

Verarbeitung und Visualisierung räumlicher Daten zur Darstellung von Fußgängerrouen auf Smartwatches

Sophie Drummer



MASTERARBEIT

eingereicht am
Fachhochschul-Masterstudiengang

Interactive Media

in Hagenberg

im September 2018

© Copyright 2018 Sophie Drummer

Diese Arbeit wird unter den Bedingungen der Creative Commons Lizenz *Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International* (CC BY-NC-ND 4.0) veröffentlicht – siehe <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>.

Erklärung

Ich erkläre eidesstattlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen nicht benutzt und die den benutzten Quellen entnommenen Stellen als solche gekennzeichnet habe. Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Hagenberg, am 24. September 2018

Sophie Drummer

Inhaltsverzeichnis

Erklärung	iii
Vorwort	vi
Kurzfassung	vii
Abstract	viii
1 Einleitung	1
1.1 Problemstellung	1
1.2 Zielsetzung	2
1.3 Forschungsstand	3
1.4 Aufbau der Arbeit	7
2 Kartographische Generalisierung	8
2.1 Kartographie im Wandel	8
2.2 Kartographische Generalisierung	10
2.3 Entwicklung der automationsgestützten Generalisierung	11
2.4 Schwierigkeiten der automatischen Generalisierung	13
2.5 Die Problematik kleiner Smartwatch-Displays	15
3 Motivation des Designs	18
3.1 Studie	18
3.1.1 Aufgabenstellung	19
3.1.2 Evaluierung der Studie	20
3.1.3 Erkenntnisse	22
3.2 Routenvisualisierung und -design	36
3.2.1 Traditionelle Anforderungen an Kartendarstellungen	37
3.2.2 Mindestdimensionen	38
3.2.3 Gestaltgesetze	39
3.2.4 Kartographische Gestaltungsmittel	40
3.2.5 Kartographische Generalisierungsmethoden	42
4 Implementierung	47
4.1 QGIS	47
4.2 Pipeline	48

4.3	Benutzeroberfläche und Eingabeparameter	52
4.4	Datenselektion	53
4.5	Routenberechnung mit dem Dijkstra-Algorithmus	56
4.6	Reduzierung, Vereinfachung und Reparatur der Liniengeometrien	59
4.7	Vereinfachung der Route mit dem Douglas-Peucker-Algorithmus	62
4.8	Positionierung der Punkte entlang der Route	66
4.9	Anpassung der Linienlängen	68
4.10	Anpassung der Winkel	72
4.11	Auswahl wichtigster Kartenelemente und Beseitigung von Überlappungen	75
4.12	Aussehen der Kartenelemente	78
4.13	Rendern der Karte	80
5	Resultate	81
5.1	Routen im Vergleich	81
5.2	Negativbeispiele	86
5.3	Limitierungen	88
5.4	Verbesserungen	88
6	Zusammenfassung	90
6.1	Fazit	90
6.2	Ausblick	92
A	Inhalt der CD-ROM	93
A.1	PDF-Dateien	93
A.2	Studie	93
A.3	Ergebnisse	93
A.4	Projekt	94
A.5	Online-Quellen	95
A.6	Grafiken der Thesis	95
B	Studie (Linz)	96
	Quellenverzeichnis	99
	Literatur	99
	Online-Quellen	101

Vorwort

Die vorliegende Masterarbeit entstand im Rahmen des Studiums Interactive Media an der Fachhochschule Oberösterreich Campus Hagenberg in Zusammenarbeit mit dem Media Interaction Lab.

Das Thema dieser Arbeit entwickelte sich durch das Zusammenspiel mehrerer Faktoren. Durch mein Bachelorstudium in Geoinformationsmanagement mit der Vertiefungsrichtung Kartographie und Geomedien war die Grundidee, eine automatisierte Kartenerstellung für ein bestimmtes Szenario zu entwickeln bereits gegeben. Die Entwicklung und Verbreitung neuer Technologien und Geräte wie der Smartwatch, bei der die Darstellung räumlicher Daten oder kartographischer Inhalte durch die geringe Displaygröße stark limitiert ist, stellt eine besondere Herausforderung an Kartographen dar. Gemeinsam mit dem Media Interaction Lab, das insbesondere an der Mensch-Maschine-Interaktion forscht, entstand das Konzept einer Routenkarte, die so stark generalisiert und abstrahiert ist, dass alle für die Navigation notwendigen Informationen auf einer Karte, deren Größe für Smartwatches optimiert ist, dargestellt werden. An dieser Stelle möchte ich den Mitarbeitern des Labs für die Unterstützung und Ideenfindung danken, die schlussendlich zur Ausarbeitung des Themas dieser Arbeit geführt haben.

Ein besonderer Dank gilt auch Herrn Prof. Dr. Haller für die Betreuung dieser Arbeit.

Des Weiteren danke ich allen Teilnehmer/innen meiner Studie für ihre Unterstützung und Kreativität, einige davon spiegeln das Grundkonzept dieser Arbeit wieder.

Ich widme diese Masterarbeit David Messerer, der mir während des gesamten Studiums zur Seite stand. Ohne ihn wäre diese Arbeit niemals entstanden.

Kurzfassung

Karten für kleine tragbare Geräte wie Smartwatches stellen neue Herausforderungen für Kartographen dar, insbesondere da die stark limitierte Displaygröße optimierte Generalisierungsmethoden erfordert, um Karten mit einem hohen Abstraktionsniveau zu erstellen. Gleichzeitig bieten Smartwatches dem Nutzer viele Vorteile, wie ein hohes Maß an Mobilität oder die Tatsache dass er beide Hände zur Verfügung hat, weshalb sie sich grundsätzlich gut für Fußgängernavigation eignen.

Da es derzeit noch an Applikationen und Karten mangelt, die für diesen Zweck optimiert wurden, werden im Rahmen dieser Masterarbeit mögliche Visualisierungs- und Generalisierungsmethoden für die automatisierte Erstellung von innerstädtischen Routenkarten für Fußgänger untersucht und entwickelt.

Die Art der Routendarstellung sowie der Einsatz von Generalisierungstechniken basiert auf den Ergebnissen einer Studie, mit der untersucht wurde, wie Menschen heutzutage bekannte Routen darstellen, um ortsfremde Fußgänger zu einem bestimmten Ziel zu navigieren. Darüber hinaus wurden die Teilnehmer/innen instruiert, eine unbekannt Route anhand einer Vorlage auf sehr begrenztem Raum zu skizzieren. Die Ergebnisse der Studie zeigen deutlich, welche Abstraktions- und Generalisierungsmethoden üblicherweise in diesen handgezeichneten Karten gefunden wurden.

Des Weiteren geht aus der Evaluierung hervor, dass eine Karte zur Navigation in einer fremden Stadt mindestens einige Orientierungspunkte enthalten muss, zum Beispiel in Form von Sehenswürdigkeiten oder Straßenkreuzungen. Ein konstanter Maßstab ist für Fußgänger-Navigation nicht zwingend erforderlich, ebenso wie die Darstellung von Karteninhalten, die nicht direkt mit der Route in Beziehung stehen.

Karten die lediglich der Navigation zu einem bestimmtem Ziel dienen, müssen auf die wichtigsten Inhalte reduziert werden und gleichzeitig den groben Charakter der Route bewahren um die Orientierung während der Navigation zu gewährleisten.

Diese Masterarbeit beschreibt die Entwicklung eines automatisierten Systems zur Darstellung von Fußgängerrouuten auf Smartwatches. In der digitalen Kartographie weit verbreitete Generalisierungsalgorithmen für automatisierte Kartographie sowie für diesen Zweck entwickelte Abstraktionstechniken wurden mit geometrischen Operationen kombiniert, um Karten zu generieren, die bestimmten Visualisierungsregeln entsprechen.

Abstract

Maps for small wearable devices such as smartwatches represent new challenges for cartographers, especially because the limited screen space requires optimized generalization techniques to provide route maps with a high level of abstraction.

Smartwatches are well suited for pedestrian navigation tasks because of their mobility and the fact that the user has both hands available in comparison to other mobile devices. But there is still a lack of optimized navigation apps and maps for those scenarios which is mainly caused by the very small screens of the devices.

Those maps must maintain the most important cartographic contents necessary for orientation while concurrently discharge the amount of map contents to provide readability even on small screens.

This thesis describes a system to render pedestrian route maps for smartwatches. Therefore, a study was conducted to discover how people nowadays sketch familiar routes to navigate non-local pedestrians to a certain destination. Furthermore the study evaluated how participants draw non-familiar, given routes into a limited space canvas and which abstraction and generalization methods were commonly found in those hand-drawn maps.

The results of the study prove that to navigate in a foreign city, a map must at least contain a few landmarks such as points of interest or intersecting roads. A constant scale factor is not mandatory for pedestrian navigation tasks as well as map contents not related to the route don't have to be visualized.

Based on these findings, an system was developed which selects, simplifies and generalizes spatial data to be rendered and displayed as route maps on small smartwatch displays while it maintains the main landmarks for orientation along the route. Various geometric operations and generalization algorithms were used to gain a high level of abstraction to provide optimized route maps for smartwatches.

Kapitel 1

Einleitung

1.1 Problemstellung

Eine Karte wurde traditionell als das „verebnete, verkleinerte und erläuterte Grundrissbild der gesamten oder eines Teils der Erdoberfläche“ definiert, die je nach Anwendungsgebiet inhaltlich begrenzt oder generalisiert ist [28, S. 16]. Diese Definition ist jedoch durch die Zunahme technischer Neuerungen wie geographischer und kartographischer Informationssysteme sowie die ansteigende Nutzung thematischer Karten, welche mehr als nur Abbildungen der Erdoberfläche darstellen, veraltet. Aus diesem Grund hat sich die Definition der Karte dem Wandel ihrer Charakteristiken, Einsatzgebiete und Herstellung angepasst. Somit wird als Karte inzwischen ein „verebnetes, maßstabsgebundenes, generalisiertes und inhaltlich begrenztes Modell räumlicher Informationen“ [28, S. 16] bezeichnet. Die Darstellung einer großen, komplexen Wirklichkeit auf einer wesentlich kleineren Zeichenfläche, egal ob analog oder digital, stellt seit jeher eine Herausforderung an Kartographen dar und erfordert den Einsatz von Generalisierungsmethoden, um die Karteninhalte zu vereinfachen und zu reduzieren. Je kleiner die Kartenfläche, desto schwieriger und umfangreicher ist der Generalisierungsprozess [25].

Die Anforderungen an die klassische Kartendarstellung sind vielseitig und werden in Abschnitt 3.2.1 näher erläutert. Unter anderem sollte eine Karte genau sein und möglichst maßstabsgetreu der Wirklichkeit entsprechen. Vollständigkeit, Zweckmäßigkeit, Verständlichkeit und Lesbarkeit sind weitere Eigenschaften einer guten Karte [28, S. 16 f.]. Bei der Erstellung digitaler Karten für kleine Displays ist die Einhaltung dieser Anforderungen jedoch nicht immer realisierbar, wenn gleichzeitig die Lesbarkeit der Karteninhalte gewährleistet werden soll.

Große Displays haben signifikante Vorteile in der klassischen Kartographie, aus diesem Grund müssen neue Konzepte für kleine Displays entwickelt werden. Die Schwierigkeit bei der Entwicklung einer Karte oder Applikation für kleine tragbare Geräte wie Smartwatches besteht darin, die für Orientierung und Wegfindung wichtigen Inhalte trotz des wenigen verfügbaren Platzes lesbar darzustellen. Zwar besteht die Möglichkeit einer Interaktion mit dem Gerät, um die Karteninhalte wie gewünscht zu betrachten, doch ist dazu die beidhändige Nutzung des Gerätes notwendig und die Aufmerksamkeit des Nutzers wird von der Umgebung auf die Interaktion gerichtet. Ein Vorteil von Smartwatches im Gegensatz zu Smartphones besteht gerade darin, beide Hände zur

Verfügung zu haben und die Aufmerksamkeit auf seine Umgebung richten zu können, ohne ständig mit dem Gerät zu interagieren. Des Weiteren variieren die Interaktionsmöglichkeiten mit einer Smartwatch je nach Modell hardwarebedingt und sind durch das „fat finger“-Problem stark limitiert.

Die Nutzung und Verbreitung von tragbaren Geräten wie Smartwatches hat in den letzten Jahren stetig zugenommen, doch das Angebot an Navigationssystemen und Karten, welche für die kleinen Displays optimiert sind, ist derzeit noch sehr unausgereift (Stand August 2018). Zwar gibt es einige Applikationen wie die weit verbreitete App *Google Maps*, doch meist sind dies nur verkleinerte Versionen der Smartphone-Apps. Dadurch werden zu viele, für die Route unwichtige Informationen dargestellt, zu Lasten des Überblicks und der Lesbarkeit der Karte. Da Smartwatch-Karten-Apps die kleinsten digitalen Karten sind, die jemals im alltäglichen Gebrauch zu finden waren, müssen existierende, kartographische Generalisierungs- und Vereinfachungsmethoden angepasst oder neue Techniken entwickelt werden. Auch die Anforderungen an gute Karten können bei der Herstellung von kleinen Displaykarten nicht länger berücksichtigt werden, da durch den Platzmangel die wirklichkeitsgetreue und vollständige Darstellung aller Gegebenheiten bei gleichzeitiger Übersichtlich- und Lesbarkeit schwer zu realisieren ist.

Es gibt einige Ansätze (siehe Abschn. 1.3) zur Darstellung von Karten und Routen auf Smartwatches, bei denen Navigationsapps so optimiert wurden, dass sie nur die wichtigsten Routendetails oder eine stark abstrahierte Kartenversion darstellen. Dies sind beispielsweise ein eindimensionaler, linearisierter Kartenstreifen, durch den der Nutzer auf seiner Route „scrollen“ kann [24], oder den Einsatz eines globalen Orientierungspunktes in einer „turn-by-turn“-Navigationsapplikation, die jeweils nur die nächste Abzweigung darstellt [26]. Andere Forschungsarbeiten versuchen das Problem des kleinen Displays durch stark vereinfachende und abstrahierende Generalisierungsmethoden zu lösen, welche die Karteninhalte auf das für den jeweiligen Verwendungszweck Notwendigste reduzieren bei gleichzeitigem Einsatz eines variablen Maßstabs [1].

1.2 Zielsetzung

Diese Arbeit zielt darauf ab, Einsicht in die Problematik der digitalen Kartographie für kleine Displays zu gewinnen und eine mögliche Darstellungsart von Fußgänger-Routenkarten zu entwickeln, welche für die Nutzung auf Smartwatches optimiert sind. Dafür wurde eine Studie konzipiert, um die in handgezeichneten Routenkarten häufig gefundenen Generalisierungs- und Darstellungsmethoden systematisch zu analysieren und die passenden Techniken in algorithmischer Form umzusetzen. Im Rahmen der Studie mussten sowohl bekannte als auch unbekannte Routen im innerstädtischen Bereich auf einer begrenzten Zeichenfläche skizziert werden. Sowohl die Darstellung der Kartenelemente und deren Quantität als auch die intuitive Anwendung von Generalisierungsmethoden zur Darstellung der detaillierten Wirklichkeit auf einer kleinen Zeichenfläche geben Aufschluss darüber, wie eine Route optimal abstrahiert und vereinfacht werden kann, um trotz des kleinen Displays eine zufriedenstellende Navigation zu einem bestimmten Ziel zu gewährleisten. Ein Ziel der Arbeit war es, mit Hilfe eines automatisierten Skripts statische, für Smartwatches optimierte Routenkarten für Fußgänger zu generieren, welche alle für die Route relevanten Informationen darstellen und keinerlei Interaktion durch den Benutzer erfordern.

1.3 Forschungsstand

Die limitierte Displayfläche von kleinen, tragbaren Geräten führte zur Entwicklung von Navigationsapplikationen mit neuen Interaktionskonzepten oder abstrakten Visualisierungstechniken der Karteninhalte und Routeninformationen. Anstatt die Karteninhalte auf ein einzelnes Anzeigebild zu reduzieren, verwerfen diese Applikationen die klassischen kartographischen Konzepte und nutzen andere Visualisierungstechniken in Kombination mit Interaktion durch den Benutzer.

Ein Beispiel für eine neuartige Darstellung kartographischer Inhalte ist in der Navigationsapplikation *StripeMaps* [25] zu finden. Zweidimensionale Routenkarten werden linearisiert und in einem eindimensionalen Streifen dargestellt, mit welchem der Nutzer durch vertikales Scrollen navigieren kann (Abbildung 1.1 (b)). Dabei wird bildlich gesprochen ein Grundrissplan eines Gebäudes an der Route entlang in einen Streifen geschnitten und zu einer linearen Karte zusammengefügt, Abbiegungen werden somit als überlappende Schnittkanten dargestellt. Das System hat den Ansatz der Linearisierung aus der mobilen Webentwicklung aufgegriffen, durch den multiple Spalten einer klassischen Website für die Nutzung auf einem mobilen Endgerät in einer einzelnen Spalte vertikal angeordnet werden.

Eine weitere Applikation mit ähnlicher Darstellung sowie einem identischen Interaktionskonzept, die jedoch keinerlei kartographische Inhalte beinhaltet, ist das „Indoor“-Navigationssystem für Innenräume *ScrollingHome* [24]. Der Nutzer wird wie bei *StripeMaps* durch vertikales Scrollen einer videoähnlichen Bilderserie die Route entlang geleitet (Abb. 1.1 (a)). Die Applikation basiert auf der *StripeMaps*, welche klassische kartographische Konzepte nutzt, und kombiniert diese mit einem bild-basierten Navigationsmechanismus, der keinerlei Lokalisierungstechnik beinhaltet und nur minimale Interaktion durch den Benutzer erfordert.

Den Fokus mehr auf die Navigation als auf die Visualisierung von kartographischen Inhalten gerichtet hat *RunNav* [12], eine Smartwatch-App, die einen, in Segmente aufgeteilten Kreis darstellt, welcher die Qualität der Umgebung für Jogger in einem bestimmten Umkreis wiedergibt (Abb. 1.1 (c)). Im Gegensatz zu *StripeMaps* und *ScrollingHome* nutzt *RunNav* die GPS-Position des Nutzers in Kombination mit Daten von *Foursquare*, um dem Nutzer Informationen über die Umgebung bereitzustellen, ohne ihn zu einem bestimmten Ziel zu navigieren. Verglichen mit einer klassischen Karte abstrahiert dieses System die verschiedenen Gegebenheiten der Umgebung so stark, dass keine konkreten Informationen über diese vorliegen, sondern nur die Qualität im Bezug auf die Nutzung als Laufstrecke.

Eine weitere Möglichkeit der Navigation mit einer Smartwatch ist ein „turn-by-turn“-Navigationssystem, welches Straßennamen und Distanzen sowie Informationen über Richtungsänderungen enthält. *Pharos* [26] nutzt zusätzlich globale Orientierungspunkte in den Navigationsanweisungen und umgeht mit der Optimierung des „turn-by-turn“-Navigationssystems die Problematik der Größenlimitierung des Smartwatch-Displays (Abb. 1.1 (d)). Solche Orientierungspunkte sind beispielsweise signifikante Gebäude wie der *Eiffelturm* oder das *Ulmer Münster*, welche von großen Distanzen aus noch identifiziert und gesehen werden können.

Die einzelnen Ansätze sind für ihr jeweiliges Einsatzszenario optimiert, die Indoor-Navigationssysteme *ScrollingHome* und *StripeMaps* zum Beispiel erfordern ständige

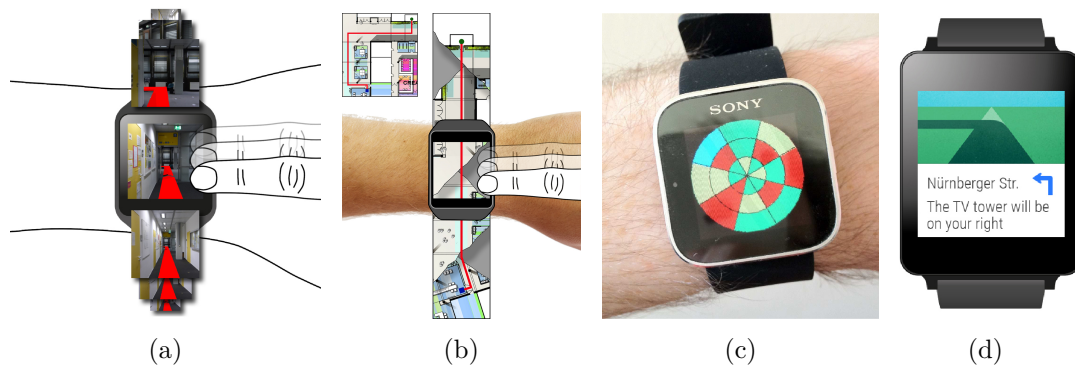


Abbildung 1.1: Verschiedene Smartwatch-Navigations-Applikationen. *ScrollingHome* [24] basiert auf einer vertikal angeordneten, video-artigen Bilderserie um den Nutzer entlang einer Route zu navigieren (a), die linearisierte, eindimensionale Karte der *Stripe-Maps*-Applikation [25] erfordert ebenfalls Interaktion durch den Nutzer (b), *RunNav* [12] zeigt mit farblich klassifizierten Kreissegmenten die Qualität der Umgebung für Läufer (c) und *Pharos* [26], ein durch globale Orientierungspunkte optimiertes „turn-by-turn“-Navigationssystem (d).

