

Erfassung und Darstellung von Läuferbewegungen und Läuferdichten während eines Orientierungslaufwettkampfes



Masterarbeit Herbstsemester 2012

Geomatik und Planung MSc

Leitung

Prof. Dr. Lorenz Hurni

Autor

Michael Cantoni

Postmatte 31

6462 Seedorf

cantonim@student.ethz.ch

Betreuung

Lorenzo Oleggini

Thomas Stüdeli

Abgabedatum

28.01.2013

ETH

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

IKG

Institut für Kartografie
und Geoinformation

Vorwort

Als mich Lorenzo Oleggini im Mai des letzten Jahres das erste Mal fragte, ob ich Interesse hätte, eine Masterarbeit im Zusammenhang mit Orientierungslauf zu schreiben, war ich zuerst etwas skeptisch. Ich hatte den Eindruck, als ob das Thema „Orientierungslauf“ zu wenig wissenschaftlich und deshalb nicht unbedingt geeignet sei für eine Masterarbeit. Da eine Masterarbeit doch einen wichtigen Teil des Studiums darstellt, sollte sie sich schon auf einem akademischen Level befinden. Je mehr ich mich jedoch mit dem Thema auseinandersetzte und nochmals überlegte, welche Zwecke das Schreiben einer Masterarbeit hat, desto interessierter wurde ich an der Durchführung einer Masterarbeit im Zusammenhang mit Orientierungslauf. Da ich selbst Orientierungslauf betreibe, interessierte mich das Thema natürlich von Anfang an. Für meine Masterarbeit wollte ich auch unbedingt ein Thema wählen, das mich interessiert und an dem ich Lust habe zu arbeiten. Da sich die Arbeit über vier Monate erstreckt, wäre es suboptimal, wenn das Thema nach wenigen Wochen schon keinen Spass mehr machen würde. In diesem Falle käme einem die Zeit sicherlich wie eine Ewigkeit vor und es wäre wohl schwierig, eine gute Arbeit zu verfassen. Aus Interessensgründen und weil ich erkannte, welche Untersuchungen sich mit dieser Arbeit durchführen lassen, habe ich mich schlussendlich entschieden, meine Masterarbeit im Zusammenhang mit Orientierungslauf zu schreiben.

Während des Schreibens dieser Masterarbeit haben mich mehrere Personen tatkräftig unterstützt, an denen ich an dieser Stelle Danke sagen möchte. Anfangen möchte ich beim Institut für Kartografie und Geoinformation sowie Prof. Dr. Lorenz Hurni, die mir eine moderne Infrastruktur zum Schreiben der Arbeit zur Verfügung gestellt haben. Ein riesiges Dankeschön geht an meine Betreuer Lorenzo Oleggini und Thomas Stüdeli, die meine Arbeit erst ermöglicht haben und mir während der Arbeit immer mit Rat und Tat zur Seite standen. Ein Dank geht auch an die Organisatoren des 10. Nationalen Orientierungslauf in S-chanf für die Erlaubnis meine Laufanalyse an dem von ihnen organisierten Wettkampf durchzuführen. Danken möchte ich auch allen Läuferinnen und Läufer, die Daten für meine Arbeit geliefert haben. Zum Schluss geht mein Dank an alle, die in irgendwelcher Form zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Zusammenfassung

Die Durchführung von Orientierungsläufen verursacht je nach Geländetyp und Veranstaltungsgrösse eine mehr oder weniger grosse Belastung auf Fauna und Flora. Um diese Belastung zu lenken respektive zu reduzieren, existieren verschiedene Arten von Massnahmen zur Läuferlenkungen (Leitlinien, Pflichtstrecken, Sperrgebiete etc.). Damit überprüft werden kann, ob die Lenkungsmassnahmen greifen, muss das Läuferverhalten bekannt sein. Diese Arbeit knüpft an diesem Punkt an und untersucht Varianten zur Untersuchung des Läuferverhaltens und deren Darstellung.

Im ersten Teil dieser Arbeit zeigt ein Vergleich von GPS-Tracking und Routenaufzeichnung von Hand (RouteGadget) auf, wie gut die von Hand aufgezeichneten Daten mit den GPS-Daten übereinstimmen. Dazu werden zuerst die absolute und die relative Genauigkeit von GPS-Daten sowie die Punktdichte von RouteGadget-Daten untersucht. Diese Untersuchung kommt zum Schluss, dass RouteGadget-Daten genügend gut mit den GPS-Daten übereinstimmen, dass sie für wissenschaftliche Analysen verwendet werden können.

Im zweiten Teil wird eine Dichtekarte erstellt, sowie Kriterien für eine optimale Darstellung von Läuferbewegungen und Läuferdichten während eines Orientierungslaufwettkampfes erarbeitet. Dazu werden zuerst verschiedene existierende Verfahren zur Erstellung einer Dichtekarte untersucht und bewertet. Anschliessend wird eine eigene Methode nach dem Vorbild von „Ein literarischer Atlas Europas“ entworfen. Diese Methode arbeitet mit verschiedenen grossen Pufferzonen und Gewichtungen. Zum Schluss werden Kriterien für eine optimale Darstellung von Läuferbewegungen und Läuferdichten während eines Wettkampfes erarbeitet. Konkret wird untersucht, wie viele Daten pro Ranglistendrittel in jeder Kategorie benötigt werden, um eine stimmige Dichtekarte des gesamten Wettkampfes herstellen zu können. Aus diesen Untersuchungen resultiert, dass aus dem letzten Ranglistendrittel mehr Daten benötigt werden, als aus den ersten zwei Ranglistendrittel zusammen.

Abstract

Depending on the type of terrain and on the number of runners, orienteering competitions may originate a more or less important stress for the fauna and the flora. In order to reduce the stress, different measures (guidelines, prohibited area) can be adopted by the organizers. In order to evaluate the concrete efficacy of these measures, a better understanding of the runners' behaviour during the competition is necessary. Based on these considerations, this thesis analyses different possibilities for monitoring and visualizing the runner behaviour in the forest.

In the first part of this thesis the GPS-tracking and RouteGadget-data are compared in order to identify and describe differences and consistencies. In a first step the absolute and relative accuracy of GPS-data as well as the point density of RouteGadget-data are analysed. These analyses confirm a high correspondence of the RouteGadget- and GPS-data, allowing RouteGadget-data to be used for scientific analysis of the runners' behaviour and densities.

In the second part of the thesis a density map is produced and criteria for an optimal representation of runners' displacements and densities during an orienteering competition are elaborated. In a first step existing methods for producing density maps are compared and evaluated. Afterwards, an own representation is proposed based on an approach suggested as part of the project "A Literary Atlas of Europe". This method is based on the adoption of multiple ring buffer and different weighting. For the elaboration of runner visualization criteria an analysis based on the event's results is carried out. Concretely, the number of data from different parts of the ranking list necessary in order to produce a correct density map of the whole competition is investigated. This analysis concludes that more data from the last third of the ranking list than from the first two thirds is necessary in order to generate a representative density map.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort.....	I
Zusammenfassung	II
Abstract.....	III
Inhaltsverzeichnis	IV
Abbildungsverzeichnis.....	VI
Tabellenverzeichnis	VII
Abkürzungsverzeichnis	VIII
1 Einleitung	1
1.1 Ausgangslage.....	1
1.2 Zielsetzung	2
1.2.1 Vergleich von GPS-Tracks und RouteGadget-Daten	2
1.2.2 Darstellung von Läuferbewegungen und Läuferdichten	2
1.3 Inhaltsübersicht.....	3
2 Grundlagen, Methoden und Vorgehen.....	4
2.1 GPS.....	4
2.1.1 Geschichtliche Entwicklung	4
2.1.2 GPS-Sportuhren und -Tracker	5
2.2 RouteGadget	8
2.2.1 Dateien.....	9
2.3 Dichtekarten.....	9
2.3.1 Erstellungsvarianten	10
2.4 Vorgehen	12
2.4.1 Datenakquisition.....	12
2.4.2 Vergleich von GPS- und RouteGadget-Daten.....	14
2.4.3 Erstellung einer Dichtekarte	20
3 Vergleich von GPS- und RouteGadget-Daten	24
3.1 Genauigkeit der GPS-Daten	24
3.1.1 Testgebiete.....	24
3.1.2 Absolute Genauigkeit	25
3.1.3 Relative Genauigkeit	27

3.2 Punktdichte von RouteGadget-Daten	27
3.3 Übereinstimmung von GPS- und RouteGadget-Daten.....	28
3.3.1 Übereinstimmung von GPS- und RouteGadget-Daten im Vergleich mit der Punktdichte, Bahnlänge und Postenanzahl	28
3.3.2 Einfluss der Kartengenauigkeit	30
3.3.3 Zeitliche Variabilität der RouteGadget-Daten.....	31
3.4 Zwischenfazit von GPS- und RouteGadget-Daten	32
4 Erstellung einer Dichtekarte	33
4.1 Vergleich von verschiedenen Methoden	33
4.1.1 Liniendichte.....	33
4.1.2 Kerneldichte	34
4.1.3 Methode Jarkko Ryyppö.....	36
4.1.4 Methode nach dem Vorbild von „Ein literarischer Atlas Europas“.....	37
4.1.5 Vor- und Nachteile der Methoden auf einen Blick.....	38
4.2 Kriterien für die Erstellung einer Dichtekarte	38
5 Schlussfolgerung und Ausblick	41
5.1 Schlussfolgerung	41
5.2 Ausblick.....	42
Anhang A: PHP-Skript von Jarkko Ryyppö (modifiziert)	43
Anhang B: Veränderung der absoluten Genauigkeit in den Testgebieten über die Zeit	47
Anhang C: Dichtekarte nach der Methode Jarkko Ryyppö (verkleinerte Darstellung).....	49
Anhang D: Dichtekarte nach dem Vorbild von „Ein literarischer Atlas Europas“ (verkleinerte Darstellung)	50
Literaturverzeichnis	51

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Genauigkeiten von GPS-Sportuhren im Wald (Niemeyer & Reusse, 2007)	5
Abbildung 2: Genauigkeiten von GPS-Sportuhren und Mobiltelefonen im Wald (Maker, 2011).....	6
Abbildung 3: Das Hauptfenster von RouteGadget	8
Abbildung 4: Raster-Zelle und die kreisförmige Umgebung für die Berechnung der Liniendichte (Esri, 2012 a).....	10
Abbildung 5: Linie mit der Kernel-Oberfläche in der Nachbarschaft einer Rasterzelle (Esri, 2012 b).....	11
Abbildung 6: Datensammlung am 7. Nat. OL in S-chanf.....	13
Abbildung 7: Schematischer Ablauf des Vergleiches von GPS- und RouteGadget-Daten	14
Abbildung 8: Testgebiet mit GPS-Punkt wolke und dem erwarteten Läuferkanal (Reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (JA100120))	15
Abbildung 9: Testgebiet mit ausgeschnittenen GPS-Linien und dem mittleren Element (rot) (Reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (JA100120))	16
Abbildung 10: Ausschnitt aus dem in Excel importierten merkinat-File mit den Koordinatenpaaren	17
Abbildung 11: Pufferzone des GPS-Tracks (blau) und der von Hand eingetragenen Route.....	18
Abbildung 12: Modell zur Berechnung der Länge der GPS-Tracks und der Schnittmenge.....	19
Abbildung 13: Modell zur Zusammenführung der beiden Tabellen und der Berechnung der Übereinstimmung.....	19
Abbildung 14: Schematischer Ablauf der Erstellung einer Dichtekarte.....	20
Abbildung 15: Bedienungs fenster des Tools „Split By Attribute“	20
Abbildung 16: Modell für die Erstellung der Pufferzonen und die Zuweisung der jeweiligen Gewichtung	21
Abbildung 17: Auswertung der Testpunkte in Excel mit der Wenn-Abfrage	23
Abbildung 18: Das Wettkampfgelände mit den sechs Testgebieten (Reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (JA100120)).....	24
Abbildung 19: Veränderung der absoluten Genauigkeit über die Zeit im Testgebiet „Pflichtstrecke“	25
Abbildung 20: Die Sichtbarkeit der Satelliten im Wettkampfgelände am Tag der Datensammlung	26
Abbildung 21: Punkte pro Kilometer Bahnlänge in Relation mit der Bahnlänge	27
Abbildung 22: Übereinstimmung von GPS- und RouteGadget-Daten im Vergleich mit der Anzahl Punkte pro Kilometer Bahnlänge	28
Abbildung 23: Übereinstimmung von GPS- und RouteGadget-Daten im Vergleich mit der Bahnlänge.....	29
Abbildung 24: Übereinstimmung von GPS- und RouteGadget-Daten im Vergleich mit der Anzahl Posten	29

Abbildung 25: Überlagerung des Luftbildes mit Teilen der OL-Karte S-chanf (Luftbild: Reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (JA100120)).....	30
Abbildung 26: Zwei unterschiedliche Einträge eines Läufers in RouteGadget.....	31
Abbildung 27: Rasterzelle mit dem für die Berechnung massgebenden Kreis.....	33
Abbildung 28: Ausschnitt der Dichtekarte nach der Methode Jarkko Ryypö	36
Abbildung 29: Ausschnitt der Dichtekarte nach dem Vorbild von „Ein literarischer Atlas Europas“.....	37
Abbildung 30: Die wahre Dichtekarte des Testwettkampfes (links) sowie die hochgerechnete Dichtekarte mit den Testpunkten	39

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Beliebte GPS-Sportuhren und -Tracker	7
Tabelle 2: Dateien von RouteGadget	9
Tabelle 3: Pufferzonen mit ihren jeweiligen Gewichtungen.....	21
Tabelle 4: Kategorien für die Einfärbung der Dichtekarte (Stüdeli, noch unveröffentlicht)	22
Tabelle 5: Übersicht der absoluten Genauigkeiten in den Testgebieten	25
Tabelle 6: Übersicht der relativen Genauigkeiten in den Testgebieten.....	27
Tabelle 7: Gegenüberstellung von GPS- und RouteGadget-Daten	32
Tabelle 8: Darstellung der Liniendichte mit vier verschiedenen Rastergrössen	34
Tabelle 9: Darstellung der Kerneldichte mit vier verschiedenen Rastergrössen.....	35
Tabelle 10: Vergleich der Methoden zur Erstellung einer Dichtekarte.....	38
Tabelle 11: Übereinstimmung der Tests mit der wahren Dichtekarte der Kategorie HAM je nach Anzahl verwendeter Daten	39
Tabelle 12: Übersicht über die klassierten Punkte in der wahren Dichtekarte sowie der Hochrechnung und ihrer Kategorienzugehörigkeit	40

Abkürzungsverzeichnis

D20	Damen bis 20 Jahre
ESA	European Space Agency
GLONASS	Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
GPX	GPS Exchange Format
GSM	Global System for Mobile Communications
H55	Herren ab 55 Jahre
HAM	Herren A Mittel
ID	Identifikator
NAVSTAR	Navigational Satellite Timing and Ranging
OL	Orientierungslauf
PHP	Hypertext Preprocessor
RG	RouteGadget
SA	Selective Availability
URL	Uniform Resource Locator
US	United States
WO	Wettkampfordnung

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage

Die Kommission OL & Umwelt des Schweizerischen Orientierungslaufverbandes Swiss Orienteering befasst sich mit den Auswirkungen des Orientierungslaufsportes auf Gesellschaft, Umwelt und Natur (Swiss Orienteering, 2012). Die Kommission initiiert regelmässig Studien um bestimmte Themen und Problemkreise aufzuarbeiten. Schon 1991 wurde in der Studie zur „Untersuchung des Einflusses des Orientierungslaufes auf Fauna und Flora“, der sogenannten Ökogeο-Studie das Läuferverhalten während eines Wettkampfes anhand von 236 Laufrouen rudimentär untersucht. Damals haben die Läufer im Ziel ihre Laufrouen von Hand auf eine Karte eingezeichnet (Oekogeο AG, 1991). Spätestens ab dem Jahr 2000 gab es im Orientierungslauf in der Schweiz verschiedene technische Entwicklungen, welche die Datenerfassung und Analyse von Laufrouen stark vereinfachen: U.a. das elektronische Stempelsystem „SPORTident“, die Software „RouteGadget“ mit der Orientierungsläufer ihre Laufrouen auf einen Server hochladen und Rouen und Abschnittszeiten miteinander vergleichen können, aber auch der vermehrte Einsatz von mobilen GPS-Empfänger/Logger durch die Wettkämpfer. Im Jahr 2008 gab eine Arbeitsgruppe der Kommission OL & Umwelt den Anstoss, eine Nachfolgestudie zur Ökogeο-Studie durchzuführen und das Läuferverhalten und die Steuerungsmechanismen bei Orientierungsläufen genauer zu untersuchen. Ausschlaggebend war die Erkenntnis, dass sich der Orientierungslauf in der Schweiz seit der Ökogeο-Studie von 1991 stark verändert hat. Im Jahr 2009 hat die Kommission im Swiss Orienteering Magazine (Schweizer OL-Fachzeitschrift) eine Studie ausgeschrieben. Thomas Stüdeli (Mitglied der Kommission OL & Umwelt) hat darauf mit Partnern einen Studienvorschlag eingereicht. Dieser Vorschlag wurde angenommen und daraus entstand die Studie „Massnahmen zur Sicherung von Schutz- und Sperrgebieten beim Orientierungslauf“. Die Studie untersucht Elemente der Läufersteuerung (u.a. Massnahmen wie Markierungen im Gelände, Markierungen auf der Karte, schriftliche Informationen) und hat das Ziel dem Veranstalter aufzuzeigen, wie er seine Ziele in diesem Bereich effizient erreichen kann. Die Studie stützt sich bei den Läuferbewegungen im Wesentlichen auf die heute elektronisch vorhandenen Daten bei einem Orientierungslaufwettkampf (SPORTident- und RoutGadget-Daten) (Stüdeli, noch unveröffentlicht). Im Frühling 2012 diskutierten Thomas Stüdeli und Lorenzo Oleggini (Mitglied der Kommission OL & Umwelt und Mitarbeiter am Institut für Kartographie der ETH Zürich) wie man die Qualität dieser elektronischen Datengrundlagen überprüfen könnte. Aus dieser Diskussion entstanden die Idee einer Studentenarbeit im Bereich Kartografie und die Grundfragen dieser vorliegenden Masterarbeit.

1.2 Zielsetzung

Die Masterarbeit soll zwei Bereiche vertiefter betrachten. Im ersten Teil soll ein Vergleich von GPS-Tracks und Routenaufzeichnung von Hand (im Folgenden als RouteGadget-Daten bezeichnet) durchgeführt werden. Im zweiten Teil sollen eine Dichtekarte erstellt, sowie Kriterien für eine optimale Darstellung von Läuferbewegungen und Läuferdichten während eines Orientierungslaufwettkampfes erarbeitet werden.

1.2.1 Vergleich von GPS-Tracks und RouteGadget-Daten

Um dann in einem zweiten Teil eine Karte der Läuferdichten erstellen zu können, werden Daten der Läuferbewegungen benötigt. Diese können mittels GPS-Tracking oder RouteGadget (siehe Kapitel 2.2) erfasst werden. GPS-Tracking im Allgemeinen wurde schon in mehreren Forschungsprojekten untersucht. Was bedeutet dies jedoch für den Orientierungslauf? Es soll der Frage nachgegangen werden, wo und wann GPS-Daten stimmen. Wenn immer möglich, soll auch eine Begründung angegeben werden. Die Qualität (Genauigkeit und Zuverlässigkeit) von RouteGadget-Daten ist noch kaum erforscht. Wie gut stimmen sie mit der Wirklichkeit überein? Mit welchen Streuungen muss gerechnet werden? Wichtig wird sein, zu eruieren, ob RouteGadget-Daten genügend genau sind, um sie als Basis für die Erstellung einer Dichtekarte benutzen zu können. Schlussendlich sollen die beiden Methoden miteinander verglichen werden.

1.2.2 Darstellung von Läuferbewegungen und Läuferdichten

In diesem Teil gilt es vor allem herauszufinden, wie viele Daten es braucht, um eine stimmige Dichtekarte herstellen zu können. Wie viele Daten braucht es pro Kategorie? Wie viele Daten werden aus den verschiedenen Ranglistenregionen benötigt? Falls in RouteGadget genügend Daten vorhanden sind, kann so eine stimmige Dichtekarte vom gesamten Wettkampf erstellt werden. Anschliessend kann die Frage beantwortet werden, ob die Massnahmen der Bahnleger (Sperrgebiete, Pflichtstrecken etc.) eingehalten wurden. Anhand von Stichproben soll zudem überprüft werden, ob die Ideen der Bahnleger (Leitlinien, Routenwahlen) von den Läuferinnen und Läufer¹ auch tatsächlich so umgesetzt wurde.

¹ Aus Gründen der Lesbarkeit wird im Folgenden auf das Ausschreiben beider Geschlechter verzichtet. Bei der Verwendung des männlichen Ausdruckes ist der weibliche jedoch immer auch eingeschlossen.

1.3 Inhaltsübersicht

Im Anschluss an diese Einleitung folgt im Kapitel 2 „Grundlagen, Methoden und Vorgehen“ eine Übersicht über GPS-Tracking, das Programm RouteGadget, Dichtekarten sowie das Vorgehen der Arbeit im Detail. In Kapitel 3 „Vergleich von GPS- und RouteGadget-Daten“ werden die Übereinstimmung von RouteGadget-Daten mit den GPS-Tracks überprüft und ein Vergleich der beiden Methoden gezogen. Kriterien für die Erstellung von Dichtekarten aus den RouteGadget-Daten werden im Kapitel 4 „Erstellung einer Dichtekarte“ aufgestellt. Das abschliessende Kapitel 5 „Schlussfolgerung und Ausblick“ wertet die Zielsetzungen aus und bietet einen Ausblick auf mögliche weiterführende Arbeiten zu diesem Thema.

