgesamt war dieser ein vergleichsweise verwinkelter Lauf mit 21 Abbiegungen.

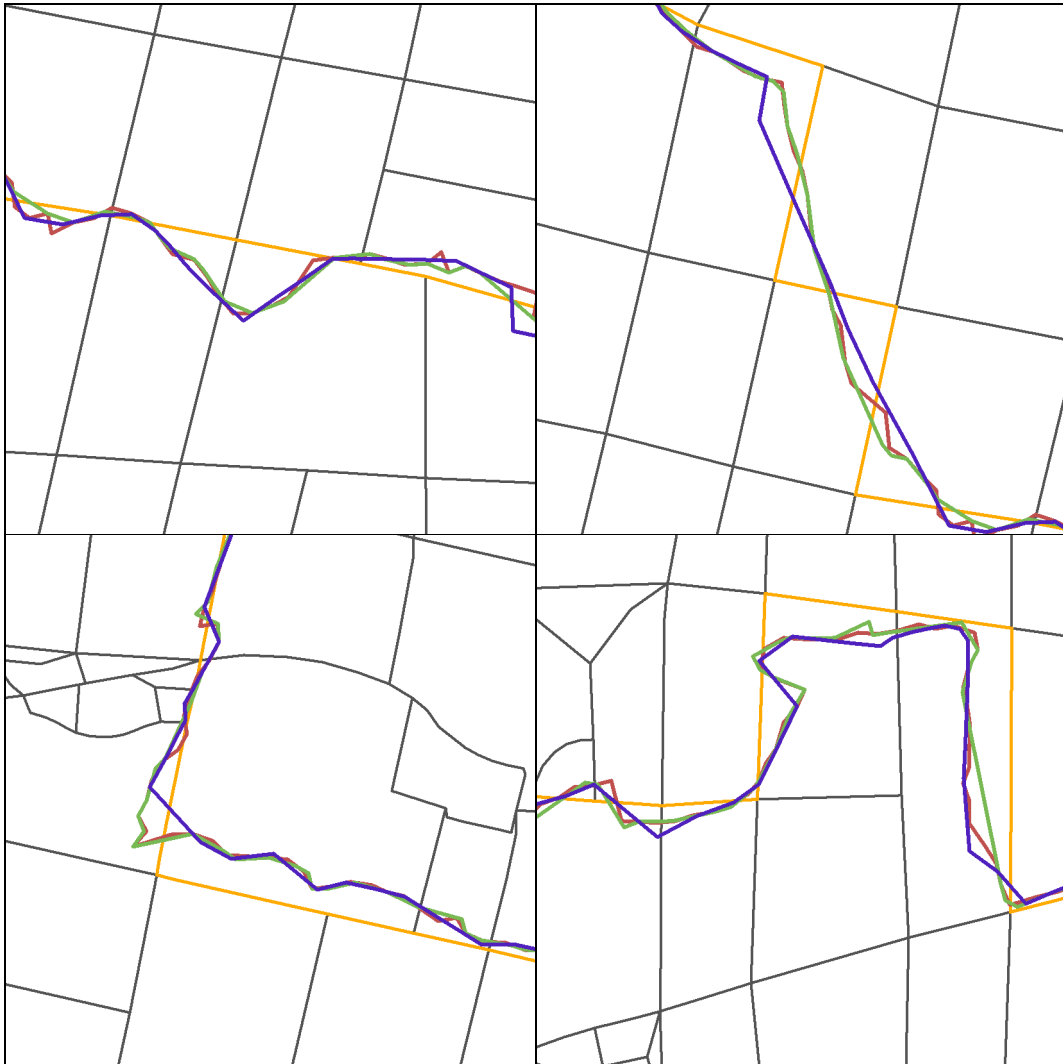


Abbildung 50: Abweichungen bei der vierten Aufzeichnung

Geblergasse beim Manner-Werk (links oben), Abbiegung bei Wattgasse (rechts oben),
Sandleitengasse zur Thaliastraße (links unten), Teichgasse bis Frauengasse (rechts unten)
(Quelle: eigene Darstellung)

Die fünfte Aufzeichnung zeigt eine große Abweichung bei dem verwinkelten Lauf in der Mariengasse. Die Abweichung ist optisch nicht ansprechend und ein automatisches Map-Matching ist vor allem mit RT nur schwer möglich. Kurz vor dem Ende der Strecke ist noch ein seltsamer Fehler in der Haslingergasse. Insgesamt ist es der am stärksten verwinkelte Lauf mit 26 Abbiegungen.

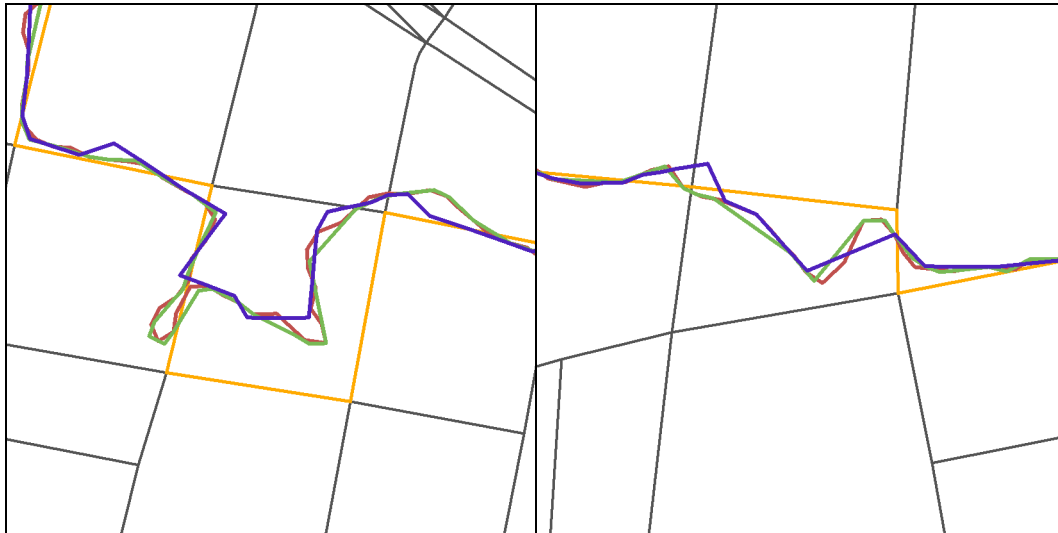


Abbildung 51: Abweichungen bei der fünften Aufzeichnung

Mariengasse (links), Haslingergasse (rechts)

(Quelle: eigene Darstellung)

Bei der sechsten Aufzeichnung sind bei RK ein 40 Meter Ausreißer in der Haslingergasse kurz vor dem Ende und ein Sprung aller Tracks bei der Unterführung bevor es zum Kongresspark hinaufgeht. Die Aufzeichnung hat mit nur zehn Abbiegungen die zweitwenigsten.

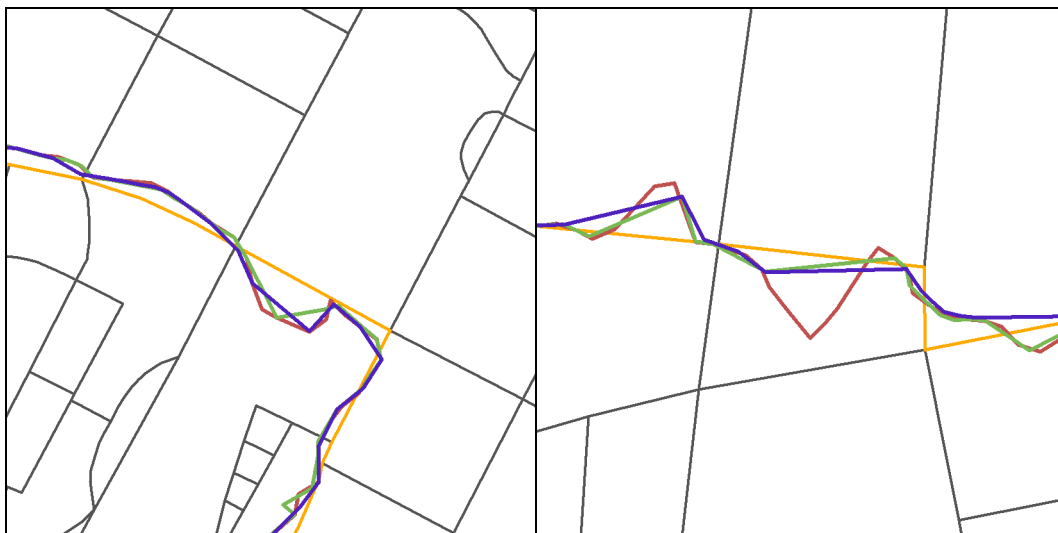


Abbildung 52: Abweichungen bei der sechsten Aufzeichnung

Mariengasse (links), Haslingergasse (rechts)

(Quelle: eigene Darstellung)

In der siebten Aufzeichnung sind 18 Abbiegungen und der gesamte Lauf ist sehr gut erkennbar, teilweise sind Abbiegungen minimal abgeschnitten, aber ansonsten gibt es keine erwähnenswerten Abweichungen.