Aufmerksamkeit und Interaktion durch den Nutzer, welcher die Wirklichkeit mit dem Kartenstreifen oder den Bildern identifizieren muss. *RunNav* hingegen wirkt nur als unterstützende Orientierungshilfe und *Pharos* benötigt ein einzelnen, überall auf der Route sichtbaren Orientierungspunkt und zeigt nur gewisse Details über den nächsten Richtungswechsel an, nicht über die gesamte Route.

Andere Forschungsarbeiten untersuchen verschiedene Darstellungsmethoden und Generalisierungstechniken, um in automatisierten Prozessen unrealistische, statische Karten zu generieren, die für den jeweiligen Verwendungszweck optimiert sind, bzw. deren Nutzbarkeit auf kleinen Displays verbessert wurde. Die automatisch generierten Kartenarten dieser Systeme sind Routen-, Touristen- sowie Anfahrtskarten (siehe Abb. 1.2, 1.4 und 1.5). Die drei Implementierungen basieren auf der Annahme, dass ein konstanter Maßstab zum Teil nicht notwendig sowie die Darstellung der wichtigsten Karteninhalten für den jeweiligen Anwendungszweck der Karte ausreichend ist und dadurch die Lesbarkeit der Karte zusätzlich erhöht wird [7; 11]. Die verwendeten Abstraktionsmethoden unterscheiden sich stark von jenen der klassischen Kartographie. Variable Maßstäbe sowie das gezielte Weglassen großer Mengen von Informationen widersprechen den traditionellen Anforderungen der Vollständigkeit und Genauigkeit an eine „gute“ Karte [8, Kap. 3; 28, S. 16].

LineDrive [1] ist ein System, das 2001 entwickelt wurde, um stark abstrahierte Routenkarten für kleine tragbare Geräte zu generieren (Abbildung 1.2). Da die Entwicklung von *LineDrive* bereits Anfang diesen Jahrtausends stattfand, sind die gerenderten Routenkarten lediglich für Personal Digital Assistants (PDAs) optimiert, welche zwar wie Smartwatches ebenfalls ein relativ kleines Display besitzen, diese haben jedoch eine wesentlich schlechtere Auflösung und können die Inhalte nur in schwarz-weiß darstellen. Das Präsentation und Darstellungsmittel der finalen Karte sind aus diesem Grund stark limitiert (Abbildung 1.3).

Das Echtzeitsystem *LineDrive* entwirft und generiert stark abstrahierte und verein-

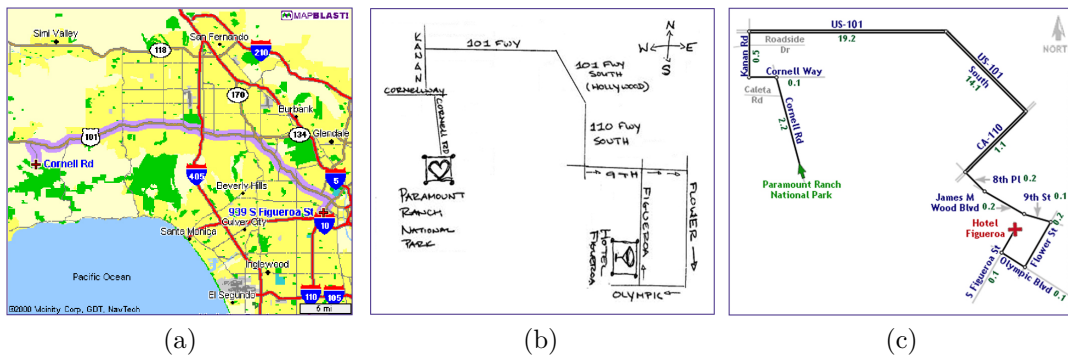


Abbildung 1.2: Routenkarten, die von einem „gewöhnlichen“ kartographischen System (a), einer Person (b) und dem *LineDrive*-System (c) erstellt wurden [1].

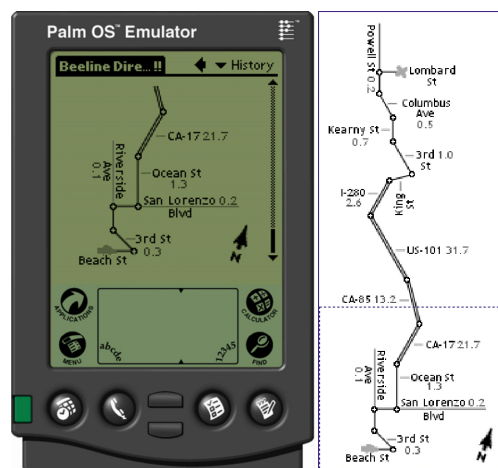


Abbildung 1.3: Eine mit *LineDrive* generierte Routenkarte auf einem PDA [1].

fachte Routenkarten zur Nutzung im Straßenverkehr. Analysiert wurden dafür gängige Routenkarten, die von damaligen geographischen Informationssystemen erstellt wurden (Abbildung 1.2 (a)). Diese Systeme nutzten einen konstanten Maßstab und waren nicht in der Lage, zwischen wichtigen und irrelevanten Details für die Route zu unterscheiden. Dadurch ist die Karte voller unwichtiger Informationen, welche die Lesbarkeit und Orientierung auf der Route verschlechtern.

Des Weiteren wurden handgezeichnete Karten (Abbildung 1.2 (b)) auf häufig angewandte Darstellungs- und kartographische Generalisierungsmethoden hin untersucht. Diese wurden in algorithmischer Form implementiert. Neben den gängigen Generalisierungstechniken der traditionellen Kartographie wie dem Auswählen wichtigster Inhalte, Vergrößern, Verdrängen und Vereinfachen nutzt das *LineDrive*-System einen nicht-konstanten Skalierungsfaktor, um kurze Straßen länger und lange Routenabschnitte kürzer darzustellen. Dies war in handgezeichneten Routenskizzen ein häufig genutztes Mittel, um die gesamte Strecke lesbar darzustellen und fand aus diesem Grund in *LineDrive* Anwendung. *LineDrive* konnte als Beta-Version im Internet getestet werden und

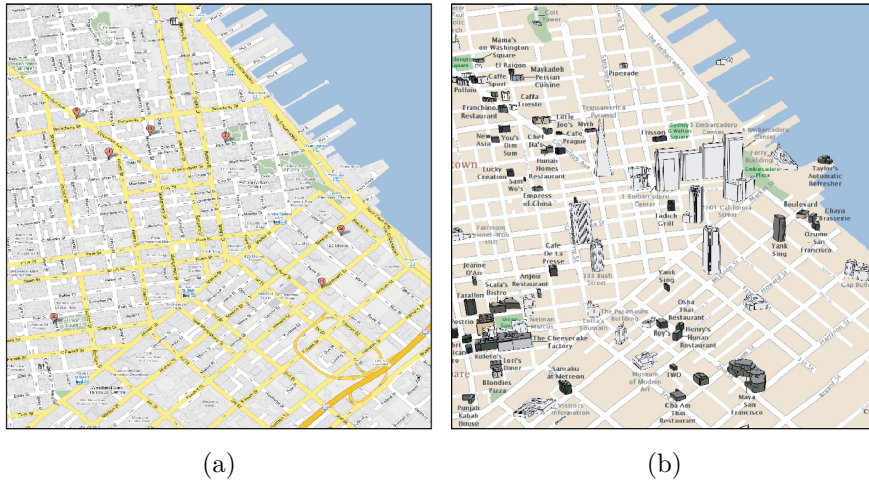


Abbildung 1.4: Digitale Karte von San Francisco (Microsoft Live, 2008) (a) und eine automatisch generierte Touristenkarte (b) [7].

bei über 150.000 generierten Karten war das Feedback größtenteils positiv.

Maneesh Agrawala ist Mitentwickler des *LineDrive*-Systems und hat bei weiteren Forschungsarbeiten zum automatischen Generieren von Touristen- und Anfahrtskarten mitgewirkt (Abb. 1.4 und 1.5), welche von *LineDrive* inspiriert wurden. Zwar sind die generierten Karten nicht zur Anzeige auf kleinen Displays entwickelt worden, doch ähnlich wie bei *LineDrive* werden die Karteninhalte auf die für den Verwendungszweck wichtigen Details reduziert und jeweils passende Abstraktionsmethoden verwendet. Beide Systeme basieren auf den Tatsachen, dass allgemeine, computergenerierte Karten zu viele Informationen enthalten und das Erkennen von wichtigen Orientierungspunkten und Straßen eingeschränkt ist, während statische, von Kartographen manuell erstellte Karten den Wünschen und Bedürfnissen des Nutzers nicht immer entsprechen können [7; 11].

Für einen Touristen sind bestimmte Karteninhalte wichtiger als zum Beispiel für jemanden, der ein bestimmtes Ziel finden möchte. Die Darstellung der Sehenswürdigkeiten und Orientierungspunkte ist dabei besonders wichtig, damit Ortsfremde diese auf der Karte einfach identifizieren können. Auch das grobe Straßennetzwerk muss klar erkennbar sein, wobei die Beschriftung aller Straßen für die Orientierung nicht notwendig ist. In diesem System wurde ein konstanter Maßstab zur realistischen Wiedergabe des Grundrissplans der jeweiligen Region verwendet. Die kartographischen Generalisierungsmethoden dieses Systems umfassen unter anderem das Vereinfachen, Vergrößern und Verdrängen ausgewählter Karteninhalte. Bildhafte Darstellung der Gebäude und Orientierungspunkte sowie deren Beschriftung und das Entfernen unwichtiger Informationen wie einzelner Häuser und Nebenstraßen stellen weitere Darstellungsmethoden dar, die in diesem System implementiert wurden.

Im System zur automatisierten Erstellung von Anfahrtskarten, auch Anfahrtskizzen genannt, wurden neue Algorithmen zur *Auswahl* der wichtigen Straßen basierend auf der mentalen Repräsentation des Straßennetzwerks implementiert (siehe Abb. 1.5). Ein variabler Maßstab dient wie bei *LineDrive* dazu, alle für die Anfahrt wichtigen Straßen



Abbildung 1.5: Eine Karte eines Online-Kartendienstes (*Google Maps*, Stand 2010) ohne bestimmten Verwendungszweck mit konstantem Maßstab (a), das System wählt die wichtigsten Straßen für die Anfahrt unabhängig von der Startposition aus (b) und generiert automatisch eine Anfahrtskarte mit variablem Maßstab in einem handgezeichneten Stil, bei der alle relevanten Straßen erkennbar sind (c) [11].

unabhängig von ihrer Länge deutlich darzustellen, lange Straßen werden verkürzt und kurze verlängert.

Das Konzept des *LineDrive*-Systems war eine große Inspiration für diese Arbeit und führte zur Entwicklung der Studie, mit dem Ziel herauszufinden, wie Leute heutzutage Abstraktion und Generalisierungstechniken in handgezeichneten Routenkarten für Fußgänger anwenden. Aufbauend auf den Ergebnissen der Studie wurde ein automatisiertes Skript entwickelt, das für die Smartwatch optimierte Fußgängerrourenkarten generiert.

1.4 Aufbau der Arbeit

Diese Arbeit behandelt zunächst in Kapitel 2 die Entwicklung und den Wandel der digitalen Kartographie, die sich an neuartige Technologien anpassen musste sowie die Entwicklung automatisierter Prozesse zur Generierung von digitalen Karten. Auch die Problematik der kleinen Displays wird in diesem Kapitel behandelt, welche maßgeblich zur Modernisierung der traditionellen Kartographie führte. In Kapitel 3 wird die Entwicklung des Designs und der Darstellung der Karteninhalte beschrieben, welche im automatisierten Skript zur Generierung von Smartwatch-Routenkarten für Fußgänger implementiert wurde. Die Implementierung dieses Skriptes wird in Kapitel 4 detailliert erläutert und verschiedene Ergebniskarten sowie die Einschränkungen des Skriptes in Kapitel 5 analysiert. Kapitel 6 fasst die Ergebnisse der Thesis zusammen und gewährt einen Ausblick über mögliche Verbesserungen und Erweiterungen des Skriptes sowie über die zukünftige Entwicklung digitaler Karten für kleine Displays im Allgemeinen.

Kapitel 2

Kartographische Generalisierung

Kartographische Darstellungen existieren bereits seit tausenden von Jahren. Seit ihrer Entstehung in der Frühzeit ist die Kartographie von Veränderungen geprägt. Angefangen bei schematischen Abbildungen ohne mathematische Kenntnisse und Wissen über die Kugelgestalt der Erde in der Frühzeit, der Entwicklung erster Projektionen in der Antike, den religiösen Einflüssen auf die Erddarstellungen im Mittelalter bis hin zu dem Streben nach möglichst wirklichkeitsgetreuen Kartendarstellungen im Spätmittelalter beeinflussten kulturelle Auswirkungen sowie Erkenntnissen in der Mathematik maßgeblich die Entwicklung der Kartographie. Neue Vermessungs-, Darstellungs- und Vervielfältigungsmethoden sowie genaue Kenntnisse über die Erdform stellen die Basis der modernen Kartographie dar, die sich auch in Zukunft noch neuen Entwicklungen anpassen werden muss [8, Kap. 15; 28, Kap. 5].

2.1 Kartographie im Wandel

Bis zum Ende des letzten Jahrhunderts wurden kartographische Prozesse wie die Generalisierung größtenteils manuell von Kartographen in einem arbeits- und zeitintensiven Verfahren ausgeführt, um durch Abwägung und Anwendung standardisierter Richtlinien sowie kreativer Fähigkeiten harmonische und ansprechende Karten zu erstellen. Die konventionelle Kartographie wurde jedoch zunehmend von technologischen Neuerungen im Bereich der Computer Software und durch automatisierte Prozesse ersetzt, da sowohl ihre Inhalte als auch ihre Verfahren einem erheblichen Wandel unterliegen [8, S. 3].

Vor der Entwicklung von computergestützten Methode zur Herstellung von Karten wurde die Kartographie als

„Wissenschaft, Technik und Kunst der Herstellung von Karten und kartenverwandten Darstellungen, ausgehend von unmittelbaren Beobachtungen und/oder der Auswertung von Quellen, mit den Arbeitsvorgängen des Kartenentwerfens, der Kartengestaltung, der Ausführung des Kartenoriginals und der Vervielfältigung, sowie der Lehre der Kartenbenutzung“ [23]

bezeichnet.

Geographische oder kartographische Informationssysteme übernehmen inzwischen viele Schritte der ehemals sehr aufwändigen Kartographie. Während eine Karte früher

gleichzeitig als Medium und Speicher von Informationen diene, stellt sie heutzutage hauptsächlich die Ableitung von Datensammlungen dar und beschränkt sich auf die „visuelle Vermittlung von Informationen“ [8, S. 3]. Anstelle der manuellen Herstellung, treten automatisierte Prozesse sowie standardisierte und gespeicherte Zeichenschlüssel der Kartensignaturen an die Stelle der aufwändigen Prozesse des Kartenentwerfens und der Gestaltung. Auch der rechnergestützte Einsatz von Koordinatensystemen und Kartennetzentwürfen erleichtert die Arbeit der Kartographen erheblich, da die Darstellung des ellipsoiden Weltkörpers auf einer planaren Fläche schon seit jeher eine große Herausforderung darstellt und gerade bei kleinmaßstäbigen Karten von großer Relevanz ist. Das Beobachten und Auswerten von Quellen wird beispielsweise durch Datenbanken zur Speicherung von geographischen Informationen ersetzt. Zum Vervielfältigen oder Bearbeiten von bereits vorhandenen Karten in digitaler Form bedarf es dank dem Einsatz geographischer Informationssysteme zum Teil nur noch weniger „Klicks“ [8, Kap. 7; 15].

Hake und Grünreich schlagen aus diesem Grund bereits im Jahr 1994 eine neue, allgemeine Formulierung der Definition der Kartographie vor, welche die Veränderungen aufgrund der technologischen Neuerungen berücksichtigt [8, S. 3]:

„Die Kartographie ist ein Fachgebiet, das sich [...] mit dem Sammeln, Verarbeiten, Speichern und Auswerten raumbezogener Informationen sowie in besonderer Weise mit deren Veranschaulichung durch kartographische Darstellungen [befasst].“

Neben den Prozessen zur Herstellung von Karten sind auch Karteninhalte sowie die Art der Darstellung von Veränderungen betroffen. Die technologische Entwicklung von Geräten wie Computern oder Smartphones ermöglicht die Wiedergabe geographischer Informationen in Form von digitalen Karten, welche lediglich von der Größe und Auflösung des Bildschirms limitiert sind, ansonsten aber jegliche vorstellbare Art von Darstellung, Interaktion, Personalisierung und Nutzung der Karteninhalte ermöglichen. Gerade die unterschiedliche Kartennutzung, beispielsweise zur Visualisierung, Datenanalyse oder Simulation macht die automationsgestützte Kartenerstellung unabdingbar, ebenso wie die Anforderung an eine flexible Wahl der Informationsdichte und Auflösung, je nach Verwendungszweck der Karte [31].

Moderne Kartographie, welche auch die digitale Kartographie umfasst, ermöglicht es, raumbezogene Informationen mit Hilfe von digitalen Technologien flexibler, zeit- und kostengünstiger bereitzustellen [31]. Eine Vielzahl von Möglichkeiten bezüglich des Inhalts und der Darstellung dieser Karten stehen den Herstellern digitaler Karten gerade durch den Einsatz von geographischen Informationssystemen zur Verfügung. Von der statischen, digitalen Version einer analogen Karte bis hin zu spezialisierten, interaktiven Kartenanwendungen gibt es bereits ein breites Spektrum an kartographischen Produkten, deren Entwicklung sich ständig an neue Technologien anpassen muss.

Während viele Schritte der Kartenerstellung durch moderne Software erheblich vereinfacht wurden, stellt die Entwicklung automatisierter Prozesse zur optimierten und angepassten Darstellung der Karteninhalte an den jeweiligen Verwendungszwecke auf dem entsprechenden Endgerät eine große Herausforderungen an Kartographen dar [21, Kap. 6].

2.2 Kartographische Generalisierung

Die Generalisierung ist ein fundamentaler Bestandteil der Kartographie mit dem Ziel, dem Nutzer ein lesbares und verständliches Kartenbild zu bieten, dessen Inhalte zu einem logisch aufgebauten, informativen sowie attraktiven Gesamtbild vereint sind [21, Kap. 2]. Ein Definitionsvorschlag der kartographischen Generalisierung nach Hake aus dem Jahr 1982, welcher im Rahmen der Internationale Kartographische Vereinigung IKV formuliert wurde, lautet wie folgt [31]:

„Generalisierung ist die Gesamtheit der bei der Erfassung oder kartographischer Darstellung auftretenden Vorgänge, mit denen – maßstabs- oder themenbedingt – geometrisch, begrifflich und zeitlich die unwesentlichen Einzelheiten vernachlässigt werden und das Wesentliche erhalten bleibt oder in übergeordnete Begriffe überführt wird.“

Zur maßstabsbedingten Verkleinerung der detaillierten Realität auf eine Zeichenfläche oder der Zweckbestimmung der zu erstellenden Karten sind Generalisierungsprozesse unabdingbar. Je kleiner der Maßstab und die verfügbare Zeichenfläche, desto höher ist der Bedarf und der Einsatz der Generalisierung, denn nicht alle Informationen können und sollen dargestellt werden. Die Aufgabe der Generalisierung besteht darin, durch die Selektion und Abstraktion der Daten, ein lesbares und interpretierbares Kartenbild zu erstellen, welches für den jeweiligen Verwendungszweck optimiert ist. Mehrere, voneinander abhängige Teilschritte bilden zusammen einen komplexen Prozess [31]. Die einzelnen Teilschritte werden in Abschnitt 3.2.5 detaillierter betrachtet.