2 Grundlagen, Methoden und Vorgehen

2.1 GPS

GPS steht für „Global Positioning System“ und wurde vom US-Verteidigungsministerium entwickelt. Der Begriff GPS wird heute meist - fälschlicherweise - für die Gesamtheit aller globalen Satellitennavigationssystemen (GNSS) verwendet. Ein Satellitennavigationssystem besteht aus drei Hauptsegmenten: Den Satelliten im Weltraum, den Überwachungsstationen auf der Erde sowie den Benutzer mit den GNSS-Empfänger. Die GPS-Satelliten umkreisen die Erde auf sechs verschiedenen Umlaufbahnen in einer mittleren Höhe von 20'200 km und senden ständig Signale zur Erde. Die Satellitenbahnen sind so angeordnet, dass ein GPS-Empfänger ständig mindestens das Signal von vier Satelliten empfängt. Dies entspricht der Mindestanzahl an Satelliten, die benötigt werden, um die Position eines Empfängers zu berechnen. (TomTom, 2012)

2.1.1 Geschichtliche Entwicklung

Bereits 1957, als die Sowjetunion den ersten Satelliten (Sputnik 1) ins Weltall schoss, fanden Wissenschaftler heraus, dass sich die Position eines Empfängers auf der Erde dank des Dopplereffekts bestimmen lassen muss, sofern die Position des Satelliten bekannt ist. In den 60er Jahren lancierte die US-Marine das Positionierungssystem TRANSIT. Dieses System war jedoch nicht permanent verfügbar und brachte lediglich eine Positionsgenauigkeit von 20 m bis 30 m für statische Beobachter und 100 m bis 150 m für sich bewegende Beobachter. Die Streitkräfte der USA entwickelten deshalb ein neues System, das wetterunabhängig und genauer sein soll. 1973 wurde von der US-Regierung das Konzept für das NAVSTAR-GPS genehmigt und 1974 der erste Satellit auf seine Umlaufbahn geschossen. In den Jahren danach folgten immer weitere Satelliten. Die vollständige Konstellation von 24 Satelliten, das einen GPS-Empfang auf der ganzen Erde ermöglicht, wurde 1993 erreicht. Am 17. Juli 1995 wurde GPS dann offiziell für voll operationsfähig erklärt. Heute befinden sich rund 30 GPS-Satelliten im All. Parallel dazu entwickelte Russland das Satellitennavigationssystem GLONASS (Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema). Entwicklungsbeginn von GLONASS war im Jahr 1972 und im Oktober 1982 wurde der erste Satellit gestartet. Im Januar 1996 war die vollständige Konstellation von 24 Satelliten verfügbar. Momentan ist auch die Europäische Union in Zusammenarbeit mit der Europäischen Weltraumorganisation ESA am Aufbau eines eigenen zivilen Satellitennavigationssystems. Der erste Satellit

von GALILEO wurde im Dezember 2005 ins All geschossen. Die volle Konstellation mit 30 Satelliten soll im Laufe der nächsten Jahre betriebsbereit sein.

GPS sowie GLONASS wurden ursprünglich für militärische Zwecke entwickelt. Im Fall von GPS wurde das Signal für zivile Nutzer bis vor einigen Jahren gar künstlich verschlechtert. Die sogenannte Selective Availability (SA) ermöglichte lediglich eine Genauigkeit von rund 100 m für zivile Nutzer. Am 2. Mai 2000 wurde SA abgeschaltet, was nun auch zivilen Nutzern ermöglicht, eine Genauigkeit von unter 10 m zu erreichen. Die Abschaltung von SA führte dazu, dass es einen grossen Aufschwung bei der Benutzung von GPS-Geräten in Fahrzeugen sowie im Freizeitbereich gab.

(TomTom, 2012)

2.1.2 GPS-Sportuhren und -Tracker

Wie im vorhergehenden Kapitel erwähnt, gab es nach der Abschaltung der SA u.a. einen Aufschwung bei der Benutzung von GPS-Geräten im Freizeitbereich. Viele Hersteller von Sportuhren begannen, GPS-Empfänger in ihren Uhren zu integrieren. Anfänglich waren diese GPS-Uhren sehr teuer. Doch heute gibt es praktisch für jedes Budget ein Modell. Dies ist wohl auch einer der Gründe, weshalb immer mehr Orientierungsläufer eine GPS-Uhr für Training und Wettkampf nutzen. Wichtig ist dabei zu erwähnen, dass es für die Orientierungsläufer gemäss Wettkampfordnung (WO) von Swiss Orienteering nicht erlaubt ist, GPS als Hilfsmittel zu benutzen. Aus diesem Grund dürfen die Uhren lediglich als Aufnahmegerät (Tracker) für die gelaufene Route dienen und nicht mit Kartenmaterial verbunden sein. Mit den Daten lassen sich jedoch Trainings und Wettkämpfe ideal auswerten.

Teststrecke 3.0		
Platz	Gerät	Genauigkeit [%]
1	Garmin Forerunner 305	97,8
2	Casio GPR 100	96,5
3	Garmin Edge 305	95,2
4	FRWD W600	91,6

Abbildung 1: Genauigkeiten von GPS-Sportuhren im Wald
(Niemeyer & Reusse, 2007)

Joachim Niemeyer und Jonathan Reusse haben in ihrer Studienarbeit am Institut für Kartographie und Geoinformatik der Leibniz Universität Hannover die Messgenauigkeit von Sportuhren mit Geschwindigkeits- und Entfernungsfunktionen untersucht. Unter anderen wurden von ihnen die beiden GPS-Uhren Casio GPR 100 und Garmin Forerunner 305 in verschiedensten Geländetypen und auf verschiedene Arten getestet. Diese beiden Sportuhren sind mit den Uhren zu vergleichen, die auch für das GPS-Tracking der vorliegenden Arbeit verwendet wurden. Wie in Abbildung 1 ersichtlich haben die

beiden Uhren in den Tests von Niemeyer und Reusse im Wald 97.8% (Garmin Forerunner 305) respektive 96.5% Genauigkeit erreicht. Die Teststrecke im Wald war jedoch gerade. Bei kurvigem Streckenverlauf ist eine schlechtere Genauigkeit zu erwarten. Die Querabweichung der Garmin Forerunner 305 schwankt zwischen 3.13 m bei optimalen Bedingungen bis 22.21 m bei eingeschränkter Sicht durch Gebäude. Die maximale Querabweichung bei kurvigem Streckenverlauf beträgt 5.82 m. Niemeyer und Reusse weisen in ihrer Arbeit auch darauf hin, dass neben der Montage nur schon die Laufrichtung einen grossen Einfluss auf die Genauigkeit von GPS-Empfängern hat. (Niemeyer & Reusse, 2007)

DC Rainmaker, ein Triathlet aus den USA, hat 2011 ebenfalls Tests mit diversen GPS-Empfängern in verschiedensten Geländetypen durchgeführt. Über die Ergebnisse berichtet er in seinem Blog. Rainmaker montierte die sieben GPS-Uhren (5 Garmin, 1 Nike, 1 Polar) an einem Distanzmessrad und begab sich dann zu Fuss, rennend - und wenn möglich mit dem Fahrrad - auf die Teststrecken. Ebenfalls liess er seine Route mit zwei Mobiltelefonen aufzeichnen. Für diese Arbeit am interessantesten sind sicher die Tests auf einer gut 650 m langen und kurvigen Strecke in dichtem Wald. (Maker, 2011)






Dense Trees Test	Result (mi)	Accuracy	Result (mi)	Accuracy	Result (mi)	Accuracy
(2,157ft = .41 mi)	Walk	Walk	Run	Run	Bike	Bike
Roller Distance (baseline)	0.41	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Garmin Forerunner 310XT	0.42	97.62%	0.39	95.12%	N/A	N/A
Garmin Edge 800	0.35	85.37%	0.37	90.24%	N/A	N/A
Garmin Forerunner 610	0.34	82.93%	0.36	87.80%	N/A	N/A
Nike+ GPS Sportwatch	0.36	87.80%	0.35	85.37%	N/A	N/A
Garmin Forerunner 210	0.38	92.68%	0.37	90.24%	N/A	N/A
Garmin Forerunner 305	0.39	95.12%	0.37	90.24%	N/A	N/A
Polar RCX5 + GPS	0.40	97.56%	0.38	92.68%	N/A	N/A
iPhone 4 (RunKeeper)	0.35	85.37%	0.33	80.49%	N/A	N/A
Sony Ericsson x8 - Android (Runkeeper)	0.43	95.35%	0.40	97.56%	N/A	N/A

Abbildung 2: Genauigkeiten von GPS-Sportuhren und Mobiltelefonen im Wald (Maker, 2011)

Wie aus der obigen Tabelle ersichtlich ist, schwanken die Genauigkeiten der GPS-Uhren im Lauftempo zwischen 85.37% und 95.12%. Dazu zu erwähnen ist, dass sich die Tests lediglich auf die Genauigkeit der Längsdistanzen beziehen und nichts über die Querabweichungen gesagt wird.

In den letzten Jahren sind GPS-Sportuhren und -Tracker wohl auch aufgrund des sinkenden Preises immer beliebter geworden. Es gibt eine ganze Reihe von Herstellern und Modellen. Die nachfolgende nicht abschliessende Tabelle bietet einen Überblick der von Orientierungsläufern benutzten GPS-Sportuhren und -Tracker. Bei einem Tracker handelt es sich um einen GPS-Empfänger, der mit einer gewissen Frequenz die Koordinaten des Gerätes aufzeichnet. Diese Tracker sind viel simpler aufgebaut als die Sportuhren und besitzen keine zusätzlichen Funktionen wie beispielsweise Stoppuhr, Kalorienverbrauch oder Pulsmessung.

Tabelle 1: Beliebte GPS-Sportuhren und -Tracker

Modelle	Beschreibung
GPS-Sportuhren	
	<p>Garmin Forerunner</p> <p>Garmin Forerunner sind sehr beliebt bei Orientierungsläufern. Es gibt eine Vielzahl von Modellen. Die Forerunner 610 (siehe Bild links) gehört zu einer der neusten Generationen von Garmin. Die Touchscreenbedienung ist ein Novum im Uhrensegment.</p> <p>Text und Bild: (Bucher+Walt SA, 2013)</p>
	<p>Polar</p> <p>Polar ist einer der führenden Hersteller von kabellosen Herzfrequenzmessgeräten. Seit einiger Zeit bieten Polar auch GPS-Uhren an. Diese sind in der OL-Szene jedoch nicht so verbreitet wie diejenigen von Garmin. Das Bild links zeigt die Polar RC3 GPS.</p> <p>Text und Bild: (Polar Electro, 2012)</p>
	<p>Suunto</p> <p>Suunto ist ebenfalls eine traditionelle Sportuhrenfirma, die GPS-Uhren herstellt. Das Bild links zeigt eine Suunto Ambit Silver.</p> <p>Text und Bild: (Suunto, 2013)</p>
GPS-Tracker	
	<p>i-gotU</p> <p>Der i-gotU ist GPS-Logger und -Empfänger in einem. Fotos können damit auf einfache Art und Weise auf Google Maps präsentiert werden. Der i-gotU eignet sich aber auch als Tracker für verschiedenste Sportarten. Die Messfrequenz kann zwischen 1/3600 Hz bis 1 Hz gewählt werden. Es gibt zwei Modelle des i-gotU. Das Modell GT-120 (siehe Bild links) sowie das Modell GT-600.</p> <p>Text und Bild: (Mobile Action, 2013)</p>
	<p>Tracker Security</p> <p>Die Geräte wurden ursprünglich als Rettungssystem für betagte Menschen entwickelt. Das Modell GTS-200 (siehe Bild links) wird heute in mehreren Ländern für Live-GPS-Tracking von OL-Wettkämpfen verwendet. Das Gerät benötigt GSM-Netz, da die Daten direkt per Daten-netz an einen Server geschickt werden. Während eines Netzloches werden die Daten im internen Speicher zwischengespeichert.</p> <p>Text: (Schubnell, 2013) Bild: (Tracker Security Ltd., 2010)</p>

2.2 RouteGadget

RouteGadget ist ein freies Programm aus Finnland, in dem Orientierungsläufer nach einem Wettkampf ihre Route online einzeichnen können, sobald die Karte, die Bahnleistungsdaten sowie die Zwischenzeiten bereitgestellt wurden. Das Programm wird von knapp 200 Organisationen in 30 Ländern verwendet. Bis heute wurden über 12'000 Events mit RouteGadget erfasst. In der Schweiz betreibt Swiss Orienteering RouteGadget seit der Saison 2011 als offizielles Tool auf der Verbandswebsite. Das Programm wird hauptsächlich online verwendet. Es kann jedoch auch offline installiert werden. Mit Hilfe des Programmes können Orientierungsläufer ihre im Wettkampf gelaufene Route einzeichnen und mit den Konkurrenten vergleichen. Ein spezielles Tool von RouteGadget ist die Animation, mit der ein Massenstart des Wettkampfes simuliert werden kann. Anstatt die Route von Hand einzuzeichnen, kann auch ein GPS-Track hochgeladen und mittels Passpunkten eingepasst werden. Das Einpassen des GPS-Tracks erfolgt jedoch sehr individuell und je nach Zeitaufwand und Übung des Einpassenden wird der Track besser oder schlechter eingepasst und stimmt somit besser oder schlechter mit der Wirklichkeit überein. (RouteGadget, 2012) (Swiss Orienteering, 2007)

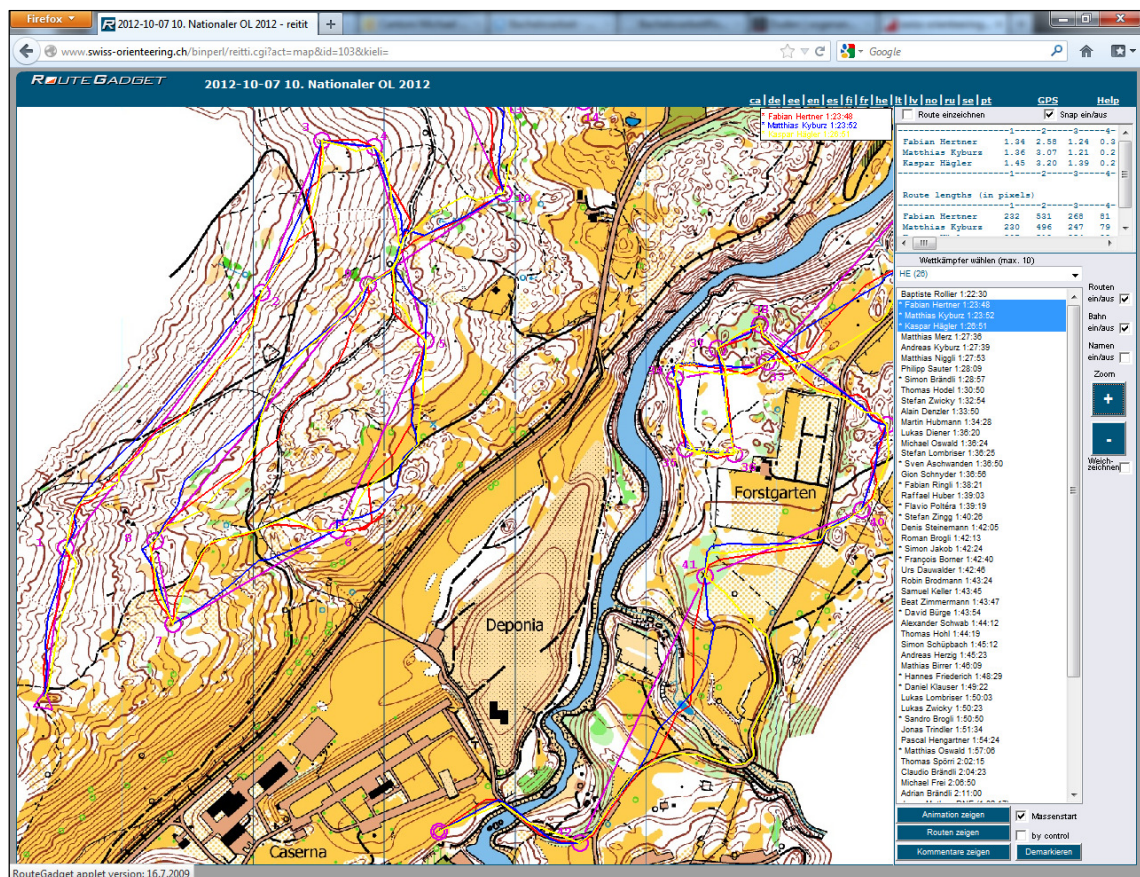


Abbildung 3: Das Hauptfenster von RouteGadget

2.2.1 Dateien

Die Dateien welche RouteGadget für die Darstellung eines Wettkampfes benötigt, sind in sechs Files gespeichert. Diese werden im Folgenden kurz vorgestellt:

Tabelle 2: Dateien von RouteGadget

Datei	Beschreibung
XY.jpg	Karte des Wettkampfes, reduzierte Auflösung gegenüber der Originalkarte
radat_XY.txt	Start, Ziel, Postenkreise, Verbindungslinien und Nummerierung für jede Kategorie
sarjat_XY.txt	ID der verschiedenen Kategorien
kilpailijat_XY.txt	Laufzeiten zwischen den Posten für jeden Läufer
merkinnat_XY.txt	Koordinaten der von den Läufern eingezeichneten Route oder des hochgeladenen GPS-Tracks in einem Bildkoordinatensystem
kommentit_XY.txt	Kommentare die vom Läufer zu jeder Route eingegeben werden können

Diese Dateien können durch Eingabe eines bestimmten URLs im Browser angeschaut und auf dem Rechner gespeichert werden. Um die gewünschten Dateien in Shapefiles umzuwandeln und somit in ArcGIS bearbeiten zu können, wurden zwei von Lorenzo Oleggini entwickelte Python-Skripte verwendet. Diese basieren auf einem Skript von Samuel Wiesmann, das er für seine Doktorarbeit erstellt hat. Das erste Skript liest das merkinnat-File mit den Routen und speichert diese als Polylinien mit einer ID, der Läufer-ID, dem Läufernamen sowie der Bahnnummer ab. Das zweite Skript liest das radat-File mit den Bahndaten. Dieses Skript erstellt für jede Kategorie ein Shapefile mit den Bahndaten sowie ein Shapefile mit dem Postennetz. Diese Dateien enthalten als Attribute eine ID, die Postennummer, die X- und Y-Koordinaten sowie eine ID basierend auf der Lage des Kontrollpunktes.

2.3 Dichtekarten

Dichtekarten werden ganz exakt als Dichtemosaikkarten bezeichnet. Dichtemosaike zeigen Relationen (Verhältniszahlen) zwischen zwei Werten. Ein Beispiel dafür ist die Dichte pro Flächeneinheit. Vielfach ist der Nenner der Verhältniszahl flächenbezogen. Es kann jedoch auch sein, dass eine Verhältniszahl aus zwei nicht flächenbezogenen Werten besteht. Dichtemosaike können sich auf administrative Flächen (z.B. Grenzen), auf Gebiete mit annähernd wirklicher Streuung oder auf ein regelmässiges Raster beziehen. Die Flächen erhalten je nach Grösse der Verhältniszahl eine andere Flächenfarbe oder -muster. Normalerweise werden die Verhältniszahlen in verschiedene Klassen ein-

geteilt und gemäss diesen eingefärbt. In der vorliegenden Arbeit wird eine Dichtemosaikkarte aus Linien mit regelmässiger Rastergliederung angefertigt. Diese wird auch als „Dichtekarte nach der geometrischen Methode“ bezeichnet. (GITTA - Geographic Information Technology Training Alliance, 2012)

2.3.1 Erstellungsvarianten

Es gibt mehrere Varianten, um eine Dichtekarte aus Linienobjekten herzustellen. Relativ schnelle Varianten dazu bietet ArcGIS von Esri. Das Programm beinhaltet mehrere Werkzeuge, mit denen sich Dichtekarten aus Linienobjekten herstellen lassen. Das Werkzeug „Line Density“ berechnet die Dichte von Linien in einer kreisförmigen Umgebung einer Rasterzelle. Die Dichte besteht aus der Summe der Längen der Linien im Suchradius, multipliziert mit einem Bevölkerungswert (Standardmässig 1), geteilt durch die Fläche des Kreises. Vom Benutzer können u.a. die Rastergrösse sowie der Suchradius definiert werden. (Esri, 2012 a)

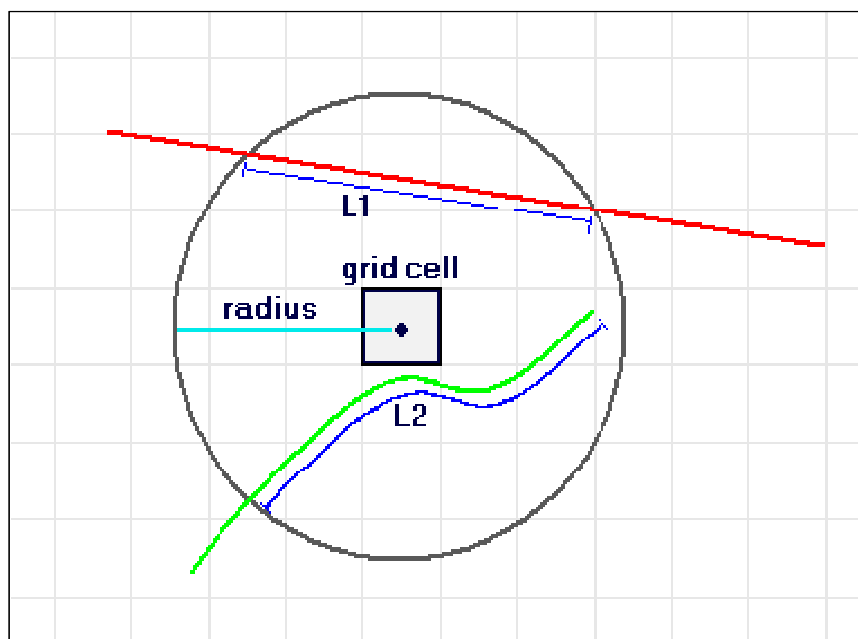


Abbildung 4: Raster-Zelle und die kreisförmige Umgebung für die Berechnung der Liniendichte (Esri, 2012 a)

Das Werkzeug „Kernel Density“ (siehe Abbildung 5) berechnet die Dichte von Linien in der Nachbarschaft einer Rasterzelle. Dabei wird über alle Linien eine sanft geschwungene Oberfläche gelegt. Der Dichtewert ist auf der Linie am grössten und verringert sich gegen aussen kontinuierlich bis zum definierten Suchradius, wo die Dichte dann null beträgt. Das Volumen unter der Oberfläche entspricht dem Produkt von Linienslänge und Bevölkerungswert. Die Dichte jeder Rasterzelle ist die Summierung aller Kernel-Oberflächen im Raster-Zellenmittelpunkt. (Esri, 2012 b)