6.3.2 Generelle Merkmale

Bei der visuellen Analyse zeigt sich, dass die Tracks der drei verschiedenen Apps während einer Aufzeichnung zu sehr ähnlichen Ergebnissen kommen und die minimalen Unterschiede sind aufgrund der jeweiligen Aufzeichnungsrate erklärbar. Die RT-Tracks wirken im Allgemeinen kantiger und häufig werden Abbiegungen abgeschnitten, aber es entstehen genauso weniger Ausreißer. Das liegt auch an der geringeren Aufzeichnungsrate. Desweiteren sind Differenzen der Tracks von bis zu 30 Meter zur Straße als normal anzusehen.

Um der visuellen Analyse eine gewisse Aussagekraft zu verleihen, wird versucht visuelle Merkmale quantitativ zu erfassen und mit einem quantitativen Merkmal zu kombinieren. Dabei wird erhoben, welche Auswirkung die Anzahl der Abbiegungen während einer Aufnahme hat. Es wird die Zahl der Abbiegungen je Track erfasst, um diese mit der Differenz der Tracks zur angepassten Strecke zu vergleichen.

	Track01	Track02	Track03	Track04	Track05	Track06	Track07
Abbiegungen	6	12	14	21	26	10	18
Differenz	154	133	108	81	83	174	93
Differenz (in %)	2,65	2,29	1,86	1,39	1,43	2,99	1,60

Tabelle 8: Abbiegungen und Differenz für EM

Die Zahl der Abbiegungen und die Differenzen (absolut in Meter und relativ in Prozent) für EM
(Quelle: eigene Darstellung)

Um einen besseren Überblick zu erhalten, erfolgt eine Reihung der Abbiegungen und Differenzen. Die Reihung beginnt mit eins bei dem Track mit den geringsten Abbiegungen und endet mit sieben bei der höchsten Anzahl. Bei den Differenzen beginnt die Reihung mit eins bei dem höchsten Wert und endet mit sieben bei dem niedrigsten Wert.

	Track01	Track02	Track03	Track04	Track05	Track06	Track07
Abbiegungen	1	3	4	6	7	2	5
Differenz	2	3	4	7	6	1	5
Differenz (in %)	2	3	4	7	6	1	5

Tabelle 9: Reihung der Abbiegungen und Differenzen für EM

geringe Abbiegung – niedriger Wert; hohe Differenz – niedriger Wert
(Quelle: eigene Darstellung)

Die Tabelle 9 zeigt einen Zusammenhang zwischen den Merkmalen Abbiegungen und Differenz zum angepassten Track für EM auf. Sowohl für die absoluten Werten als auch für die Prozentwerte. Für EM gilt somit, je mehr Abbiegungen, desto geringer die Anzahl der Abweichungen.

Zur Beantwortung der Frage, ob sich auch bei anderen Apps ein Zusammenhang zwischen diesen Merkmalen zeigt, wurde bei den anderen zwei Apps auch untersucht. Wieder wurden die absoluten und relativen Differenzen begutachtet.

	Track01	Track02	Track03	Track04	Track05	Track06	Track07
Abbiegungen	6	12	14	21	26	10	18
Differenz	181	93	120	-29	-152	108	11
Differenz (in %)	3,11	1,60	2,06	0,50	2,61	1,86	0,19

Tabelle 10: Abbiegungen und Differenz für RT

Die Zahl der Abbiegungen und die Differenzen (absolut in Meter und relativ in Prozent) für RT
(Quelle: eigene Darstellung)

Es erfolgt eine Reihung für eine bessere Betrachtung. Dabei ist auch bei RT eine Korrelation zwischen der Anzahl der Abbiegungen und der Differenz zum angepassten Track festzustellen. Hierbei jedoch nur für die absolute Abweichung, da bei RT die Tracks sowohl größere als auch geringere Distanzen als der angepasste Track aufweisen. Nur bei den drei Tracks mit den zweit bis viert meisten Abbiegungen sind Unterschiede in der Reihung bzgl. der Differenz, wobei diese gering sind und die Anzahl der Abbiegungen nur eine Differenz von vier ausmacht.

	Track01	Track02	Track03	Track04	Track05	Track06	Track07
Abbiegungen	1	3	4	6	7	2	5
Differenz	1	4	2	6	7	3	5
Differenz (in %)	1	5	3	6	2	4	7

Tabelle 11: Reihung der Abbiegungen und Differenzen für RT

geringe Abbiegung – niedriger Wert; hohe Differenz – niedriger Wert
(Quelle: eigene Darstellung)

Bei RT liefern somit nicht die meisten Abbiegungen das beste Ergebnis in Bezug auf die Distanz. Die Aufnahmen zeigen, dass 18 bis 21 Abbiegungen optimale Distanzergebnisse liefern.

Bei der Betrachtung der RK-Daten konnten keine Zusammenhänge festgestellt werden, aber dort waren die Differenzen zur angepassten Strecke generell größer und am wenigsten genau.

7 Diskussion

In der Diskussion werden die in Kapitel 3 und Kapitel 4 recherchierten Methoden und Algorithmen mit denen im Empirischen- und Analyse-Teil gegenübergestellt. Durch die Verknüpfung der Theorie mit der praktischen Erforschung kann vor allem die erste Frage vollständig beantwortet werden. Diese lautet:

- Welche Methoden bieten Potential um sich an den „möglichst perfekten Track“ (*mpT*) anzunähern?

Für einen *mpT* spielen viele Faktoren eine entscheidende Rolle. Am Beginn steht die Erfassung der Tracks, welche anhand verschiedener Methoden erfolgen kann. Vor allem die Genauigkeit der Positionsbestimmung ist von Bedeutung für einen *mpT* und dabei liefern GNSS, insbesondere GPS als einzelne Systeme die besten Ergebnisse. Noch besser ist eine Kombination von verschiedenen Technologien, sogenannte hybride Systeme. Aufgrund der guten Leistung von GPS, ist eine Kombination von GPS mit anderen Systemen zu verwenden. Diese sind A-GPS, WiFi-Assisted-GPS und GPS mit DR-Systemen. Abgesehen von GPS zeigen sich WiFi-Systeme im urbanen Raum, aufgrund ihrer hohen Dichte als zukunftsweisend. Erst bei Verbesserung der Genauigkeit werden WiFi-Systeme eine echte Konkurrenz zu GPS.

Nach der Aufnahme kann mittels verschiedener Map-Matching-Algorithmen eine Anpassung erfolgen, um einen *mpT* zu erreichen. Dafür eignen sich grundsätzlich inkrementelle Methoden mit Look-Ahead, die auf topologischen, wahrscheinlichkeitstheoretischen und erweiterten Analysemethoden basieren.

Es ist ausreichend, wenn bei dem Track eine Nachbearbeitung nach der Aufzeichnung erfolgt. Während der Untersuchung traten vereinzelt starke Fehler auf, die mit einem automatischen Map-Matching-Algorithmus schwer korrekt anpassbar sind. Eine Editiermöglichkeit nach der automatischen Anpassung oder der Vorschlag von verschiedenen Routen ist daher zu überlegen.

Durch die Einflussfaktoren auf die Aufzeichnung und die Map-Matching-Methoden kann ein theoretischer *mpT* betrachtet werden. Bei Untersuchung der Apps wird ein praktischer *mpT* erreicht, wobei dieser in Bezug auf eine Eignung für Map-Matching und für eine sofortige Analyse unterschieden wird. Beim Map-Matching ist eine hohe Aufzeichnungsrate mit vielen aufgezeichneten Positionen wichtig, wodurch sich einzelne Ausreißer kaum auswirken. Für eine sofortige Analyse sind die Länge und grobe Abweichungen ausschlaggebend. Aus ästhetischer Sicht sind grobe

Abweichungen schlecht und haben zumeist negative Auswirkungen auf die Länge der gelaufenen Strecke.

Um einen Vergleich der gelaufenen Distanzen anzustellen, ist es notwendig die wahre Distanz der gelaufenen Strecke zu kennen. Für die Berechnung der wahren Strecke wurde die oftmals generalisierte Straßengeometrie angenommen und daraus ergibt sich die zweite Fragestellung:

- Welche Anforderungen sind an vorhandene Straßengeometrie im urbanen Raum für die Messung von Laufdistanzen zu stellen?

Straßengeometrie ist meist ein generalisiertes Abbild der Realität. Zumeist nur eine Liniengeometrie für verschiedene Straßenarten, egal ob ein kleiner Weg, eine enge Gasse oder eine breite Straße. Die Geometrie bildet im Normalfall die Straßenmitte ab. Da dort ein Laufen nicht möglich ist, ergibt sich automatisch eine Abweichung von der Laufstrecke zur Geometrie. Die Positionsbestimmungsmethoden sind im urbanen Raum nicht genau genug, sodass diese geringe Abweichung nicht relevant ist. Weitere Bereiche, wie Parks, Plätze und Fußwege zwischen Häusern weisen nicht immer die Geometrie auf, die wirklich gelaufen wird oder sind grundsätzlich nicht ausreichend erfasst.