In der traditionellen Kartographie wird die Generalisierung angewandt, um entweder aus den Gegebenheiten der Realität Karten zu erstellen (Erfassungsgeneralisierung) oder beim Übergang von einer Karte in eine Folgekarte mit einem anderen Maßstab (kartographische Generalisierung). Letztere ist notwendig, um die Lesbarkeit der Karteninhalte zu gewährleisten, wenn die Inhalte einer großmaßstäbige Karte (zum Beispiel die Karte einer Ortschaft mit dem Maßstab 1:25.000) für eine Folgekarte mit kleinerem Maßstab (die gesamte Region mit 1:100.000 Maßstab) aufbereitet werden (siehe Abbildung 2.1) [8, Abschn. 3.2; 28, Abschn. 1.4]. Standardisierte Mindestdimensionen bei analogen und digitalen Karten sichern die Lesbarkeit der Kartenelemente (siehe Abschn. 3.2.2).

Bei der digitalen Kartographie wird nach Schoppmeyer zwischen verschiedenen Generalisierungsarten unterschieden. Dazu zählen die Objektgeneralisierung sowie die semantische, geometrische und kartographische Generalisierung, welche die Gegebenheiten der realen Welt schrittweise in ein primäres Digitales-Landschaftsmodell (DLM) und anschließend in ein sekundäres Digitales-Karten-Modell (DKM) konvertieren, bevor schlussendlich eine analoge oder digitale Präsentation der Karte erfolgt. Als Objektgeneralisierung wird die Beschreibung der Realwelt durch Verschlüsselung der Kartenobjekte mit Signaturen oder auf Basis von Objektartenkatalogs bezeichnet. Die semantische Generalisierung umfasst die *Auswahl* und Reduzierung von bestimmten Inhalten, während die geometrische sich auf die *Vereinfachung* des räumlichen Bezugs und der geometrischen Form bezieht. Der Generalisierung im klassischen Sinne entspricht die kartographische Generalisierung, deren Aufgabe darin besteht, Darstellungskonflikte zu

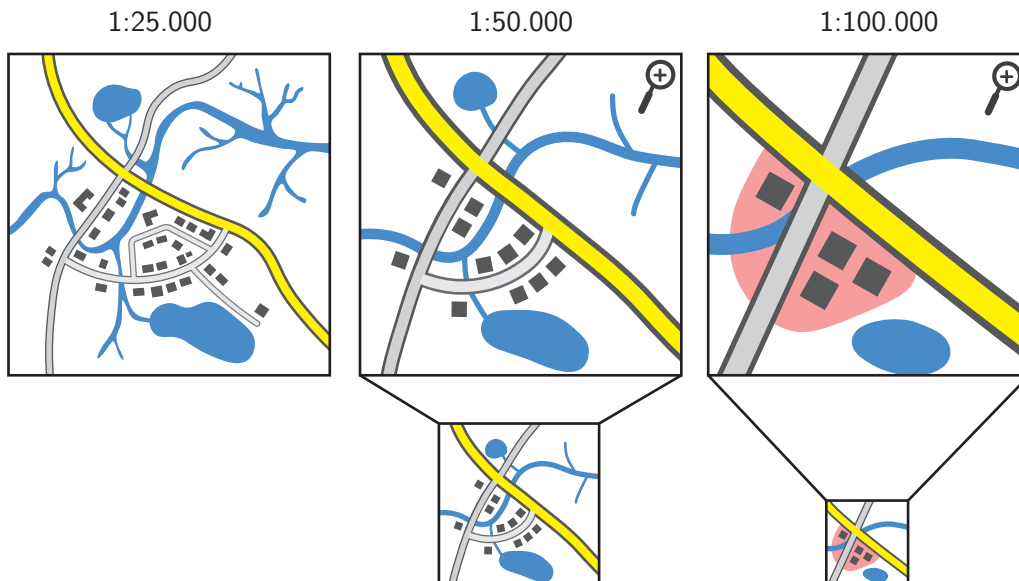


Abbildung 2.1: Der Ausschnitt einer fiktiven Karte in verschiedenen Maßstäben.

beseitigen, welche aufgrund von Mindestgrößen und der Darstellung der Karteninhalte mit Signaturen entstehen [20].

Mit Hilfe geographischer Informationssysteme können diese Teilprozesse in automatisierten Vorgängen große Mengen an Daten verarbeiten und schlussendlich daraus Karten generieren. Die Vorteile der automatischen Generalisierung bestehen unter anderem darin, die Realität in verschiedenen Graden der Abstraktion darzustellen, wobei besonders die für den jeweiligen Verwendungszweck oder Benutzer interessanten Daten berücksichtigt werden. Auch kontinuierliche Daten oder sich ändernde Datensätze sowie Unsicherheiten, Fehler und Trends können modelliert werden. Akkumulationen von Informationen in Karten können reduziert sowie die optimale Anzahl von Inhalten für das jeweilige Format ermittelt werden. Ein weiterer Vorteil der automatisierten Generalisierung ist die Verbreitung und der Zugriff auf die gewünschten geographische Informationen über das Internet [14, Kap. 3].

2.3 Entwicklung der automationsgestützten Generalisierung

Bei der Generalisierung wird außerdem zwischen zwei Arbeitsweisen unterschieden, der intuitiven und regelbasierten Generalisierung, wobei letztere bei automatischen Generalisierungsprozessen zum Einsatz kommt. Die regelbasierte Vorgehensweise hat das vorrangige Ziel einer einheitlichen Kartengestaltung, wobei die Regeln entweder auf konstruktiven Methoden mit Generalisierungsvorschriften oder auf empirischen Methoden basieren. Erstere enthalten beispielsweise Vorgaben zum Karteninhalt, Kartennetz und der graphischen Gestaltung in Form von Schrift, Signaturen und weiteren Bestandteilen der Karte und beschreiben, wie die Generalisierung umgesetzt werden soll [8, Abschn. 3.2; 31]. Empirische Regeln hingegen werden anhand der Analyse von generalisierten

Karten ermittelt und geben vor, welche Ergebnisse mit der Generalisierung erzielt werden sollen, zum Beispiel kann mit dem „Töpferschen-Wurzel-Gesetz“ (Gleichung 2.1) die Anzahl der Kartenelemente in der Folgekarte n_F anhand der Quantität der Ausgangskartenelementen n_A sowie den Maßstabszahlen der Ausgangs- und Folgekarte m_A und m_F berechnet werden [22]:

$$n_F = n_A \cdot \sqrt{\frac{m_A}{m_F}}. \quad (2.1)$$

Dieses, bereits 1961 von Töpfer entwickelte Auswahlkriterium von diskreten Objekten war einer der ersten Ansätze, kartographische Generalisierungsregeln in mathematischer Form zu formulieren [8, S. 116].

In den folgenden 20 Jahren wurden weitere Algorithmen entwickelt, die bestimmte Generalisierungsvorgänge automatisieren sollten. Dazu zählen beispielsweise Filterprozesse wie der Douglas-Peucker-Algorithmus [6] zur *Vereinfachung* linienhafter Objekte, Linienglättung mit Hilfe der Splinefunktionen, verschiedenen Bildverarbeitungstechniken und die Kantenbetonung von Rasterdaten [31]. Vermehrt wurde jedoch im Bereich der vektorbasierten Generalisierung geforscht, da diese signifikante Vorteile gegenüber rasterbasierten Daten haben, vor allem im Bezug auf die Speicherung und das Verständnis der Geometrien. Dies war gerade in den 70ern ausschlaggebend für die Entwicklung der automatisierten Generalisierung, als die Rechnerleistungen für das Speichern großer Mengen an geographischen Informationen noch nicht ausreichend genug war [14, Abschn. 4.1].

Ab 1980 wurde vermehrt die Modellierung topographischer GIS-Systeme sowie die Untersuchung von höheren Generalisierungsprozessen durch die Aufstellung von regel- und wissensbasierten Modellen und die Entwicklung von interaktiven Systemen vorangetrieben. Das Streben nach einer hundertprozentigen Lösung des gesamten Generalisierungsvorgangs wurde hintangestellt, man fokussierte sich mehr auf die Lösung von Teilprozessen. Dies führte zur Entwicklung von Expertensystemen, die diese Regeln und das Wissen dieser Modelle anwenden [16].

Anfang der 90er Jahre stagnierte die Entwicklung automatisierter Generalisierungsprozesse jedoch, bevor es 1995 zur Implementierung einzelner Algorithmen in kommerzielle Systeme kam und erste kartographische Produkte aus digitalen GIS-Systemen manuell erstellt werden konnten [14, Abschn. 4.1; 31].

Auch der Aufbau von umfangreichen und digitalen geographischen Datenbanken ab den 60er Jahren, welche inzwischen äußerst detaillierte und akkurate geographische Informationen beinhalten, war ein Grund für die Entwicklung automatisierter Generalisierungsalgorithmen. Die Darstellungen von hoch detaillierten Karten mit allerhand von Informationen ist selten für jeden Verwendungszweck geeignet [14, Abschn. 4.2]. Verschiedenste Applikationen zur Darstellung von Informationen über Klima, Wasser Ressourcen, Land- und Forstwirtschaft, Transport, Land- und Stadtplanung sowie vielen weiteren Bereiche erfordern Karten unterschiedlicher Detailgrade, bei gleichzeitiger Erfüllung bestimmter Anforderungen wie Genauigkeit und Konsistenz. Die Frage dabei lautet nicht, ob verschiedene Abstraktionsgrade dabei notwendig sind, sondern wie die Informationen in verschiedenen Stufen der Abstraktion bereitgestellt werden können [16]. Auch die Nutzung dieser Daten im Internet bedarf dem Einsatz von „on-the-fly“- oder Echtzeit-Generalisierungsmethoden, die für den jeweiligen Verwendungszweck der

Daten optimiert sind [14, Abschn. 4.4].

Bisherige Ansätze zur Automatisierung der kartographischen Generalisierung können grob in drei Bereiche gegliedert werden [4, S.12]:

- *Automatisierung von Teilprozessen der Generalisierung*: Einzelne elementare Vorgänge (siehe Abschn. 3.2.5) der kartographischen Generalisierung werden automatisiert, zum Beispiel das *Vereinfachen* von Linien [6; 19], die *Auswahl* oder das *Zusammenfassen* von Objekten. Während einige Teilprozesse weitestgehend zufriedenstellend erforscht wurden, bereiten andere noch große Probleme [14; 4, Abschn. 2.3].
- *Konzeptionelle Modelle zur Generalisierung*: Mit Hilfe von theoretischen Ansätzen werden Lösungen für ein automatisiertes Gesamtkonzept des Generalisierungsprozesses modelliert. Einige Modelle werden von McMaster und Shea dargestellt und durch ein weiteres, eigenes Modell ergänzt (siehe Abschn. 3.2.5) [13].
- *Spezialisierte Gesamtlösungen*: Es gibt bereits einige, spezialisierte Gesamtlösungen die alle Teilschritte des gesamten Generalisierungsvorgangs beinhalten. Diese Lösungen wurden jedoch für einen speziellen Anwendungsfall entwickelt worden und stellen keine allgemeingültige Lösung für verschiedene kartographische Anwendungen und Produkte dar. Die von Morgenstern und Schürer entwickelte Modellgeneralisierung [15] stellt ein Beispiel für eine mögliche spezialisierte Gesamtlösung dar.

Inzwischen gibt es eine Vielzahl an Forschungsarbeiten und Algorithmen zur Lösung von bestimmten Teilschritten. Dabei unterscheidet man zwischen den Algorithmen der verschiedenen Generalisierungsvorgänge (siehe Abschn. 2.2). Beispielsweise gibt es verschiedene Algorithmen zum *Vereinfachen* von geometrischen Formen oder bestimmten Objektarten sowie zum geometrischen *Verdrängen*. *Vergrößerungen*, welche meistens die Ursache für die Notwendigkeit des *Verdrängens* sind, erfolgen durch Anpassung der Signatur bzw. bei linienhaften Objekten anhand der Mittelachsenbildung und deren Signaturierung. Die *Klassifizierung* und *Auswahl* von Kartenelementen benötigt eindeutige Erfassungskriterien sowie ein flexibles Datenmodell und einen hierarchischen Aufbau von Objektklassen. Das automatische *Zusammenfassen* zum Beispiel von benachbarten Gebieten erfolgt anhand der Prüfung auf semantische Ähnlichkeit sowie einer geometrischen *Zusammenfassung* der Objekte [31].

Eine zufriedenstellende Lösung für die Gesamtheit der automatisierten Generalisierung ist aufgrund der Komplexität und Abhängigkeit einiger Teilschritte sowie den unterschiedlichen Anforderungen an verschiedene kartographische Produkte noch nicht entwickelt worden. Gerade das Zusammenfügen der Teillösungen sowie die Realisierung der konzeptionellen Modelle bereitet große Schwierigkeiten, fast unmöglich ist die Übertragung von spezialisierten Gesamtlösungen auf andere Anwendungen [4].

2.4 Schwierigkeiten der automatischen Generalisierung

Ein großes Problem der automatischen Generalisierung besteht darin, dass die aus der manuellen Generalisierung bekannten Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Generalisierungsschritten Analysen der aktuellen Situation sowie der Entwicklung von auf den jeweiligen Fall angepassten Strategien erfordern [31]. Nicht für jeden Einzelfall ist eine

regelbasierte Lösung möglich und gegebenenfalls müssen Sonderfälle manuell behandelt werden. Auch ein einheitliches Konzept der Generalisierung ist bisher noch nicht entwickelt worden, einzelne Teilschritte können jedoch mit Algorithmen beschrieben und automatisch ausgeführt werden [4, S.13].

Auch die Beziehungen der Kartenelemente untereinander führen zu Schwierigkeiten. Während ein Kartograph die Gesamtheit einer Karte sowie die räumlichen und semantischen Zusammenhänge erfassen und die einzelnen Kartenelemente identifizieren und klassifizieren kann [9], ist sich ein Programm im Gegensatz nicht unbedingt allen Beziehungen der Elemente untereinander bewusst. Auch Effekte der einzelnen Generalisierungsschritte auf die Kartenelemente können Probleme verursachen, wenn beispielsweise die Lage eines Objektes im Verhältnis zu einem anderen stark verändert wird, ist das korrekte Zusammenfassen der Elemente anschließend nicht mehr möglich [4, S. 13; 31].

Das Fehlen einer natürlichen Ordnung der Geodaten im mathematischen Sinne und einer vorgegebenen Ausführungsreihenfolge der einzelnen Generalisierungsschritte ist ebenfalls problematisch. Die einzelnen Vorgänge können nicht in eine sequentielle Reihenfolge gebracht werden, sondern müssen in Zyklen ausgeführt werden [4, S. 13 f.].

Außerdem stellt die Tatsache, dass manche Algorithmen kartographische Visualisierungsregeln nicht berücksichtigen, ein weiteres Problem dar. Algorithmen werden zum Teil bei Prozessen oder Datentypen eingesetzt, für die sie nicht wirklich entwickelt wurden [16]. Experten bemängeln, dass bereits existierende Algorithmen zu wenig evaluiert und validiert werden. Dies führt laut Meng dazu, dass ausgereifte Vorgehensweise neu entwickelt oder „blind“ modifiziert werden und zum Beispiel Flüsse anschließend wie Straßen aussehen oder Gebäude unsinnig verformt werden. Auch die Generalisierungsmethode der Zusammenfassung wird oftmals bei Inselgeometrien angewandt, einem Objekttyp bei dem laut den kartographischen Prinzipien keine Aggregation durchgeführt werden darf [14, Abschn. 4.4].

Auch das Ziel der Generalisierung ist selten formal ausgedrückt, sondern liegt meist als umgangssprachliche und unpräzise Beschreibung für den Menschen vor. Eine Formalisierung des Generalisierungsziels und der angestrebten Anwendung der Karte in eine von Programmen verarbeitbare Form ist dazu notwendig [4, S. 13 f.]. Da die traditionelle Generalisierung neben einem regelbasierten Vorgehen häufig intuitive Schritte erfordert, die eine gewisse Erfahrung und eine tiefe Wissensbasis in der Kartographie erfordert, ist es laut kartographischen Experten schwierig, alle Entscheidungen des Generalisierungsprozesses in eine Auflistung von formulierten Regeln zu rationalisieren [16]. Oftmals sind Prinzipien in Büchern zu allgemein oder zu spezifisch formuliert. Laut Meng wäre eine Sammlung von Wissen in Form von Interviews, Beobachtungen, dem Inhalt von kartographischen Büchern sowie Analyse von Karten in Kombination mit Machine Learning, neuronalen Netzwerken und Interaktionssystemen erstrebenswert, um dem komplexen Generalisierungsprozess gerecht zu werden [14, Abschn. 4.4.2].

Die Generalisierung beeinflusst einige Komponenten der Datenqualität einer Karte. Dies betrifft insbesondere die Genauigkeit der Lage, Form und Größe, Eigenschaften, Konsistenz sowie Vollständigkeit der Kartenelemente. Diese Einflüsse sind allerdings nicht gleichzusetzen mit Qualitätsverlust, da die Generalisierung nicht einfach nur die photographische Vergrößerung oder Verkleinerung der Karte darstellt, sondern ein kognitiver Prozess ist, der das Ziel hat, die Kartenelemente auf dem jeweiligen Medium logisch und lesbar darzustellen [14, Abschn. 4.4.4; 16].

2.5 Die Problematik kleiner Smartwatch-Displays

Zwar scheinen digitale, interaktiv-skalierbare Karten wie die der weit verbreiteten App *Google Maps* das Problem der kleinen Displays ausreichend zu umgehen, doch wenn keine Interaktion mit dem Gerät erwünscht oder möglich ist, stellen kleine Displays ein großes Problem dar. Zum Einen ist die Anzahl der Kartenelemente durch die geringe Größe der Anzeigefläche beschränkt. Außerdem müssen diese noch der Auflösung entsprechend dargestellt werden, um eine Lesbarkeit zu gewährleisten. Es reicht also nicht aus, eine „normale“ Karte so zu verkleinern, dass sie auf das Display passt. Stattdessen müssen neue Lösungsansätze gefunden, verschiedene Generalisierungsmethoden eingesetzt oder Abstraktionstechniken entwickelt werden, die nicht mehr denen der traditionellen Kartographie entsprechen.

Globaler Marktführer im Bereich der Smartwatches ist *Apple*. Seit dem Erscheinen der *Apple Watch* im Jahr 2014 dominiert der Konzern den Markt (siehe Tabelle 2.1). Andere, in Deutschland und Österreich bekannte Hersteller wie *Samsung*, *Huawei*, *Motorola* oder *Garmin* haben laut Statistiken der International Data Corporation (IDC) schwankende Verkaufszahlen, die neben Neuerscheinungen auch von der jeweiligen Region abhängen. Im Jahr 2017 hat *Apple* mehr Smartwatches verkauft als alle anderen Hersteller zusammen. Da der Konzern im letzten Quartal 2017 sogar mehr Uhren verkauft hat, als alle Schweizer Uhrenfirmen zusammen, ist er somit inzwischen der größte Uhrenhersteller der Welt [32].

Tabelle 2.1: Globaler Absatz und Marktanteil der führenden Smartwatchhersteller im Jahr 2017 (IDC. Zitiert nach [32]).

<i>Hersteller</i>	<i>Verkaufte Einheiten in Mio.</i>	<i>Anteil am Gesamtmarkt</i>
Apple	17,7	53,01%
Samsung	3,6	10,9%
Garmin	2,7	8,24%
Fossil	1,8	5,35%
Andere	7,4	22,5%

Im Vergleich zu Smartphones sind Smartwatches vor allem durch ihre geringe Displaygröße eingeschränkt (siehe Abb. 2.2). Auch die Auflösung der gängigen Modelle reicht noch nicht an die der neuesten Smartphones heran. Das Format der Smartwatch-Displays ist hauptsächlich vom Hersteller abhängig, *Apple* setzt dabei auf rechteckige Displays, *Samsung* hingegen baut hauptsächlich runde Uhren. Einige Hersteller haben sowohl eckige als auch runde Uhren in ihrem Produktportfolio.

Auch die Betriebssysteme der smarten Uhren sind herstellerabhängig. Dies hat zur Folge, dass die Auswahl der Apps auf den jeweiligen App-Store begrenzt ist. *Apple's* Betriebssystem *watchOS* ist mit den iPhones des Global Players koppelbar. Viele Hersteller wie *Huawei*, *Fossil*, *Asus*, *LG* oder *Motorola* nutzen *Googles wear os*, um eine problemlose Koppelung mit gängigen Android-Smartphones zu ermöglichen. Zwar können *Samsung*-Smartwatches mit dem installierten Betriebssystem *Tizen* inzwischen sogar mit iPhones gekoppelt werden, doch die Anzahl der verfügbaren Apps ist bisher gering.