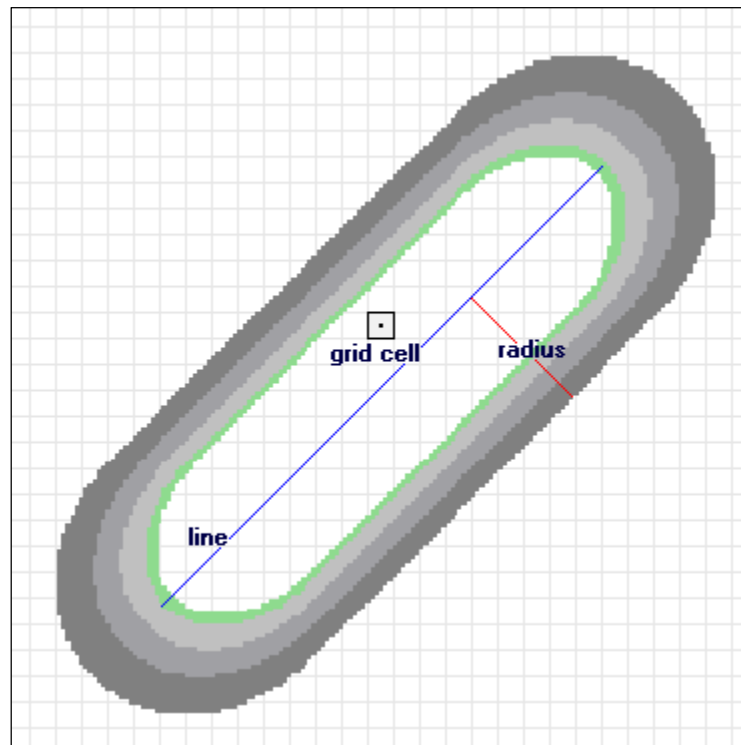


Abbildung 5: Linie mit der Kernel-Oberfläche in der Nachbarschaft einer Rasterzelle (Esri, 2012 b)

Eine andere Variante stammt von Jarkko Ryypö, dem Programmierer von RouteGadget. Er hat ein PHP-Skript (siehe Anhang A: PHP-Skript von Jarkko Ryypö) entwickelt, um direkt aus den RouteGadget-Daten eine farbige Dichtekarte herzustellen. Dazu werden aus RouteGadget das Routenfile (merkinnat_XY.txt), das Laufzeitenfile (kilpailijat_XY.txt) sowie die Karte (XY.jpg) benötigt. Das PHP-Skript teilt zuerst die Karte in Quadrate ein. Die Grösse der Quadrate kann durch Eingabe eines Skalierungswertes verändert werden. Je grösser der eingegebene Wert, desto grösser werden die Quadrate. Anschliessend berechnet das Skript, wie viele Läufer jedes Quadrat gequert haben. Dazu nimmt das PHP-Skript das merkinnat-File und spaltet es so lange auf, bis nur noch Koordinatenpaare vorhanden sind. Diese Koordinatenpaare werden in einem Array gespeichert und miteinander verbunden. Anschliessend kommt der zentrale Punkt des Skriptes zum Tragen. Das Skript nimmt eine Gewichtung vor, damit die Dichtekarte die Gesamtheit der Läufer zeigt und nicht nur die Gesamtheit der in RouteGadget eingetragenen Daten. Haben also in einer Kategorie fünf der fünfzig gestarteten Läufer ihre Route in RouteGadget eingetragen, so erhalten diese fünf Routen je ein Gewicht von zehn Läufern. Zum Schluss wird in jedem Quadrat berechnet, wie viele Linien dieses durchqueren und das Quadrat dementsprechend eingefärbt. Die OL-Karte wird im Hintergrund als Graustufenbild angezeigt. (Ryypö, 2012) (Lerjen, 2012 a) (Lerjen, 2012 b)

Eine weitere Variante stammt aus dem Forschungsprojekt von „Ein literarischer Atlas Europas“, das am Institut für Kartografie und Geoinformation der ETH Zürich durchgeführt wird. Für den literarischen Atlas wurde u.a. eine Dichtekarte auf Grund von Linien

erarbeitet. Diese Linien weisen jedoch räumliche Ungenauigkeiten auf, weshalb eine unterschiedliche Dichte in Abhängigkeit mit der Distanz zum Objekt eingeführt wurde. Dieses System eliminiert scharfe Kanten und produziert einen weichen Übergang. (Bär & Hurni, 2011)

Da auch die RouteGadget-Daten räumliche Ungenauigkeiten aufweisen, wurde für diese Arbeit eine Methode entwickelt, die auf die Erstellung der Dichtekarte beim literarischen Atlas Europas beruht. Es wurde die Idee übernommen, dass eine Dichte in Abhängigkeit mit der Distanz zum Objekt eingeführt wird. Die konkrete Umsetzung dieser Idee wird in Kapitel 2.4.3 genauer beschrieben.

2.4 Vorgehen

Wie alle Arbeiten begann auch die vorliegende Arbeit mit einer Konzeptionsphase und der Festlegung der Ziele. Die nächsten Phasen können in die Datenakquisition, den Vergleich von GPS- und RouteGadget-Daten sowie die Erstellung einer Dichtekarte geteilt werden.

2.4.1 Datenakquisition

Als erstes musste ein Wettkampf ausgewählt werden, an dem die Grundlagendaten für die Arbeit gesammelt werden. Dieser Wettkampf sollte möglichst zu Beginn der Arbeit stattfinden und eine gewisse Grösse haben. Schlussendlich fiel die Wahl auf den 10. Nationalen Orientierungslauf vom 7. Oktober 2012 in S-chanf mit rund 1700 Teilnehmern. Zur gleichen Zeit wie der Nationale OL fand im selben Gebiet auch der Junioren Europacup mit rund 150 Teilnehmern statt. Als nächstes galt es zu eruieren, wie und welche Daten genau gesammelt werden. Es musste entschieden werden, ob einfach möglichst viele RouteGadget-Daten aller Kategorien vor Ort gesammelt oder ob auf eine Kategorie fokussiert wird. Da im dritten Teil berechnet wird, wie viele Daten pro Kategorie mindestens benötigt werden, um eine stimmige Dichtekarte zu erstellen, fiel die Wahl auf die Fokussierung auf drei Kategorien, die alle die gleiche OL-Bahn zu absolvieren hatten. Der Entschluss war somit, möglichst viele Daten der Kategorien Damen bis 20 Jahren (D20), Herren ab 55 Jahren (H55) und Herren A Mittel (HAM) direkt vor Ort zu sammeln.

Einen grossen Teil dieser Arbeit nimmt der Vergleich von GPS- und RouteGadget-Daten ein. Deshalb stellte sich die Frage, wie an möglichst viele GPS-Daten gelangt werden kann. Als Möglichkeit wurde ins Auge gefasst, alle Läufer die eine GPS-Uhr besitzen, zu bitten, diese am Wettkampf zu tragen und die Daten in RouteGadget einzutragen. Eine diskutierte Maximalvariante war gewesen, speziell für die Laufanalyse eine bestimmte Anzahl GPS-Tracker zu kaufen. Schlussendlich wurde eine Kompromissvariante durchgeführt. Alle Läufer wurden aufgefordert, einen GPS-Tracker zu tragen,

falls sie einen solchen besitzen. Zusätzlich konnten einige GPS-Tracker von verschiedensten Organisationen ausgeliehen werden. Diese wurden dann am Wettkampftag an Teilnehmer verteilt, die selber kein GPS-Gerät besitzen.



Abbildung 6: Datensammlung am 7. Nat. OL in S-chanf

Sehr wichtig war in dieser Phase die Kommunikation mit den Teilnehmern des Wettkampfes. Verschiedenste Massnahmen wurden getroffen, um jeden Läufer auf die Datensammlung für die Masterarbeit aufmerksam zu machen. Vor dem Wettkampf wurde an alle Angemeldeten ein E-Mail mit dem Hinweis verschickt, dass diejenigen die einen GPS-Tracker besitzen, diesen doch am Wettkampf bitte tragen und die Daten nach dem Lauf in RouteGadget hochladen, nachdem sie die Route aus dem Kopf eingezeichnet haben. Alle die keinen GPS-Tracker besitzen, wurden hingewiesen, dass sie doch bitte nach dem Wettkampf ihre gelaufen Route in RouteGadget eintragen. Die Läufer der Kategorien D20, H55 und HAM bekamen ein spezielles Mail, in dem die Läufer zusätzlich gebeten wurden, am Wettkampftag beim Zelt der OL-Studie vorbei zu kommen. Zusätzlich wurde ein Hinweis im Forum von Swiss Orienteering sowie auf der Homepage des Veranstalters platziert. Ebenfalls wurden verschiedenste Plakate im Wettkampfbereich aufgehängt.

Die Datenakquisition brachte eine grosse Anzahl an Daten. 483 Personen haben ihre Route in RouteGadget eingetragen (60 davon direkt vor Ort in S-chanf). Davon sind 86 GPS-Einträge. Von 59 Personen sind sowohl die von Hand eingezeichnete Route sowie der GPS-Track verfügbar. Zusätzlich resultierten aus der Datensammlung 76 GPS-Rohdaten (GPX-Files).

2.4.2 Vergleich von GPS- und RouteGadget-Daten

Der Vergleich von GPS- und RouteGadget-Daten findet in fünf Teilen statt. Im ersten Teil wird die absolute Genauigkeit von GPS-Tracks, im zweiten Teil die relative Genauigkeit, im dritten Teil die Punktdichte von RouteGadget-Daten und im vierten Teil die Übereinstimmung von GPS- und RouteGadget-Daten untersucht. Im fünften Teil wird ein Vergleich der Übereinstimmung von GPS- und RouteGadget-Daten mit der Punktdichte, Bahnlänge und Postenanzahl gezogen. Für die Analysen werden die Programme ArcGIS 10.1 von Esri sowie Microsoft Excel 2010 verwendet.

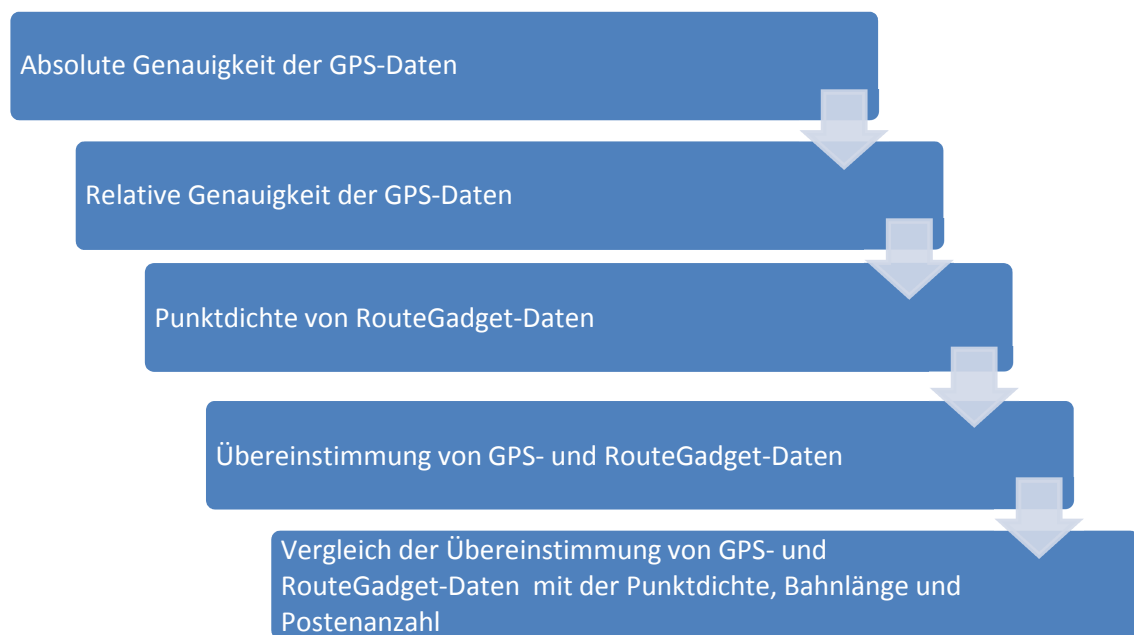


Abbildung 7: Schematischer Ablauf des Vergleiches von GPS- und RouteGadget-Daten

Absolute Genauigkeit von GPS-Tracks

Als erstes wurden Gebiete ausgewählt, in denen die absolute Genauigkeit von GPS-Tracks überprüft werden soll. Diese sogenannten Testgebiete wurden so über das ganze Wettkampfgebiet verteilt, dass sowohl Gebiete mit erwartet gutem GPS-Empfang sowie Gebiete mit erwartet schlechterem GPS-Empfang vertreten sind. Weiter müssen die zu überprüfenden Streckenabschnitte einen klaren Läuferkanal haben, in dem mit einer grossen Wahrscheinlichkeit gesagt werden kann, dass die Läufer auch wirklich dort durchgelaufen sind (z.B. Strassenabschnitt oder Brücke). Da die absolute Genauigkeit mit Hilfe eines Luftbildes Swissimage50 von Swisstopo überprüft wird, müssen die Testgebiete aus der Luft sichtbar sein. Ebenfalls muss in den Testgebieten eine gewisse Anzahl von Daten vorhanden sein.

Als erstes wurden die 76 vorhandenen GPX-Dateien mit dem Tool „GPX to Features“ in ArcMap importiert. Anschliessend wurden die Daten in den Testgebieten ausgeschnitten. Später wurde der zu erwartende Läuferkanal mit einer Fläche definiert und

der Abstand jedes GPS-Punktes zum Läuferkanal mit dem Tool „Generate Near Table“ berechnet. Als Ausgabe resultierte eine Tabelle mit den Abständen der Punkte zum erwarteten Läuferkanal. Die zu erwartenden Läuferkanäle in den Testgebieten wurden grosszügig gezeichnet, weshalb bei den Abstandberechnungen keine Toleranzen hinzugefügt wurden. Der Abstand „0“ in der Ausgabetable bedeutet, dass sich der GPS-Punkt im Testgebiet befindet und deshalb als stimmig betrachtet wird.



Abbildung 8: Testgebiet mit GPS-Punktwolke und dem erwarteten Läuferkanal (Reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (JA100120))

Für die genaue Analyse der Resultate wurden die Abstandstabellen aus ArcMap exportiert und in Excel eingelesen. Nach der Löschung von nicht benötigten Spalten und der korrekten Darstellung der Zeit konnten folgende Werte berechnet werden: Anzahl Punkte im Testgebiet, Anzahl Punkte im erwarteten Läuferkanal, Prozent der Punkte im erwarteten Läuferkanal, Mittelwert der Abweichungen, Standardabweichung der Abweichungen sowie die maximale Abweichung. Dazu wurde noch ein Diagramm geplottet, das die aufgetretenen Abweichungen über die Zeit des Wettkampfes zeigt. Damit sollen allfällig Rückschlüsse auf die Satellitenverfügbarkeit gezogen werden können.

Relative Genauigkeit von GPS-Tracks

Die Überprüfung der relativen Genauigkeit von GPS-Tracks wurde in denselben Gebieten durchgeführt wie die Überprüfung der absoluten Genauigkeit. Die relative Genauigkeit wurde jedoch nicht mit den GPS-Punkten, sondern mit den eigentlichen GPS-Tracks berechnet. Dazu wurden in ArcMap als erstes die GPS-Punkte mit dem Tool „Points to Line“ bearbeitet. Anschliessend wurde in den Testgebieten ein kleiner Sektor definiert, in denen die Analyse durchgeführt werden soll. Dieser Sektor wurde danach aus den GPS-Linien ausgeschnitten. Als nächstes wurde das Tool „Mean Center“ benutzt, um das mittlere Element der GPS-Linien zu berechnen. Anschliessend wurde mit dem Tool „Generate Near Table“ eruiert, wie viel die Distanz jeder einzelnen Linie zur mittleren Linie beträgt.



Abbildung 9: Testgebiet mit ausgeschnittenen GPS-Linien und dem mittleren Element (rot) (Reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (JA100120))

Die entstehende Resultattabelle wurde aus ArcMap exportiert und in Excel eingelesen. Für jedes Testgebiet wurden anschliessend die Standardabweichung, die mittlere Abweichung sowie die Maximalabweichung der GPS-Tracks berechnet.

Punktdichte von RouteGadget-Daten

Nachdem bisher lediglich GPS-Daten untersucht wurden, werden im nächsten Teil die Daten von RouteGadget näher betrachtet. Es wird eruiert, wie oft ein Läufer beim Einzeichnen der gelaufenen Route einen Wegpunkt setzt. Dazu wird das merkinat-File aus RouteGadget mit geeigneten Trennzeichen (zuerst Tabulator, dann „N“) in Excel importiert und gezählt, wie viele Koordinatenpaare die Daten eines Läufers umfassen.

	A	B	C	D	Koordinatenpaare E						
1	1	23	Stefan Zingg	null	N315;-2752	N309;-2716	N309;-2686	N320;-2665	N324;-2646	N326;-2633	N339;
2	1	4	Matthias Kyburz	null	N315;-2752	N319;-2702	N316;-2671	N320;-2628	N335;-2584	N336;-2552	N346;
3	1	20	Fabian Ringli	null	N315;-2752	N319;-2725	N316;-2711	N315;-2694	N325;-2674	N327;-2654	N331;
4	1	42	Sandro Brogli	null	N315;-2752	N321;-2740	N327;-2725	N332;-2709	N334;-2687	N335;-2668	N338;
5	1	10	Simon Brändli	null	N315;-2752	N310;-2718	N306;-2691	N313;-2663	N315;-2640	N316;-2625	N319;
6	1	3	Fabian Hertner	null	N315;-2752	N315;-2727	N313;-2706	N315;-2695	N323;-2654	N336;-2611	N338;
7	1	5	Kaspar Högler	null	N315;-2752	N321;-2734	N331;-2679	N339;-2634	N352;-2599	N357;-2582	N358;
8	1	26	Simon Jakob	null	N315;-2752	N331;-2675	N355;-2591	N362;-2535	N346;-2526	N384;-2471	N419;
9	1	39	Daniel Klauser	null	N315;-2752	N322;-2711	N314;-2687	N314;-2659	N313;-2637	N314;-2616	N319;
10	1	22	Flavio Polt	null	N315;-2752	N317;-2746	N314;-2719	N311;-2696	N317;-2672	N327;-2641	N334;
11	1	38	Hannes Friederich	null	N315;-2752	N322;-2712	N316;-2696	N324;-2678	N322;-2652	N320;-2641	N329;

Abbildung 10: Ausschnitt aus dem in Excel importierten merkinat-File mit den Koordinatenpaaren

Alternativ können die gesetzten Punkte auch in ArcGIS herausgelesen werden. Dazu müssen die RouteGadget-Daten in ArcMap importiert und mit dem Tool „Feature to Point“ zu Punkten konvertiert werden. Die Anzahl der gezeichneten Wegpunkte können anschliessend aus der Attributtabelle der entstehenden Punktfiles herausgelesen werden. Diese Wegpunkte können ebenfalls noch dazu verwendet werden, die maximale Abweichung der RouteGadget-Daten zu den GPS-Daten zu berechnen. Dazu wird das ArcGIS-Tool „Generate Near Table“ verwendet. Daraus kann der maximale Wert herausgelesen werden. Diese Maximalwerte werden in Excel weiterverarbeitet und miteinander verglichen.

Nach dem Eruiere der Anzahl Wegpunkte muss der Kategoriencode entschlüsselt werden. Dies ermöglicht die sarjat-Datei aus RouteGadget. Im Weiteren werden die Bahn-längen manuell hinzugefügt und die gezeichneten Punkte pro Bahnkilometer berechnet. Zum Schluss werden der Durchschnitt der gezeichneten Punkte, die Standardabweichung, das Maximum sowie das Minimum berechnet.

Übereinstimmung von GPS- und RouteGadget-Daten

In diesem Schritt wird die Übereinstimmung von GPS- und RouteGadget-Daten untersucht. Dazu werden die Daten aus RouteGadget benötigt. Diese Daten können in ArcGIS weiterverarbeitet werden, wenn wie in Kapitel 2.2.1 beschrieben, das merkinat-File heruntergeladen und mit dem Python-Skript von Lorenzo Oleggini in ein Shapefile konvertiert wird. In diesem Shapefile sind alle von Hand in RouteGadget eingetragenen Routen sowie die in RouteGadget hochgeladenen und eingepassten GPS-

Tracks enthalten. Als erstes wurden aus dieser Gesamtdatei für alle Läufer, die ihre Route von Hand eingezeichnet sowie ihren GPS-Track hochgeladen haben, manuell die beiden Linien in einzelne Shapefiles exportiert. Als nächstes wurde um alle GPS-Linien eine Pufferzone (Buffer) von 10 m gelegt. Die Grösse des Buffers definiert, um wie viel später die RouteGadget- von den GPS-Daten abweichen dürfen, damit sie noch als stimmig betrachtet werden. Die Grösse des Buffers wird später in Kapitel 3.3 begründet. Anschliessend wurden die RouteGadget-Daten mit der erstellten Pufferzone geschnitten.

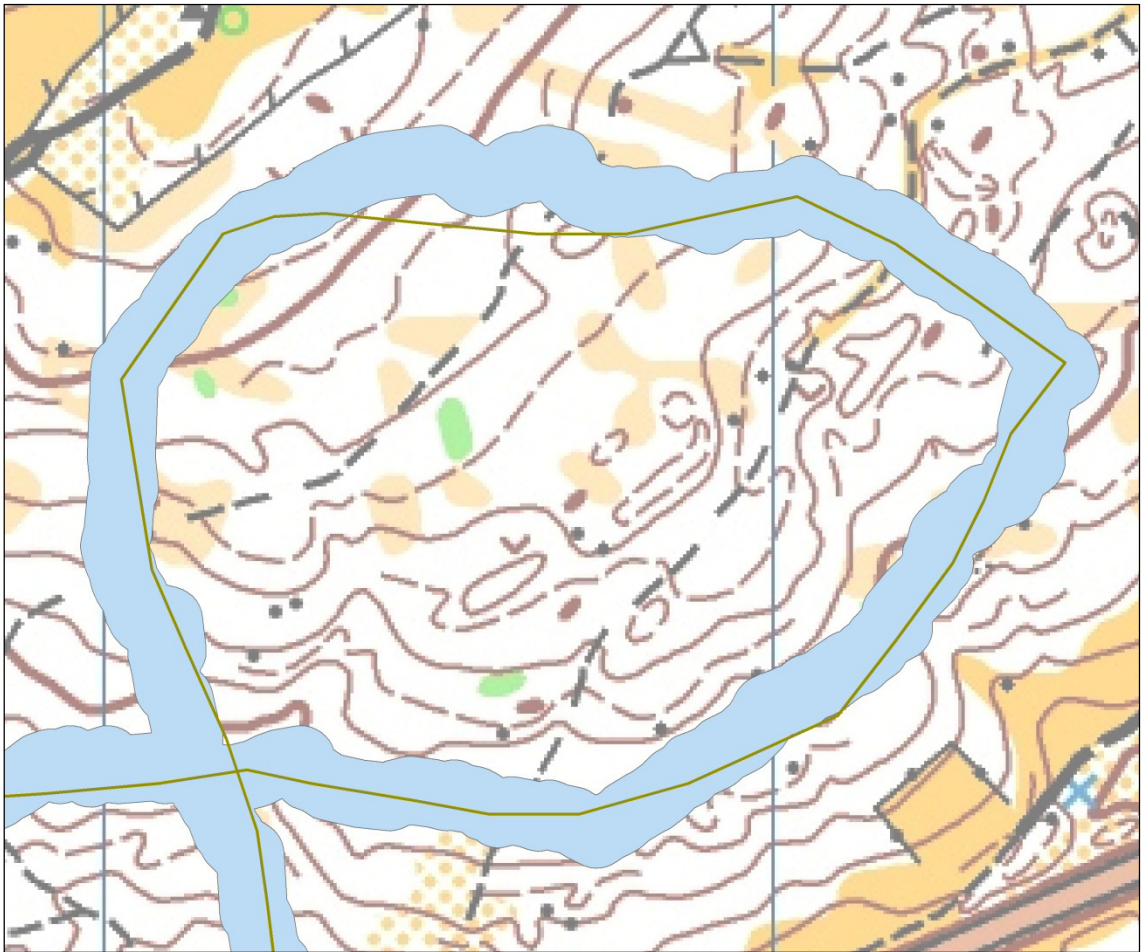


Abbildung 11: Pufferzone des GPS-Tracks (blau) und der von Hand eingetragenen Route

Weiter ging es mit verschiedensten Rechenschritten, um die Übereinstimmung von GPS- und RouteGadget-Daten zu eruieren. Zuerst wurden mit Hilfe eines kleinen Modells (siehe Abbildung 12) die Länge der in RouteGadget eingefügten GPS-Tracks sowie die Länge der Schnittmenge aus dem Buffer und der von Hand eingetragenen Route berechnet. Dieses Modell ergänzt die Attributtabelle der betroffenen Daten mit einer weiteren Spalte, in der dann die Länge der jeweiligen Linie berechnet wird. Für die Berechnung der Länge wurde der Python 9.3-Befehl „!Shape.Length!“ verwendet.