Es sind nicht nur Anforderungen an die Straßengeometrie, sondern auch an die aufnehmenden Personen zu stellen, sodass diese der erfassten Straßengeometrie angepasst laufen. Dadurch ist ein Laufen in Parkgebieten mit niedrigerer Qualität bezüglich der Geometrie wenig sinnvoll. Das Fehlen von Geometrie ist problematisch, da deshalb ein Distanzvergleich nicht realisierbar ist. Wenn die Straßengeometrie jedoch genau bekannt ist, kann diese auch manuell ergänzt werden.

Für eine Weiterentwicklung Richtung Map-Matching von absolvierten Tracks ist es notwendig, dass die Vollständigkeit von Straßengeometrie im Fußgängerbereich steigt und bei Plätzen muss überlegt werden, wie die Geometrie navigationstechnisch sinnvoll erfasst wird.

Unter der Voraussetzung, dass Strecken gelaufen wurden, wo die Datenqualität der Straßengeometrie und das dazu passende Laufverhalten gegeben sind, wird die Genauigkeit der Tracks untersucht:

- Kann mittels GIS-Analyse ein entscheidender Distanzunterschied zwischen aufgenommenen und angepassten Tracks festgestellt werden.

Zur Beantwortung dieser Fragestellung musste zuerst eine Anpassung der Aufzeichnungen an die vorhandene Straßengeometrie erfolgen. Die Anpassung erfolgte

manuell durch Selektion der abgelaufenen Straßengeometrien. In Kapitel 6 wurden die Streckenlängen der drei Apps mit jenen der angepassten Strecke verglichen und dabei wurden folgende Rückschlüsse gezogen:

- Die Aufzeichnungen sind im Allgemeinen länger als die angepasste Geometrie
- Runkeeper hat die größten und Runtastic die geringsten Abweichungen
- Die Unterschiede zeigten sich im Zusammenhang mit der Aufzeichnungsrate. Je höher die Aufzeichnungsrate, desto stärker sind die Abweichungen.
- Die Anzahl der Abzweigungen verknüpft mit der prozentuellen Abweichung spielte bei Endomondo und Runtastic eine Rolle, bei Endomondo auch die absolute Abweichung mit der Anzahl der Abzweigungen.

Bei Gleichsetzung der angepassten Geometrie mit der wahren Strecke, glauben die Benutzer der Apps, dass sie schneller unterwegs sind, als es wirklich der Fall ist. Das basiert auf der länger aufgezeichneten Strecke. Somit ist eine Anpassung sinnvoll, damit den Benutzern nicht eine bessere Leistung vorgetäuscht wird.

8 Literatur

- [ABI-12] ABI Research: Smartphone Health Applications Will Exceed \$400 Million Annually by 2106. 23.11.2011. [http://www.abiresearch.com/press/3815-Smartphone+Health+Applications+Will+Exceed+\\$400+Million+Annually+by+2016](http://www.abiresearch.com/press/3815-Smartphone+Health+Applications+Will+Exceed+$400+Million+Annually+by+2016), 15.07.2012
- [ALT-12] Alternativeto.net: <http://alternativeto.net/category/sport-and-health>, 29.08.2012
- [ANA-12] ANAIS: The best fitness apps to help you get in shape before summer. In: Withings Blog, 07.05.2012. <http://blog.withings.com/en/2012/05/07/the-best-fitness-apps-to-help-you-get-in-shape-before-summer>, 18.07.2012
- [ARC-12] ArcGIS 10.1 Tutorial: <http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#//001200000050000000>, 22.09.2012
- [BAC-11] BACCI Giacomo, et.al: Satellite-Based Navigation Systems. In Satellite and Terrestrial Radio Positioning Techniques. S.25. 2011
- [BEL-10] BELL Scott, JUNG Wook Rak und KRISHNAKUMAR Vishwa: WiFi-based enhanced positioning systems: accuracy through mapping, calibration, and classification. In: Proceedings of the 2nd ACM SIGSPATIAL International Workshop on Indoor Spatial Awareness (ISA '10). New York, USA, S.3-9, 2010
- [BOW-08] BOWCOCK Jennifer, POPE Simon: iPhone 3G on Sale Tomorrow. In: Apple Press Info, 10.07.2008: <http://www.apple.com/pr/library/2008/07/10iPhone-3G-on-Sale-Tomorrow.html>, 20.10.2012
- [BRA-05] BRAKATSOULAS Sotiris et.al: On map-matching vehicle tracking data. In Proceedings of the 31st international conference on Very large data bases (VLDB '05). VLDB Endowment. S.853-864. 2005
- [CHE-05] CHENG Yu-Chung et.al: Accuracy characterization for metropolitan-scale Wi-Fi localization. In Proceedings of the 3rd international conference on Mobile systems, applications, and services (MobiSys '05). ACM, New York, NY, USA, S.233-245. 2005
- [CHE-11] CHEN Daniel et.al: Approximate Map Matching with respect to the Fréchet Distance. In Proceedings of the 13th Workshop on Algorithm Engineering and Experiments (ALENEX '11), San Francisco, California. S.75-83. 2011
- [CON-09] CONSTANDACHE Ionut et.al: EnLoc: Energy-Efficient Localization for Mobile Phones. ;In Proceedings of INFOCOM. S.2716-2720. 2009
- [DOL-12] DOLAN, Brian. Just launched: Our 2012 Consumer Health Apps Report . In: MobiHealthNews. 17.07.2012. <http://mobihealthnews.com/17925/just-launched-our-2012-consumer-health-apps-report/>, 20.10.12
- [EAR-12] Early Innovations: <http://www.earlyinnovations.com/gpsphotolinker/about-gpx-and-tcx-file-formats.html>, 01.09.2012
- [END-12a] Endomondo Fitness-App: <http://blog.endomondo.com>, 30.08.2012
- [END-12b] Endomondo-Logo: <http://blog.endomondo.com/press/press-kit-2/>, 20.10.2012

- [FAR-11] FARAGO, Peter: The Great Distribution of Wealth Across iOS and Android Apps. In: Flurry Blog, 31.07.2012. <http://blog.flurry.com/default.aspx?Tag=App%20Store>, 21.10.2012
- [GFK-12] GfK: Demand for smartphones higher than ever before in Europe. 13.02.2012. http://www.gfk.com/imperia/md/content/presse/pressemeldungen_2012/20120213_gfk_smartphones_europe_2011_efinal.pdf, 11.07.2012
- [GPX-12] GPX to Features Tool. In: ArcGIS Resource Center. 05.07.2010. <http://resources.arcgis.com/gallery/file/geoprocessing/details?entryID=73DDDDC4-1422-2418-7F82-92D8B8ED294B>, 01.09.2012
- [GUP-11] GUPTA Nisheeth, JILLA Sruti: Digital Fitness Connector: Smart Wearable System. In Proceedings of the 2011 First International Conference on Informatics and Computational Intelligence (ICI '11). IEEE Computer Society, Washington, DC, USA, S.118-121. 2011.
- [ITW-12] ITWissen: TDOA (time difference of arrival). In: ITWissen: <http://www.itwissen.info/definition/lexikon/TDOA-time-difference-of-arrival.html>, 20.10.2012
- [JAH-12] JAHNS Ralf-Gordon, GAIR, Grace. US\$ 1.3 billion: The market for mHealth applications in 2012. In: Research2Guidance, 25.01.2012. <http://www.research2guidance.com/us-1.3-billion-the-market-for-mhealth-applications-in-2012s>, 20.10.2012
- [JAM-11] JAMAN Asad Uj: Sensors in Smartphones. In: Mobile Device Insight, 01.12.2011. <http://mobiledeviceinsight.com/2011/12/sensors-in-smartphones>, 27.09.2012
- [KLO-12] KLOSOWSKI Thorin: Five Best Smartphone Running Apps. In: lifehacker, 29.07.2012. <http://lifehacker.com/5929709/five-best-smartphone-running-apps>, 16.10.2012
- [KML-12] KML-Dokumentation: <https://developers.google.com/kml/documentation>, 19.09.2012
- [KOL-12] KOLLMAR, Marcel: Die besten Lauf-Apps im Test bei Joggen-Online. In: Joggen-Online, 22.08.2012. <http://www.joggen-online.de/blog/lauf-app-test.html>, 16.10.2012
- [LAU-10] LAU Sian Lun, DAVID Klaus: Movement recognition using the accelerometer in smartphones. In: Future Network and Mobile Summit. S.1-9. 2010.
- [LOU-09] LOU Yin et.al: Map-matching for low-sampling-rate GPS trajectories. In Proceedings of the 17th ACM SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information Systems (GIS '09). ACM, New York, USA, S.352-361. 2009
- [MAN-09] MANOHARAN Sundar: On GPS Tracking of Mobile Devices. In: Proceedings of the 2009 Fifth International Conference on Networking and Services (ICNS '09). IEEE, Computer Society, Washington, USA, S.415-418. 2009.
- [MIK-10] MIKALAJUNAITE Egle. 500m people will be using healthcare mobile applications in 2015. In: Research2Guidance, 10.11.2012. <http://www.research2guidance.com/500m-people-will-be-using-healthcare-mobile-applications-in-2015/>, 21.10.2012