Abbildung 2.2: Die Displaygröße und -auflösung verschiedener Smartwatch-Modelle im Vergleich zu einem gängigen Smartphone im Maßstab 1:1 (die technischen Details sind den Webseiten der Hersteller entnommen).

Bei Applikationen für Smartwatches muss zwischen eigenständigen Apps unterschieden werden und solchen, die eine Verbindung zum Smartphone oder PC benötigen. Viele Smartwatch-Modelle haben nur wenig eingebaute Sensoren wie zum Beispiel GPS und somit ist eine Navigation mit *Google Maps* ohne Verbindung zum Smartphone nicht möglich. Nur eine Erweiterung einer Smartphone-App sind sogenannte „Companion“-Apps, die lediglich die Inhalte der Hauptapplikation auf der Uhr in reduzierter Form darstellen.

Während das smarte Telefon hauptsächlich über den großen Touchdisplay bedient wird, ist dies bei Smartwatches aufgrund des bekannten „fat finger“-Problems nur eingeschränkt möglich. Buttons, drehbare Lünetten und Kronen oder Gestenerkennung

ergänzen die Interaktionsmöglichkeiten bei verschiedenen Modellen.

All diese hardwarebedingten Einschränkungen müssen bei der Entwicklung von Routenkarten, die für Smartwatches optimiert sind, berücksichtigt werden. Aus diesem Grund wird ein automatisiertes Skript implementiert, welches statische Routenkarten generiert, bei denen keine Interaktion mit dem Geräte notwendig ist. Des Weiteren müssen die Inhalte der digitalen Karte auch auf einem weniger hochauflösenden Display noch erkennbar sein, Mindestdimensionen müssen dazu berücksichtigt werden. Die finalen Karten sollen später im Rasterbildformat auf einer Smartwatch dargestellt werden können.

Kapitel 3

Motivation des Designs

Die Konzeption des Designs der Routenkarte für Fußgängernavigation auf Smartwatches besteht aus mehreren Teilen. Zum Einen wurde eine Studie konzipiert, deren Ergebnisse auf die häufig in handgezeichneten Routenkarten gefundenen Darstellungsmethoden und Inhalte hin analysiert wurden (Abschn. 3.1). Des Weiteren werden kartographische Darstellungsregeln, Generalisierungsmethoden sowie Mindestdimensionen berücksichtigt, um den Anspruch an eine gute Karte weitestgehend zu erfüllen. Lesbarkeit, Eindeutigkeit und ein logischer Aufbau sind nur einige dieser Anforderungen. Auch die Gestaltungsgesetze wurden auf ihre Anwendbarkeit hin untersucht (siehe Abschn. 3.2.3). Die Konzeption bildet die Grundlage für die anschließende Implementierung des Skriptes in algorithmischer Form.

3.1 Studie

Um die zur Navigation wichtigsten Inhalte und deren mögliche Darstellungsformen anhand von Kartenskizzen für Fußgänger zu ermitteln, wurde eine Studie konzipiert, deren Ergebnisse auf verschiedene Aspekte hin untersucht werden. Da die Karteninhalte sowie deren Darstellung sehr stark von den lokalen Gegebenheiten abhängen, wurde die Studie für die Einwohner von vier verschiedenen Städten (Linz, Ulm, Bielefeld, Karlsruhe) konzipiert, um eine größtmögliche Varianz an Ergebnissen zu erzielen (siehe Abbildung 3.1). Des Weiteren musste eine, für die meisten Teilnehmer/innen unbekannte Route in Wien anhand einer Vorlage skizziert werden. Wien eignet sich dafür aufgrund seiner vielen Sehenswürdigkeiten und verwinkelten Straße besonders gut.

Diese Unterschiede hängen größtenteils mit der historischen Entstehung der jeweiligen Stadt zusammen, mit der geologischen und geographischen Lage und kulturellen Einflüssen. Beispielsweise wurde Karlsruhe, auch „Fächerstadt“ genannt, im 18. Jahrhundert als Planstadt um das Karlsruher Schloss herum mit 32 strahlenförmig, geometrisch korrekt angeordneten Straße angelegt, die an Radspeichen oder einen Fächer erinnern. Die Straßen der Innenstadt weisen deshalb keinerlei Abweichungen von dem geometrischen Muster auf.

Dieses Aussehen unterscheidet sich stark von dem der anderen Städte, deren Stadtzentren nicht geometrisch geplant wurden sondern im Laufe der Zeit durch verschiedene Einflussfaktoren geprägt entstanden sind. Beispiele dafür sind Ulm und Linz, deren

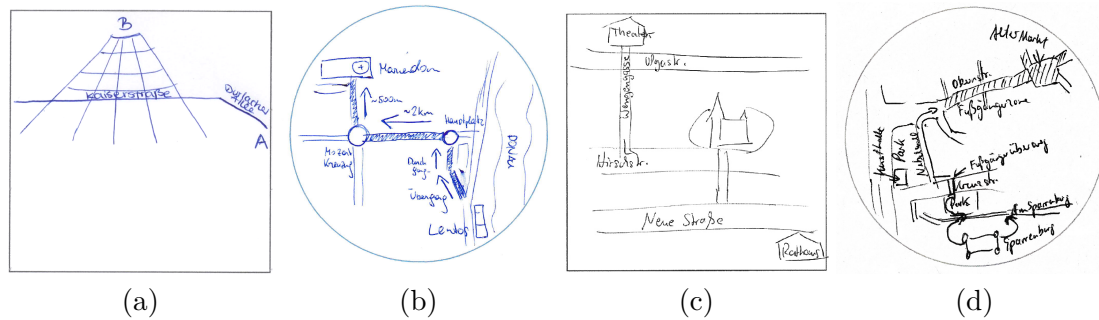


Abbildung 3.1: Kartenskizzen der vier unterschiedlichen Städte: Karlsruhe mit dem charakteristischen fächerförmig angeordneten Straßennetz (a), die Linzer Innenstadt an der *Donau* (b), das *Ulmer Münster* als globaler Orientierungspunkt in Ulm (c) und Bielefelds historische Altstadt(d).

Charakteristiken durch ihre Nähe zur *Donau* stark geprägt wurden. Auch wichtige Bauten wie das *Ulmer Münster* oder die *Sparrenburg* in Bielefeld trugen zur Entstehung des Straßennetzes der Innenstadt bei. Ulm, Linz und Bielefeld sind einige Jahrhunderte älter als Karlsruhe und etwa seit dem 9. Jahrhundert hat sich deren Straßennetzwerk stetig entwickelt und an verschiedenste geschichtliche Einflüsse angepasst. Als ehemaliges Militärlager der Römer ist Wien sogar noch älter, was auch an einigen Straßenzügen der Innenstadt ersichtlich ist.

Die Analyse der unterschiedlichen Straßennetze ist nicht erforderlich, wichtig für die Konzeption des automatisierten Smartwatch-Fußgängerroutroutenkartens-Generierungssystems ist nur, dass möglichst viele unterschiedliche Gegebenheiten berücksichtigt werden, um ein allgemeingültiges Designkonzept für die Implementierung zu entwickeln.

3.1.1 Aufgabenstellung

Die Studie besteht aus zwei Teilen. Im ersten mussten die Teilnehmer/innen zwei bekannte Routen der jeweiligen Stadt (siehe Anhang B, Tabelle B.1) in dafür vorgesehene Zeichenfelder skizzieren. Das vorgegebene Szenario bestand darin, dass ein ortsfremder Tourist den Teilnehmer/innen nach dem Fußgängerweg zu einer bestimmten Sehenswürdigkeit fragt und um eine Skizze der Route bittet. Der genaue Routenverlauf war dabei nicht relevant, denn in diesem Teil der Studie geht es vermehrt um die intuitive Darstellung der mentalen Routenrepräsentation. Die Routen sind zwischen 0,6 und 2,5 km lang, die durchschnittliche Distanz der kürzesten möglichen Route vom Start zum Endpunkt beträgt 1,35 km. Da der genaue Routenverlauf den Teilnehmer/innen überlassen war, wurden in den Routenskizzen viele unterschiedliche Orientierungspunkte und Karteninhalte verwendet, da das Vorkommen dieser in der Wirklichkeit je nach Wahl der Strecke variiert. Auch die insgesamt acht verschiedenen Routen machen einen direkten Vergleich der einzelnen Kartenelemente unmöglich. Bei der Auswertung wurde dieser Teil der Studie vermehrt auf die Art der Darstellung hin untersucht.

Der zweite Teil der Studie bestand darin, eine unbekannte Route in Wien von der *Hofburg* bis zur *Karlskirche* anhand einer Vorlage von *Google Maps* für den späteren eigenen Gebrauch in zwei dafür vorgesehene Bereiche zu übertragen. Eine Auswahl an

möglichen Orientierungspunkten wie der *Staatsoper*, der *Nationalbibliothek* oder dem *Karlsplatz* waren auf der Vorlage enthalten und konnten für die Skizze verwendet werden. Bei diesem Teil der Studie sind mehr direkte Vergleiche möglich, beispielsweise können Distanzen, Winkel oder verwendete Signaturen analysiert werden.

Die Art der Darstellung war den Teilnehmer/innen bei beiden Teilen völlig freigestellt. Zu beachten sind jedoch die unterschiedlich großen Zeichenflächen. Die erste, quadratische Square-Map ist $8,5 \times 8,5$ cm ($A = 72,25$ cm²) groß, die kreisförmige Circle-Map ist mit einem Durchmesser von 8,5 cm nur $56,74$ cm² groß. Die Wienkarten sind noch kleiner, die Square-Map hat eine Fläche von $38,44$ cm², bei der Circle-Map beträgt sie nur $15,9$ cm². Anhang B zeigt den Studienbogen am Beispiel Linz.

3.1.2 Evaluierung der Studie

Bei der Auswertung der Studie wurden alle gezeichneten Routen auf verschiedenste Faktoren hin untersucht (siehe Abbildung 3.2):

- *Anzahl der Kartenelemente*: Anzahl der einzelnen Orientierungspunkte nach ihrer Geometrieart (Punkt, Linie, Fläche), exklusive Start- und Endpunkt der Route.
- *Pfeile*: Der Einsatz und die Quantität von Pfeilen in den Kartenskizzen.
- *Anzahl der Beschriftungen*: Wie viele Kartenelemente wurden beschriftet?
- *Darstellung der Objekte*: Wie wurden die einzelnen Kartenelemente dargestellt (geometrisch, symbolhaft, bildhaft, nur Beschriftung)?
- *Vereinfachung der Linien*: Der Grad der Glättung von linienhaften Objekten (Wirklichkeitsgetreu – geraden Linien).
- *Anpassung der Winkel*: Wurden die Winkel zwischen den Straßen gar nicht, leicht, auf 45° und 90° Intervalle oder nur auf 90° Intervalle angepasst?
- *Maßstab*: Wurde ein einheitlicher Maßstab angewandt oder ein variabler bzw. wurden lange Straßen verkürzt und kurze verlängert (Wirklichkeitsgetreu – alle Linien gleich lang)?
- *Orientierung*: Die Ausrichtung der Karte (Norden, Startrichtung oder eine andere Richtung oben).

Des Weiteren wurden bei den Studienteilnehmer/innen Angaben über Geschlecht, Alter, die Nutzung von digitalen und analogen Karten, das gängige Mittel zur Navigation an fremden Orten sowie der durchschnittliche Aufenthalt in der Innenstadt pro Monat erfragt. Diese sollen später Auskunft darüber geben, ob einzelne Darstellungsmethoden mit gewissen Einflussfaktoren zusammenhängen, ob beispielsweise Teilnehmer/innen, die häufig analoge Karten nutzen, die Routen anders skizzieren als diejenigen, welche vermehrt digitale kartographische Produkte verwenden.

Insgesamt haben 51 Personen im Alter von 20 bis 59 Jahre die Studie durchgeführt. Das Durchschnittsalter beträgt 33,5 Jahre und 21 der 51 Befragten sind männlich. Von den insgesamt 51 Befragten haben 15 an der Linzer und 14 an der Ulmer Studie teilgenommen, 13 haben die Version Bielefeld ausgefüllt und 9 haben die Routen in Karlsruhe gezeichnet. 90% der Studienteilnehmer/innen nutzen zur Navigation an einem unbekanntem Ort das Smartphone, 61% analoge Karten und 16% verwenden andere Hilfsmittel oder fragen zum Beispiel nach dem Weg. Der Gebrauch von digitalen und analogen Karten zur Orientierung ist sehr unterschiedlich. Während digitale Karten von

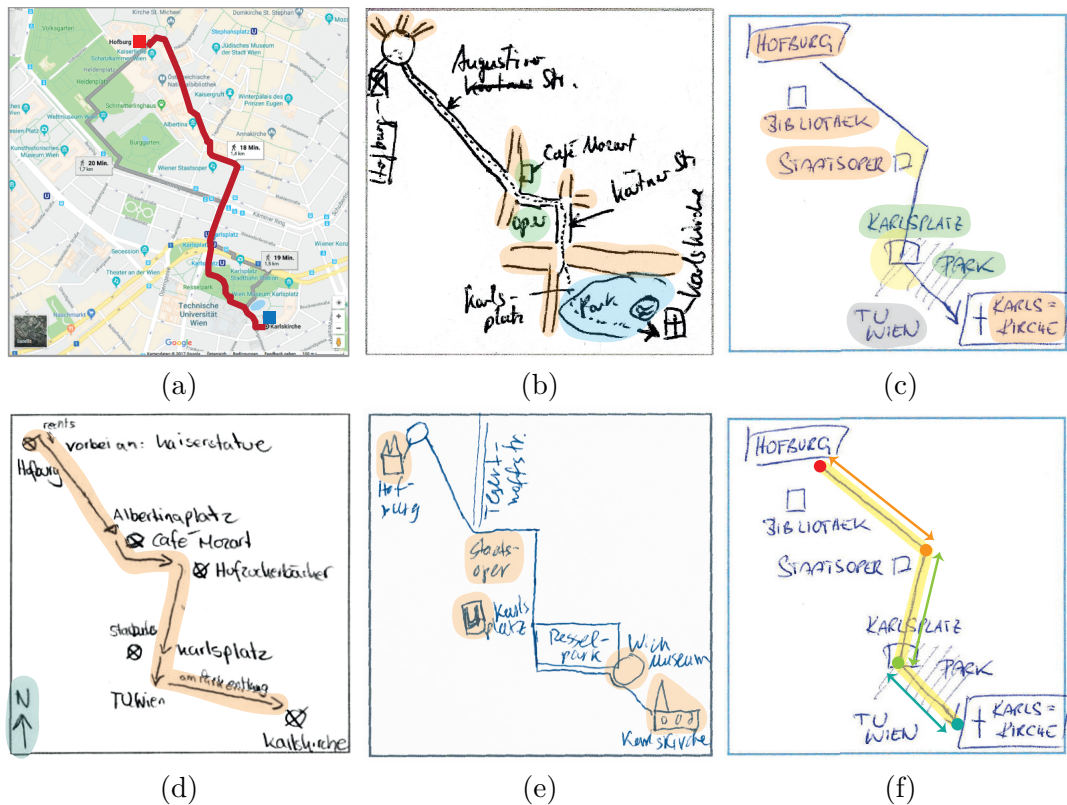


Abbildung 3.2: Evaluierung der Routenskizzen am Beispiel der „WienSquare“-Karte: Originalroute der Vorlage (a), Anzahl zusätzlicher Kartenelemente (Punkte – grün, Linien – orange, Flächen – blau), exklusive Route, Start- und Endpunkt (b), Beschriftung von Kartenelementen (Punkte – orange, Flächen – grün, Andere – grau) sowie Anpassung der Winkel (gelb) (c), Einsatz von Pfeilen (orange) und Ausrichtung der Karte (grün) (d), Darstellung der Punktgeometrieobjekte (bildhaft, symbolhaft, geometrisch oder nur Beschriftung) (e), Anpassung des Maßstabs und der Straßenlängen und Vereinfachung der Route (gelb) (f).

vielen Teilnehmer/innen häufig genutzt werden, ist der Gebrauch von analogen Karten weniger verbreitet. 0% nutzen digitale Karten nie, 2% selten, 27% gelegentlich, 51% oft und 14% immer. Analoge kartographische Produkte werden von 18% nie, 57% selten, 22% gelegentlich und nur von 2% oft verwendet. Keiner der Teilnehmer hat angegeben, immer gedruckte Karten zu nutzen.

Die Auswertung der quantitativen Daten erfolgte durch Zählen der einzelnen Elemente in den Karten (z.B. Anzahl der Kartenelemente nach Geometrieart), bei den qualitativen Aussagen wie der Ausrichtung oder der Vereinfachung der Linien wurden die Daten anhand von *ordinalen* (Linienvereinfachung: Wirklichkeitsgetreu, leicht vereinfacht, vereinfacht, stark vereinfacht, gerade) oder *nominalen* (z.B. Ausrichtung: Norden, Startrichtung oder Andere Richtung oben) Klassifizierungsskalen ermittelt.

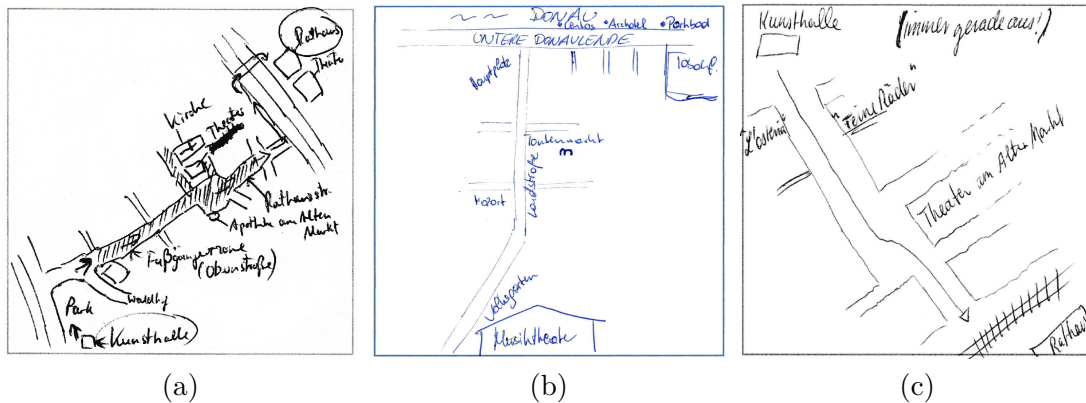


Abbildung 3.3: Wenig Abstraktion aber dafür viel kartographischer Inhalt und eine realitätsnahe Darstellung ist in diesen Routenskizzen zu finden. Eine sehr detaillierte Kartenskizze (a), Verwendung vieler Kartenelemente wie Gebäude, Querstraßen oder Straßenbeschriftungen als Orientierungshilfe (b), sowie eine grundrissartige Darstellung (c).

3.1.3 Erkenntnisse

Die Auswertung der Studie hat zu verschiedensten Erkenntnissen geführt, diese werden zu Zwecken der Übersichtlichkeit in die Abschnitte allgemeine Darstellung, Karteninhalte, Darstellung der Inhalte, Maßstab sowie Ausrichtung unterteilt.

Allgemeine Darstellung

Routenvisualisierungen der Studie reichen von annähernd klassischen, geographischen Karten (Abbildung 3.3) über abstrakte Routenskizzen (Abb. 3.4 (a) und (c)) bis hin zu Wegbeschreibungen mit mehr Wörtern als kartographischen Inhalten (Abb. 3.4 (b)).

Da die meisten Teilnehmer/innen der Studie die Routen intuitiv gezeichnet haben, ohne explizites Vorwissen im Bereich der Kartographie, sind einige dieser kartenähnlichen Skizzen zwar einigermaßen zielführend, doch bei genauerer Betrachtung fallen einige Details auf, die in der traditionellen Kartographie unüblich sind (siehe Abb. 3.5). Beispiele dafür sind die teilweise willkürliche Beschriftung der Objekte, sowie die Vermischung von verschiedenen Darstellungsarten und Signaturstilen für gleiche Kartenobjekttypen in derselben Karte. Auch die Nutzung von Zusatzinformationen in Form von Längenangaben wie „500 m“ entlang einer Straße oder „Übergang“ bei einer Brücke sind in einer klassischen Karte selten zu finden sowie der Einsatz von Pfeilen anstatt von Straßensignaturen.