Abbildung 12: Modell zur Berechnung der Länge der GPS-Tracks und der Schnittmenge

Als nächstes folgte die Gegenüberstellung der Längen der in RouteGadget eingepassten GPS-Tracks mit der Länge der Schnittmenge aus Buffer und von Hand eingezeichneter Route. Dazu wurden beide Tabellen mit einem Join zusammengeführt und die Übereinstimmung berechnet. Diese Schritte wurden wiederum mit Hilfe eines kleinen Modelles durchgeführt.

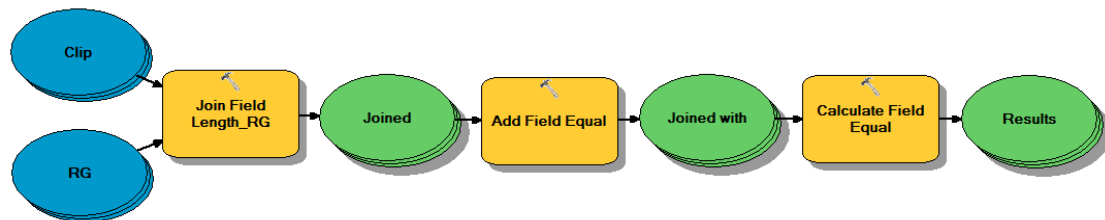


Abbildung 13: Modell zur Zusammenführung der beiden Tabellen und der Berechnung der Übereinstimmung

Das Modell führt die Spalte mit den Längen der in RouteGadget eingepassten GPS-Tracks mit der Schnittmenge aus Buffer und von Hand eingetragener Route zusammen. Anschliessend wird eine weitere Spalte hinzugefügt, in der die Länge der Schnittmenge aus Buffer und von Hand eingetragener Route durch die Länge der GPS-Tracks dividiert wird. Das Ergebnis entspricht der Prozentzahl mit der die jeweilige RouteGadget-Linie der GPS-Linie bei einer Toleranz von 10 m übereinstimmt.

Vergleich der Übereinstimmung von GPS- und RouteGadget-Daten mit der Punktdichte, Bahnlänge und Postenanzahl

Nachdem die Punktdichte sowie die Übereinstimmung von GPS- und RouteGadget-Daten eruiert wurde, können Schlüsse aus dem Vergleich der beiden Berechnungen gezogen werden. Dazu werden die Daten zur Punktdichte sowie die Übereinstimmung in Excel zusammengeführt. Weiter wird eine Spalte mit der Anzahl absolvierter Posten hinzugefügt. Anschliessend werden drei Diagramme mit der Übereinstimmung von GPS- und RouteGadget-Daten auf der X-Achse und Punkte pro Kilometer Bahnlänge, Bahnlänge in Kilometer oder Anzahl Posten auf der Y-Achse generiert.

2.4.3 Erstellung einer Dichtekarte

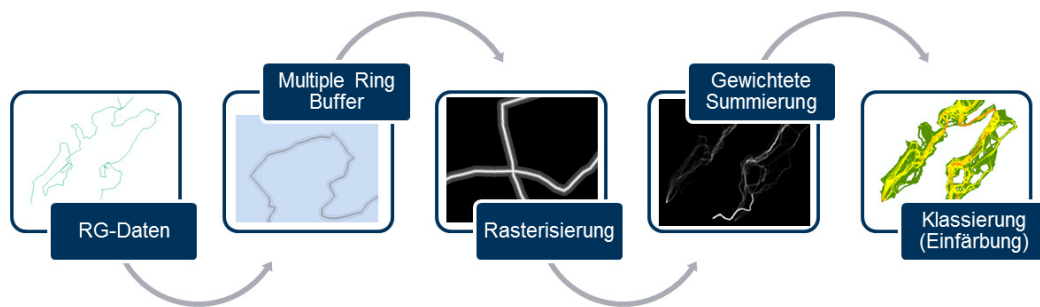


Abbildung 14: Schematischer Ablauf der Erstellung einer Dichtekarte

Für die Erstellung der Dichtekarte wird das aus dem merkinat-File erstellte Shapefile benötigt und in ArcMap eingelesen. Diese Datei enthält die Routen aller Läufer in einem Layer. Da für die Berechnung der Dichtekarte jede Route als einzelner Layer benötigt wird, wird mit Hilfe des Tools „Split By Attribute“ das Shapefile zuerst aufgeteilt. Dieses Tool ist nicht standardmässig in ArcGIS installiert, sondern muss zuerst von der Homepage des Upper Midwest Environmental Science Center heruntergeladen werden (U.S. Department of the Interior, & U.S. Geological Survey, 2012). In der Benutzeroberfläche des Tools kann gewählt werden, nach welchem Attribut das Shapefile aufgeteilt werden soll. Um zum Ziel zu gelangen, dass jede Route ein eigener Layer wird, gibt es mehrere Möglichkeiten. Im vorliegenden Fall wurde das Shapefile nach dem Attribut „Nr.“ aufgeteilt.

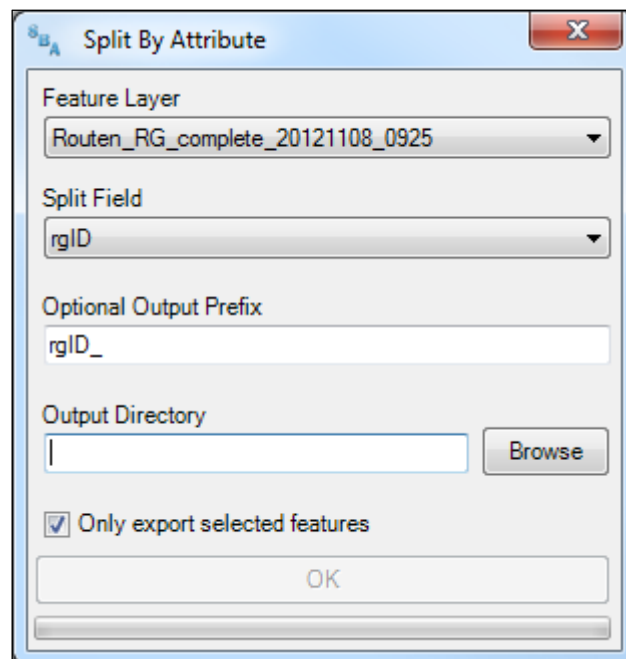


Abbildung 15: Bedienungsfenster des Tools „Split By Attribute“

Wie in Kapitel 2.3.1 beschrieben, wird aus „Ein literarischer Atlas Europas“ die Idee aufgegriffen, dass eine Dichte in Abhängigkeit mit der Distanz zum Objekt steht. Diese Idee wird in der vorliegenden Methode mit verschiedenen grossen Pufferzonen (Buffer) umgesetzt. Es wurden Pufferzonen von 1 m, 2 m, 4 m, 10 m und 1750 m gewählt. Jeder Pufferzone wird ein Dichtewert mitgegeben. Den Pufferzonen 1 m, 2 m, 4 m und 10 m werden die Dichtewerte 1, 0.8, 0.6 und 0.4 zugeordnet. Die Pufferzone 1750 m musste lediglich aus technischen Gründen erstellt werden und erhält deshalb den Dichtewert null. Ohne diese Pufferzone würde später das Summieren der verschiedenen Lauf Routen nicht funktionieren. Die Pufferzonen sowie die Dichtewerte müssten für die Weiterverarbeitung noch fundierter geprüft werden. Dies würde den Aufwand dieser Arbeit übersteigen, könnte jedoch in einer weiterführenden Arbeit untersucht werden.

Tabelle 3: Pufferzonen mit ihren jeweiligen Gewichtungen

Pufferzone	Gewichtung
1 m	1
2 m	0.8
4 m	0.6
10 m	0.4
1750 m	0

Für die Erstellung der Pufferzonen wurde in ArcGIS erneut ein Modell erstellt. Dieses Modell liest die Routen ein und erstellt um jede Linie mehrere Pufferzonen. Weiter wird in jeder Attributtabelle eine neue Spalte hinzugefügt und der Dichtewert der jeweiligen Pufferzone eingefügt.

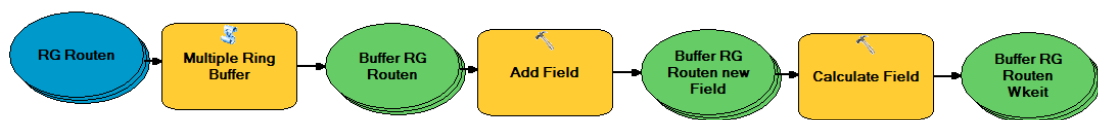


Abbildung 16: Modell für die Erstellung der Pufferzonen und die Zuweisung der jeweiligen Gewichtung

Für die Summierung der verschiedenen Features wird das Tool „Weighted Sum“ verwendet. Da dieses Feature jedoch nur Rasterdaten summieren kann, müssen die einzelnen Layer zuerst gerastert werden. Die Rasterung erfolgt mit dem Konvertierungstool „Feature to Raster“. Anschliessend kann die Summierung der Layer ausgeführt werden. Für die Gewichtung wird jedem Layer der Wert „1“ zugewiesen. Das Resultat der Summierung ist die zu erzielende Dichtekarte.

Damit die Dichtekarte richtig interpretiert werden kann, muss sie noch zweckmässig klassiert respektive eingefärbt werden. Die Swiss Orienteering-Studie von Thomas Stüdeli „Massnahmen zur Sicherung von Schutz- und Sperrgebieten beim Orientierungslauf“ hat aufgrund der bisherigen Studienresultate sieben Kategorien ausgearbeitet, nachdem die Anzahl Läufer während einem Orientierungslauf kategorisiert werden können.

Tabelle 4: Kategorien für die Einfärbung der Dichtekarte (Stüdeli, noch unveröffentlicht)

Kategorie	Anzahl Läufer während dem Lauf	Beschrieb: entspricht ca.
Kategorie 1	> 500	Zieleinlauf Regionaler OLs, Sammelposten bei Nationalen OLs
Kategorie 2	200-500	Grössere Laufkorridore
Kategorie 3	100-200	Angebundene Routen mehrerer Bahnen, kleinere Laufkorridore an Nationalen OLs, grosse Laufkorridore an Regionalen OLs
Kategorie 4	50-100	Angebundene Routen mehrerer OL-Bahnen
Kategorie 5	20-50	Bedeutende Route auf einer Bahn, angebotene Routen unterschiedlicher OL-Bahnen
Kategorie 6	10-20	Mögliche, angebotene Routen auf einer OL-Bahn
Kategorie 7	0-10	Unbedeutende Routen auf einer OL-Bahn, Zufallsrouten, Fehlrouten

Kriterien für eine optimale Darstellung von Läuferbewegungen und Läuferdichten während eines Orientierungslaufwettkampfes

Im Pilotprojekt der Swiss Orienteering-Studie von Thomas Stüdeli wurde ein Verfahren gesucht, mit der sich die Repräsentativität der Datengrundlage überprüfen lässt. Ein Ansatz der bis heute in der Studie verwendet wird, ist die Aufteilung der Rangliste in Drittel. D.h. die Daten in den verschiedenen Ranglistendritteln weisen dieselben Eigenschaften auf. Dieser Ansatz wird nun auch verwendet, um Kriterien für eine optimale Darstellung von Läuferbewegungen und Läuferdichten während eines Wettkampfes zu erarbeiten. (Stüdeli, noch unveröffentlicht)

In dieser Arbeit wird eruiert, wie viele RouteGadget-Daten pro Ranglistendrittel und Kategorie benötigt werden, um eine stimmige Dichtekarte des gesamten Wettkampfes herstellen zu können. Die Tests werden in einer Kategorie durchgeführt und in einer anderen überprüft. Als erstes wird die Dichtekarte aller RouteGadget-Daten einer Kategorie mit dem Tool „Weighted Sum“ erstellt. Diese Dichtekarte wird als Wirklichkeit angenommen. Anschliessend werden Dichtekarten anhand verschiedener Datenanzahlen erstellt. Damit die Dichtekarten miteinander verglichen werden können, werden beim

Summieren der verschiedenen Rasterfiles jeweils verschiedene Gewichte zugewiesen, damit das Total am Schluss wieder das Gleiche ergibt wie bei der wirklichen Dichtekarte.

Um zu bestimmen, ob die erstellten Dichtekarten der Wahrheit entsprechen, wurde eine Testmethode entwickelt. Zuerst wird das Laufgebiet mit einem Polygon definiert. Anschliessend wird über dieses Laufgebiet mit dem Tool „Create Random Points“ 100 Punkte zufällig verteilt. Mit dem Werkzeug „Extract Multi Values to Points“ wird anschliessend für jeden zufällig erstellten Punkt den Dichtewert aus der Karte gelesen. Diese Werte werden in die Attributtabelle des Layer mit den zufällig erstellten Punkten gespeichert. Für die Eruiierung der Dichtewerte aus der Karte würde es in ArcGIS noch eine andere Variante geben, bei der der Wert jedes Pixels herausgegeben wird. Damit liesse sich ein stärker fundiertes Resultat erzielen. Da diese Erkenntnis jedoch erst gegen Schluss der Arbeit aufkam, konnte sie nicht mehr getestet werden.

AB2		fx =IF(AA2>20;3;IF(AA2>10;2;IF(AA2>0;1;IF(AA2=0;0))))					
	AA	AB	AC	AD	AI	AJ	AM
1	HAM_20_20_50V1		HAM_20_20_50V2		HAM		
2	0.00	0.00	1.87	1.00	0.40	1.00	
3	4.45	1.00	8.03	1.00	8.40	1.00	
4	6.88	1.00	3.15	1.00	4.40	1.00	
5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
6	0.77	1.00	0.77	1.00	0.60	1.00	

Abbildung 17: Auswertung der Testpunkte in Excel mit der Wenn-Abfrage

Diese Attributtabelle wird anschliessend als Textfile exportiert und in Microsoft Excel eingelesen. Mit Hilfe von Excel werden die Daten statistisch ausgewertet. Mit einer Wenn-Abfrage wird eruiert, zu welcher Kategorie jeder einzelne Punkt gehört. Punkte mit dem Wert „0“ werden als eigenständige Kategorie betrachtet. Danach wird überprüft, ob der Wert der Punkte der verschiedenen Testvarianten dem Wert der wahren Dichtekarte entspricht oder nicht. Zum Schluss wird ausgerechnet, zu wie viel Prozent die Punkte der Testkarten der wahren Dichtekarte entsprechen. Aus den verschiedenen Varianten wird die Beste ausgewählt und von denen noch weitere Versionen erstellt, um zu überprüfen, ob die Wahrscheinlichkeit der Übereinstimmung auch dem ersten Test entspricht.

Die Ergebnisse wurden anschliessend verwendet, um die Dichtekarte eines Testwettkampfes zu erstellen. Dieser Testwettkampf soll aufzeigen, ob die aufgestellte These auch funktioniert, wenn eine Dichtekarte aus mehreren Kategorien berechnet werden soll. Der Testwettkampf besteht aus den drei Kategorien HAM, H55 und D20. Von diesen Kategorien wurde mit der Gesamtheit der Daten sowie mit den eruierten Parametern je eine Dichtekarte erstellt. Wiederum wurden 100 Testpunkte erstellt und bei beiden Dichtekarten deren Werte herausgelesen und miteinander verglichen.

3 Vergleich von GPS- und RouteGadget-Daten

3.1 Genauigkeit der GPS-Daten

Auf die Genauigkeit von GPS-Tracker wurde bereits in Kapitel 2.1.2 eingegangen. In diesem Kapitel sollen diese Grundlagen anhand von konkreten Beispielen überprüft werden. Neben der absoluten Genauigkeit wird auch die relative Genauigkeit überprüft.

3.1.1 Testgebiete

Für die Überprüfung der Grundlagen wurden wie bereits in Kapitel 2.4.2 beschrieben, verschiedene Testgebiete gewählt. Diese sechs Testgebiete wurden so gewählt, dass sie sich sowohl auf der südlichen sowie nördlichen Talseite befinden. Um Analysen machen zu können, mussten es Gebiete mit klaren Läuferkanälen sein, bei denen mit einer grossen Wahrscheinlichkeit gesagt werden kann, dass der Läufer wirklich dort durchgelaufen ist. Da die Testgebiete nicht alle gleich gross sind, müssen die Resultate mit Vorsicht verglichen werden.



Abbildung 18: Das Wettkampfgelände mit den sechs Testgebieten (Reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (JA100120))

3.1.2 Absolute Genauigkeit

Für die Überprüfung der absoluten Genauigkeiten wurden die Punkte des GPS-Tracks verwendet (siehe Kapitel 2.4.2). Es wurde getestet, wie weit entfernt die GPS-Punkte vom erwarteten Läuferkanal liegen. Der erwartete Läuferkanal wurde in jedem Testgebiet grosszügig eingezeichnet, weshalb auf eine Pufferzone verzichtet wurde. Da es sich beim erwarteten Läuferkanal nicht um eine Linie sondern um eine Fläche handelt, ist zu beachten, dass einige Punkte trotz Fehler in der Berechnung als richtig angesehen werden.

Tabelle 5: Übersicht der absoluten Genauigkeiten in den Testgebieten

	S-chanf	Chapella	Pflichtstrecke	Brücke	Tal	Zieleinlauf	Total
Übereinstimmung	88.8%	58.7%	50.2%	35.8%	44.6%	68.2%	
Mittlere Abweichung	0.8 m	3.7 m	4.1 m	3.6 m	4.3 m	2.6 m	3.7 m
Standardabweichung	1.1 m	3.0 m	5.6 m	4.0 m	3.9 m	2.0 m	4.4 m
Max. Abweichung	4.7 m	11.8 m	29.4 m	15.8 m	16.4 m	10.1 m	

Die obige Tabelle zeigt, dass die Resultate aus den nordwestlich des Flusses liegenden Testgebieten besser sind, als in denjenigen Gebieten, die nahe am südöstlichen Hang liegen. Erstaunlich ist das Resultat der Pflichtstrecke, die in relativ offenem Gelände liegt und trotzdem schlechte Resultate liefert. Wenn die GPS-Tracks auf der Pflichtstrecke in ArcMap betrachtet werden, dann ist zu erkennen, dass die Mehrheit der Tracks sehr gut stimmen. Fünf Tracks sind jedoch um so viel verschoben, dass sie das ganze Resultat stark verschlechtern. Zu erkennen ist dies an der maximalen Abweichung, die bei der Pflichtstrecke fast doppelt so gross ist wie beim Testgebiet „Brücke“.

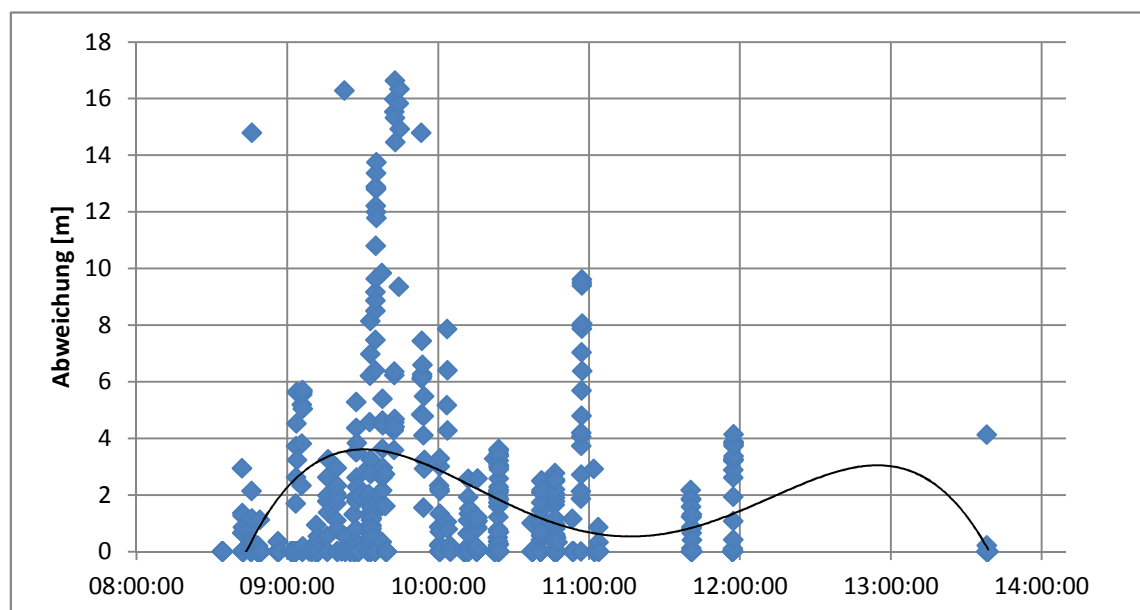


Abbildung 19: Veränderung der absoluten Genauigkeit über die Zeit im Testgebiet „Pflichtstrecke“

Interessant ist die absolute Genauigkeit über die Zeit zu betrachten. Wie in Abbildung 19 ersichtlich, werden zwischen 9 Uhr und 10 Uhr die grössten Abweichungen erreicht. Zwischen 10 Uhr und 11 Uhr sind die Daten bereits wieder erheblich besser. Diese Tendenz ist praktisch in allen Testgebieten zu erkennen (siehe Anhang B: Veränderung der absoluten Genauigkeit in den Testgebieten über die Zeit). Die Genauigkeit der Daten wird grösstenteils mit der Sichtbarkeit der Satelliten zu tun haben. Wie in Abbildung 20 zu sehen, sind zwischen 9.30 Uhr und 10.15 Uhr tatsächlich weniger Satelliten sichtbar als davor und danach. Bei der Genauigkeit der GPS-Daten spielen jedoch noch andere Faktoren mit. Je nach GPS-Empfänger lassen sich andere Genauigkeiten erreichen und selbst die Montage und die Laufrichtung spielen eine Rolle bei der Genauigkeit wie Niemeyer und Reusse in ihrer Studentendarbeit erwähnt haben (siehe Kapitel 2.1.2).