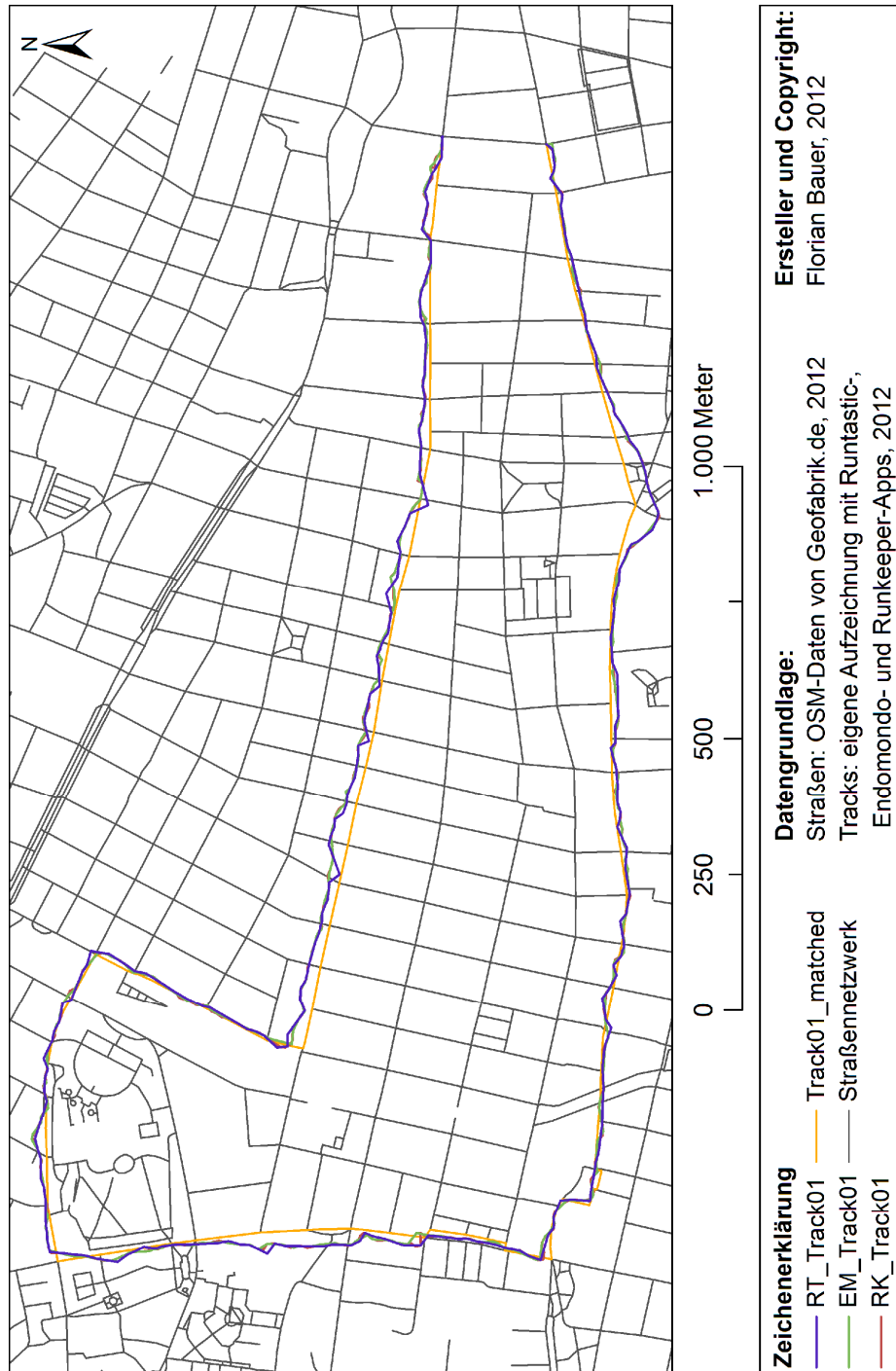
-
- [NIE-12] NielsenWire. State of the Appnation – A Year of Change and Growth in U.S. Smartphones. In: NielsenWire, 16.05.2012. http://blog.nielsen.com/nielsenwire/online_mobile/state-of-the-appnation-%E2%80%93-a-year-of-change-and-growth-in-u-s-smartphones, 20.10.2012
- [OGD-12] Open Government Data Wien: <http://data.wien.gv.at/katalog/bezirks Grenzen.html>, 21.09.2012
- [OLI-12b] OLIVER Sam: Google Android Store reaches 25 billion downloads, 675,000 apps. In: Apple Insider. 26.09.2012. <http://appleinsider.com/articles/12/09/26/google-android-reaches-25-billion-downloads-675000-apps>, 21.10.2012
- [ONG-12] ONG Josh: Apple's App Store reaches 25 billion download milestone. In: Apple Insider. 03.03.2012. http://appleinsider.com/articles/12/03/03/apples_app_store_reaches_25_billion_download_milestone, 21.10.2012
- [OSM-12] OpenStreetMap Copyright: <http://www.openstreetmap.org/copyright>, 22.09.2012
- [PCM-12a] PCMAG-Lexikon: Definition of Smartphone. http://www.pcmag.com/encyclopedia_term/0,2542,t=Smartphone&i=51537,00.asp, 18.10.2012
- [PCM-12b] PCMAG-Lexikon: Definition of Android. http://www.pcmag.com/encyclopedia_term/0,1237,t=Android&i=58426,00.asp, 18.10.2012
- [PCM-12c] PCMAG –Lexikon: Definition of Google Play. http://www.pcmag.com/encyclopedia_term/0,1237,t=Google+Play&i=64138,00.asp, 18.10.2012
- [PAP-09] PAPANDREA Michela: Multimodal Ubiquitous Localization: a GPS/WiFi/GSM-based lightweight solution. In: Proceedings of WOWMOM. S.1-3. 2009
- [QUD-07] QUDDUS Mohammed A.: Current map-matching algorithms for transport applications: State-of-the art and future research directions. In Transportation Research Part C: Emerging Technologies. S.312-328. 2007
- [ROS-12] ROSENBERG Jamie: Google Play hits 25 billion downloads. In: Official Android Blog. 26.09.2012. <http://officialandroid.blogspot.co.at/2012/09/google-play-hits-25-billion-downloads.html>, 21.10.2012
- [RUK-12a] Runkeeper Fitness-App: <http://www.aboutus.org/Runkeeper.com>, 30.08.2012
- [RUK-12b] Runkeeper Support-Bereich: <http://support.runkeeper.com/entries/21777873-editing-activities-almost-impossible>, 30.08.2012
- [RUK-12c] Runkeeper-Logo: <http://d2b4ufapzmnxpw.cloudfront.net/build/3554/static/kronos/images/logo-login.png>, 20.10.2012
- [RUT-12a] Runtastic Fitness-App: <http://www.runtastic.com/de/ueber>, 30.08.2012
- [RUT-12b] Runtastic-Logo: http://mediacenter.runtastic.com/en/wp-content/uploads/2012/08/runtastic_Logo_4c_gradient_glossy1.png, 20.10.2012
- [SEX-12] Sextante QuantumGIS Plugin: <http://www.sextantegis.com/downloads.html>, 22.09.2012
- [SIM-12] SIMS Tom: Don't Just Map Your Run, Earn Points for It. In: The New York Times, 10.08.2012. http://www.nytimes.com/2012/08/11/sports/11iht-athlete11.html?_r=0, 16.10.2012
-