Bei vielen Routendarstellungen fallen auch die Ähnlichkeiten zu Karten wie *Google Maps* auf. Der erste Teil der Studie erforderte, ein kognitives Modell der Route zu erstellen, bevor diese zu Papier gebracht wurde. Dass solche Kartendienste heutzutage für jedermann zugänglich sind und sie von den meisten Studienteilnehmer/innen im Alltag auch häufig benutzt werden führt dazu, dass diese ihre kognitives Routenmodell daran referenzieren. Die Darstellung der Symbole, die häufige Ausrichtung der Skizze nach Norden sowie die Auswahl der Karteninhalte sind einige Beispiele für die gefundenen Ähnlichkeiten. Traditionelle, analoge Stadtpläne, die mangels Interaktivität einen kon-

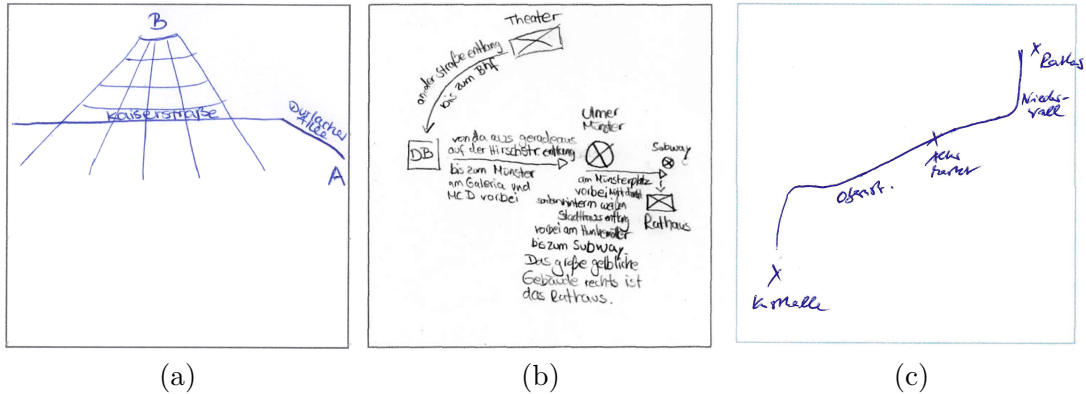


Abbildung 3.4: Stark abstrahierte Routenbeschreibungen mit stark reduziertem kartographischen Inhalt. Die Orientierung entlang der Route soll anhand des vereinfachten Straßennetzwerks (a), mit Hilfe von wortreichen Beschreibungen (b) oder anhand des exakten Routenverlaufs nur mit Hilfe von wenigen Orientierungspunkten (c) erfolgen.

stanten Maßstab und gleichzeitig einen hohen Grad an Details aufweisen, finden immer weniger Verwendung im alltäglichen Gebrauch, was ebenfalls ein Grund dafür ist, dass die skizzierten Routenkarten weniger Konformität zu diesen aufweisen.

Beispiele für Ergebniskarten, die sehr viele Parallelen zu klassischen Karten aufweisen sind in Abbildung 3.3 dargestellt. Diese sind geprägt von Kartenelementen, die mit passenden Signaturen oder Beschriftungen gekennzeichnet sind. Der Einsatz von Flächen-, Linien- und Punktgeometrien sowie deren Darstellung ist wie in geographischen Karten vom jeweiligen Objekttyp abhängig, und nicht ohne Konzept oder zufällig (siehe Abb. 3.5). Des Weiteren sind die Verhältnisse und Platzierungen der Elemente

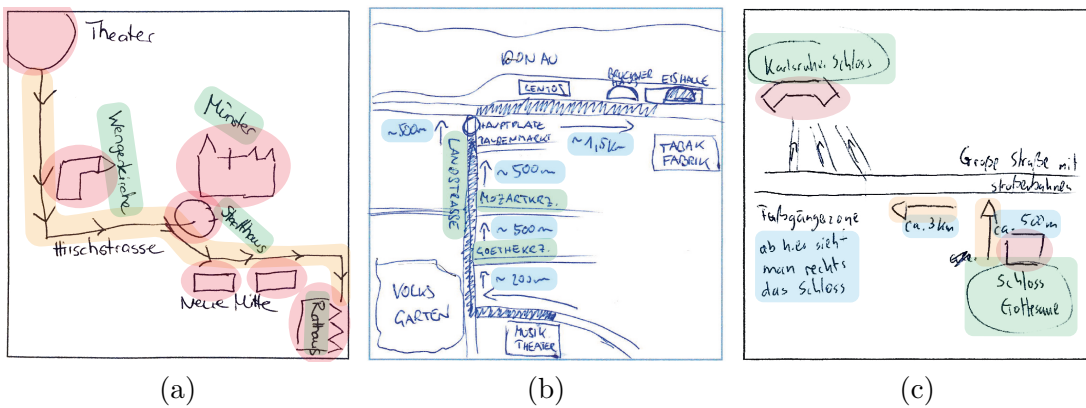


Abbildung 3.5: Karteninhalte und Darstellungen, die in traditionellen Karten unüblich sind. Unterschiedliche Signaturformen von lokalen Objekten (rot), Verwendung von Pfeilen anstatt Straßensignaturen (orange), sowie unlogische Ausrichtung von Objekten und Beschriftungen (grün) (a), unübliche Distanz- und Längenangaben die normalerweise durch einen Maßstab dargestellt sind (blau) (b) und ausführliche Beschriftungen in Textform (c).

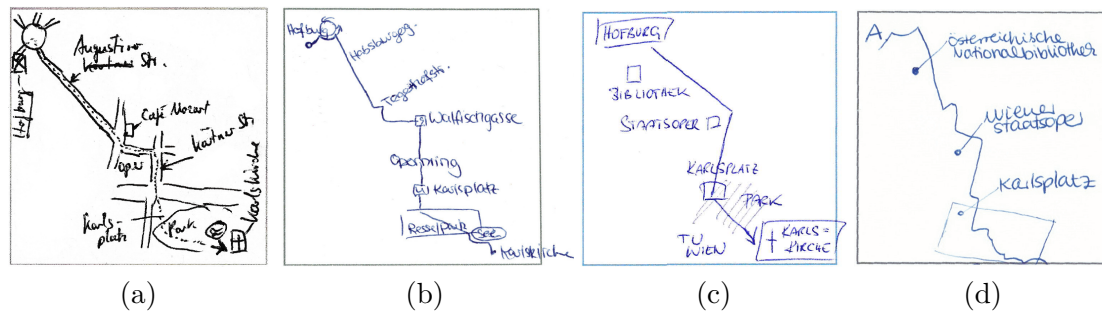


Abbildung 3.6: Die Anzahl der Elemente pro Kartenskizze nimmt von (a) bis (d) ab.

stark der Realität nachempfunden. Die Ausrichtung und Platzierung der Beschriftungen ist in diesen Karten meist passend gewählt.

Einige Ergebniskarten sind allerdings so stark abstrahiert, dass sie mit einer traditionellen Karte nur noch wenig gemeinsam haben (Abbildung 3.4). Auch diese Routenskizzen müssen bei der Konzeption des Designs berücksichtigt werden. Ob jedoch der mangelnde Platz oder fehlende Informationen über die Route oder aber ein anderer Grund ausschlaggebend für diese Darstellungen war, bleibt offen. Nichtsdestotrotz stellen diese Darstellungsarten eine interessante Art der Routenvisualisierung dar, welche auch auf Karten für kleine Displays eingesetzt werden kann. Ein Vorteil der Studie besteht darin, dass die meist Teilnehmer/innen unvoreingenommen an die Aufgaben herangegangen sind, im Gegensatz zu einem Kartographen, der sich durch die klassischen Konzepte und Regeln der Kartographie vielmehr an die traditionellen Darstellungsarten orientiert.

Kartenelemente

Ein wichtiger Aspekt für die spätere Implementierung ist, welche Inhalte vermehrt in den Skizzen verwendet werden, um dem Fußgänger eine Orientierung zu ermöglichen. Dabei wird zwischen punkt-, linien- und flächenhaften Objekten unterschieden. Punkte sind beispielsweise Sehenswürdigkeiten wie Gebäude, Denkmäler oder Brunnen. Als Linie werden lineare Objekte wie Flüsse oder Straßen eingestuft und Flächen repräsentieren beispielsweise Parks oder Plätze. Abbildung 3.6 zeigt Kartenskizzen der Wiener Route mit einer abnehmenden Anzahl von Kartenelementen. Bei der Auswertung der Skizzen wurden Straßenabschnitte der Route, Anfangs- und Endpunkt nicht mitgezählt.

Die am häufigsten verwendeten Kartenelemente sind Linien und Punkte. Flächenhafte Objekte wie Parks sind aufgrund ihres geringeren Vorkommens in innerstädtischen Bereichen seltener in den gezeichneten Karten zu finden. Eine Kartenskizze enthält im Durchschnitt 4,86 Elemente, davon sind 1,87 Punkte, 2,29 Linien und 0,7 Flächen. Allerdings spielen hierbei verschiedene Faktoren eine große Rolle, beispielsweise die verfügbare Zeichenfläche (Square-Maps haben eine größere Fläche als Circle-Maps, siehe Abschnitt 3.1.1) sowie die Länge der Route, denn grundsätzlich sind mehr Elemente in der Skizze vorhanden, je länger die Route ist und je mehr Platz vorhanden ist (siehe Abbildung 3.7). Eine Ausnahme bildet hierbei die kürzeste Route, vom *Ulmer Münsterplatz* zum *Metzgerturnm*. Diese weist überdurchschnittlich viele Kartenelemente auf,

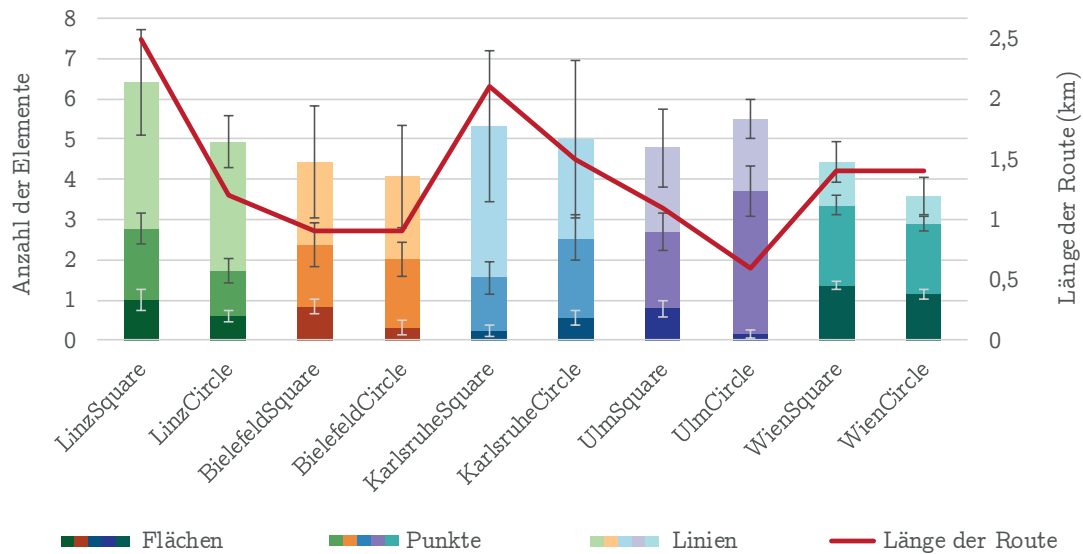


Abbildung 3.7: Die durchschnittliche Anzahl der Elemente pro Karte nach ihrem Geometrietyp (Punkte, Linien und Flächen) im Verhältnis zur Routenlänge, inklusive Standardabweichung.

was vielleicht an der hohen Dichte von Sehenswürdigkeiten in der realen Welt oder an dem, aufgrund der kurzen Strecke, hohen verfügbaren Platzangebot der Zeichenfläche liegt.

Auch die zur Verfügung stehenden Orientierungsmerkmale der Realität und die Struktur des Straßennetzwerkes tragen zur Quantität der Kartenelemente bei, beispielsweise wurden in Linz und Karlsruhe besonders viele Straßen und Kreuzungen zur Orientierung eingezeichnet. Beide Städte haben ein relativ gleichmäßig angeordnetes Straßennetzwerk, dessen Struktur sich besonders gut als Navigationshilfe eignet.

Insgesamt variieren die Standardabweichungen der einzelnen Geometrieelementarten in den verschiedenen Routen stark, am größten sind die Schwankungen bei den Linienelementen. Besonders signifikant sind diese bei den Linienelementen der Karlsruher Routen mit einer durchschnittlichen Anzahl von 3,78 (*KarlsruheSquare*) bzw. 2,44 (*KarlsruheCircle*) zusätzlichen Linien pro Karte und einer Standardabweichung von $\sigma = 1,87$ bzw. $\sigma = 1,96$. In einigen Kartenskizzen wurde das fächerförmige Straßennetz zur Orientierung verwendet, in anderen wiederum nicht.

Da die einzelnen Routenskizzen sich zum Teil sehr stark in ihrer Darstellungsform unterscheiden und auch die Anzahl der zusätzlichen Kartenelemente stark variiert, kann dazu keine allgemeingültige Aussage getroffen werden. Ähnlich wie bei den Kartenskizzen ist die Anzahl der Kartenelemente von der jeweiligen Route und dem damit zusammenhängenden Platzangebot und Vorhandensein möglicher Elemente in der Realität abhängig. Bei der Implementierung wird die Anzahl also nicht vorgegeben, sondern in jedem Fall einzeln im Laufe der Generalisierungs- und Abstraktionsvorgänge an die jeweilige Situation und Route angepasst.

Die Auswertung hat eindeutig bewiesen, dass eine kartographische Darstellung der

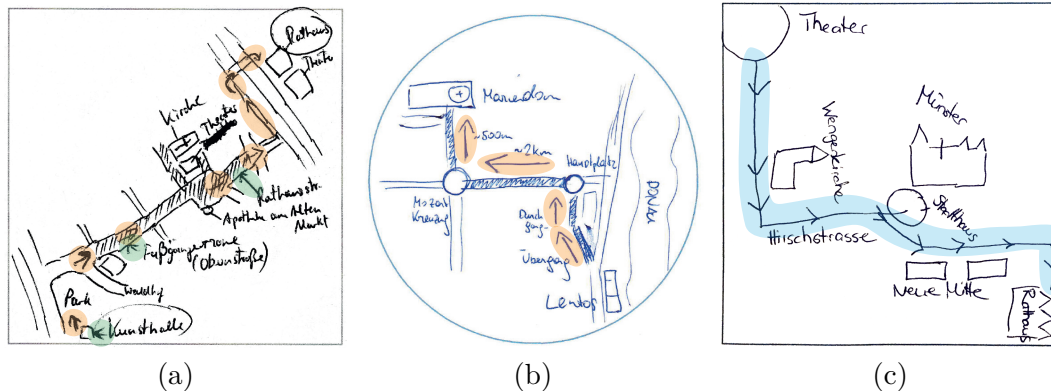


Abbildung 3.8: Beispiele für die Verwendung von Pfeilen in den Kartenskizzen der Studie: Pfeile als Verbindung zwischen Beschriftung und Kartenelement (grün) (a), Pfeile zur Verdeutlichung des Routenverlaufs (orange) (b) und Pfeile anstatt von Straßen (blau) (c).

Umgebung um die Route herum nicht notwendig ist. Alle Kartenskizzen enthalten ausschließlich Inhalte, die im direkten Zusammenhang mit der Route stehen. Besonders die geringe Zeichenfläche der Karten erfordert eine Fokussierung auf die wichtigsten Karteninhalte.

Flächen wie Parks spielen laut der Studie eine eher untergeordnete Rolle bei der Orientierung in Innenstädten, deshalb werden diese bei der Implementierung des Skriptes nicht miteinbezogen. Eine Auswahl der wichtigsten Querstraßen sowie Orientierungspunkte ist zur Orientierung mit Hilfe der Smartwatch-Routenkarte ausreichend. Die Anzahl der abgebildeten Punkte und Straßen ist abhängig vom verfügbaren Platz der Kartenfläche, den damit einhergehenden Mindestdimensionen und von der Relevanz der Elemente. Signifikante Orientierungspunkte wie Museen oder Monumente sind zum Beispiel wichtiger als Haltestellen, auch Autobahnen haben eine höhere Relevanz als Fußgängerwege. Auch die Lage der Punkte und Straßen wird bei der Implementierung berücksichtigt, die Position von Orientierungspunkten und Kreuzungsstraßen an „Ecken“, also Abbiegungen der Route, erhöht deren Gewichtungsfaktor. Weniger wichtige oder überlappende Elemente werden entfernt, sodass schlussendlich eine Auswahl der wichtigsten Karteninhalte übrig ist.

In traditionellen topographischen Karten ist die Nutzung von Pfeilen eher unüblich. Zu finden sind diese zwar teilweise in lokalen und linearen Signaturen wie Stromleitungen, Elektrizitätswerken oder bei der Darstellung von Fließrichtungen [8, Kap. 3; 28, Kap. 4], doch zur Abbildung von Straßen oder Beschriftung von Objekten wie in einigen Kartenskizzen der Studie (siehe Abb. 3.8) werden diese im Regelfall nicht eingesetzt.

Da die zu implementierende Form der Karte jedoch nicht der traditionellen topographischen Karte entspricht, sondern eher einer spezialisierten Kartenskizze (siehe Abschn. 3.2.1), müssen auch unübliche Darstellungsformen wie der Einsatz von Pfeilen untersucht werden. Bei der Evaluierung wurde lediglich ausgewertet, ob Pfeile verwendet wurde, um den Verlauf der Route darzustellen. Pfeile als Beschriftungslinien wurden nicht berücksichtigt. Abbildung 3.9 zeigt den qualitativen Einsatz von Pfeilen zur Dar-

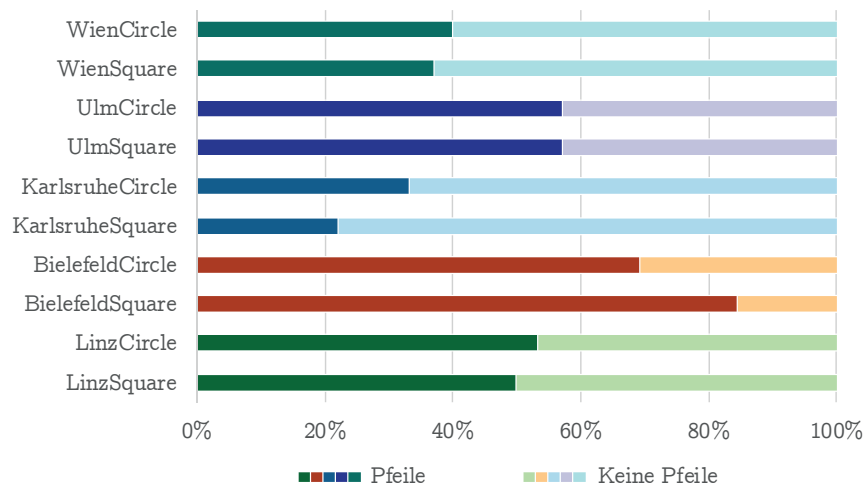


Abbildung 3.9: Die Nutzung von Pfeilen in den Kartenskizzen (exklusive Beschriftungspfeile). Insgesamt wurden in genau 50% aller Karten Pfeile verwendet um den Verlauf der Route darzustellen.

stellung der Route, der insgesamt bei genau 50% liegt. Bei den Skizzen, in denen Pfeile verwendet wurden, wurden im Durchschnitt 2,62 Pfeile verwendet.

Da nur die Hälfte aller Skizzen der Studienteilnehmer/innen Pfeile beinhalten, sind diese demzufolge nicht unbedingt notwendig um den Verlauf der Route darzustellen. Obwohl dies keine Angabe oder Bedingung bei der Aufgabenstellung der Studie war, wurde nur in zwei Kartenskizzen eine zweite Farbe verwendet, um die Route zu visualisieren, bei den anderen, einfarbigen Skizzen waren Pfeile demnach ein gutes Mittel um die Route einzuzeichnen. In der Implementierung wird darauf verzichtet, Pfeile mit einzubinden. Stattdessen wird der Routenverlauf durch eine markante Farbe der Route verdeutlicht sowie durch die Abbildung der Kreuzungsstraßen bei Abbiegungen.