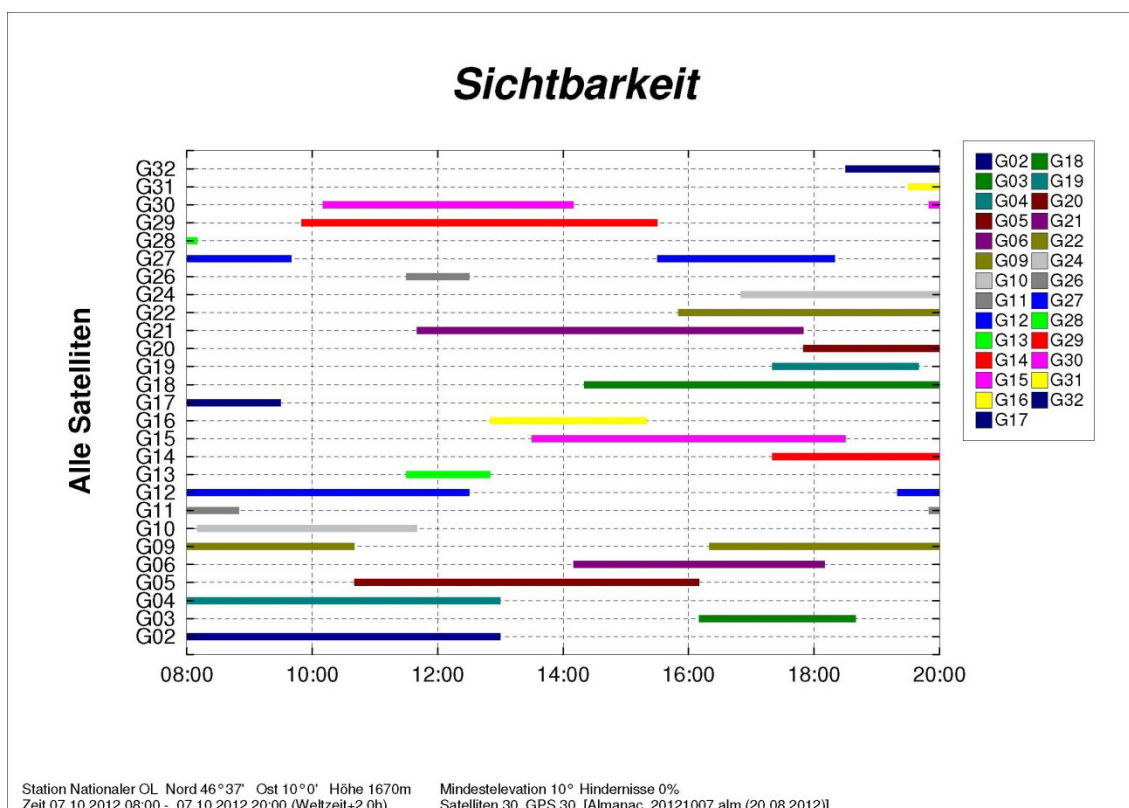


Abbildung 20: Die Sichtbarkeit der Satelliten im Wettkampfgebiet am Tag der Datensammlung

Zur Berechnung der Sichtbarkeit ist noch Folgendes zu erwähnen: Die Sichtbarkeit wurde mit der Trimble Planing Software berechnet (Trimble, 2010). Die Berechnung basiert auf einem Punkt im Wettkampfgelände (Nord 46°37', Ost 10°0') mit einer Mindestelevation von 10° und keinen Hindernissen. Je nach Testgebiet sind die Mindestelevation sowie die Hindernisrate unterschiedlich. In der Tendenz können jedoch für alle Testgebiete ähnliche Satellitensichtbarkeiten erwartet werden.

3.1.3 Relative Genauigkeit

Die Berechnungen der relativen Genauigkeit wurden in den Testgebieten in einem sehr kurzen Teilstück durchgeführt. Dabei wurde die Abweichung der GPS-Tracks zum mittleren Track berechnet (siehe Kapitel 2.4.2).

Tabelle 6: Übersicht der relativen Genauigkeiten in den Testgebieten

	S-chanf	Chapella	Pflicht-strecke	Brücke	Tal	Zieleinlauf	Total
Mittlere Abweichung	0.5 m	3.0 m	4.8 m	2.4 m	6.0 m	1.7 m	2.5 m
Standardabweichung	0.7 m	3.6 m	6.3 m	3.2 m	4.3 m	2.0 m	3.7 m
Max. Abweichung	2.2 m	14.0 m	29.3 m	15.5 m	13.2 m	8.6 m	

Die relative Genauigkeit scheint im Zusammenhang mit der absoluten Genauigkeit zu stehen. In den Gebieten in denen die absolute Genauigkeit gut ist, ist auch die relative Genauigkeit gut. Dasselbe gilt für Gebiete mit schlechten Genauigkeiten.

3.2 Punktdichte von RouteGadget-Daten

Wie viele Punkte der Läufer in RouteGadget einzeichnet, ist sehr individuell. Die Untersuchung aller RouteGadget-Daten haben gezeigt, dass die Läufer im Schnitt 35 Punkte pro Kilometer Bahnlänge einzeichnen. Das Minimum liegt bei 12 Punkten und das Maximum bei 90 Punkten pro Kilometer Bahnlänge. Die Standardabweichung beträgt 12 Punkte. Werden die gezeichneten Punkte pro Kilometer Bahnlänge in Relation mit der Bahnlänge gesetzt, so ist zu erkennen, dass je länger die Bahn ist, desto weniger Punkte pro Kilometer Bahnlänge gezeichnet werden.

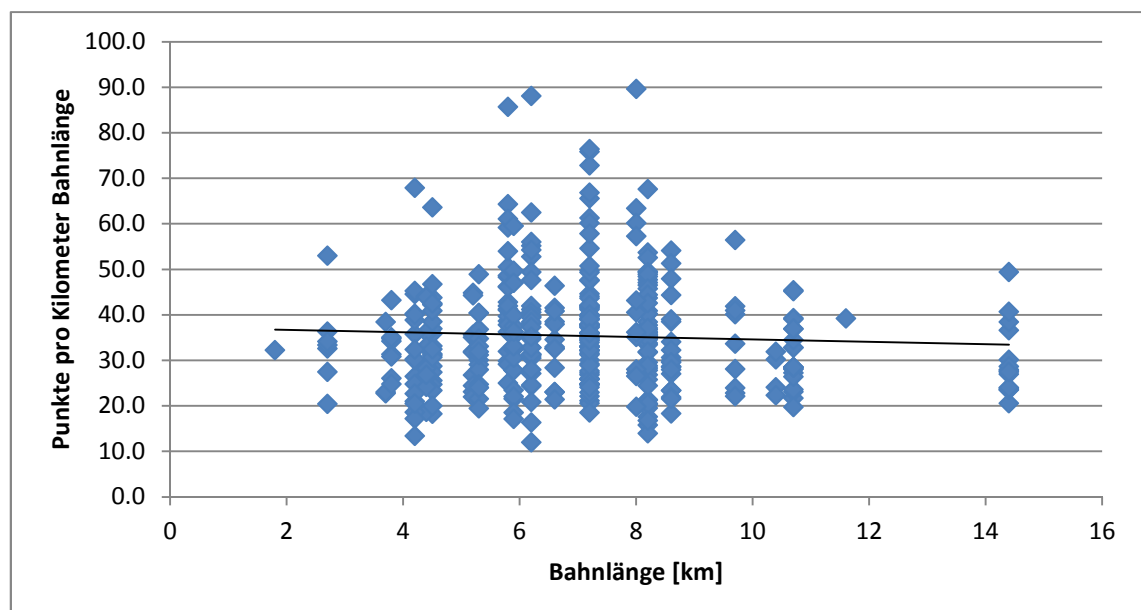


Abbildung 21: Punkte pro Kilometer Bahnlänge in Relation mit der Bahnlänge

3.3 Übereinstimmung von GPS- und RouteGadget-Daten

Ein zentraler Punkt dieser Arbeit ist der Vergleich von GPS- und RouteGadget-Daten. Das Vorgehen der Berechnungen wurde in Kapitel 2.4.2 bereits eingehend dokumentiert. Was noch fehlt, ist die Begründung der Grösse der Pufferzone. Diese basiert auf den Resultaten der relativen Genauigkeit der GPS-Daten. Die 10 m entsprechen der mittleren Abweichung der relativen Genauigkeit von GPS-Daten plus 2σ . D.h. der Läufer bewegte sich mit einer Wahrscheinlichkeit von 95% im Bereich des Buffers.

Die Berechnungen haben ergeben, dass die RouteGadget-Daten bei einer Toleranz von 10 m zu 81.3% den GPS-Tracks entsprechen. Die Standardabweichung beträgt 7.2%, die minimalste Übereinstimmung in der Testmenge 63.0% und die maximalste Übereinstimmung 94.7%. Die mittlere maximale Abweichung der RouteGadget-Daten zu den GPS-Daten, die im gleichen Schritt wie die Punktdichte der RouteGadget-Daten berechnet wurde (siehe Kapitel 2.4.2), beträgt 34.2 m. Die Standardabweichung der maximalen Abweichungen beträgt 10.5 m.

3.3.1 Übereinstimmung von GPS- und RouteGadget-Daten im Vergleich mit der Punktdichte, Bahnlänge und Postenanzahl

Der Vergleich der Übereinstimmung von GPS- und RouteGadget-Daten und der Punktdichte liefert kein eindeutiges Ergebnis. Lediglich eine kleine Tendenz ist zu beobachten. Die Tendenz zeigt, dass je mehr Punkte pro Kilometer Bahnlänge gezeichnet werden, desto besser die Übereinstimmung ist.

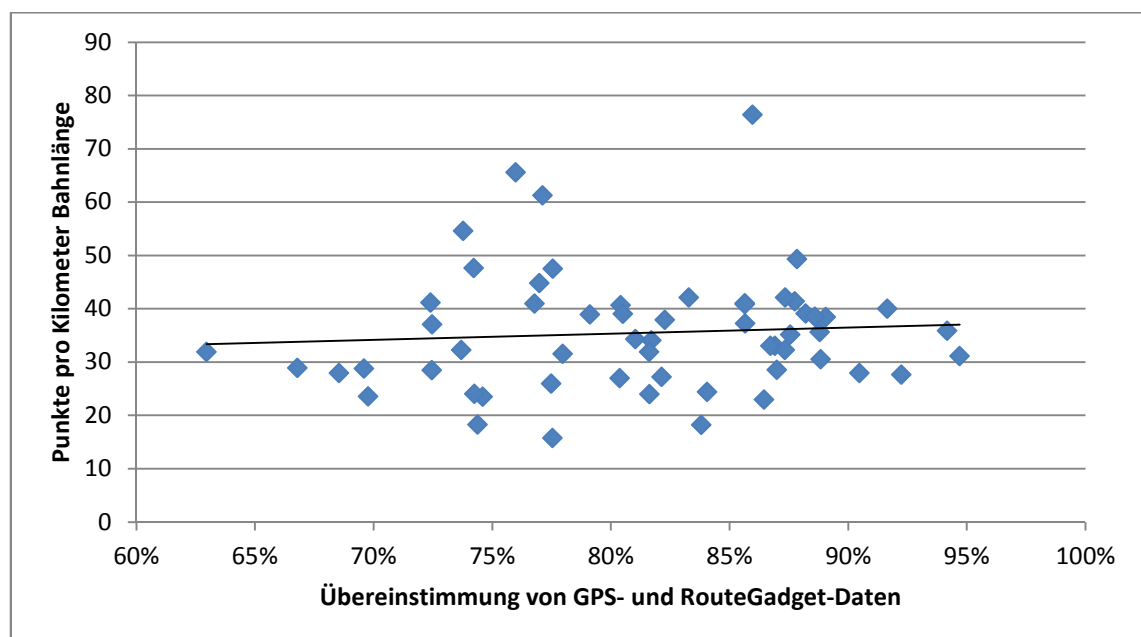


Abbildung 22: Übereinstimmung von GPS- und RouteGadget-Daten im Vergleich mit der Anzahl Punkte pro Kilometer Bahnlänge

Eine etwas klarere Aussage lässt sich mit der Gegenüberstellung der Bahnlänge mit der Übereinstimmung von GPS- und RouteGadget-Daten ableiten (siehe Abbildung 23). Es gibt eine klare Tendenz, dass je länger die Bahn, desto schlechter die Übereinstimmung von GPS- und RouteGadget-Daten ist. Über die Ursachen lässt sich nur mutmassen. Eine Vermutung ist, dass alle die ihre Route in RouteGadget einzeichnen, nur eine gewisse Zeit dafür investieren wollen - unabhängig der Bahnlänge. D.h. dass längere Bahnen mit einer grösseren Geschwindigkeit eingezeichnet werden müssen, was wohl zu Ungenauigkeiten führt.

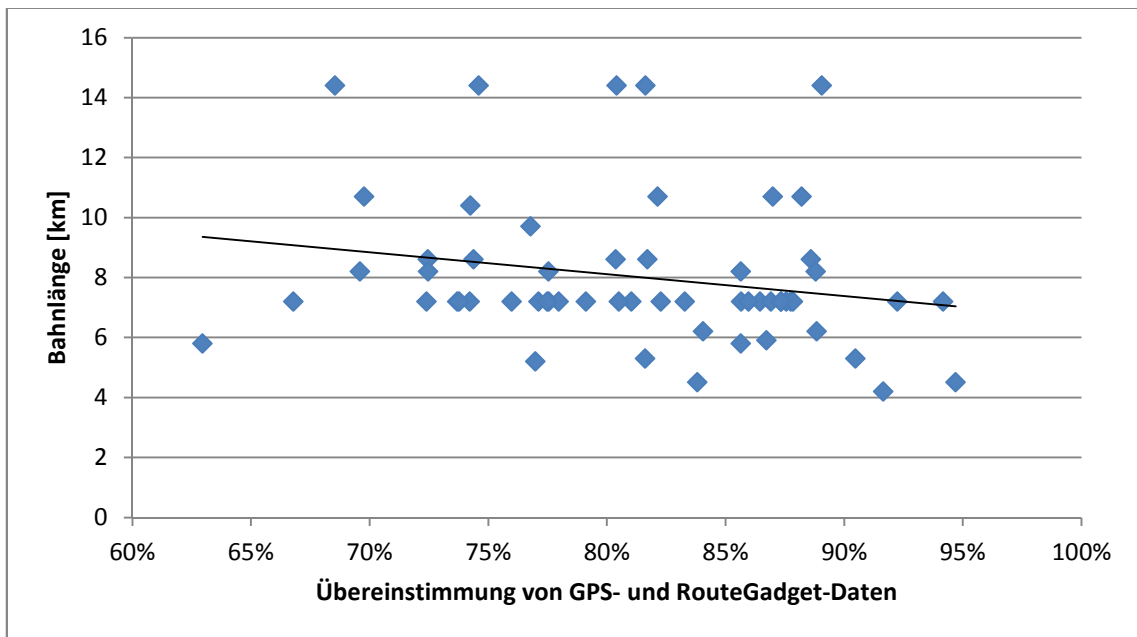


Abbildung 23: Übereinstimmung von GPS- und RouteGadget-Daten im Vergleich mit der Bahnlänge

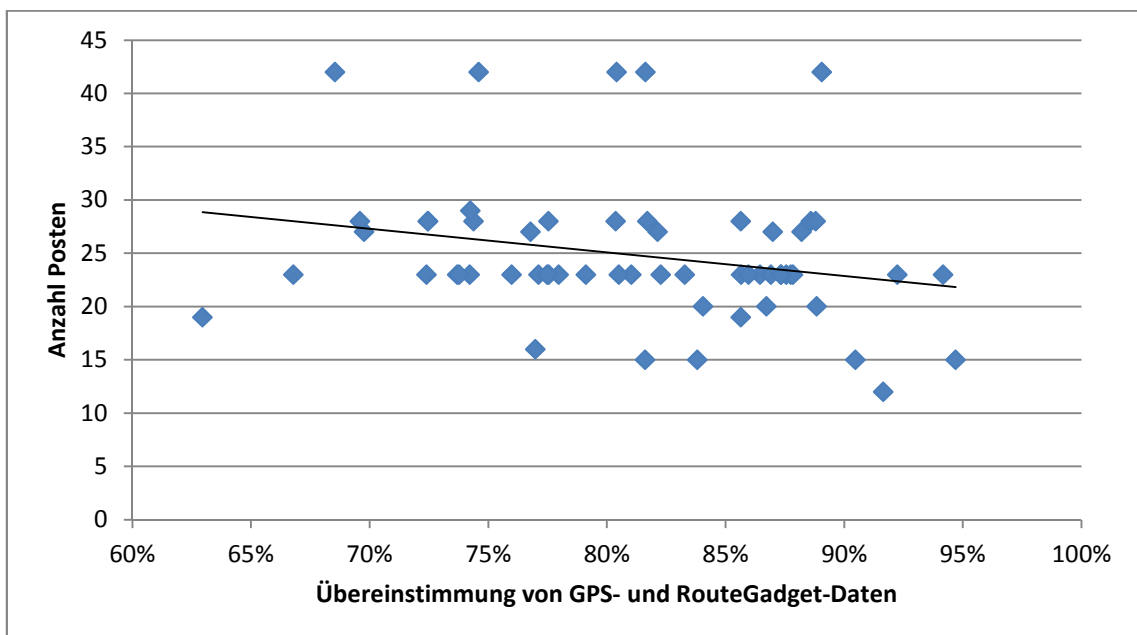


Abbildung 24: Übereinstimmung von GPS- und RouteGadget-Daten im Vergleich mit der Anzahl Posten

In derselben Grössenordnung stimmt auch die Aussage, dass je mehr Posten eine Bahn hat, desto schlechter die Übereinstimmung von GPS- und RouteGadget-Daten ist (siehe Abbildung 24). Dies überrascht, da mehr Fixpunkte eigentlich eher eine Hilfe für genaueres Einzeichnen darstellen sollten.

3.3.2 Einfluss der Kartengenauigkeit

Ein Aspekt der bei der Beurteilung der Genauigkeit von RouteGadget-Daten nicht ausser Acht gelassen werden darf, ist die Kartengenauigkeit. Da die Routen in RouteGadget auf Basis der OL-Karte eingezeichnet werden, können die eingezeichneten Routen im Vergleich mit globalen Daten nur so genau sein, wie die OL-Karte selbst. Wenn nun also die Karte ungenau ist, dann wird auch die eingetragene Route diesen Fehler enthalten.



Abbildung 25: Überlagerung des Luftbildes mit Teilen der OL-Karte S-chanf (Luftbild: Reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (JA100120))

Der Kartograf und Orientierungsläufer Arne Rohweder hat im Rahmen der Laufanalyse in S-chanf auf dieses Problem, jedoch im Zusammenhang mit GPS-Daten, aufmerksam gemacht. Er hat auch kurzerhand getestet, ob die OL-Karte von S-chanf genau ist. Dazu hat Rohweder einen Ausschnitt der Karte über das Luftbild von map.geo.admin gelegt

und visuell verglichen. Die Analyse hat ergeben, dass die OL-Karte haargenau über das Luftbild passt. Dies deutet darauf hin, dass die OL-Karte S-chanf, wie ein Grossteil der in der heutigen Zeit hergestellten OL-Karten, auf der Grundlage von Luftbildern basiert. Da die Analyse der Genauigkeit der GPS-Daten in dieser Arbeit im Bezug mit einem Luftbild durchgeführt wurde, spielt die Kartengenauigkeit dafür keine Rolle. Wenn jedoch die Genauigkeit von GPS-Daten mit Hilfe einer OL-Karte untersucht würde, dann wäre die Kartengenauigkeit massgebend.

3.3.3 Zeitliche Variabilität der RouteGadget-Daten

Wie zuvor gezeigt, ist die Übereinstimmung von GPS- und RouteGadget-Daten von Läufer zu Läufer unterschiedlich. Selbst derselbe Läufer zeichnet seine gelaufene Route nach einer gewissen zeitlichen Differenz unterschiedlich ein. Dies hat eine Gegenüberstellung der Daten eines Läufers gezeigt, der seine Route zweimal in RouteGadget eingetragen hat. Das vorliegende Beispiel ist jedoch kein Einzelfall. Wie stark sich die beiden Routen unterscheiden und ob dies einen Einfluss auf die Genauigkeit hat, wurde jedoch nicht untersucht. Dies könnte in einer weiterführenden Arbeit eruiert werden. Dazu müsste aber eine grössere Menge von sogenannten Doppeleinträgen vorhanden sein.