- [SMA-12] SMALLMAN Guy: The benefit of apps in healthcare. In: The Guardian Healthcare Network, 21.08.2012: www.guardian.co.uk/healthcare-network/2012/aug/21/apps-healthcare-tablets-mobile-smartphones, 20.10.2012
- [STR-08] STRANG Thomas et.al: Lokalisierungsverfahren. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Institut für Kommunikation und Navigation. Oberpfaffenhofen. 2008
- [TCX-12] TCX-Schema: <http://www8.garmin.com/xmlschemas/TrainingCenterDatabasev2.xsd>, 19.09.2012
- [MCC-11] MCCARTY Brad: The History of the Smartphone. In: The Next Web, 06.12.2011: <http://thenextweb.com/mobile/2011/12/06/the-history-of-the-smartphone/>, 20.10.2012
- [TOP-12a] Offizielle Homepage von GPX: <http://www.topografix.com/gpx.asp>, 30.08.2012
- [TOP-12b] GPX-Schema: http://www.topografix.com/GPX/1/1/#type_metadataType, 17.09.2012
- [VIE-12] ViennaGIS: <http://www.wien.gv.at/viennagis>, 21.08.2012
- [WAN-08] WANG Shu et.al: Location based services for mobiles: Technologies and standards. iEEE International Conference on Communication (ICC). Beijing. 2008
- [WAT-10] von WATZDORF Stephan, MICHAHELLES Florian: Accuracy of Positioning Data on Smartphones. In: Proceedings of the 3rd International Workshop on Location and the Web (LocWeb '10). ACM. New York. USA. 2010
- [WEY-08] WEYN Maarten, SCHROO YEN Frederik: A WiFi Assisted GPS Positioning Concept. In: Proceeding of the Third European Conference on the Use of Modern Information and Communication Technologies. Gent. Belgium. 2008
- [WIL-11] WILLAREDT Jonas: WiFi and Cell-ID based positioning - Protocols, Standards and Solutions. In: SNET, 2011.
- [XIA-12] XIAN Chen: [UI Basics] Accelerometer, gyroscope, and compass. In: A Designer with Dirty Hands. 09.04.2012. <http://xiangchen.wordpress.com/2012/04/09/accelerometer-gyroscope-and-compass/>, 27.09.2012
- [YIN-04] YIN Huabei, WOLFSON Ouri: A Weight-based map matching metohod in moving objects databases. In: Proceedings of the 16th international Conference on Scientific and Statistical Database Managment. S.437-438. 2004
- [ZTE-12] ZTE Blade. In: IntoMobile: <http://www.intomobile.com/phones/zte/blade>, 18.09.2012