Ein weiterer inhaltlicher Aspekt der Kartenskizzen ist der Einsatz von Beschriftungen. In Abbildung 3.10 ist der Einsatz von Beschriftungen zur Identifikation von geometrischen Punktsignaturen (a) dargestellt sowie die Verwendung von bildhaften (Aufrissbilder der *Hofburg*, *Staatsoper* und des *Resselparks*) und symbolischen (Kreuz) Signaturen anstelle von Beschriftungen (b). Während die Skizze mit den Beschriftungen den gesamten, zur Verfügung stehenden Platz der Kartenfläche ausnutzt, um möglichst viele Elemente geometrisch abzubilden und diese anhand ihres Namens eindeutig zu identifizieren, sind in der bildhaften Darstellung der Route zwar weniger Elemente vorhanden und der Platz ist weniger gut ausgenutzt, doch die Objekte sind auf den ersten Blick dank ihrer repräsentativen Darstellung zu erkennen. Ein großer Vorteil der zweiten Skizze ist auch, dass die Signaturen bei einer Verkleinerung der Karte in Smartwatch-Display-Größe noch zu erkennen sind, während die Beschriftungen schwer lesbar werden. Bei längeren und komplexeren Routen wird die Beschriftung von allen Kartenelementen auch zunehmend schwerer aufgrund des geringeren Platzaufgebots.

Abbildung 3.11 stellt die Quantität der Beschriftungen im Vergleich zu der Anzahl der vorhandenen Kartenelemente dar.

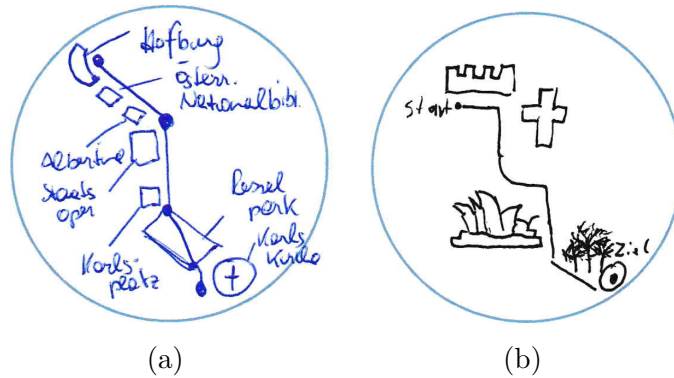


Abbildung 3.10: Viele Kartenelemente mit geometrischen Signaturen und Beschriftungen (a), bildhafte und symbolische Signaturen anstelle von Beschriftungen (b).

Auffällig dabei ist, dass bei allen quadratischen Kartenskizzen mehr Beschriftungen vorhanden sind als bei den kreisförmigen. Im Hinblick auf den verfügbaren Platz in den Zeichenflächen ist die Anzahl der Beschriftungen demzufolge abhängig von der Größe der Kartenflächen. Im Durchschnitt sind in einer Kartenskizzen 5,35 Beschriftungen enthalten, bei Skizzen des ersten Teils der Studie 5,98 bei den quadratischen und bei den kreisförmigen 5,06. Die noch kleineren Karten des zweiten Teils enthalten 5,14 (Quadrat) bzw. 4,2 (Kreis) Beschriftungen pro Karte. Die Skizzen in den Kreisen beinhalten durchschnittlich eine Beschriftung weniger als die quadratischen.

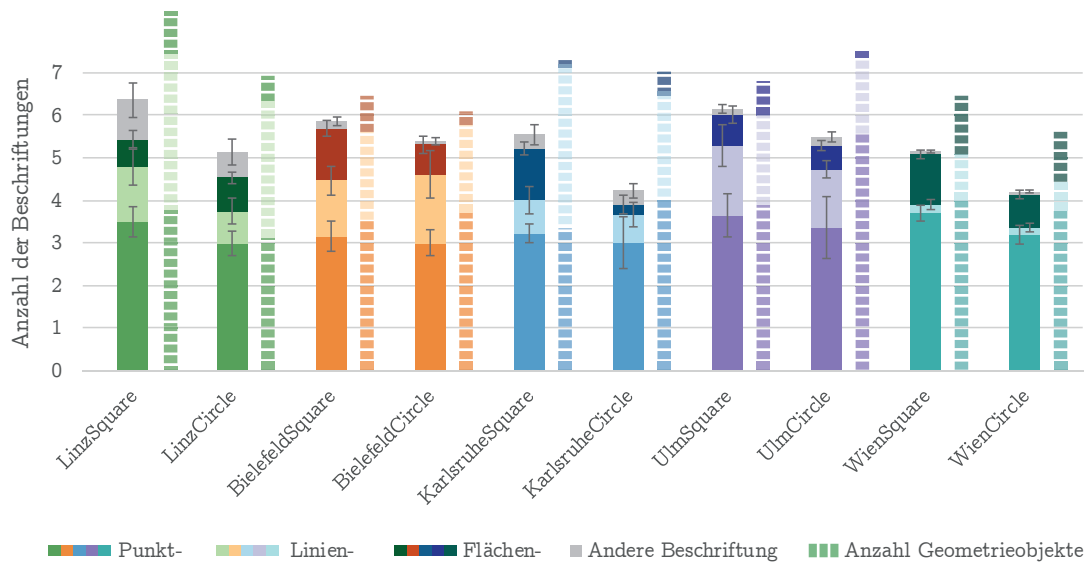


Abbildung 3.11: Durchschnittliche Anzahl an Beschriftungen pro Karte im Vergleich zur Anzahl der Kartenelemente, inklusive Standardabweichung. „Andere“ Beschriftungen sind zum Beispiel solche ohne dazugehöriges Geometrieelement oder Text in der Karte. Die Anzahl der Kartenelemente ist inklusive Start und Endpunkt.

Während das Verhältnis von Punktelementen und den dazugehörigen Beschriftungen relativ ausgewogen ist, sind im Vergleich wesentlich weniger Linienelemente beschriftet als tatsächlich in den Kartenskizzen enthalten. Die Straßennamen haben demnach eine geringere Bedeutung als die Namen der Orientierungspunkte.

Zwar sind in fast allen Skizzen der Studie Beschriftungen enthalten, doch aufgrund der Abhängigkeit vom Platzangebot werden bei der Implementierung keine Beschriftungen angewendet. Die verfügbare Fläche der durchschnittlichen Smartwatch-Displays ist mit 3 bis 3,5 cm Durchmesser in etwa halb so groß wie die der kreisförmigen Wien-Karte. Anstelle von Beschriftungen, die auf so kleinem Raum viele Probleme verursachen und deren Implementierung relativ komplex ist [2, Abschn. 1.3], werden bildhafte und symbolische Signaturen ähnliche wie in der Kartenskizze in Abbildung 3.10 (b) verwendet, wodurch die Orientierungspunkte eindeutig erkannt werden können. Zwar ist Schrift in Karten das „wichtigste erläuternde Element“ [8, S. 103] und ermöglicht eine absolut eindeutige Identifizierung der Objekte, doch die genauen Namen sind in der Regel für die Orientierung entlang der Route nicht notwendig.

Eine mögliche Implementierung von einblendbaren Details über ausgewählte Kartenelemente durch einen einfachen Interaktionsmechanismus anstelle von statischen Beschriftungen in der Karte wird in Abschnitt 5.4 behandelt.

Darstellung der Inhalte

Die Darstellung der Karteninhalte ist in drei Aspekte unterteilt, diese sind zum Einen die Visualisierung der lokalen Kartenelemente in Form von Beschriftungen, geometrischen oder bildhaften Signaturen sowie die Abbildung von Straßen als einfache oder doppelte Linie. Des Weiteren wird der Grad der Glättung der Straßen analysiert, ob diese vermehrt wirklichkeitsgetreu oder stark vereinfacht dargestellt werden und abschließend erfolgt die Analyse der Winkelanpassungen.

Zunächst wird die Inhaltsdarstellung analysiert. Dabei werden nur lokale (Orientierungspunkte) lineare (Straßen) Objekte untersucht, da dies die Objektarten sind, welche in der Implementierung verwendet werden. Die Darstellung der Orientierungspunkte erfolgte auf unterschiedlichste Art und Weise (siehe Abbildung 3.12). Einige Kartenskizzen enthalten verschiedene Signaturarten (a) und (c), andere wiederum beschränken sich auf eine Art von Signatur, wie die Aufrissbilder in Abbildung 3.12 (b), welche zu den bildhaften Signaturen gehören.

Bei der Evaluierung der punkthaften Signaturen wurden alle lokalen Kartenelemente entsprechend ihrer Signaturform (siehe Abschnitt 3.2.1) gezählt. Dabei wird zwischen Geometrien und bildhaften Signaturen sowie Beschriftungen ohne dazugehöriges Kartenelement unterschieden. Zu den bildhaften Signaturen gehören neben Grundriss-, Aufriss- und Schrägbildern bei dieser Auswertung auch die Symbole. Diese stellen in der traditionellen Kartographie laut Hake eine eigene Form der Signaturen dar [8, S. 101].

Abbildung 3.13 (a) zeigt den prozentualen Anteil der jeweiligen Signaturform der Punktelemente. Geometrische Signaturen in Kombination mit einer Beschriftung ist eine häufig gewählte Art der Darstellung, bildhafte Signaturen und Beschriftungen ohne Kartenelement wurden etwas seltener eingesetzt. Jedoch ist die Verwendung von geometrischen Signaturen ohne Beschriftung und ohne Legende um die Signatur zu identifizieren ungünstig. Im vorherigen Abschnitt hat sich herausgestellt, dass die Beschriftung

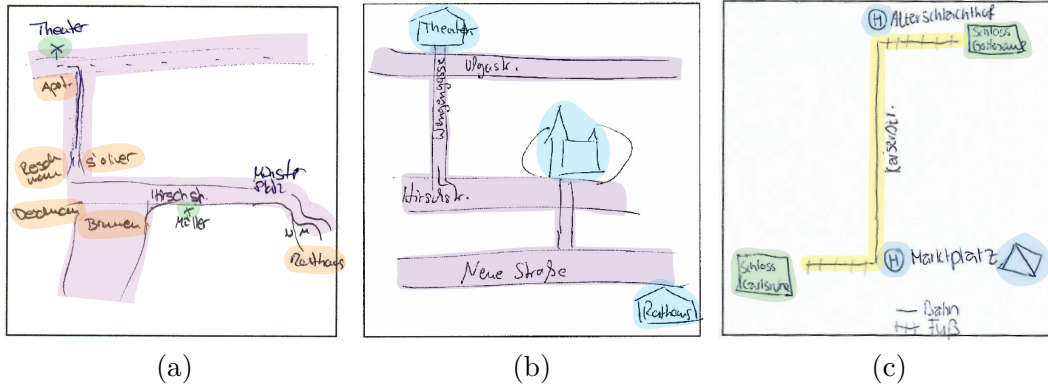


Abbildung 3.12: Verschiedene Signaturtypen der lokalen Objekte (grün – geometrische Signatur, blau – bildhafte oder symbolische Signatur, orange – nur Beschriftung) und Darstellung der linearen Straßenelemente mit einfacher (gelb) oder doppelter (lila) Signatur.

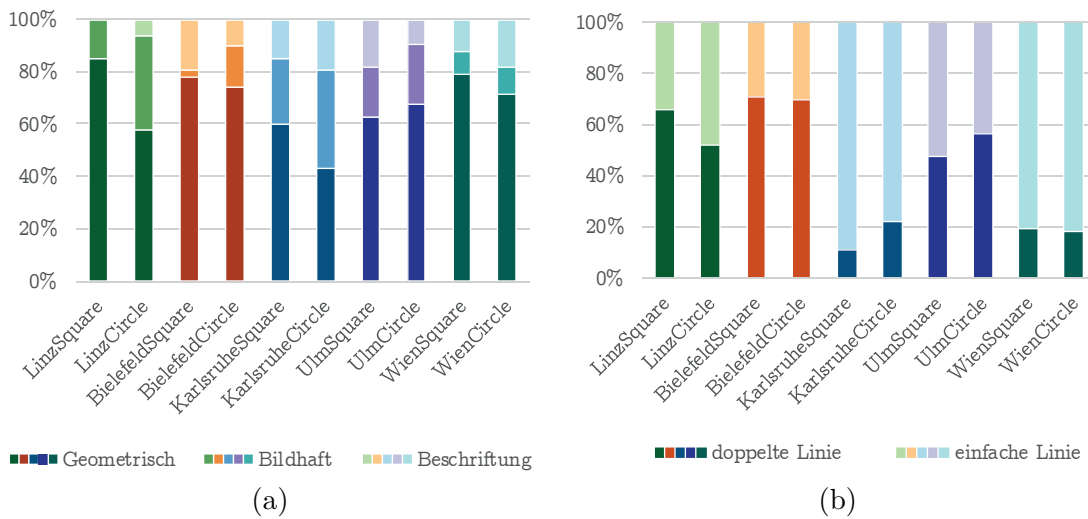


Abbildung 3.13: Häufigkeit der Signaturformen bei lokalen Kartenelementen (a) und die Darstellung der Straßen mit einfacher oder doppelter Liniensignatur (Pfeile als Straßen ausgenommen)(b).

der Elemente in dieser Implementierung nicht notwendig ist, deshalb werden bildhafte Signaturen entworfen, mit denen die Kartenelemente ohne Beschriftung eindeutig identifiziert werden können.

Die Darstellung der Straßen erfolgte in der Studie größtenteils mit einfachen Liniensignaturen (siehe Abbildung 3.13 (b)). Bei topographischen Karten werden häufig für „großen“ Straßen wie Autobahnen oder Bundesstraßen Linien mit Konturen verwendet, um die Straßencharakteristik darzustellen, doch bei kleinmaßstäbigen Karten werden aus Gründen der Lesbarkeit und des Platzes auch einfache Linien eingesetzt [8; 28]. Da auch die zu generierenden Smartwatchkarten vom Platzangebot her sehr limitiert sind

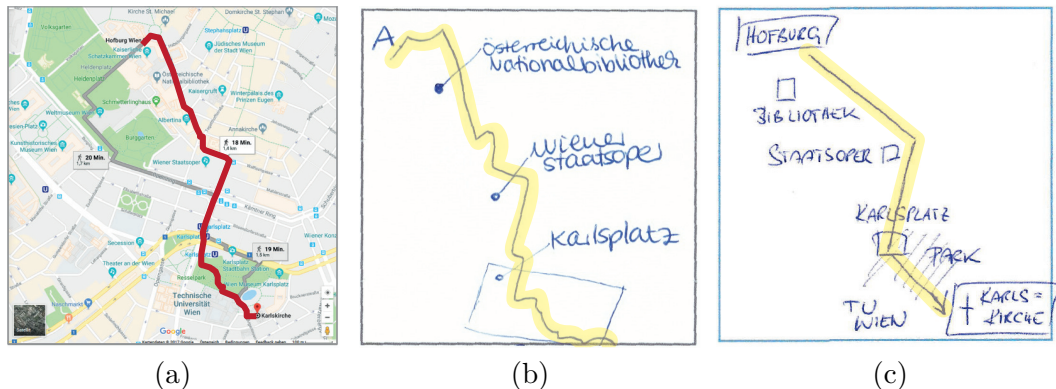


Abbildung 3.14: Unterschiedliche Grade der Linienvereinfachung (Glättung): Originalroute (a), wirklichkeitsgetreue Abbildung der Straßen (b) und Darstellung der Straßen mit geraden Linien (c).

und die Straßen der Studienkarten zu 65% mit einfachen Linien dargestellt wurden, werden bei der Implementierung ebenfalls einfache Linien verwendet.

Diese Linien, welche die Straßen der Route abbilden, können schon allein aufgrund der geringen Kartengröße und dem Maßstab ($< 1:1$) nach den Regeln der Generalisierung der traditionellen Kartographie (siehe Abschn. 3.2.5) nicht wirklichkeitsgetreu dargestellt werden. Die Vereinfachung der Linien ist bei der Erstellung der Karte unerlässlich, die Frage hierbei ist nun, wie stark die Linien vereinfacht werden (siehe Abbildung 3.14). In der Implementierung des LineDrive-Systems [1] wurden die Straßen der Route extrem stark vereinfacht und abstrahiert, sodass sie schlussendlich nur noch aus geraden Strecken besteht. Ob diese Vorgehensweise auch heutzutage in handgezeichneten Routenkarten Anwendung findet wurde bei der Analyse der Straßenglättung untersucht.

Verschiedene Grade der Glättung sind in Abbildung 3.14 zu sehen. Im Vergleich zur Originalroute (a), ist die Route der ersten Kartenskizze (b) beinahe wirklichkeitsgetreu nachgezeichnet, während die Route in der zweiten Skizze (c) nur noch aus geraden Linien besteht.

Abbildung 3.15 zeigt eindeutig, dass die meisten Straßen der Studienskizzen mindestens stark vereinfacht wurden. Allerdings müssen auch die lokalen Gegebenheiten jeder Route und die Struktur des jeweiligen Straßennetzwerkes der einzelnen Städte berücksichtigt werden. Große Unterschiede bestehen beispielsweise zwischen der Vereinfachung der Karlsruher und der Bielefelder Straßen. Erstere ist wie bereits erwähnt eine geometrisch exakt konstruierte Planstadt, bei der von Haus aus die meisten Straßen als gerade oder exakt bogenförmige Linien vorliegen. Eine Glättung erfolgt hier beispielsweise bei kleinen Abbiegungen oder den gebogenen Straßen. Bielefeld hingegen hat eine sehr verwinkelte Straßenstruktur, bei der viele Teilnehmer/innen der Studie versucht haben diese Charakteristiken durch eine geringere Vereinfachung in der Skizze wiederzugeben.

Durch den insgesamt sehr hohen Grad der Linienvereinfachung sowie der zu großen Teilen positiven Resonanz des Referenzbeispiels *LineDrive* [1] wurde auch bei der Im-

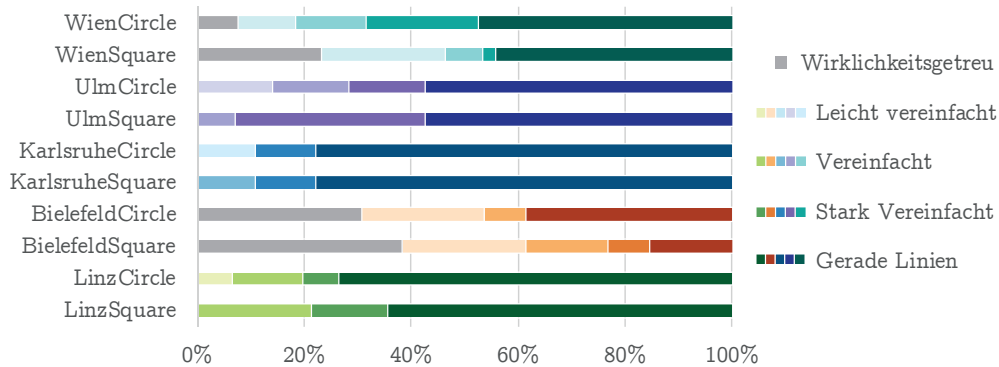


Abbildung 3.15: Vereinfachung der Straßengeometrien in den Kartenskizzen der verschiedenen Routen.

plementierung der Smartwatch-Routenkarte ein hoher Grad der Straßenvereinfachung gewählt. Diese werden so weit geglättet und vereinfacht, bis die Route nur noch aus geraden Linien und Ecken zwischen den wichtigsten Kreuzungen und Abbiegungen besteht.

Im nächsten Schritt der Evaluierung werden die Winkel der Skizzen im Vergleich zu denen der Realität gemessen und verglichen (Abbildung 3.16). Einige Teilnehmer/innen haben diese sehr wirklichkeitsgetreu dargestellt (a), andere wiederum haben sie ähnlich wie in einem Liniennetzplan von öffentlichen Verkehrsmitteln soweit angepasst, dass alle Winkel nur noch 45°- oder 90°-Intervallen entsprechen (b).

Die Auswertung zeigt ähnlich wie die der Linienglättung, dass die Anpassung der Winkel mit dem Straßennetzwerk der jeweiligen Stadt sowie den Gegebenheiten der Routen zusammenhängt (Abbildung 3.17). 15% aller Kartenskizzen stellen die Winkel wirklichkeitsgetreu dar, der Rest variiert zwischen leicht angepasst und 90°-Intervallen. Der Vergleich zwischen den unterschiedlichen Routenskizzen fällt hierbei besonders schwer,

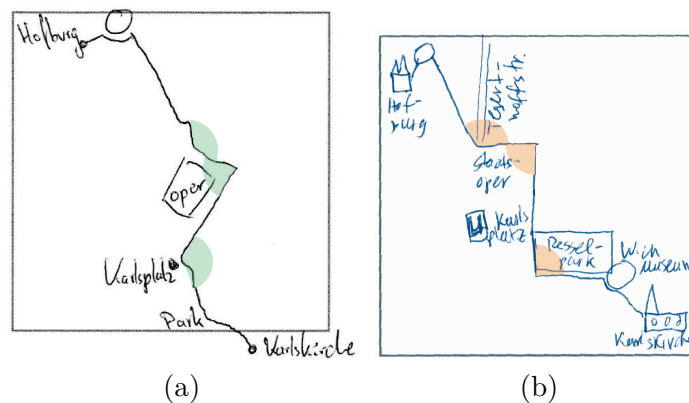


Abbildung 3.16: Anpassung von Winkel zwischen Straßen: wirklichkeitsgetreu (grün) (a) und Winkel im 45°-Intervall (orange) (b).