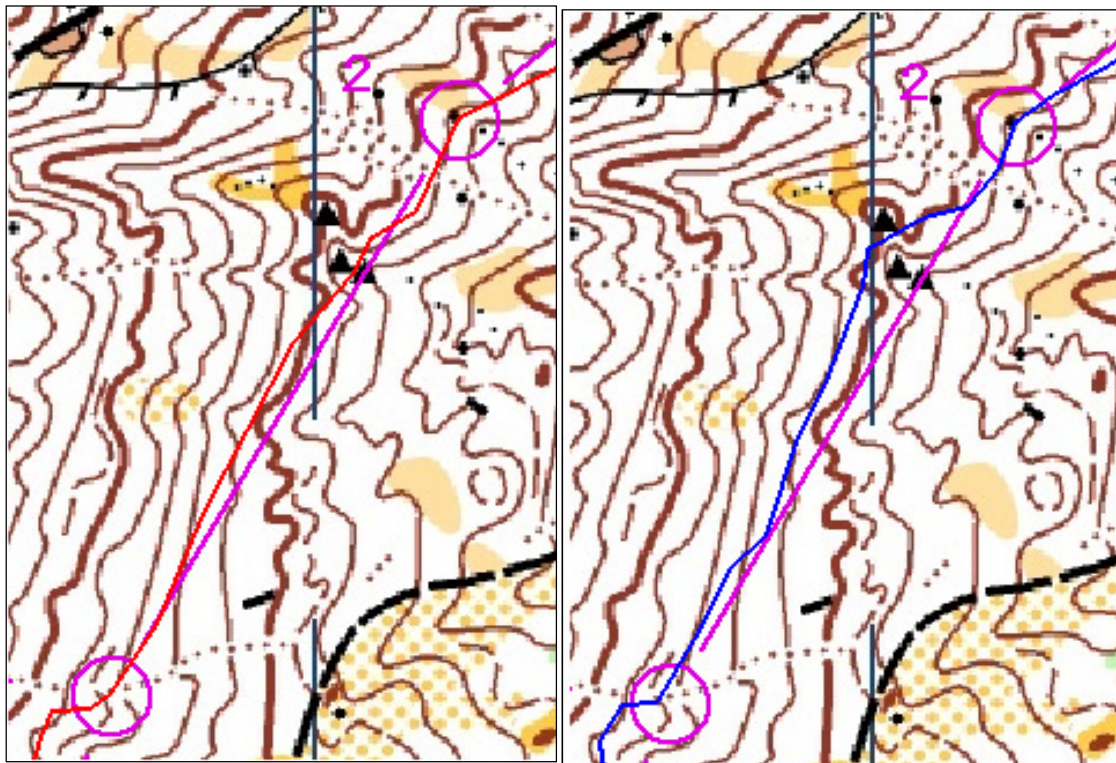


Abbildung 26: Zwei unterschiedliche Einträge eines Läufers in RouteGadget

3.4 Zwischenfazit von GPS- und RouteGadget-Daten

Tabelle 7: Gegenüberstellung von GPS- und RouteGadget-Daten

	GPS-Daten	RouteGadget-Daten
Genauigkeit	10m mit 95% Wahrscheinlichkeit	81% Übereinstimmung mit GPS
Wegpunkte	1 pro Sekunde oder tiefere Frequenz	durchschnittlich 35 pro km Bahnlänge
Zeitverknüpfung	direkt in Daten	indirekt über Start- und Laufzeit
Auswertung	direkt mit Rohdaten	via Python-Skript
Benötigte Geräte	GPS-Empfänger, Computer	Computer
Preis	teuer	kostengünstig

GPS-Daten sind leicht genauer als RouteGadget-Daten. Auch bei der Anzahl der Wegpunkte sind GPS-Daten zu bevorzugen. Werden die 35 Wegpunkte pro Kilometer Bahnlänge bei den RouteGadget-Daten in zeitliche Relation gesetzt (es wird angenommen, dass ein Läufer sechs Minuten pro Kilometer benötigt), dann entspricht dies einem Wegpunkt pro zehn Sekunden. Sollen Analysen im Zusammenhang mit der Zeit gemacht werden, dann haben die GPS-Daten klare Vorteile. Die GPS-Daten beinhalten automatisch die Uhrzeit. Bei den RouteGadget-Daten ist diese nur über die Start- und Laufzeit zu berechnen. Die Zeit kann jedoch nur für die Punkte bei den Posten und nicht für jeden Wegpunkt berechnet werden. GPS-Daten können direkt mit Hilfe der Rohdaten ausgewertet werden. Soll der GPS-Track jedoch auf einer Karte eingepasst werden, dann braucht dies doch etwas Übung. Je nachdem wie viel Zeit in das Einpassen des Tracks investiert wird oder wie viel Erfahrung jemand im Einpassen von GPS-Tracks in Karten hat, desto genauer oder eben ungenauer wird die eingepasste Route. Um mit den RouteGadget-Daten weiterarbeiten zu können, braucht es einen Zwischenschritt über ein Python-Skript, was das Verfahren etwas verkompliziert. Dafür werden für das Arbeiten mit RouteGadget-Daten lediglich ein Computer und allenfalls eine Internetverbindung benötigt. Um zu GPS-Daten zu gelangen, wird zusätzlich ein GPS-Gerät benötigt. Diese Geräte sind zwar günstiger als vor einigen Jahren, trotzdem bedeutet dies doch ein erheblicher finanzieller Aufwand, falls die Routen einer Vielzahl von Läufer mit einem GPS-Gerät aufgezeichnet werden sollen. Aus finanzieller Sicht ist deshalb die Verwendung von RouteGadget-Daten klar zu bevorzugen.

4 Erstellung einer Dichtekarte

4.1 Vergleich von verschiedenen Methoden

Wie in Kapitel 2.3.1 bereits erwähnt, gibt es verschiedene Varianten, um Dichtekarten zu erstellen. Die Resultate der verschiedenen Methoden werden in diesem Kapitel präsentiert.

4.1.1 Liniendichte

Für die Erstellung einer Dichtekarte mit dem ArcGIS-Tool „Line Density“ wurde der Suchradius jeweils halb so gross gewählt wie die Rastergrösse. Damit gehen Linienstücke in den Ecken der Rasterzelle verloren (weisse Teile in Abbildung 27). Es war jedoch wichtig, dass keine Linien doppelt gezählt werden. Wenn der Suchradius gleich der halben Diagonalen der Raster gewählt wird, dann gibt es Linienstücke, die doppelt gezählt werden.

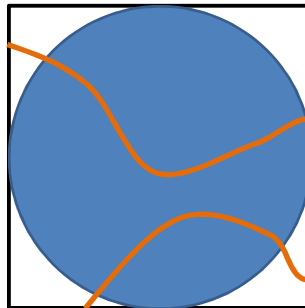
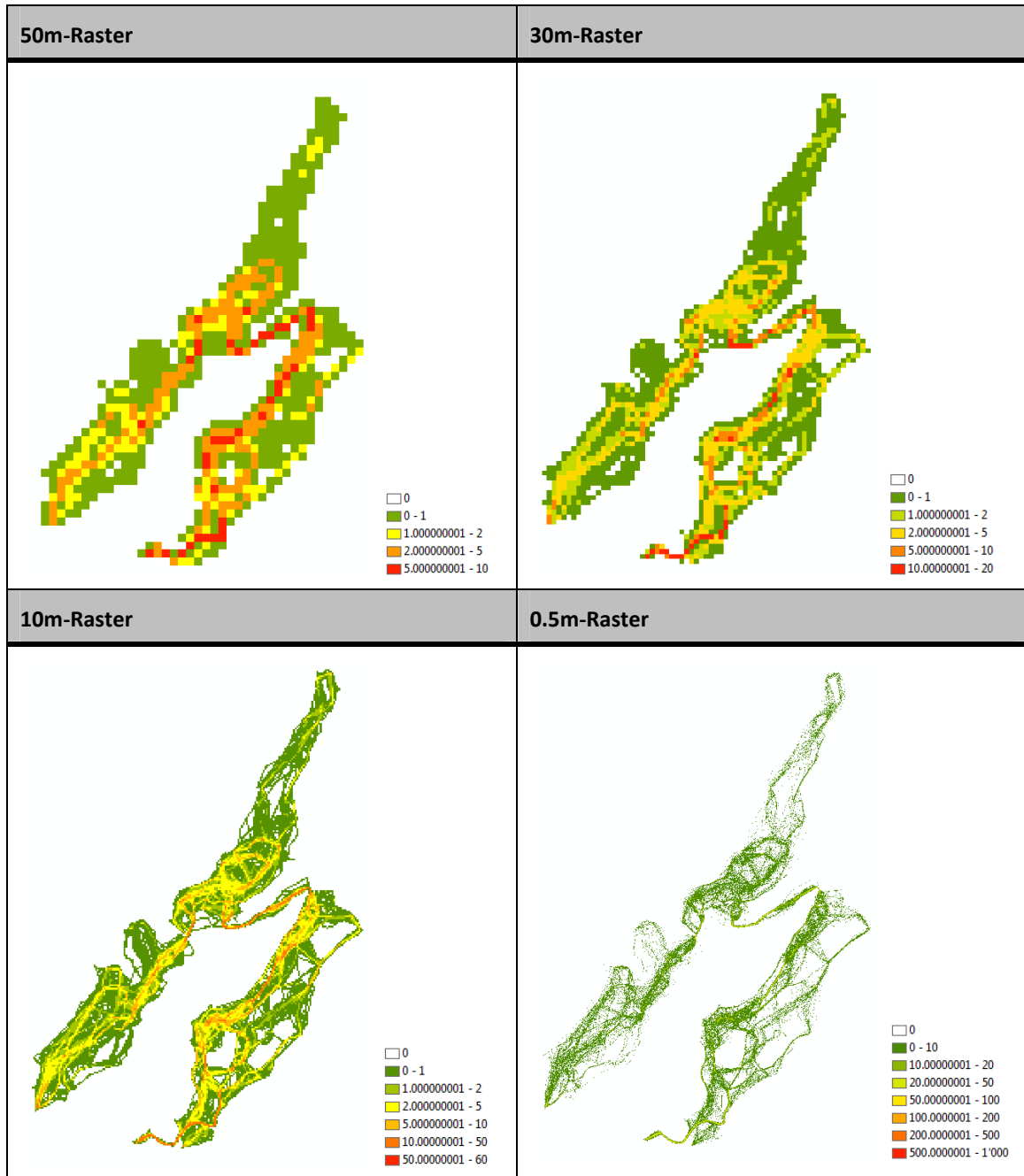


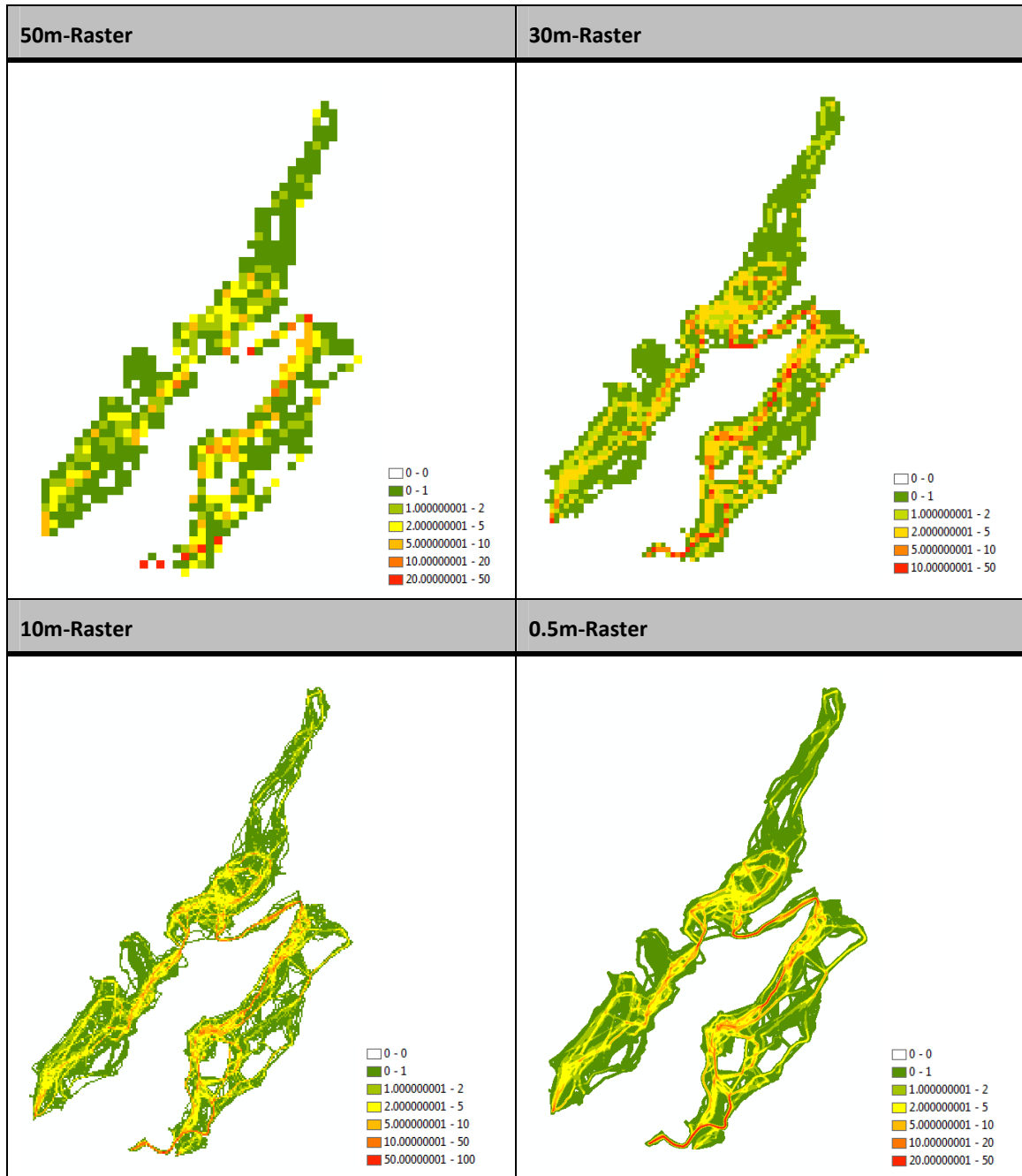
Abbildung 27: Rasterzelle mit dem für die Berechnung massgebenden Kreis

Vorteil dieser Variante ist, dass sich die Dichtekarte aus den Linien sehr schnell berechnen lässt. Wird eine Rastergrösse von 10 m sowie ein Radius von 5 m gewählt, so gibt die Dichtekarte bei geeigneter Klassierung einen sehr guten Eindruck über die Läuferdichten (siehe Tabelle 8). Wie später in Kapitel 4.1.4 zu sehen sein wird, kommt diese Karte visuell sehr nahe an die Dichtekarte der Methode nach dem Vorbild von „Ein literarischer Atlas Europas“. Jedoch auch bereits ein Raster von 30 m gibt einen guten ersten Eindruck. Wird jedoch das Raster auf 0.5 m verkleinert, dann ist die Dichtekarte nicht mehr aussagekräftig, da praktisch nur einzelne Linien sichtbar werden. Ein grosser Nachteil dieser Variante besteht darin, dass sie nicht die effektive Läuferdichte pro Rasterzelle berechnet, sondern die Summe der Längen der Linien im Suchradius, multipliziert mit einem Bevölkerungswert, geteilt durch die Fläche des Kreises. Ebenfalls ändern sich je nach Rastergrösse der Dichtewerte. Somit ist diese Variante für den benötigten Gebrauch nur bedingt brauchbar.

Tabelle 8: Darstellung der Liniendichte mit vier verschiedenen Rastergrössen

4.1.2 Kerneldichte

Die Variante mit der Kerneldichte kommt der Methode nach dem Vorbild von „Ein literarischer Atlas Europas“, die im Rahmen dieser Arbeit erarbeitet wurde, sehr nahe. Denn der Dichtewert steht bei beiden Varianten im Zusammenhang mit der Entfernung zum Objekt. Als Rastergrösse wurden wie bei der Liniendichte 50 m, 30 m, 10 m sowie 0.5 m und als Suchradius jeweils die halbe Rastergrösse gewählt.

Tabelle 9: Darstellung der Kerneldichte mit vier verschiedenen Rastergrößen

Wie mit dem Tool der Liniendichte ist auch, wie in der obigen Tabelle zu sehen, mit der Kerneldichte sehr schnell ein anschauliches Resultat zu erzielen. Ein weiterer Vorteil ist, dass ein abgestufter Dichtewert verwendet wird. Die Nachteile der Kerneldichte sind mit den Nachteilen der Liniendichte zu vergleichen. Die Kerneldichte entspricht nicht der absoluten Läuferdichte im Raster, sondern die Dichte jeder Rasterzelle ist die Summierung aller Kernel-Oberflächen im Raster-Zellenmittelpunkt. Weiter variieren die Dichtewerte je nach gewählter Rastergröße. Somit ist diese Variante auch nur bedingt geeignet für die Betrachtung der Läuferdichte.

4.1.3 Methode Jarkko Ryyppö

Mit der Methode von Jarkko Ryyppö lässt sich in kurzer Zeit eine Dichtekarte der Gesamtheit der Läufer eines Wettkampfes erstellen. Die Karte weist jedoch einige Fehler auf. So sind einige - meist senkrechte - grüne Linien sichtbar. Diese kommen jedoch nicht von einem fehlerhaften Skript, sondern von fehlerhaften Koordinaten im merkinat-File. Weiter ist die Gewichtung der einzelnen Routen sehr grob und entspricht wohl nicht der Wirklichkeit. Das Kapitel 4.2 wird aufzeigen, wie die Routen gewichtet werden sollten, um eine stimmige Dichtekarte der Gesamtheit eines Wettkampfes erstellen zu können.

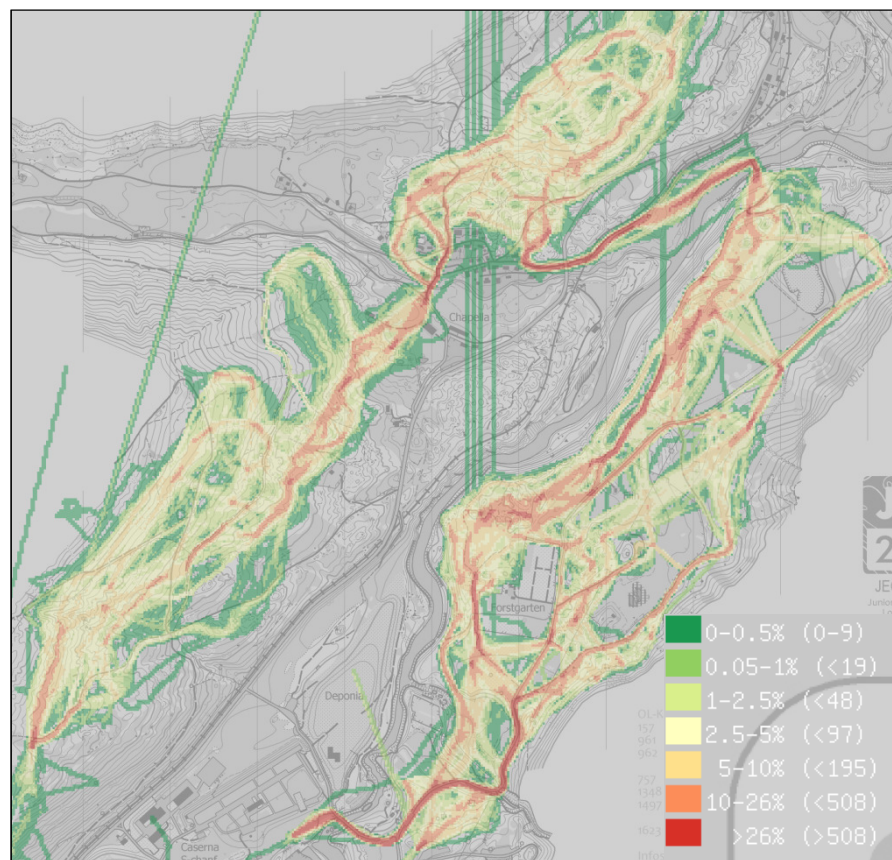


Abbildung 28: Ausschnitt der Dichtekarte nach der Methode Jarkko Ryyppö

Die oben abgebildete Dichtekarte wurde mit einem leicht abgeänderten Skript (siehe Anhang A) erstellt. Gegenüber dem Originalskript wurde die Farbrampe so angepasst, dass sie in etwa der Kategorisierung aus Kapitel 2.4.3 entspricht. Im Moment lassen sich im Skript nur die Prozentzahlen der Läuferanzahl pro Farbkategorie auf einfache Art und Weise variieren. Da jedoch jeder Wettkampf eine andere Teilnehmerzahl hat, muss dies für jeden Wettkampf neu angepasst werden, was auf lange Dauer als nicht praktisch erscheint. Aus diesem Grund sollte im Skript eine Funktion eingebaut werden, damit direkt die Anzahl Läufer pro Farbkategorie festgelegt werden könnte. Die Methode Jarkko Ryyppö kommt jedoch einer optimalen Dichtekarte bereits sehr nahe, da die absolute Läuferdichte dargestellt wird.

4.1.4 Methode nach dem Vorbild von „Ein literarischer Atlas Europas“

Wie in den Kapitel 2.3.1 und 2.4.3 beschrieben, wird bei der konzipierten Methode, die auf einer Methode des literarischen Atlas Europas beruht, eine Dichte in Abhängigkeit mit der Distanz zum Objekt verwendet. Die definierten Pufferzonen 1 m, 2 m, 4 m, 10 m sowie 1750 m wurden aus folgenden Überlegungen gewählt: Die Signatur „Pfad“ auf einer Orientierungslaufkarte entspricht etwa einem Meter. Aus diesem Grund ist es nicht möglich, seine gelaufene Route genauer einzuzeichnen und deshalb erhält dieser Bereich den Dichtewert 1. Der Pufferbereich 2 m (Dichtewert 0.8) wurde gewählt, da dies der breite eines Fussweges entspricht. Analog dazu ist 4 m (Dichtewert 0.6) die Breite eines Fahrweges und 10 m (Dichtewert 0.4) eine durchschnittliche Breite einer asphaltierten Strasse. Die Pufferzone 1750 m (Dichtewert 0) wurde lediglich aus technischen Gründen eingeführt, da nur Gebiete summiert werden können, die auch Daten enthalten. Diese Pufferzone wurde etwas zu klein gewählt, was der Grund dafür ist, dass in der Dichtekarte der nördlichste Teil der OL-Karte nicht abgedeckt ist. Die Überlegungen im Zusammenhang mit den Pufferzonen und im Speziellen mit den Dichtewerten wurden jedoch eher willkürlich gewählt und nicht weiter geprüft. In einer weiterführenden Arbeit könnten die Pufferbereiche und Gewichtungen genauer definiert werden. Da für die GPS-Tracks andere Pufferzonen hätten definiert werden müssen, was viel Zeit in Anspruch genommen hätte, wurden für die Erstellung der Dichtekarte lediglich die von Hand in RouteGadget eingezeichneten Routen verwendet.