Anhang

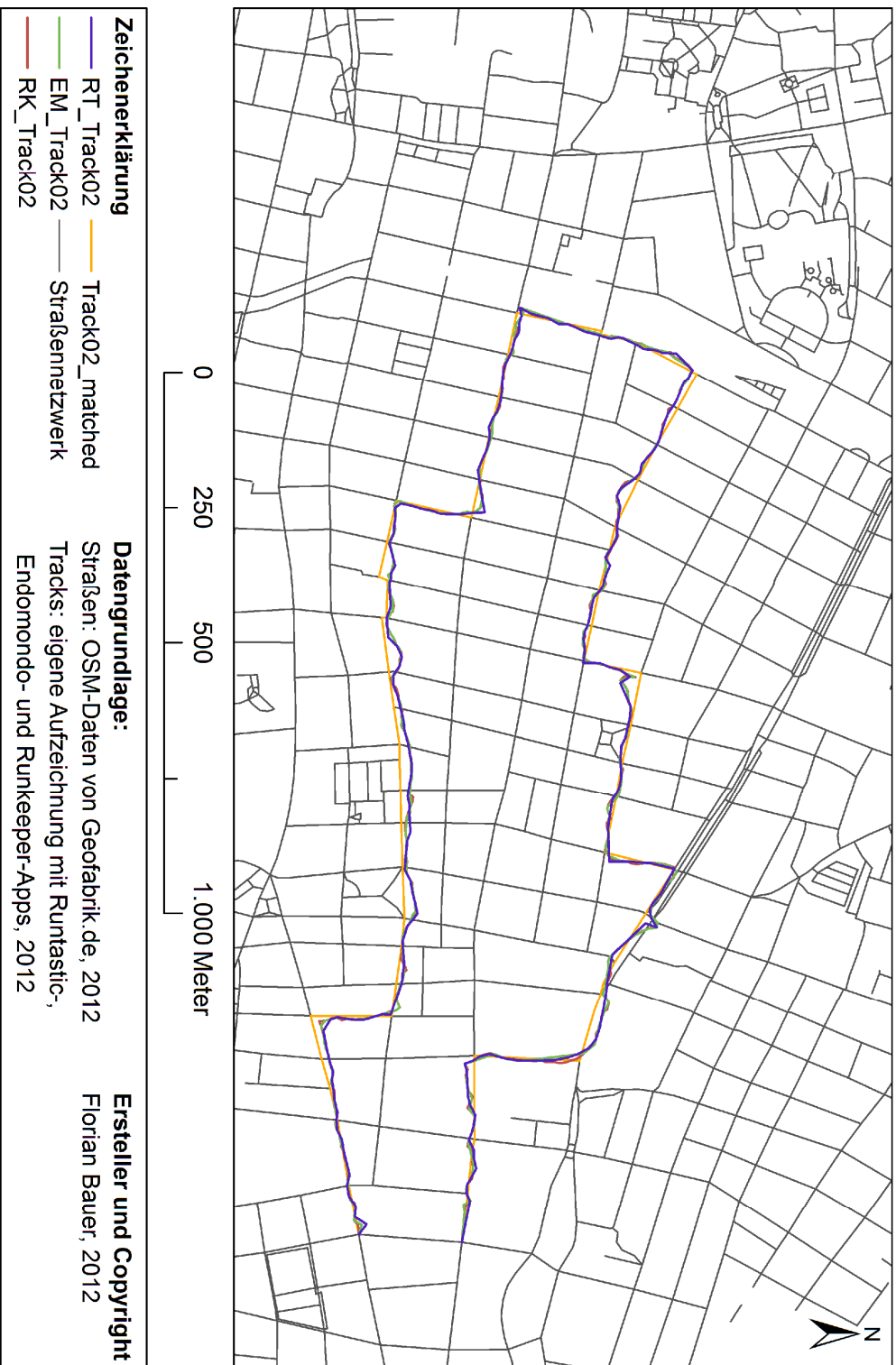
Anhang A: Erste Aufzeichnung

Erste Aufzeichnung im Aufnahmegebiet, 2012



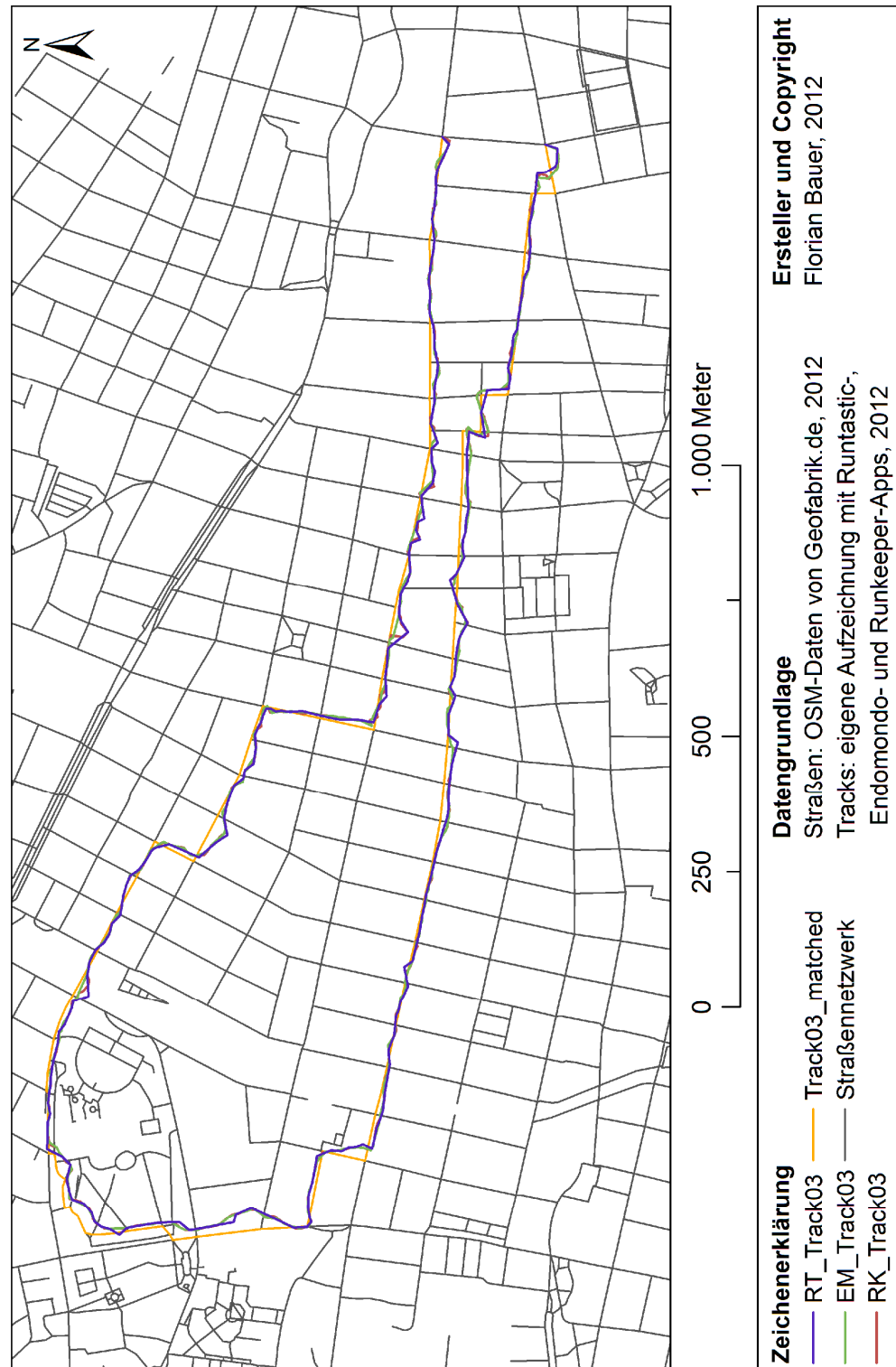
Anhang B: Zweite Aufzeichnung

Zweite Aufzeichnung im Aufnahmegebiet, 2012



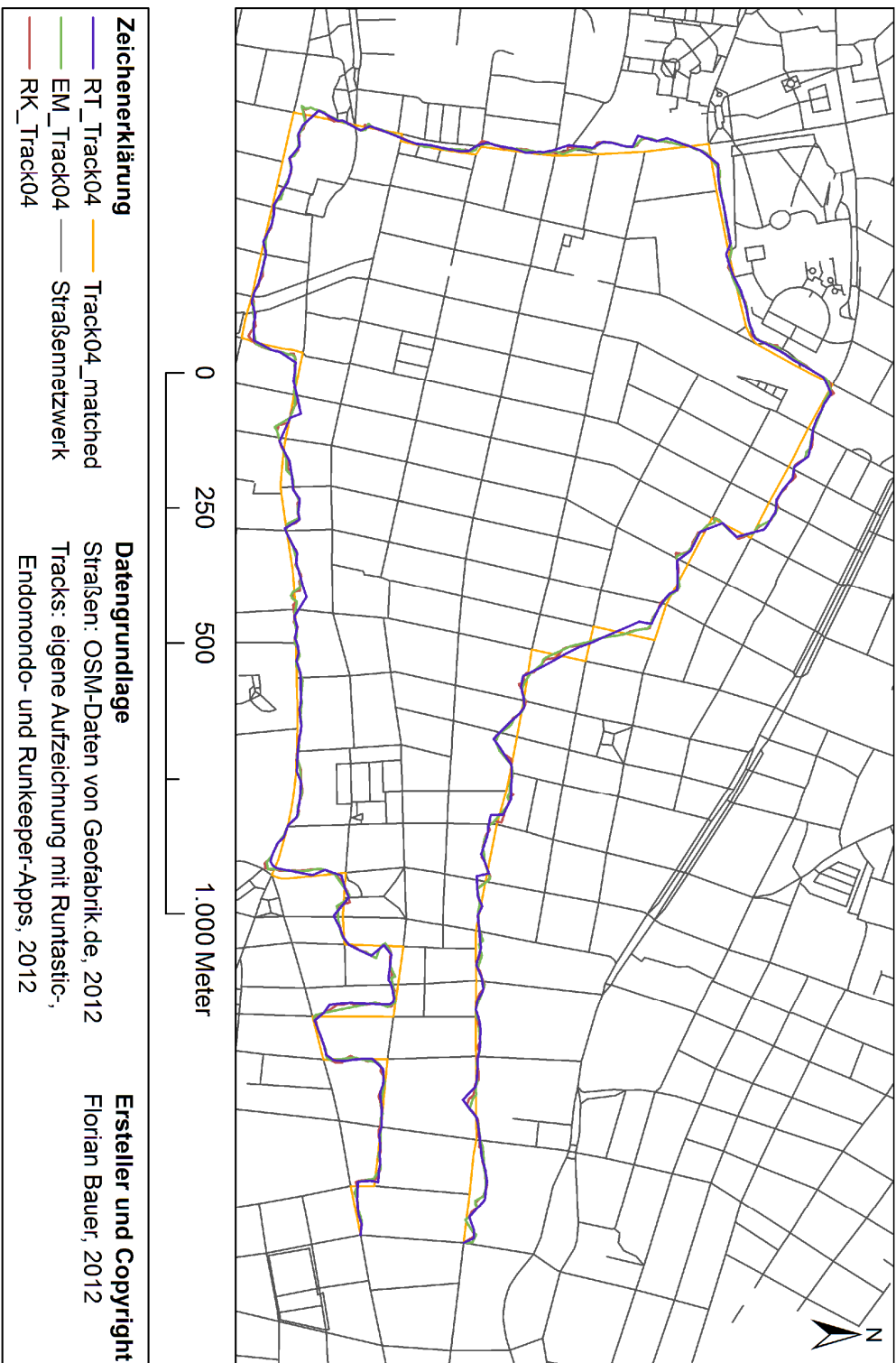
Anhang C: Dritte Aufzeichnung

Dritte Aufzeichnung im Aufnahmegebiet, 2012



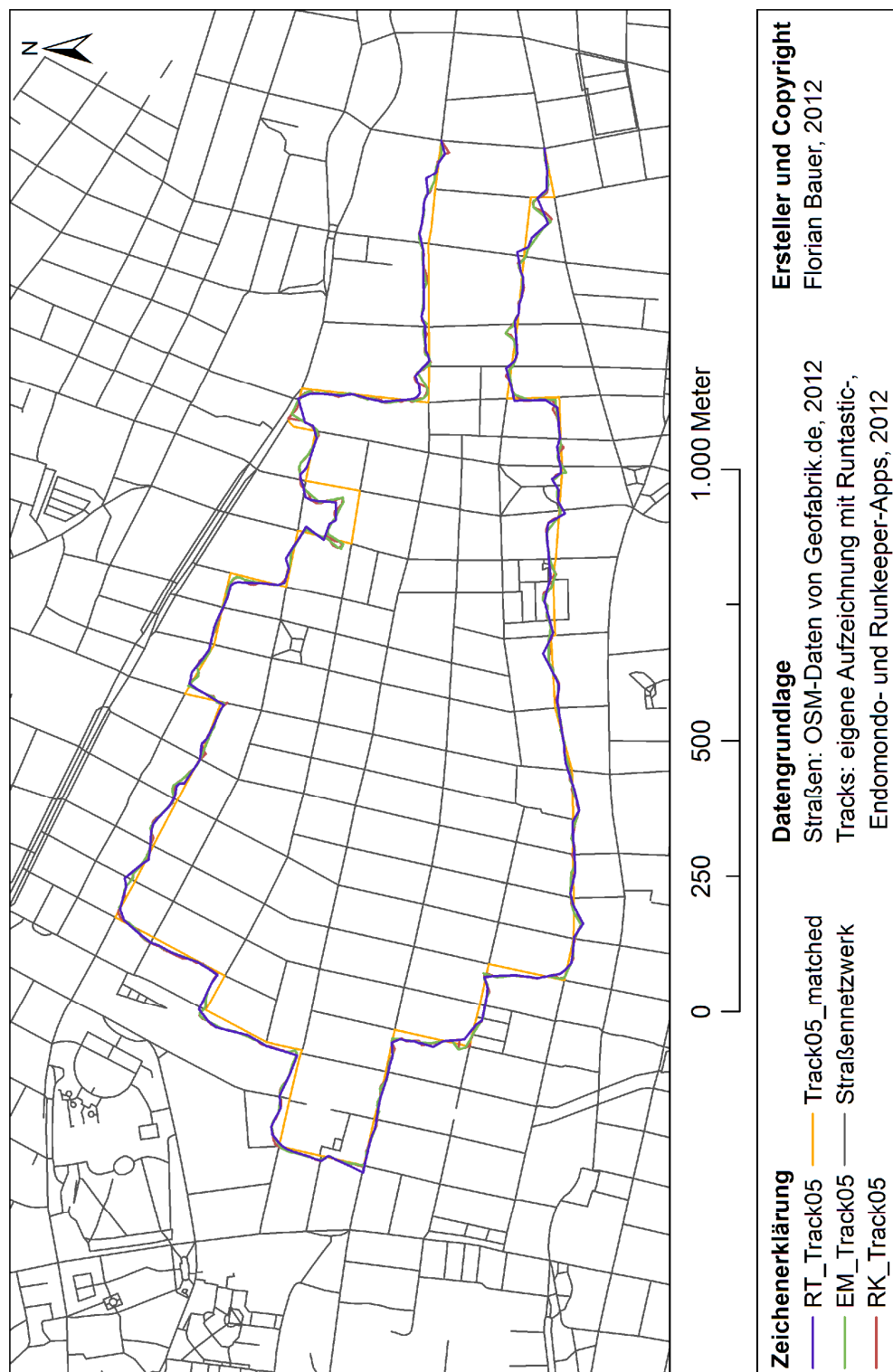
Anhang D: Vierte Aufzeichnung

Vierte Aufzeichnung im Aufnahmegebiet, 2012



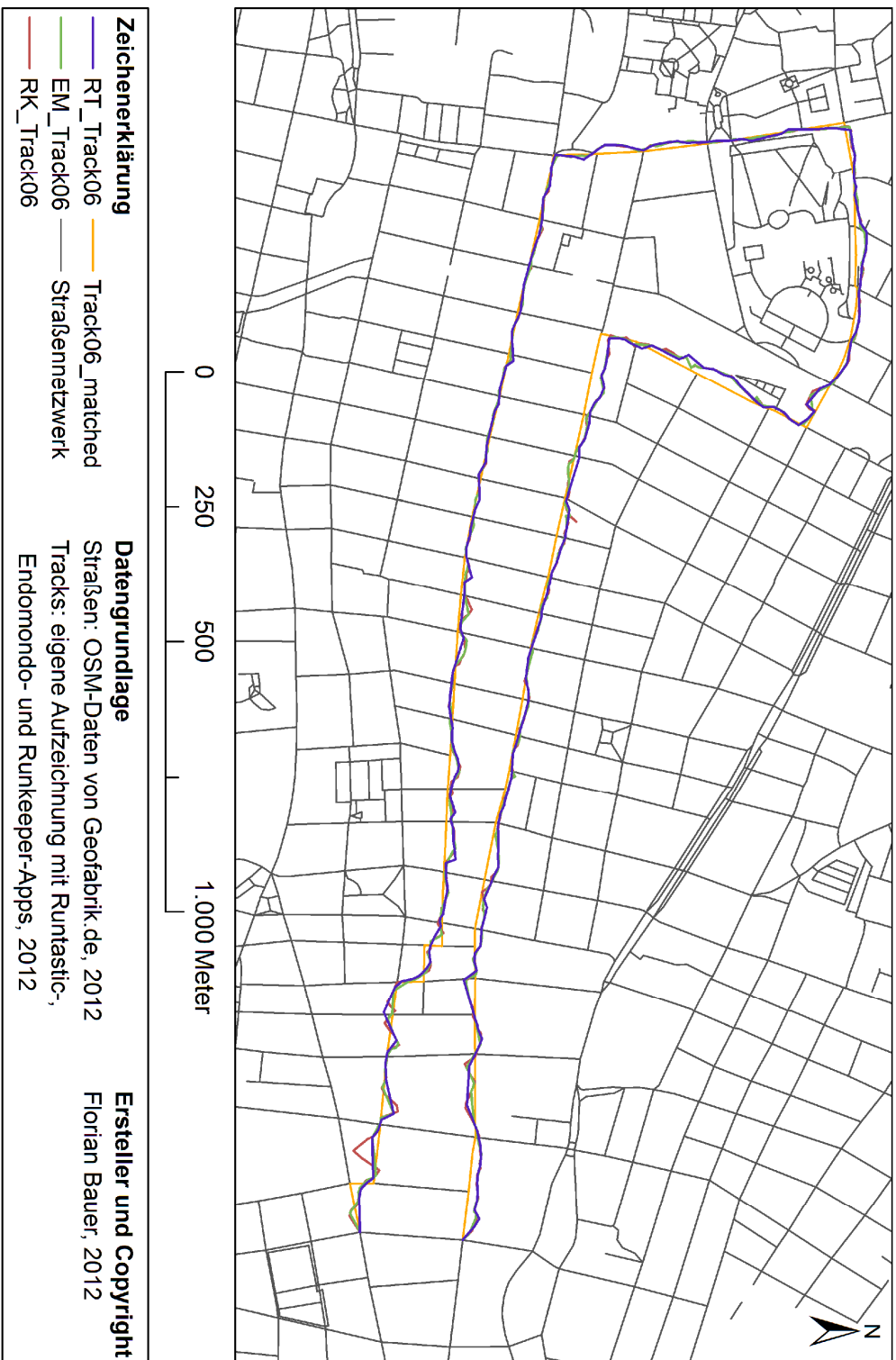
Anhang E: Fünfte Aufzeichnung

Fünfte Aufzeichnung im Aufnahmegebiet, 2012



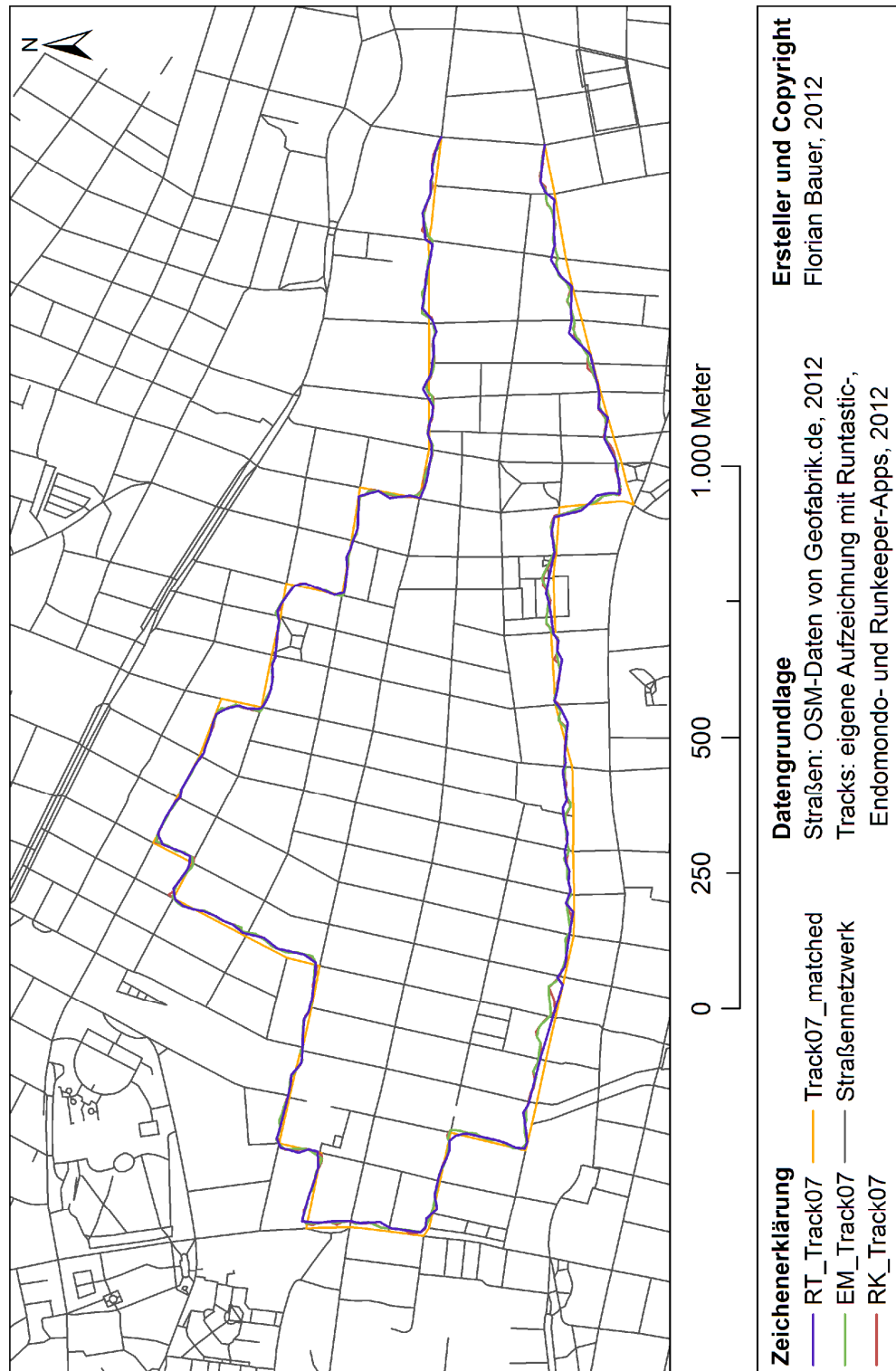
Anhang F: Sechste Aufzeichnung

Sechste Aufzeichnung im Aufnahmegebiet, 2012



Anhang G: Siebte Aufzeichnung

Siebte Aufzeichnung im Aufnahmegebiet, 2012



Zusammenfassung und Ausblick

Am Beginn wurde die Entwicklung von Smartphone-Apps allgemein und die der Fitness-Apps im Speziellen beschrieben. Dabei wurden verschiedene Faktoren, wie die Anzahl der angebotenen Apps und die Anzahl der heruntergeladenen Apps herangezogen um die Entwicklung der verschiedenen Applikationsplattformen zu beschreiben. Die sehr gute Wirtschafts-Prognose für Gesundheits- und Fitness-Apps zeigt ein großes Potential für diese Art der Apps auf. Bei der weiteren Auseinandersetzung mit den Fitness-Apps zeigt sich, dass für den möglichst perfekten Track viele Faktoren entscheidend sind.

Schon bei der Aufnahme selbst ist es wichtig, dass man optimale Einstellungen in Bezug auf die Positionsbestimmung vornimmt. Der theoretische Teil liefert deshalb Grundlagen der mathematischen Modelle, die hinter den Positionierungstechnologien stehen und es wird das Spektrum der Möglichkeiten aufgezeigt. Speziell im urbanen Raum in den Häuserschluchten ist GPS alleine nicht ausreichend, weshalb eine Kombination mit anderen Systemen sinnvoll ist. A-GPS, WiFi-Assisted-GPS, DR Systeme und Galileo bieten sich als Erweiterung bzw. in Kombination mit GPS an.