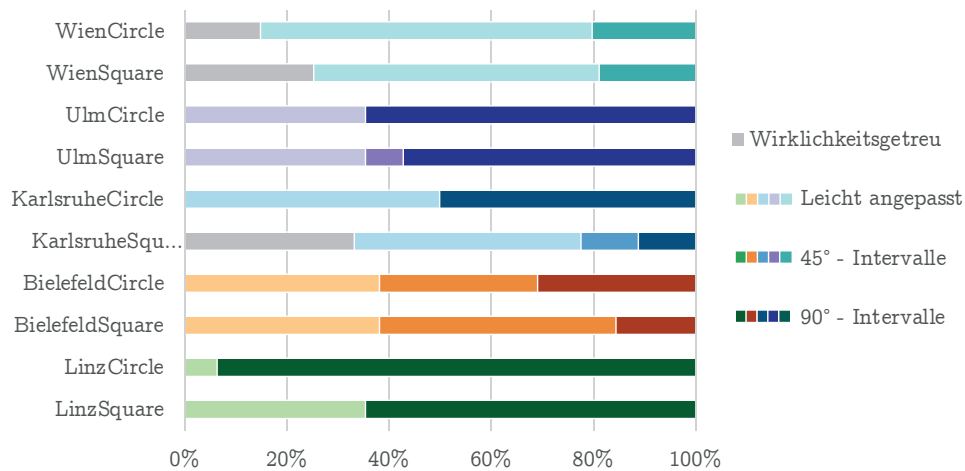


Abbildung 3.17: Die Anpassung der Winkel zwischen den Straßen.

da die einzelnen Routen sich stark in ihren Verläufen unterscheiden, eine eindeutige Aussage kann nicht getroffen werden.

Da die Abstraktion der Karteninhalte ein gutes Mittel ist, um den geringen verfügbaren Platz zu kompensieren sowie für eine gute Übersichtlichkeit und Struktur der Route zu sorgen, wurden in der Implementierung lediglich Winkel im 45°-Intervall verwendet um die Route sowie deren Querstraßen darzustellen.

Maßstab

Hierbei ist nicht der Maßstab im eigentlichen Sinne gemeint, denn dieser ist abhängig von der Route und der zur Verfügung stehenden Displayfläche und wird automatisch so angepasst dass die Route größtmöglich auf der Kartenfläche dargestellt wird. In diesem Abschnitt wird die Wahl eines variablen oder konstanten Maßstabs evaluiert. Ein konstanter Maßstab wird in traditionellen Karten verwendet, somit können Längen in der Realität anhand des Maßstabs durch die Ermittlung der entsprechenden Distanzen in der Karte ermittelt werden [8, S. 106 ff.]. Bei einem variablen Maßstab hingegen ist dies nicht mehr möglich, einzelne Kartenbereiche oder Elemente sind so verzerrt, dass der Maßstab der Karte variiert.

Diese Maßstabsvariation wurde bei vielen Kartenskizzen des zweiten Teils der Studie gefunden. Wie Abbildung 3.18 veranschaulicht, wurden bei der Auswertung die Länge von drei Routensegmenten gemessen und mit den Distanzen der Originalkarte von *Google Maps*, die einen konstanten Maßstab aufweist, verglichen. Die Routensegmente wurden so gewählt, dass die Messpunkte in allen Skizzen vorhanden sind. Diese sind der Startpunkt der Route, die *Hofburg* (HB – rot), die *Staatsoper* (SO – orange), der *Karlsplatz* (KP – grün) und der Endpunkt *Karlskirche* (KK – blau). Es wurden nur die Kartenzeichnungen des zweiten Teils der Studie ausgewertet, da diese miteinander verglichen werden können.

Zwischen den quadratischen und kreisförmigen Skizzen besteht kein signifikanter Unterschied, aus diesem Grund wurde hier lediglich die Auswertung der Distanzen der

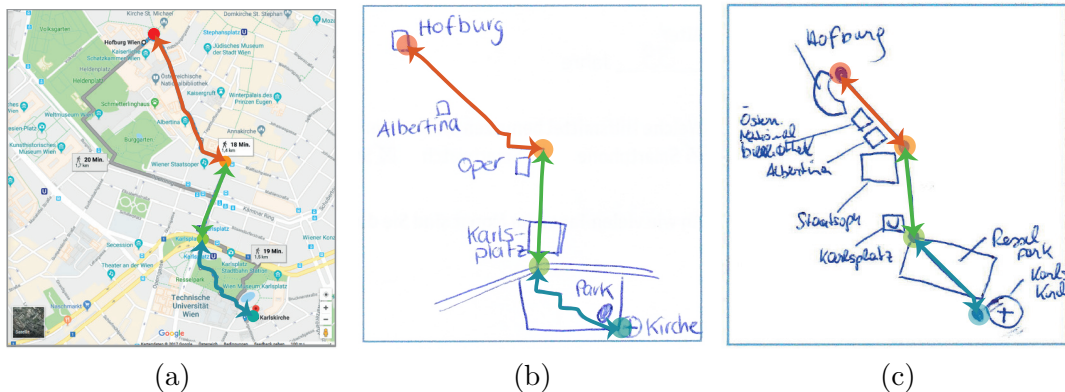


Abbildung 3.18: Beim Messen der Distanzen zwischen den vier Routenpunkten *Hofburg*, *Staatsoper*, *Karlsplatz* und *Karlskirche* wurden unterschiedlichste Darstellungen ausgewertet, beispielsweise die wirklichkeitsgetreue (b) oder eine angepasste Längendarstellung der Streckenabschnitte, sodass lange verkürzt und kurze verlängert werden (c).

WienSquare-Karte abgebildet (siehe Abb. 3.19). Deutlich zu erkennen ist, dass die Längen der einzelnen Streckenabschnitte zwar stark variieren, jedoch werden lange Straßen sowohl verkürzt als auch verlängert, ebenso die kurzen Strecken. Auch die wirklichkeitsgetreue Darstellung der Distanzen ist häufig gemessen worden.

Lange Streckenabschnitte zu verkürzen und vice versa führt zu dem Effekt, dass auch besonders kurze Wegabschnitte erkennbar sind. Das System *LineDrive* [1] beruht auf der Annahme, dass es von Vorteil ist, alle noch so kleinen Wegabschnitte der Strecke mit einer Mindestlänge darzustellen, während die verzerrten Verhältnisse und der variable Maßstab das Nutzererlebnis der Karte nicht beeinträchtigen. Bei langen Strecken sei die genaue Länge irrelevant, solange die ungefähren Verhältnisse erhalten bleiben.

Im Gegenzug dazu führt die Verlängerung von langen Strecken und Verkürzung von kurzen Wegen dazu, diese Verhältnisse noch zusätzlich zu betonen. Es wird also deutlich hervorgehoben, welcher Streckenabschnitt besonders lang oder besonders kurz ist.

Bei der durchschnittlichen Distanz der drei Streckenabschnitten besteht zwischen der Originalroute (Anteile an der Gesamtlänge: HB – SO: 46%, SO – KP: 25%, KP – KK: 29%), den *Square*-Karten (45%, 27%, 29%) sowie den *Circle*-Karten (44%, 29%, 27%) kaum ein Unterschied. Deshalb müssen die einzelnen Kartenskizzen näher betrachtet werden (siehe Abb. 3.19).

Problematisch bei Smartwatchkarten ist die Verlängerung von langen Strecken und Verkürzung von kurzen Wegen aufgrund der kleinen Kartengrößen. Kleine Wegabschnitte werden dadurch extrem schwer lesbar. Da Agrawala et al. den Einsatz eines variablen Maßstabs jedoch bereits im *LineDrive*-System erfolgreich implementiert und getestet haben [1], wodurch kurze Strecken verlängert werden, wird diese Abstraktionsart in der Smartwatchroutenkarten-Implementierung ebenfalls eingesetzt. Kurze Straßen werden demnach verlängert und lange verkürzt, sodass zwar die Verhältnisse bestehen bleiben, die Straßen jedoch gewisse Mindest- und Maximallängen einhalten, dies garantiert die Lesbarkeit der einzelnen Routenabschnitte.

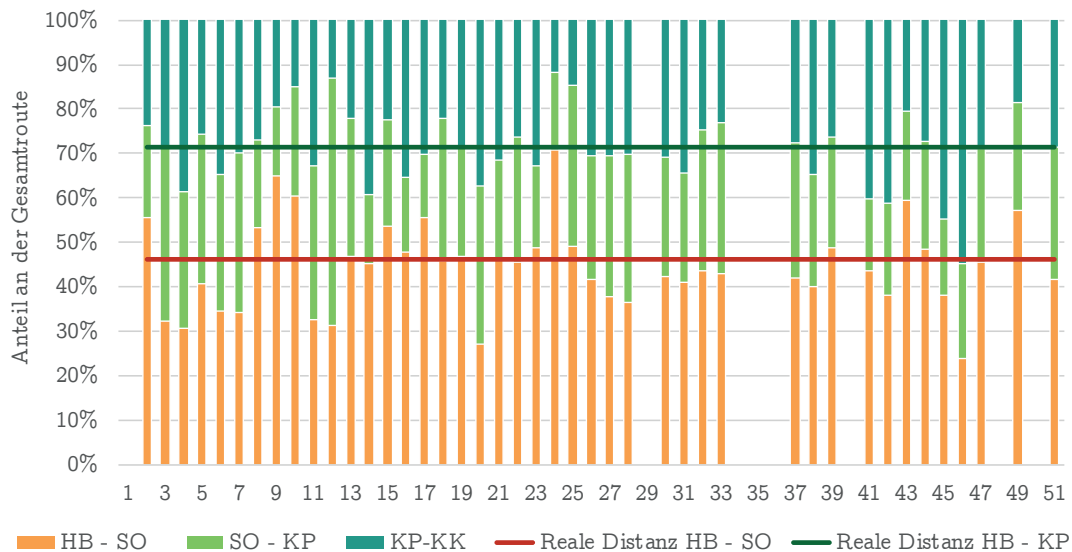


Abbildung 3.19: Die Anteile der gemessenen Distanzen an der Gesamtroutenlänge von allen Kartenskizzen der quadratischen *WienSquare*-Karte im Vergleich zur Originallänge.

Ausrichtung

Der letzte Punkt der Studienevaluation betrachtet die Ausrichtung der Karte (siehe Abb. 3.20). Unterschieden wird dabei zwischen Nordausrichtung, der Orientierung in Startrichtung sowie anderen Ausrichtungen. Einige Kartenskizzen enthalten auch Kartenzusatzelemente wie einen Nordpfeil (a) oder die kompassartig angeordnet Beschriftung der Himmelsrichtungen (b) und (c), wodurch die Ausrichtung der Karte auf den ersten Blick erkennbar ist.

In der traditionellen Kartographie wird besonders bei Kartenprodukten wie Wanderkarten oder Straßenkarten, bei denen die Orientierung wichtig ist oder bei Karten die nicht nach Norden hin ausgerichtet sind, ein Nordpfeil angegeben. Die meisten kartographischen Produkte sind standardmäßig jedoch nach Norden hin orientiert. Auch kartographische Webapplikationen oder Apps wie *Google Maps* weisen beim Start eine Nordausrichtung auf.

Möglicherweise ist dies auch der Grund für die hohe Anzahl der nach Norden hin ausgerichteten Kartenskizzen der Studie. Die Skizzen der Wien-Route sind alle nach Norden ausgerichtet, dies wurde vermutlich 1:1 aus der Vorlage übernommen. Im ersten Teil der Studie sind 73% der Karten nordorientiert, nur 10% in Startrichtung der Route, die anderen Ausrichtungen liegen bei 17%. Ob die Studienteilnehmer/innen den Verlauf der Route mental ebenso konstruieren oder ob diese Häufigkeit der Gewohnheit durch die häufige Nutzung der bekannten Kartenapplikationen entspringt, ist fraglich. Gewiss ist jedoch, dass die Teilnehmer/innen der Studie eindeutig die Ausrichtung der Karte nach Norden (87% aller Karten) hin bevorzugen, dies wird bei der Implementierung auch dementsprechend umgesetzt.

Aufgrund der starken Abstraktion der Route durch die Glättung der Straßen und der

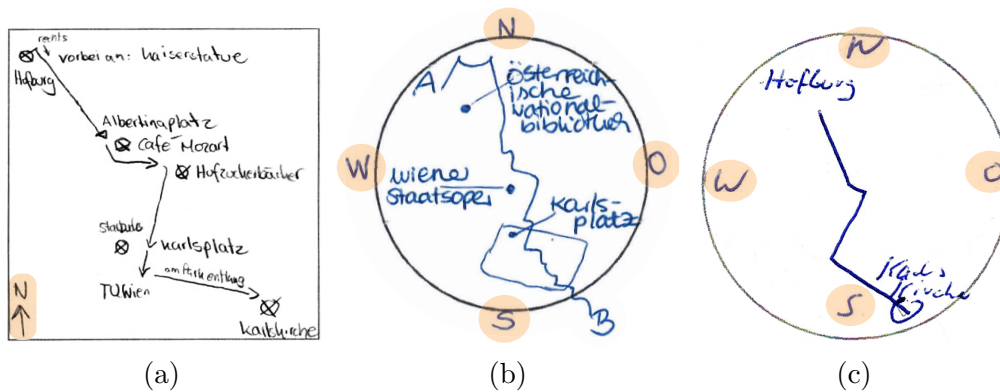


Abbildung 3.20: Bei diesen Skizzen ist die Ausrichtung auf den ersten Blick erkennbar dank dem Nordpfeil (a) und den kompassartig angeordneten Himmelsrichtungen (b) und (c).

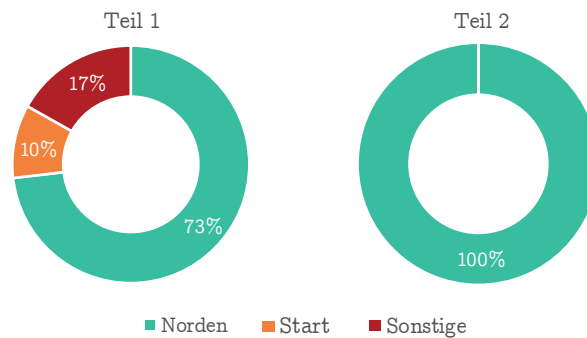


Abbildung 3.21: Kartenausrichtungen der Studie in Teil 1 (a) und Teil 2 (b).

Anpassung der Winkel ist es möglich, dass die genaue Richtung der einzelnen Straßen in den generierten Smartwatchkarten nicht mit der Wirklichkeit übereinstimmt, was die Nutzer/in in der Navigation einschränken kann. Aus diesem Grund wird bei der Implementierung zusätzlich ein Nordpfeil eingefügt, damit die Ausrichtung der Karte eindeutig ist.

3.2 Routenvisualisierung und -design

Neben den aus der Studie gewonnenen Erkenntnissen müssen auch einige Anforderungen und Richtlinien der traditionellen Kartographie mit in die Konzeption des Designs einfließen. Diese sind in allen Standardwerken der Kartographie mit geringfügigen Unterschieden zu finden, die sich unter anderem auf die zeitliche Entstehung und die damit einhergehende Entwicklung der kartographischen Herstellungs- und Wiedergabetechniken begründen. In dieser Arbeit werden insbesondere die Angaben von Hake und Grünreich [8], der Schweizer Gesellschaft für Kartographie [21] sowie dem Portal geoinformation.net berücksichtigt, da diese in der internationalen Kartographie häufig

verwendete Referenzen darstellen. Letzteres ist ein Projekt des deutschen Bundesministeriums für Bildung und Forschung, das von verschiedenen Universitäten (u.a. München, Bonn, Potsdam) umgesetzt wurde, die maßgebende Beiträge im Bereich der Geoinformationen leisten [31].

3.2.1 Traditionelle Anforderungen an Kartendarstellungen

Die traditionelle Anforderung [8; 31; 21] an eine gute Karte sind vielseitig, dienen aber allesamt demselben Zweck: einer optimalen Nutzbarkeit, Wissensvermittlung und Lesbarkeit der Karte durch den Leser sowohl inhaltlich als auch gestalterisch.

- *Vollständigkeit*: Abhängig vom Maßstab müssen die notwendigen Elemente zur Beschreibung der realen Welt vorhanden sein, ergänzend können in der Realität unsichtbare Informationen wie Grenzen und Beschriftungen den Informationsgehalt der Karte fördern. Die Auswahl der Elemente ist abhängig vom Maßstab und Zweck der Karte.
- *Genauigkeit*: Die Kartenelemente sollten maßstabsgetreu der Wirklichkeit entsprechen, korrekt positioniert sein und zumindest eine der mathematischen Grundanforderungen *Winkeltreue*, *Flächentreue* oder *Längentreue* erfüllen.
- *Zweckmäßigkeit*: Die Projektion und das Format müssen dem Darstellungs- und Verwendungszweck entsprechen.
- *Verständlichkeit*: Die Karte muss klar und verständlich und die Inhalte unzweideutig ausgedrückt sein.
- *Übersichtlich- und Lesbarkeit*: Voraussetzungen dafür sind Einhaltung von visuell wahrnehmbaren Mindestgrößen und der typischen Gestalt der Elemente in Form und Farbe sowie Berücksichtigung von grafischer Dichte, Kontrast, Differenzierung und Gewichtung.

Folgen der kartographischen Generalisierung sind jedoch, dass die geometrisch korrekte Wiedergabe der Kartenelemente sowie die Vollständigkeit dieser nicht in jedem Fall gewährleistet werden kann [28]. Je kleiner also die Kartenfläche und der Maßstab, desto höher ist der Grad der Generalisierung und desto weniger wird die Folgekarte den Anforderungen an eine gute Karte gerecht.

Da die Kartenflächengröße der in dieser Arbeit entwickelten Smartwatch-Routenkarten sehr limitiert ist, werden Abstraktionsmethoden angewandt, welche der Anforderung der *Genauigkeit* entgegenwirken. Durch den Einsatz eines variablen Maßstabs und der Anpassung der Straßenslängen kann die Darstellung keine der mathematischen Grundanforderungen einhalten. Auch die Anpassung der Winkel zwischen den Straßen wirkt sich negativ auf die *Genauigkeit* der Karteninhalte aus. Anhand der Studie wurde jedoch deutlich, dass dies für den Zweck der Karte nicht notwendig ist.

Die übrigen Anforderungen werden weitestgehend eingehalten. Die Vollständigkeit ist zwar ebenso durch die sehr kleine Kartengröße eingeschränkt, doch mit Hilfe von Gewichtungsfaktoren werden die wichtigsten Orientierungspunkte und Straßen beibehalten, die zur Navigation auf der Route notwendig sind. Auch die Zweckmäßigkeit ist erfüllt, da die Karte als Orientierungshilfe auf einer smarten Uhr der Fußgängernavigation in Innenstädten dienen soll. Durch eine bildhafte Darstellung der Orientierungspunkte sowie Klassifizierung der Straßenarten anhand von Farbe und Stärke soll eine

eindeutige Identifikation und Verständlichkeit der Kartenelemente auch ohne Beschriftungen möglich sein. Lesbarkeit und Übersichtlichkeit werden durch passend gewählte Signaturen, Farben und Kontraste sowie Einhaltung der Mindestdimensionen (siehe Abschnitt 3.2.2) gewährleistet.

Genau genommen könnte die Art der Karte, welche in dieser Arbeit konzipiert wurden, als *Kartenanamorphose* oder *Kartenskizze* eingestuft werden. Als *Kartenanamorphose* wird eine, nach bestimmten Regeln verzerrte Darstellung bezeichnet, deren Maßstab große Schwankungen aufweist oder auf nicht-geometrischen Grundlagen basiert. Eine *Kartenskizze* weist darüber hinaus neben den geometrischen und räumlichen Ungenauigkeiten auch starke graphische Vereinfachungen auf [8, S.20 f.].