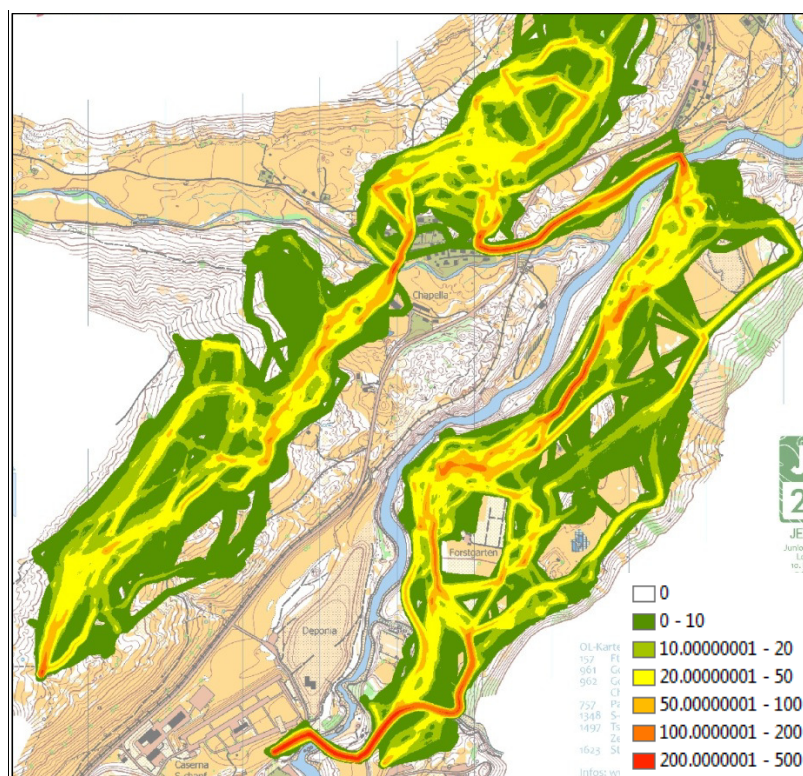


Abbildung 29: Ausschnitt der Dichtekarte nach dem Vorbild von „Ein literarischer Atlas Europas“

4.1.5 Vor- und Nachteile der Methoden auf einen Blick

Tabelle 10: Vergleich der Methoden zur Erstellung einer Dichtekarte

Methode	Vorteile	Nachteile
Liniendichte	<ul style="list-style-type: none"> • schnelle Berechnung 	<ul style="list-style-type: none"> • zeigt nicht die effektive Läuferdichte • Dichtewerte ändern sich je nach Rastergrösse
Kerneldichte	<ul style="list-style-type: none"> • schnelle Berechnung • Verwendung von Dichtewert in Abhängigkeit mit der Distanz zum Objekt 	<ul style="list-style-type: none"> • zeigt nicht die effektive Läuferdichte • Dichtewerte ändern sich je nach Rastergrösse
Methode Jarkko Ryyppö	<ul style="list-style-type: none"> • schnelle Berechnung • zeigt effektive Läuferdichte • zeigt dank Gewichtung Gesamtheit der Läufer 	<ul style="list-style-type: none"> • Gewichtung entspricht nicht der Wirklichkeit
Methode nach dem Vorbild von „Ein literarischer Atlas Europas“	<ul style="list-style-type: none"> • Verwendung von Dichtewert in Abhängigkeit mit der Distanz zum Objekt • sehr flexibel 	<ul style="list-style-type: none"> • sehr zeitintensiv • grosse Datenmenge • viele Schritte

4.2 Kriterien für die Erstellung einer Dichtekarte

Die Tests, wie viele Prozente der Daten pro Ranglistendrittel benötigt werden, wurden mit verschiedenen Szenarien in der Kategorie HAM durchgeführt. Diese Tests haben ergeben, dass 20% der Daten aus den ersten zwei Ranglistendrittel sowie 50% der Daten aus dem dritten Ranglistendrittel benötigt werden, um ein bestmögliches Resultat zu erzielen (siehe Tabelle 11). Diese These wurde in der Kategorie H55 mit drei verschiedenen Datensätzen überprüft. Diese Überprüfung hat ergeben, dass diese These auch für die Kategorie H55 stimmt. Nach der Berechnung resultierte eine Übereinstimmung von 78%, 83% sowie 91%. Im Schnitt ergibt sich somit eine Übereinstimmung von 84%, was praktisch dem Wert der Kategorie HAM entspricht. Die aufgestellte These ist somit in allen Kategorien anwendbar.

Wie in Kapitel 2.4.3 beschrieben, wird zum Schluss geprüft, ob sich die aufgestellte These auch für die Darstellung eines ganzen Wettkampfes eignet. Dazu wird ein kleiner Wettkampf mit den Kategorien HAM, H55 sowie D20 simuliert. Aus den drei Kategorien werden je 20% der Daten aus den ersten beiden Ranglistendrittel sowie 50% der Daten aus dem dritten Ranglistendrittel für die Erstellung einer Dichtekarte verwendet.

Das Resultat zeigt, dass 84% der Testpunkte der hochgerechneten Karte dem Wert der wahren Karte mit allen Daten entsprechen. Somit ist bewiesen, dass die aufgestellte These auch auf mehrere Kategorien angewendet werden kann und sich damit die Dichtekarte eines gesamten Wettkampfes errechnen lassen würde. Die wahre Dichtekarte sowie die hochgerechnete Dichtekarte sind in Abbildung 30 zu sehen. Leider war es nicht möglich, eine Dichtekarte des gesamten Wettkampfes zu erstellen, da von vielen Kategorien Daten fehlten. Auch wurde kein Konzept zur Kompensation von fehlenden Daten erarbeitet. Dies könnte allenfalls in einer weiterführenden Arbeit eruiert werden.

Tabelle 11: Übereinstimmung der Tests mit der wahren Dichtekarte der Kategorie HAM je nach Anzahl verwendeter Daten

Anzahl Daten pro Ranglistendrittel	Übereinstimmung der Tests mit der wahren Dichtekarte
15%/15%/15%	74%
20%/20%/20%	80%
33%/33%/33%	77%
10%/10%/50%	78%
15%/15%/33%	76%
15%/15%/50%	80%
20%/20%/33%	81%
20%/20%/50%	85%
20%/33%/50%	83%

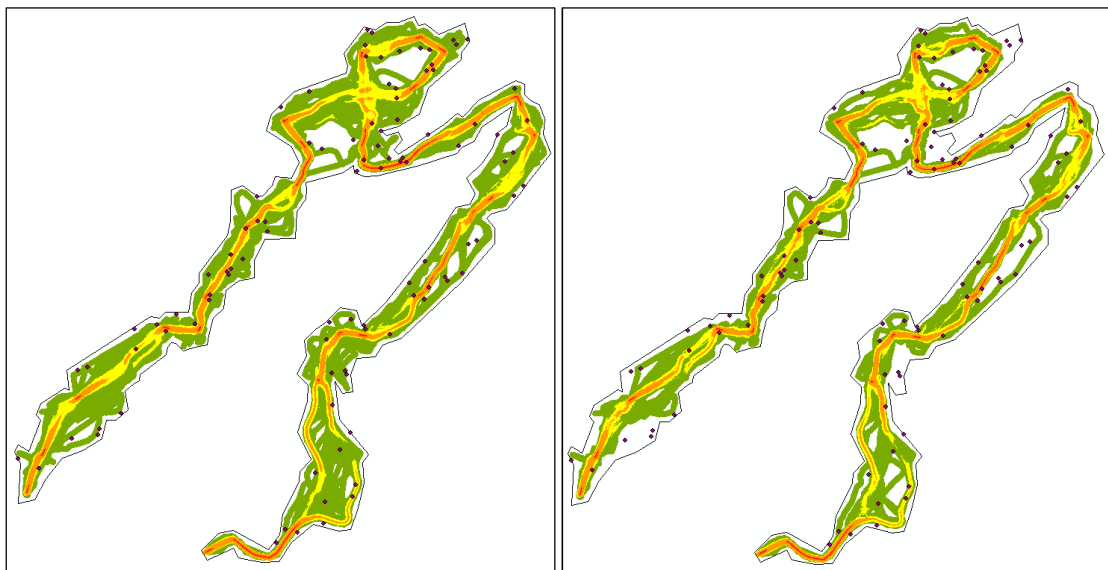


Abbildung 30: Die wahre Dichtekarte des Testwettkampfes (links) sowie die hochgerechnete Dichtekarte mit den Testpunkten

Interessant ist auch zu betrachten, zu welchen Kategorien diejenigen Punkte gehören, die nicht dem Wert der richtigen Karte entsprechen. 100% der Punkte die in der wahren Dichtekarte keinen Läufer enthalten, enthalten auch in der hochgerechneten Karte keinen Läufer. Dies ist auch logisch, da die wahre Dichtekarte aus der Gesamtheit der Daten besteht und bei der Hochrechnung nicht plötzlich neue Daten entstehen können. Die schlechteste Übereinstimmung gibt es bei der Kategorie mit 0 bis 10 Läufern. Lediglich 74% der Punkte in der Hochrechnung entsprechen der Kategorie der wahren Dichtekarte. Diejenigen die nicht der Kategorie entsprechen, wurden zu über 90% als zu tief kategorisiert und zeigen keinen Läufer an. Lediglich 6% der falsch klassierten Punkte wurden in Wirklichkeit von weniger Läufer passiert, als der Punktwert anzeigt. Werden die Kategorien mit 10 bis 20 Läufer und mit 20 bis 50 Läufer betrachtet, dann wurden nur ganz wenige Punkte falsch klassiert. Ob die Punkte dieser Kategorien grundsätzlich eher zu tief oder zu hoch klassiert werden, kann nicht abschliessend beantwortet werden, da schlicht zu wenig Daten vorhanden sind, um abschliessende Aussagen machen zu können.

Tabelle 12: Übersicht über die klassierten Punkte in der wahren Dichtekarte sowie der Hochrechnung und ihrer Kategorienzugehörigkeit

Kategorie	Anzahl Punkte wahre Karte	Anzahl Punkte Hochrechnung	zu tief kategorisiert	zu hoch kategorisiert	Übereinstimmung in %
0 Läufer	34	47	13	0	100%
0-10 Läufer	54	41	1	0	74%
10-20 Läufer	10	10	0	1	90%
20-50 Läufer	2	2	0	0	100%

Das benützte Verfahren zur Auswertung und Interpretation der Resultate der Übereinstimmung der hochgerechneten Dichtekarte mit der wahren Dichtekarte ist eine von vielen möglichen Varianten. Eine etwas abgeänderte Variante fasst die Kategorien mit keinen Läufern und 0 Läufern bis 10 Läufern zusammen. In diesem Falle ist bei den Resultaten kein Unterschied zwischen den Szenarien mehr zu erkennen, da die Übereinstimmung bei allen Tests zwischen 96% und 100% liegt. Eine weitere Möglichkeit ist, zu testen, ob die Werte der Punkte des Tests mit einer Toleranz von ± 2 den Werten der wahren Dichtekarte entsprechen. Wäre dieses Verfahren gewählt worden, dann wäre der Schluss gewesen, dass jeweils 20% der Daten pro Ranglistendrittel hätten verwendet werden müssen. Allgemein wäre die Übereinstimmung bei dieser Art leicht höher als bei der verwendeten Variante. Das Verfahren mit einer Toleranz von ± 2 hat jedoch klar zum Nachteil, dass die Toleranz je nach Kategorie jeweils eine grössere oder kleinere Prozentzahl der Läufer ausmacht.

5 Schlussfolgerung und Ausblick

5.1 Schlussfolgerung

Das erste Ziel bestand darin, einen Vergleich von GPS-Tracks und RouteGadget-Daten zu ziehen. Daraus geht als zentraler Punkt hervor, dass RouteGadget-Daten gut mit den GPS-Daten übereinstimmen und diese Daten somit für weitere Analysen genutzt werden können. Zwischen den verschiedenen Kategorien, Altersgruppen und Bahnlängen treten keine bedeutenden Unterschiede in der Übereinstimmung auf. Weiter geht aus dem Vergleich hervor, dass RouteGadget-Daten aus ökonomischer Sicht zu bevorzugen sind. Für das Eintragen einer Route von Hand in RouteGadget wird lediglich ein Computer mit Internetanschluss benötigt. Will ein Benutzer mit einem GPS-Gerät arbeiten, so braucht er zusätzlich ein Gerät, das je nach Ausstattung eine Menge Geld kostet. Weiter muss der GPS-Track für die Weiterverarbeitung mit RouteGadget eingepasst werden, was einen nicht zu vernachlässigenden Aufwand mit sich bringt. Auf der anderen Seite bringen jedoch auch die GPS-Daten einige Vorteile mit sich. So sind diese Daten tendenziell doch etwas genauer als die RouteGadget-Daten. GPS-Daten weisen mehr Wegpunkte auf. Ebenfalls sind die GPS-Daten direkt mit der Zeit verknüpft, was je nach Analyse einen Vorteil bringen kann.

Das zweite Ziel war die Darstellung von Läuferbewegungen und Läuferdichten sowie die Erarbeitung von Kriterien für eine optimale Darstellung. Es gibt eine Vielzahl von Möglichkeiten, um eine Dichtekarte zu erstellen. Jede Methode hat seine Vor- und Nachteile. Die während der Arbeit erarbeitete Methode versucht, eine Vielzahl der Vorteile zu vereinen. Das Arbeiten mit einer Dichte in Abhängigkeit mit der Distanz zum Objekt bekämpft räumliche Ungenauigkeiten und bringt somit einen entscheidenden Vorteil. Damit für die Erstellung der Dichtekarte nicht Daten von allen Läufern gebraucht werden, wurde ein Kriterium erarbeitet, wie viele Daten pro Ranglistendrittel benötigt werden. Die Tests haben ergeben, dass für eine stimmige Dichtekarte Daten von 20% des ersten Drittels, 20% des zweiten Drittels und 50% des dritten Drittels der Rangliste benötigt werden. Je nach Ansatz beim Test können diese Resultate jedoch stark variieren.

5.2 Ausblick

Die erarbeitete Methode für die Erstellung einer Dichtekarte ist sicherlich ein guter Ansatz, der jedoch noch weiter ausgebaut werden könnte. Vor allem die Pufferzonen und deren Gewichtung wurden nicht genauer untersucht. In einer weiterführenden Arbeit könnten diese fundierter bestimmt werden.

Das PHP-Skript von Jarkko Ryyppö liefert direkt aus den RouteGadget-Daten eine Dichtekarte für die Gesamtheit der Läufer. Dieses Skript könnte so angepasst werden, dass Daten nach den erarbeiteten Kriterien ausgewählt und gewichtet würden.

Für die punktuellere und genauere Betrachtung der Läuferbelastung einzelner Gebiete wäre eine dynamische und animierte Dichtekarte sehr hilfreich, die die Belastung des Waldes nicht nur über die ganze Zeit des Wettkampfes sondern auch für zeitlich kleinere Intervalle zeigt.

Das in der vorliegenden Arbeit entworfene Verfahren zur Erstellung einer Dichtekarte eines gesamten Wettkampfes funktioniert nur, wenn genügend Daten aller Kategorien vorhanden sind. Ein Konzept welches eine Kompensation von fehlenden Daten anstrebt, würde einen erheblichen Mehrwert bringen.

Da keine Dichtekarte des gesamten Wettkampfes erstellt werden konnte, konnte in der vorliegenden Arbeit das Läuferverhalten nicht abschliessend überprüft werden. Dazu gehört die Umsetzung der Ideen der Bahnleger. Mit einer Dichtekarte könnten sehr gut überprüft werden, ob die Läufer auch diejenigen Routen gewählt haben, die der Bahnleger vorgesehen hatte. In diesen Bereich gehört auch die Überprüfung der Einhaltung der Sperrgebiete.

Anhang A: PHP-Skript von Jarkko Ryypö (modifiziert)

```
<?php
$id='103';
$scale=5;

#####

$seamless=false;

error_reporting(E_ALL ^ E_NOTICE ^ E_WARNING);
$kilpyht=0;
$handle = fopen ('kilpailijat_'. $id.'.txt' , "r");

while (!feof ($handle)) {
    $aputeksti = fgets($handle,20000);
    $aputeksti=rtrim($aputeksti);
    list($a,$sarja,$a,$a,$apu)=explode('|',$aputeksti);

    $sarjakilp[$sarja]++;
    $kilpyht++;
}
fclose($handle);

$handle = fopen ('merkinnat_'. $id.'.txt' , "r");
$piirtyht=0;
while (!feof ($handle)) {
    $aputeksti = fgets($handle,20000);
    $aputeksti=rtrim($aputeksti);
    list($sarja,$a,$a,$a,$apu)=explode('|',$aputeksti);

    $sarjapiirt[$sarja]++;
    $piirtyht++;
}
fclose($handle);

print "Competitors: $kilpyht\n";
print "Routes: $piirtyht
((".0.1*floor($piirtyht/$kilpyht*1000))."%)\n";

$image=imagecreatefromjpeg( ' '.$id.'.jpg');
    $width=0;
    $width = imagesx($image);
    $height = imagesy($image);
if($width==0){
    $image=imagecreatefromgif(' '.$id.'.jpg');
}
    $width = imagesx($image);
    $height = imagesy($image);

$image0=imagecreatetruecolor($width , $height);
$vari[0] = imagecolorallocate($image0, 255, 0, 0);
imagecopyresampled ($image0, $image, 0, 0, 0 , 0, $width , $height,
$width, $height);
imagedestroy($image);

print "Contrast...\n";imagefilter($image0, IMG_FILTER_CONTRAST, 50);
print "Brightness...\n";imagefilter($image0, IMG_FILTER_BRIGHTNESS,
50);
```



```

print "Grayscale...\n"; imagefilter($image0, IMG_FILTER_GRAYSCALE);

$image4=imagecreatetruecolor($width/$scale , $height/$scale);
$fill = ImageColorAllocate($image4,0,0,0);
ImageFilledRectangle($image4,0,0,$width , $height,$fill);

$imagela=imagecreatetruecolor($width/$scale , $height/$scale);
$filla = ImageColorAllocate($imagela,0,0,0);
ImageFilledRectangle($imagela,0,0,$width , $height,$filla);
$routea = imagecolorallocate($imagela, 255, 0, 0);

$imagerl=imagecreatetruecolor($width/$scale , $height/$scale);
$fill = ImageColorAllocate($imagerl,0,0,0);
ImageFilledRectangle($imagerl,0,0,$width , $height,$fill);
$route = imagecolorallocatealpha($imagerl, 100, 0, 0,100);

$kilplkm=0;
print "|-----|\n";
$handle = fopen ('merkinnat_'. $id. '.txt' , "r");
$xo=0;$yo=500;
while (!feof ($handle)) {
    $aputeksti = fgets($handle,20000);
    $aputeksti=rtrim($aputeksti);
    ImageFilledRectangle($imagerl,0,0,$width , $height,$fill);
    ImageFilledRectangle($imagela,0,0,$width , $height,$filla);

    list($sarj,$a,$a,$a,$apu)=explode('|',$aputeksti); //spaltet
    merkinnat-File bei '|' auf
    $lisays=$sarjakilp[$sarj]/$sarjapiirt[$sarj];

    $apu=explode('N',$apu); //das 5. Element $apu mit den Koordinaten
    wird bei 'N' aufgesplittet und als Paar gespeichert
    $j=0;$kilplkm++;
    foreach ($apu as $pair) {
        $j++;

        list($x,$y)=explode(';',$pair,2); //das Koordinatenpaar wird aufge-
        splittet und in einem Array gespeichert
        $yd=floor(-$y/$scale+.5);
        $xd=floor($x/$scale+.5);
        $y=floor(-$y/$scale-.0);
        $x=floor($x/$scale-.0);

        if($j>2 && $x>0 && $y>0){ //Zeichnen einer Verbindungslinie. Wird aus-
        gefuehrt, wenn mindestens 2 Koordinatenpaare vorhanden sind

            imageline($imagela,$xo,$yo,$x,$y,$routea );
            imageline($imagela,$x+1,$y,$xo+1,$yo,$routea );
            imageline($imagela,$x,$y+1,$xo,$yo+1,$routea );
            imageline($imagela,$x+1,$y+1,$xo+1,$yo+1,$routea );

            $rgb=imagecolorat($imagerl, $xdo, $ydo); //ermittelt den Farbwert eines
            Pixels
            $red = ($rgb >> 16) & 0xFF;
            imageline($imagerl,$xdo,$ydo,$xd,$yd,$route );
            imageline($imagerl,$xdo,$ydo,$xd,$yd,$route );
            $color= ImageColorAllocate ($imagerl, $red ,0,0);
            imagesetpixel ($imagerl, $xdo, $ydo, $color); //zeichnet ein Pixel an
            der Koordinate xdo/ydo mit der Pixelfarbe color.
            $xdo=$xd;$ydo=$yd;
            $xo=$x;$yo=$y;
        }
        $xdo=$xd;$ydo=$yd;
    }
}

```

```

$xo=$x;$yo=$y;

}

$sarj=1*$sarj;
if($sarjapiirt[$sarj]>0){

if($kilplkm>$ed+$piirtyht/20){
print ".";
$ed=$kilplkm;
}
for ($y = 0; $y <$height/$scale; $y++) {
    for ($x = 0; $x <$width/$scale; $x++) {

$rgb=imagecolorat($image1, $x, $y);
$red = ($rgb >> 16) & 0xFF;

$rgb2=imagecolorat($image1a, $x, $y);
$red2 = ($rgb2 >> 16) & 0xFF;

# print $red;

if($red>36){
$kuva[$x][$y]=$kuva[$x][$y]+floor(sqrt($red)-6)*$lisays;
}

if($red2==255){
$kuva[$x][$y]=$kuva[$x][$y]+$lisays;
}
}
}

}else{
print ", ";
}
}
fclose($handle);

$max=0;
for ($y = 0; $y <$height/$scale; $y++) {
    for ($x = 0; $x <$width/$scale; $x++) {
if($kuva[$x][$y]>$max){
$max=$kuva[$x][$y];
}
}
}

//das Thema der Monochrome

for ($y = 0; $y <$height/$scale; $y++) {
    for ($x = 0; $x <$width/$scale; $x++) {

$val=floor($kuva[$x][$y]/$max*255+.5);
$color= ImageColorAllocate ($image4, $val,$val,0);
imagesetpixel ($image4, $x, $y, $color);

}
}

for ($y = 0; $y <$height/$scale; $y++) {
    for ($x = 0; $x <$width/$scale; $x++) {

$r=0;$g=0;$b=0; //Einfärbung der Pixel