Die Anpassung von Tracks an vorhandene Straßengeometrie basiert auf Map-Matching. Für die Unterscheidung wurden die allgemeinen Map-Matching-Algorithmen mittels verschiedener Kriterien gegliedert und vorhandene Algorithmen entsprechend zugeordnet. Auch die Anzahl der Positionspunkte, die für die Anpassung verwendet werden ist ein entscheidendes Kriterium, deshalb erfolgte eine Einteilung in lokale, inkrementelle und globale Algorithmen. Das Ende des theoretischen Teils verbindet Map-Matching mit Fitness-Apps und dient als Grundlage für die empirische Untersuchung.

Der praktische Teil widmete sich den Smartphone-Fitness-Apps. Zu Beginn erfolgte eine Auswahl der zu verwendenden Apps aufgrund intensiver Literatur- und Internetrecherche. Insgesamt wurden drei Apps für die weitere Analyse ausgewählt. Für die Aufnahme wurden Aufnahmeeigenschaften und Aufnahmeeinstellungen verwendet. Die Aufnahmeeigenschaften sind unter anderem das Untersuchungsgebiet im 16. und 17. Wiener Gemeindebezirk und der Bereich von 4,5 bis 6,5 km, in dem die Streckenlänge liegen muss. Unter den Aufnahmeeinstellungen werden das verwendete Smartphone, zu beachtende Dinge vor der Verwendung und zeitgleich Verwendung von drei Apps zusammengefasst.

Die ausgewählten Apps Runkeeper, Endomondo und Runtastic wurden allgemein und speziell anhand der Bereiche App, Webinterface und Datenexport analysiert. Aufgrund verschiedener Bewertungskriterien wurden diese benotet, wobei Runtastic als Testsieger hervor ging.

Für die detaillierte Analyse der Datenqualität der Aufzeichnungen erfolgte die Aufbereitung der Daten für den späteren Vergleich. Bei der Aufbereitung wurden verschiedene Möglichkeiten mit QGIS und ArcGIS aufgezeigt. Aufgrund der besseren automatisierbaren Aufbereitung wird ArcGIS der Vorzug gegeben. Die Vergleiche wurden jeweils für die drei aufgenommen Tracks und dem angepassten Track einer Aufzeichnung durchgeführt. Die Anpassung erfolgt entsprechend der Straßengeometrie, welche auf OSM-Daten basiert. Zuerst erfolgte ein quantitativer Vergleich in Bezug auf die Distanzunterschiede. Aufgrund des quantitativen Vergleichs konnten erste Erkenntnisse gewonnen werden, jedoch war es für eine detailliertere Analyse unumgänglich die Tracks visuell zu untersuchen. So wurden vereinzelt starke Abweichungen erkannt, die teilweise dazu führten, dass eine automatische Anpassung anhand von Map-Matching nicht mehr möglich gewesen wäre. Zusätzlich wurde durch die visuelle Analyse des quantitativen Merkmals der Abzweigungen eine Korrelation mit der Größe der Abweichung für zwei der drei Apps festgestellt.

Für weitere Forschungen gibt es in dem Themenbereich der Arbeit genügend Möglichkeiten und auch die Entwicklung wird im Bereich der Positionierungsmethoden und Map-Matching-Algorithmen weiter voranschreiten. Untersuchungen sind speziell in folgenden Bereichen sinnvoll:

- Unterschiede in der Datenqualität der Tracks aufgrund der verwendeten Sensoren
- genauere Untersuchung der Aufzeichnungsrate
- praktische Umsetzung eines einfachen Map-Matching-Algorithmus

Im Hinblick auf die Datenqualität der Tracks sind auch die verschiedenen vom Smartphone verwendeten Sensoren maßgebend. Bei den eigenen Aufnahmen wurden immer alle Sensoren verwendet. Jedoch ist bei größerer Anzahl von Aufnahmen ein Austesten von Unterschieden bei Verwendung von verschiedenen Sensoren möglich (GPS, WiFi, GSM).

Die in der Arbeit verwendete Aufzeichnungsrate war nur ein durchschnittlicher Wert aller Aufzeichnungen für die jeweilige App. Deshalb ist die Aufzeichnungsrate durch einen automatisierten Prozess detailliert auszuwerten. Durch die neuen Aspekte werden Erkenntnisse gewonnen in welchem Bereich eine gute Aufzeichnungsrate liegt und

durch welche Faktoren teilweise längere Pausen zwischen zwei Aufzeichnungspunkten entstehen.

Eine Motivation war es eine eigene automatische Anpassung der aufgezeichneten Tracks durchzuführen, jedoch hat sich diese Angelegenheit nach ersten Versuchen als sehr komplex herausgestellt. Nichtsdestotrotz ist die praktische Umsetzung eines Map-Matching-Algorithmus eine notwendige Aufgabe und als ein zukünftiges Projekt vorstellbar.

Zusätzlich zu den drei Bereichen sind Anpassungsmöglichkeiten im Webinterface, eine einfache Möglichkeit die aufgenommenen Tracks zu verbessern. Dabei wurde auf die Editierfunktion bei Runkeeper hingewiesen, die jedoch noch am Beginn ihrer Entwicklung steht. Seit kurz vor Ende des Verfassens der Arbeit gibt es auch bei Runtastic eine Editierfunktion der aufgezeichneten Tracks. Diese ist ausgereifter als die von Runkeeper, jedoch ist auch hier eine automatische Anpassung noch nicht möglich. Für die Distanzmessung der wahren Strecke ist jedoch sinnvoll, da man den Track beliebig anpassen kann.

Lebenslauf

::: Persönliche Daten

Vor- und Zuname: Florian Bauer
Adresse: Bergsteiggasse 7/1/2/9, 1170 Wien
Telefonnummer: +43 660 5548717
E-Mail: florianbauer@gmx.at
Geburtsdaten: 7. Dezember 1984, Wels
Familienstand: ledig
Nationalität: Österreich

::: Ausbildung

seit 07.2009 Studienzweig „Kartographie und Geoinformation“
Teilbereiche: Geodatenerfassung, Geoinformationsverarbeitung,
Kartographische Gestaltungs- und Entwurfslehre, Methoden und
Techniken

seit 10.2006 Geographie-Studium, Universität Wien
Gliederung in Humangeographie, Physiogeographie,
Kartographie und Geoinformation und wissenschaftliche
Techniken.

09.2005 – 05.2006 Präsenzdienst, Hessenkaserne Wels

1999 – 2005 HTBLA Leonding für EDV und Organisation, Leonding
EDV-technische und betriebswirtschaftliche Ausbildung

1995 – 1999 Sporthauptschule, Lambach

1990 – 1995 Franz-Keim Schule, Stadl-Paura

::: Berufserfahrung

seit 09.2009 TeleAtlas Österreich / TomTom ZNL Österreich

- Durchführung folgender Arbeiten vorwiegend mit ArcGIS
 - o Aufbereitung und Generierung geographischer Daten
 - o Kontrolle der Datenqualität von vorhandenen geographischen Daten und gegebenenfalls Korrektur dieser
 - o Durchführung von Analysen zur Weiterentwicklung von Daten
- Abwicklung administrativer Tätigkeiten

09.2009 Deutscher Geographentag, Wien
Support im EDV-Bereich vor und während der Veranstaltung

::: Praktika & Tutorien

10.2009 – 02.2012 Tutor für Lehrveranstaltungen im Bereich „GIS- und Multimedia“
und „Fuzzy Logic“

- praktische Unterstützung der Studierenden
- Korrektur von Übungsaufgaben
- Aufbereitung von geographischen Datensätzen

07.2003 Fronius, Thalheim bei Wels
EDV-Abteilung

07.2002 Airtool MaschinenhandelsgesmbH & Co KG, Lambach
Büroarbeit

::: IT-Kenntnisse

PC-Kenntnisse: ArcGIS, QuantumGIS, Adobe Photoshop, Adobe Director, MS-Office

Programmiersprachen: Python, HTML, Javascript, Java, C#

::: Sprachen

Deutsch (Muttersprache)

Englisch (Verhandlungssicher)

::: fachspezifische Interessen

seit 10.2008 EGEA – european geography students association
Teilnahme an Kongressen (Workshops, Trainings und Vorträge)
Exchanges (mit anderen Städten)

::: Referenzen

Andreas Riedl (Diplomarbeitsbetreuer)
Universität Wien
Institut für Geographie und Regionalforschung
andreas.riedl@univie.ac.at
+43 1 4277 48642

Franz-Stefan Weigl (Vorgesetzter bei TomTom)
TomTom ZNL Österreich
Regional Manager CEE-SEE
franz-stefan.weigl@tomtom.com
+43 1 502 7920

Ich versichere:

- dass ich die Diplomarbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfe bedient habe.
- dass ich dieses Diplomarbeitsthema bisher weder im In- noch im Ausland (einer Beurteilerin/ einem Beurteiler zur Begutachtung) in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe.
- dass diese Arbeit mit der vom Begutachter beurteilten Arbeit übereinstimmt.

Datum

Unterschrift