```

```

if($kuva[$x][$y]>0.5){$r=26;$g=152;$b=80;} //Minimalwert, dass es ein-
gefaerbt wird.
if($kuva[$x][$y]>0.005*$max){$r=145;$g=207;$b=96;}
if($kuva[$x][$y]>0.01*$max){$r=217;$g=239;$b=139;}
if($kuva[$x][$y]>0.025*$max){$r=255;$g=255;$b=191;}
if($kuva[$x][$y]>0.05*$max){$r=254;$g=224;$b=139;}
if($kuva[$x][$y]>0.10*$max){$r=252;$g=141;$b=89;}
if($kuva[$x][$y]>0.26*$max){$r=215;$g=48;$b=39;}

$color= ImageColorAllocate ($image4, $r,$g,$b);
imagesetpixel ($image4, $x, $y, $color);

}
}

$image3=imagecreatetruecolor($width , $height);

imagecopyresized ($image3, $image4, 0, 0, 0 , 0, $width , $height,
floor($width/$scale), floor($height/$scale));
$fill = imagecolorclosest($image3, 0,0,0);
imagecolortransparent ($image3,$fill);
imagecopymerge($image0, $image3, 0, 0, 0, 0, $width, $height,45);

//Erstellung der Legende
$x=1;
$y=1;

$white= ImageColorAllocate ($image0, 255,255,255);

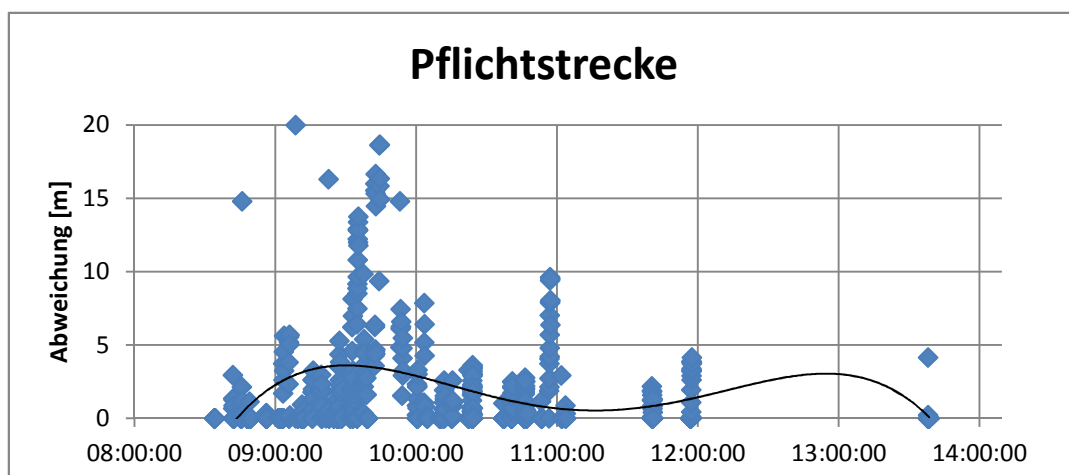
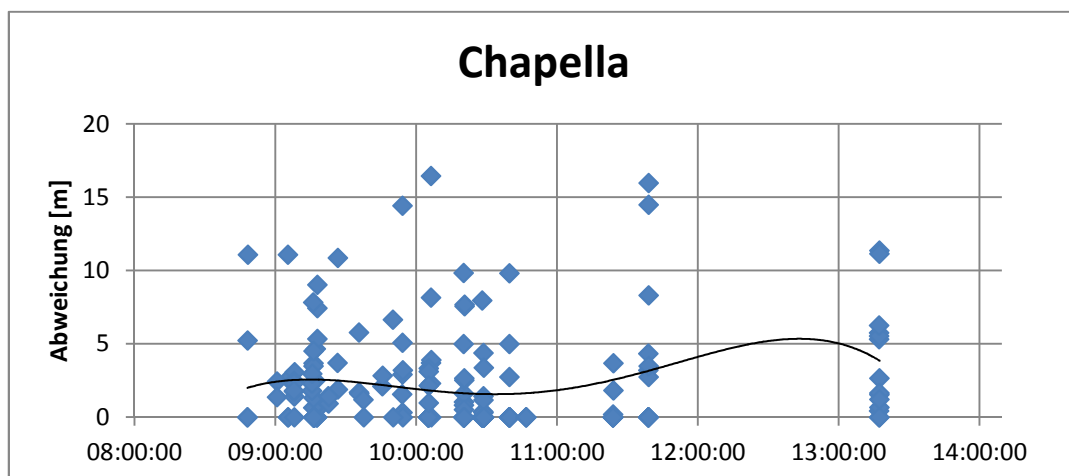
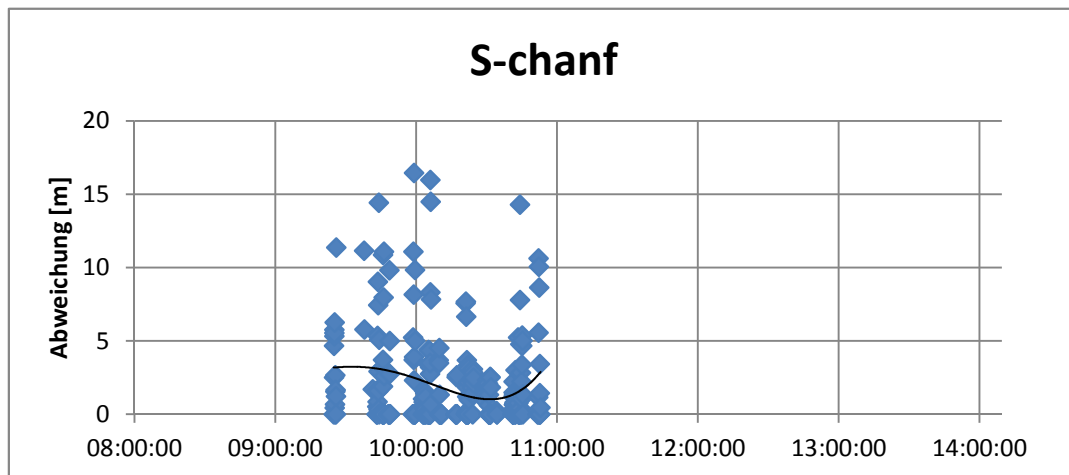
$r=26;$g=152;$b=80;$col= ImageColorAllocate ($image0, $r,$g,$b);
imagefilledrectangle ($image0, $x, $y, $x+20, $y+15,$col);
imagestring ($image0, 4, $x+23, $y+2, '0-0.5% (0-
'.floor(.005*$kilpyht).')', $white);$y=$y+20;
$r=145;$g=207;$b=96;$col= ImageColorAllocate ($image0, $r,$g,$b);
imagefilledrectangle ($image0, $x, $y, $x+20, $y+15,$col);
imagestring ($image0, 4, $x+23, $y+2, '0.05-1%
(<'.floor(.01*$kilpyht).')', $white);$y=$y+20;
$r=217;$g=239;$b=139;$col= ImageColorAllocate ($image0, $r,$g,$b);
imagefilledrectangle ($image0, $x, $y, $x+20, $y+15,$col);
imagestring ($image0, 4, $x+23, $y+2, '1-2.5%
(<'.floor(.025*$kilpyht).')', $white);$y=$y+20;
$r=255;$g=255;$b=191;$col= ImageColorAllocate ($image0, $r,$g,$b);
imagefilledrectangle ($image0, $x, $y, $x+20, $y+15,$col);
imagestring ($image0, 4, $x+23, $y+2, '2.5-5%
(<'.floor(.05*$kilpyht).')', $white);$y=$y+20;
$r=254;$g=224;$b=139;$col= ImageColorAllocate ($image0, $r,$g,$b);
imagefilledrectangle ($image0, $x, $y, $x+20, $y+15,$col);
imagestring ($image0, 4, $x+23, $y+2, '5-10%
(<'.floor(.1*$kilpyht).')', $white);$y=$y+20;
$r=252;$g=141;$b=89;$col= ImageColorAllocate ($image0, $r,$g,$b);
imagefilledrectangle ($image0, $x, $y, $x+20, $y+15,$col);
imagestring ($image0, 4, $x+23, $y+2, '10-26%
(<'.floor(.26*$kilpyht).')', $white);$y=$y+20;
$r=215;$g=48;$b=39;$col= ImageColorAllocate ($image0, $r,$g,$b);
imagefilledrectangle ($image0, $x, $y, $x+20, $y+15,$col);
imagestring ($image0, 4, $x+23, $y+2, '>26%
(>'.floor(.26*$kilpyht).')', $white);$y=$y+20;

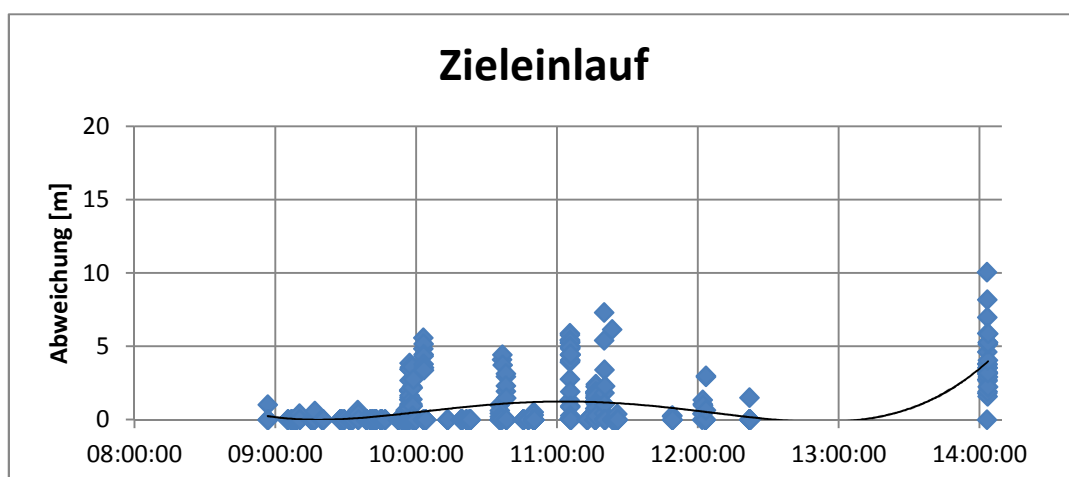
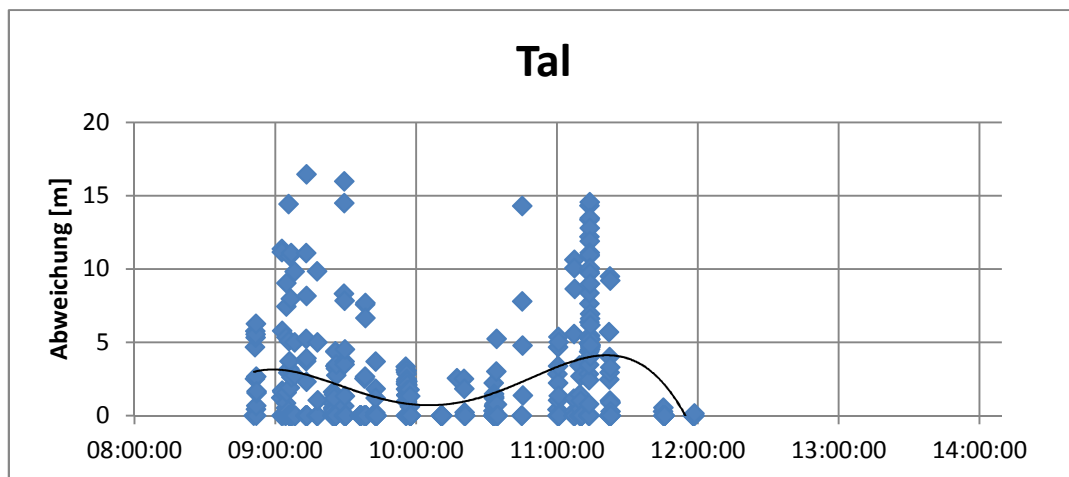
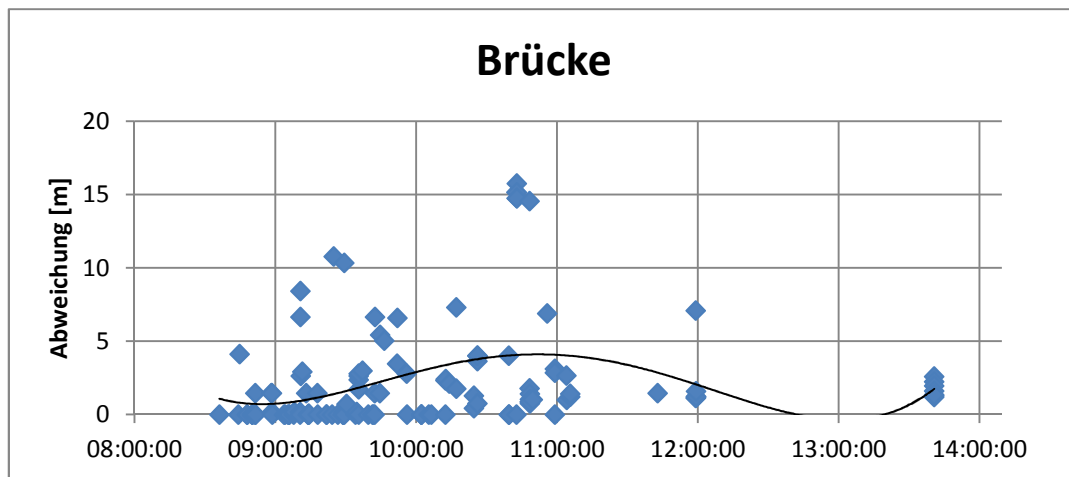
imagepng($image0,'Dichtekarte_'. $id.'.png');

?>

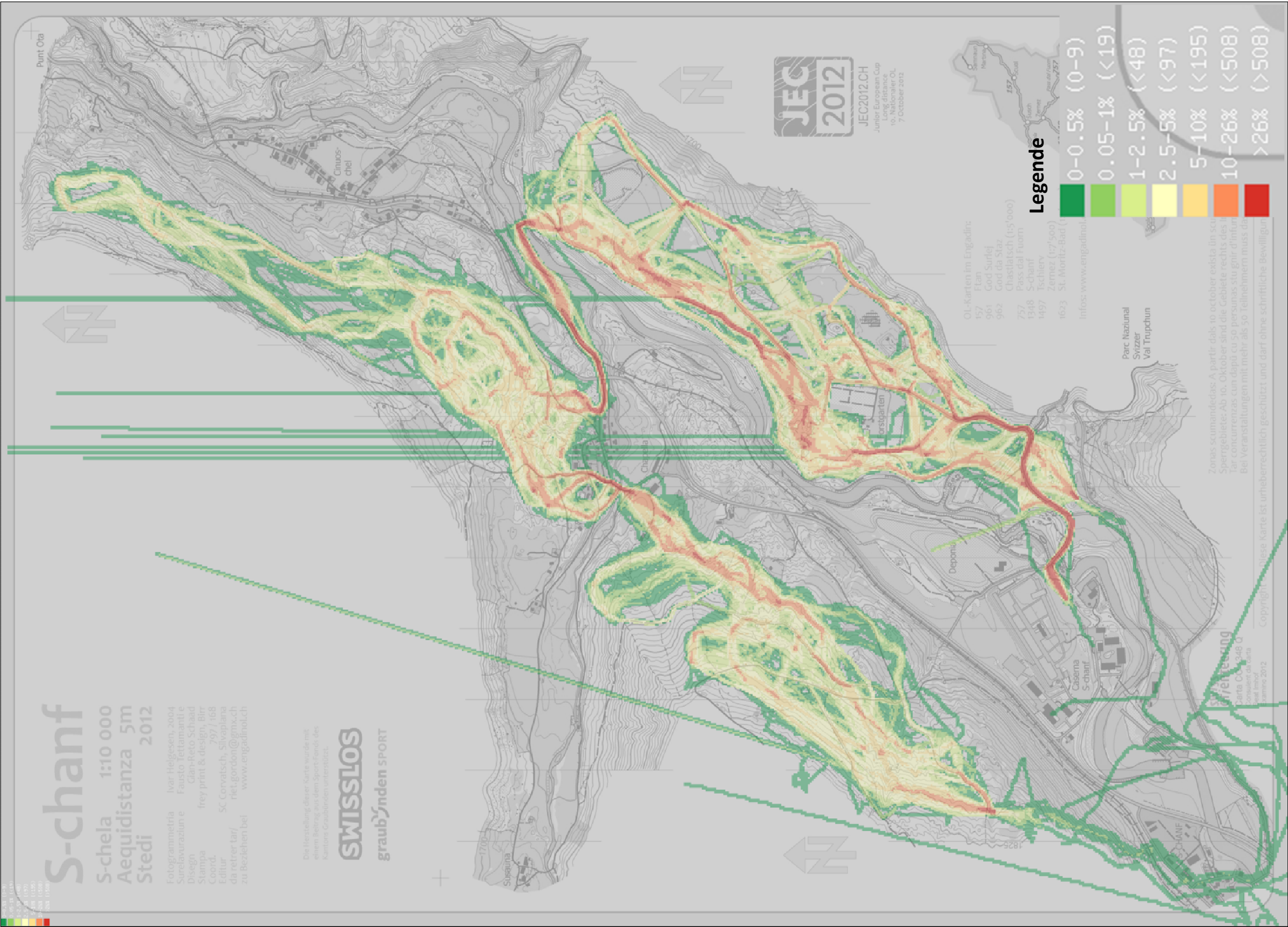
```

Anhang B: Veränderung der absoluten Genauigkeit in den Testgebieten über die Zeit





Anhang C: Dichtekarte nach der Methode Jarkko Ryyppö (verkleinerte Darstellung)



Anhang D: Dichtekarte nach dem Vorbild von „Ein literarischer Atlas Europas“



Literaturverzeichnis

- Bär, H. R., & Hurni, L. (2011). Improved Density Estimation for the Visualisation of Literary Spaces. *The Cartographic Journal*, 309-316.
- Bucher+Walt SA. (2013). *Laufen*. Abgerufen am 11. Januar 2013 von Garmin: <http://www.garmin.ch/de/fitness-course.html>
- Esri. (2012 a). *Funktionsweise von "Line Density"*. Abgerufen am 12. November 2012 von ArcGIS-Hilfe 10.1: <http://resources.arcgis.com/de/help/main/10.1/index.html#na/009z00000012000000/>
- Esri. (2012 b). *Funktionsweise von "Kernel Density"*. Abgerufen am 12. November 2012 von ArcGIS-Hilfe 10.1: <http://resources.arcgis.com/de/help/main/10.1/index.html#na/009z00000011000000/>
- GITTA - Geographic Information Technology Training Alliance. (2012). *Dichtemosaiikkarten*. Abgerufen am 26. November 2012 von GITTA: http://www.gitta.info/ThematicCart/de/html/themDarstell_learningObject4.html
- Lerjen, M. (2012 a). *H35 am 2. Nationalen 2010*. Abgerufen am 14. November 2012 von O-Zeugs - Ein Blog rund um Orientierungslauf von M. Lerjen: <http://o-zeugs.blogspot.ch/2010/04/h-35-am-2nationalen-2010.html>
- Lerjen, M. (2012 b). Mitteilung per E-Mail.
- Maker, R. (2011). *Sport Device GPS Accuracy In Depth: Part II*. Abgerufen am 6. November 2012 von DC Rainmaker: http://www.dcrainmaker.com/2011/06/2011-sport-device-gps-accuracy-in-depth_09.html
- Mobile Action. (2013). *i-gotU*. Abgerufen am 11. Januar 2013 von Mobile Action: <http://www.i-gotu.com/>
- Niemeyer, J., & Reusse, J. (2007). Untersuchung der Messgenauigkeit von Sportuhren mit Geschwindigkeits- und Entfernungsfunktionen. Hannover. Abgerufen am 18. Oktober 2012 von http://www.ikg.uni-hannover.de/fileadmin/ikg/staff/thesis/finished/documents/StudArbDistanzgenauigkeit_von_Sportuhren.pdf
- Oekogeo AG. (1991). *Einfluss des Orientierungslaufes auf Fauna und Flora*. Abgerufen am 23. März 2013 von http://www.swiss-orienteeing.ch/files/kommission_olmwelt/einflussdesorientierungslaufesauffaunaundflora_oekogeoag.pdf

- Polar Electro. (2012). *RC3 GPS*. Abgerufen am 11. Januar 2013 von Polar:
http://www.polar.ch/ch-de/produkte/verbessere_deine_fitness/laufen_multisport/rc3_gps
- RouteGadget. (2012). *RouteGadget - Web utility for drawing and comparing orienteering routes*. Abgerufen am 5. November 2012 von RouteGadget:
<http://www.routegadget.net/>
- Ryyppö, J. (2012). Mitteilung per E-Mail.
- Schubnell, L. (2013). Live-GPS-Tracking-System. Abgerufen am 11. Januar 2013 von
http://www.feed.olcw.ch/ofeed/20130107_maturaarbeit/Maturaarbeit_Live-GPS-Tracking-System_LukasSchubnell_Druckversion.pdf
- Stüdeli, T. (noch unveröffentlicht). Massnahmen zur Sicherung von Schutz- und Sperrgebieten beim Orientierungslauf. SwissOrienteering.
- Suunto. (2013). *Suunto Ambit*. Abgerufen am 11. Januar 2013 von Suunto:
<http://www.suunto.ch/ch/de/kollektionen/suunto-ambit>
- Swiss Orienteering. (2007). *RouteGadget*. Abgerufen am 5. November 2012 von Swiss Orienteering: http://www.swiss-orienteering.ch/index.php?option=com_content&task=view&id=19&Itemid=88
- Swiss Orienteering. (2012). *Kommission OL & Umwelt*. Abgerufen am 28. September 2012 von Swiss Orienteering: http://www.swiss-orienteering.ch/index.php?option=com_content&task=view&id=36&Itemid=103
- Swisstopo-Geodaten. (2011). Bundesamt für Landestopografie swisstopo (Art. 30 GeoIV): 5704 000 000.
- TomTom. (2012). *Wie funktioniert GPS?* Abgerufen am 09. Januar 2013 von TomTom:
<http://www.tomtom.com/howdoesitwork/index.php?Language=3>
- Tracker Security Ltd. (2010). *Tracker Products*. Abgerufen am 11. Januar 2013 von Tracker Security: <http://www.trackersecurity.com/gts-gps-tracking.html>
- Trimble. (2010). *Planing Software Download*. Abgerufen am 18. Januar 2013 von Trimble: http://www.trimble.com/planningsoftware_ts.asp?Nav=Collection-8425
- U.S. Departement of the Interior, & U.S. Geological Survey. (2012). *Split By Attribute Tool*. Abgerufen am 3. Dezember 2012 von Upper Midwest Environmental Sciences Center: http://www.umesc.usgs.gov/management/dss/split_by_attribute_tool.html

Eigenständigkeitserklärung

Ist jeder an der ETH verfassten schriftlichen Arbeit unterzeichnet beizufügen.

Ich erkläre hiermit, dass es sich bei der von mir eingereichten schriftlichen Arbeit mit dem Titel
Erfassung und Darstellung von Läuferbewegungen und Läuferdichten während eines
Orientierungslaufwettkampfes

um eine von mir selbständig und in eigenen Worten verfasste Originalarbeit handelt.

VerfasserIn/VerfasserInnen

Name
Cantoni

Vorname
Michael

Betreuende/r DozentIn

Name
Hurni

Vorname
Lorenz

Mit meiner Unterschrift bestätige ich, dass ich über fachübliche Zitierregeln unterrichtet worden bin und das Merkblatt (http://www.ethz.ch/students/exams/plagiarism_s_de.pdf) gelesen und verstanden habe. Die im betroffenen Fachgebiet üblichen Zitiervorschriften sind eingehalten worden.

Eine Überprüfung der Arbeit auf Plagiate mithilfe elektronischer Hilfsmittel darf vorgenommen werden

Zürich, 28.01.2013
Ort, Datum

Unterschrift