3.2.2 Mindestdimensionen

Neben den Begrifflichkeiten der Kartographie haben sich auch die standardisierten Vorgaben wie die der graphischen Mindestgrößen der Zeit und den technischen Entwicklungen angepasst. Von der manuellen Herstellung einzelner Karten, über die Vervielfältigungsmöglichkeiten durch verschiedene Druckmethoden bis hin zur Entwicklung der digitalen Kartographie unterlagen die Angaben über die Mindestgrößen der Karteninhalte ständigen Veränderungen. Die Art der Herstellung sowie Auflösung, Kontrast und Farben beim Druck von Printkarten und bei der Wiedergabe auf Bildschirmen entwickeln sich stetig weiter. Aus diesem Grund müssen auch die Richtlinien der Mindestgrößen an neueste Technologien angepasst werden. Die Schweizer Gesellschaft für Kartographie hat 2005 eine Sammlung von Richtlinien für Kartengrafiken und Generalisierung zur Erstellung topographischer Karten veröffentlicht, welche auch Angaben über Mindestdimensionen bei der digitalen Kartographie enthält [21].

Die Minimaldimensionen von digitalen Karten sind abhängig von der Auflösung des Bildschirms vom Wiedergabemedium und dem menschlichen Sehvermögen. Das menschliche Auflösungsvermögen des Auges beträgt bei einem Betrachtungsabstand von 30 cm etwa 0,2 mm. Im Bereich der schärfsten Auflösung der Netzhaut, haben die Zapfenzellen des Auges eine Größe von etwa 0,0015 mm. Somit sind Elemente, welche mindestens 0,002 mm auf der Netzhaut voneinander entfernt liegen noch einzeln erkennbar. Des Weiteren kann das Auge bei demselben Betrachtungsabstand und einem guten Kontrast eine schwarze Linie mit einer Stärke von 0,04 mm erkennen, sowie einen einzelnen Punkt mit mindestens 0,1 mm Durchmesser. Zur Erkennung von unterschiedlichen Formen sind etwas größere Dimensionen notwendig, ein Dreieck kann etwa bei einer Größe von 0,5 mm, ein Sechseck erst ab 1,3 mm erkannt werden. Diese Angaben beziehen sich auf gedruckte Karten mit einer sehr hohen Auflösung und einem guten Kontrast (> 300 ppi) [31; 21].

Für digitale Karten sind die Mindestdimensionen an die geringere Auflösung der Wiedergabegeräte entsprechend angepasst. Die Schweizer Gesellschaft für Kartographie geht dabei von einer Pixelgröße von 0,3 mm aus, dies entspricht einer Auflösung von etwa 85 dpi. Diese Richtlinien wurden bereits im Jahr 2005 für alle möglichen digitalen Bildschirmkarten formuliert, decken also auch viele weniger hochauflösende oder großformatige Displays ab (alte Monitore, frühe Smartphone-Modelle, etc.). Eine Linie muss dementsprechend mindestens 1 Pixel (0,3 mm) breit sein, ein Punkt 5 Pixel (1,5 mm) und ein Dreieck etwa 8 Pixel (2,4 mm) um eindeutig erkennbar zu sein [21].

Bei dieser Implementierung wurden bei der Konzipierung der Darstellung der Karteninhalte jedoch hauptsächlich gängige Smartwatch-Modelle der letzten Jahre berücksichtigt. Diese haben inzwischen eine recht hohe Auflösung (siehe Absch. 2.5) die in etwa zwischen 250 und 350 ppi liegt (Pixelgröße von ca. 0,1 – 0,07 mm). Auch der Leseabstand der Karte auf dem Display der Smartwatch ist mit 35 cm etwas höher angesetzt als der eines Buches. Da die Darstellung der Signaturen mit bildhaften Symbolen erfolgt, muss auch deren Mindestgröße etwas größer gewählt werden, damit diese eindeutig erkannt werden können.

Für eine gute Lesbarkeit und Qualität der Karte wird bei der Implementierung eine standardmäßige Auflösung von 300 dpi bei einer Kartengröße von 30 x 30 mm bzw 354 x 354 Pixeln gewählt. Ein Pixel ist also auf einer Uhr mit der Auflösung von 300 dpi 0,085 mm groß. Die Kartengröße kann beim Start des Skriptes beliebig gewählt werden.

Als Mindestgröße der Punktsignaturen werden 2 mm (ca. 24 Pixel) festgelegt, damit wird sichergestellt, dass wirklich jedes Symbol der Karten, selbst bei schlechten Lichtverhältnissen noch identifiziert werden kann. Die Größe der Punktsignaturen entspricht ansonsten einem Zehntel der Größe, je mehr Platz also vorhanden ist, desto größer werden die Symbole dargestellt. Bei der Standardgröße der Implementierung sind die Punktsymbole 3 mm (ca. 35 Pixel) groß.

Die dünnsten Linien (Fußgängerwege) sind ein Fünfzigstel der Kartengröße breit, bei den Standard Einstellungen also 0,6 mm (ca. 7 Pixel), damit ihre Klassifikation anhand der Farbe und Dicke erkannt werden kann. Die Mindestgröße beträgt 0,5 mm (ca. 6 Pixel).

3.2.3 Gestaltgesetze

Laut Hake und Grünreich „[spielen] neben dem objektiv-geometrischen Erfordernis der Mindestgröße [...] auch die Gesetzte der subjektiven Wahrnehmung eine Rolle“ [8]. Die Gestaltwahrnehmungen der Menschen beruhen nach Untersuchungen der *Gestaltpsychologie* darauf, dass nach bestimmten Gestaltgesetzen aus graphischen Elementen zusammenhängende Figuren gebildet werden.

Wertheimer formuliert 1923 sechs Faktoren für die Zusammenhangsbildung in der Wahrnehmung, diese sind inzwischen auch als Gestaltgesetze bekannt [27]:

- *Gesetz der Nähe*: je näher sich Elemente zueinander sind, desto eher werden sie als zusammengehörig erkannt.
- *Gesetz der Ähnlichkeit*: einander ähnliche Objekte werden eher als zusammengehörig wahrgenommen als unähnliche. Diese Ähnlichkeiten umfassen beispielsweise Form, Größe und Farbe.
- *Gesetz der guten Gestalt*: Objekte, die zusammen eine einfache, prägnante Struktur bilden werden als zusammengehörend erkannt.
- *Gesetz der guten Fortsetzung*: Linien werden kontinuierlich oder durchgehend wahrgenommen, wenn sie sich kreuzen.
- *Gesetz der Geschlossenheit*: Strukturen werden vollständig oder geschlossen wahrgenommen, selbst wenn das Element unvollständig oder teilweise verdeckt ist.
- *Gesetz des gemeinsamen Schicksals*: Objekte die sich scheinbar in dieselbe Richtung bewegen werden als Einheit wahrgenommen.

Weitere Gestaltgesetze wurden in den folgenden Jahrzehnten unter anderem von Kohler, Koffka und Palmer definiert, dazu zählen

- *Gesetz der gemeinsamen Region*: Objekte, die sich in derselben abgeschlossenen Region befinden werden als Teil einer Gruppe empfunden.
- *Gesetz der verbundenen Elemente*: Miteinander verbundene Elemente, werden als gemeinsames Objekt wahrgenommen.

Einige Gestaltgesetze kommen in den Fußgängerkarten für Smartwatches zum Einsatz. Unter anderem wird die Routenlinie dank des *Gesetz der guten Fortsetzung* als kontinuierliche Linie wahrgenommen, obwohl sie zahlreiche andere Straßen kreuzt. Wenn die Querstraßen die Route an einer Kreuzung schneiden, werden diese ebenfalls als eine Straße wahrgenommen, denn die beiden einzelnen Straßen enden nicht an der Route.

Des Weiteren sorgt das *Gesetz der Nähe* dafür, dass die Position der Orientierungspunkte entsprechend ihrer Lage bzw. der Nähe zum jeweiligen Routensegment erkannt wird. Punkte und Linien die auf der Karte nahe beieinander liegen, befinden sich auch in der Realität in der Nähe zueinander.

Das *Gesetz der Ähnlichkeit* ermöglicht durch den Einsatz von Farben und Strichstärken bei den Straßen und Symbolen bei den Orientierungspunkten für eine Identifizierung von gleichen Objekttypen. Beispielsweise ist eine Autobahn, die die Route kreuzt, dunkelgrau und dick dargestellt, was sie von den anderen Linien (hellgrau und dünn) eindeutig hervorhebt und als miteinander verbundenes Objekt kennzeichnet.

Durch das *Gesetz der verbundenen Elemente* werden die miteinander verbundenen Straßen ebenfalls als zusammenhängende Straßennetzwerk visualisiert.

Einige Gestaltgesetze finden in dieser Konzeption keine Anwendung, da sie vorrangig bei flächenhaften Objekten zum Einsatz kommen, welche für die Orientierung entlang der Route keine wesentliche Rolle spielen und aus diesem Grund nicht bei der Implementierung miteinbezogen wurden (*Gesetz der gemeinsamen Region* oder *Gesetz der Geschlossenheit*).

3.2.4 Kartographische Gestaltungsmittel




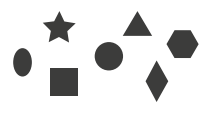
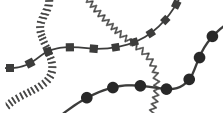
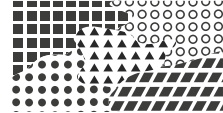












1974 entwickelte Bertin die Theorie der graphischen Semiologie [3], welche immer noch die Grundlage der Zeichentheorie in der Kartographie sowie in vielen anderen graphischen Disziplinen darstellt, was anhand zahlreicher internationaler Verweise in verschiedensten Werken zu erkennen ist.

Der Ansatz der graphischen Semiologie beruht auf der Annahme, dass in kartographischen Darstellungen nur Gleichheiten, Ähnlichkeiten und Unterschiede zwischen einzelnen Zeichen eindeutig erkannt werden können. Außerdem sind die wahrgenommenen Zeichenbeziehungen von entsprechenden Denkkategorien des Menschen abhängig, was den logischen Kategorien der Wahrnehmung von Zeichenbedeutungen entspricht.

Zur Realisierung dieses Ansatzes dienen graphische Variablen zur graphischen Variation der grundlegenden geometrischen Objekte Punkt, Linie und Fläche. Durch den Einsatz von Größe, Farbe, Form, Mustern, Richtung oder Helligkeit können die kartographischen Elemente in ihrer Bedeutung variiert werden (siehe Tabelle 3.1).

Bei der Umsetzung der Smartwatch Routenkarte werden Liniengeometrien zur Darstellung der Straßen gewählt. Die Route wird dabei in der *Farbe* Rot mit der höchsten Liniestärke (*Größe*) visualisiert, die kreuzenden Querstraßen werden ihrer Charakte-

Tabelle 3.1: Variablen der graphischen Semilogie nach Bertin [3].

	<i>Punkt</i>	<i>Linie</i>	<i>Fläche</i>
Größe			
Form			
Farbe			
Muster			
Helligkeit			
Richtung			

ristik nach in Grau (*Farbe*) mit absteigender *Helligkeit* und *Größe* dargestellt. „Große“ Straßen wie Autobahnen sind also besonders dick und dunkel dargestellt, Fußgängerwege hellgrau und dünn.

Die Darstellung der Orientierungspunkte ist etwas komplexer. Aufgrund mangelnder Beschriftungen in der Karte müssen diese eindeutig anhand ihres Aussehens identifiziert werden können. Dazu ist der Einsatz bildhafter Signaturen und von Symbolen notwendig. In der Kartographie unterscheidet man zwischen Ziffern, Buchstaben, Symbolen sowie geometrischen und bildhaften Signaturen, letztere können mit Grundrissbildern, Aufrissbildern oder Schrägbildern dargestellt werden (siehe Tab. 3.2) [8]. Die enthaltenen Signaturen in dieser Implementierung sind größtenteils Aufrissbilder, einzelne Orientierungspunkte sind jedoch auch mit Buchstaben oder Symbolen dargestellt (Tab. 3.3).

Orientierungspunkte, die signifikante Gebäude oder Bauten darstellen wie Museen, Brunnen, Monumente, Märkte oder Kirchen werden mit einem Aufrissbild dargestellt. Weniger eindeutig identifizierbare Gebilde der Wirklichkeit wie Aussichtspunkte, Bibliotheken oder Cafés werden durch gängige Symbole dargestellt, während Parkplätze, Haltestellen und Informationsangebote mit umkreisten Buchstaben visualisiert werden. Diese entsprechen ihrer Repräsentation in der Realität und sind demnach ebenfalls einfach wiederzuerkennen. Dazu wurden verschiedenste kartographische Produkte auf ihre

Tabelle 3.2: Kartographische Signaturen nach Hake und Grünreich [8].

Form		Anordnung der Signaturen		
		<i>lokal</i>	<i>linear</i>	<i>flächenhaft</i>
Bildhaft	Grundrissbilder			
	Aufrissbilder			
	Schrägbild			
Symbole				
Geometrisch				
Ziffern, Buchstaben, Unterstreichungen				<i>sl 3 Lö</i> 71 / 68

Tabelle 3.3: Formen der für Orientierungspunkte verwendeten Signaturen.

	<i>Signatur</i>
Aufrissbilder	
Symbole	
Buchstaben	













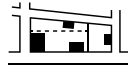








Signaturen hin untersucht sowie in anderen graphischen Disziplinen nach gängigen Darstellungen recherchiert. Tabelle 3.3 zeigt die als .svg-Vektor-Grafiken erstellte Symbole. In Kapitel 4 werden diese ihrer Bedeutung nach noch detaillierter aufgeschlüsselt.

3.2.5 Kartographische Generalisierungsmethoden

In einem Standardwerk der Generalisierung für digitale Kartographie von McMaster und Shea wird ein umfangreiches konzeptionelles Modell beschrieben, das von den Autoren bereits 1988 entworfen wurde, welches den Generalisierungsprozess in drei Bereiche gliedert: warum, wann und wie generalisiert werden soll. Die Frage nach dem Warum soll durch die Betrachtung der philosophischen Ziele der Generalisierung beantwortet werden, die kartometrische Bewertung der Konditionen indizieren die Bedingungen, wann die Generalisierung erfolgen soll und durch die Auswahl passender räumlicher und charakteristischer Transformationen werden geeignete Techniken bereitgestellt [13].

Einzelschritte der kartographischen Generalisierung werden in verschiedener Fachliteratur zum Teil unterschiedlich betitelt, eine häufige Bezeichnung dieser Schritte in

Tabelle 3.4: Elementare Generalisierungsvorgänge nach Hake und Grünreich [8].

Elementarer Vorgang Bezeichnung <i>Teilbereiche</i>	Darstellung		
	Ausgangskarte im Maßstab 1 : m	Folgekarte im Maßstab 1 : m 1 : 3m	
Rein geometrische Generalisierung			
1. Vereinfachen <i>Teilbereich: Glätten</i>			
2. Vergrößern			
3. Verdrängen (Folge von 2.)			
Sachliche Generalisierung mit geometrischer Wirkung			
4. Zusammenfassen			
5. Auswählen (Erhalten oder Fortlassen)			
6. Klassifizieren <i>Teilbereich: Heraufstufen</i> <i>Teilbereich: Typisieren</i>			
7. Bewerten (Betonen oder Mindern)			

der deutschsprachigen Literatur lautet *elementare Vorgänge der Generalisierung* [8]. Sie wurden zum Teil aus den Schritten der manuellen Generalisierung entwickelt aber auch theoretische Überlegungen wie die von McMaster und Shea führten zur Formulierung dieser standardisierten Generalisierungsmaßnahmen [13].

Zwar gibt es geringfügige Unterschiede bei den Begrifflichkeiten der elementaren Generalisierungsvorgänge, insbesondere beim Vergleich von englischsprachiger [13] und deutscher [8] Fachliteratur, doch grundsätzlich stimmen die Inhalte überein. Das gerade im deutschsprachigen Raum häufig verwendete Standardwerk von Hake und Grünreich [8] dient in dieser Arbeit als Referenz und die sieben dort definierten Generalisierungsmethoden sind in Abbildung 3.4 dargestellt.

Es wird unterschieden zwischen rein geometrischen Generalisierungsmaßnahmen und sachlichen Vorgängen mit geometrischer Wirkung. Zu ersterem zählen das *Vereinfachen*, *Vergrößern* sowie *Verdrängen*, letzteres umfasst neben dem *Zusammenfassen* und *Aus-*

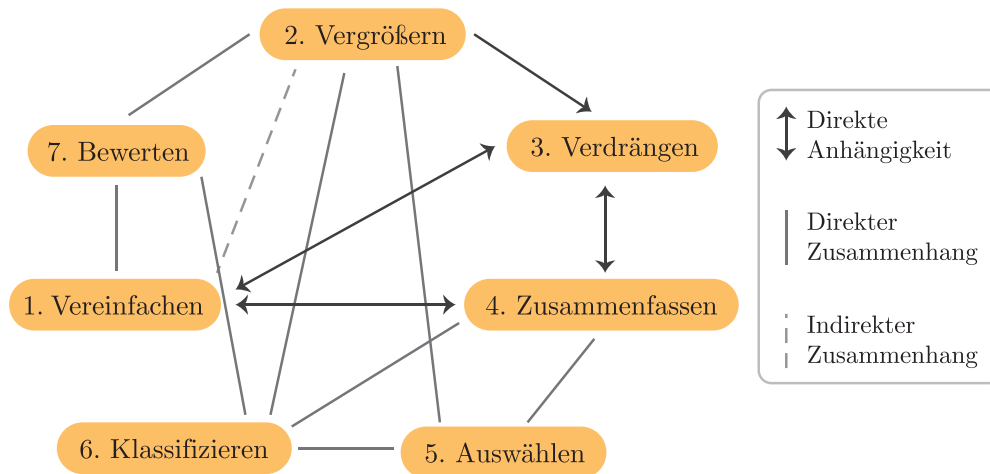


Abbildung 3.22: Die Zusammenhänge der elementaren Generalisierungsvorgänge nach Heisser [10].

wählen auch das *Klassifizieren* und *Bewerten* von Kartenelementen. Bei McMaster und Shea [13] werden einzelne Vorgänge noch weiter unterteilt und es gibt zusätzlich noch den *Collapse*-Vorgang, welcher den Geometrietyp bei Bedarf verändert, dieser fällt in der Unterscheidung von Hake und Grünreich [8] in den Vorgang des *Typisierens*.

Die einzelnen Vorgänge hängen zum Teil miteinander zusammen [10]. Beispielsweise werden als Folge der *Vergrößerung* von Objekten andere Objekte *verdrängt*, ebenso wie nach dem *Vereinfachen*. Nach Heisser [10] kohärieren die einzelnen, nach Hake und Grünreich definierten elementaren Generalisierungsvorgänge [8, S. 112] wie in Abbildung 3.22 dargestellt. Eine lineare Ordnung ist aus diesem Grund im Allgemeinen nicht möglich, jedoch müssen Wirkung und Reihenfolge der elementaren Generalisierungsvorgänge berücksichtigt werden [8, Abschn. 3.2].

Aufgrund der zum Teil ringförmigen Abhängigkeit der einzelnen Generalisierungsvorgänge können diese bei der Ausführung des in im Zuge dieser Arbeit entwickelten Systems nicht sequentiell abgearbeitet werden, stattdessen muss eine sinnvolle Vorgehensweise konzipiert werden, die teilweise rekursiv die einzelnen Generalisierungsschritte wiederholt, bis alle Bedingungen erfüllt und eine ansprechende und lesbare Ergebniskarte generiert wurde. Dieses System stellt eine spezialisierte Gesamtlösung der automatisierten Generalisierung dar, welche einzelne, angepasste Teilschritte beinhaltet und nur für die Herstellung von Smartwatch-Routenkarten optimiert ist.

In der Implementierung des Skriptes zur automatisierten Generierung von Fußgänger navigationskarten kommen die einzelnen Generalisierungsvorgänge an unterschiedlichen Stellen zum Einsatz, dies ist in Abbildung 3.23) ersichtlich. Einige Teilschritte müssen in mehrmaligen Zyklen ausgeführt werden, um ein zufriedenstellendes Ergebnis zu erreichen. Ihre algorithmische Umsetzung wird in Kapitel 4 genauer erläutert.

Im Hinblick auf die konzipierte Form der Darstellung (siehe Abschn. 3.1.3) wurde ein Konzept entwickelt, mit dem die vorhandenen, nicht generalisierten *Open-Street-Map*-Daten so generalisiert und abstrahiert werden, dass die mit dem automatisierten Skript generierten Routenkarten nur die notwendigsten Information in stark vereinfach-

ter Form darstellen (siehe Abb. 3.23 (j)). Dazu werden zunächst die Elemente außerhalb des Umkreises um die Route sowie unwichtige Inhalte wie Flüsse *ausgewählt* und entfernt. Anschließend wird die kürzeste Fußgängeroute berechnet, welche die Basis für alle nachfolgenden Operationen darstellt. Querstraßen und Orientierungspunkte werden ebenfalls entfernt, wenn sie außerhalb des Routenumkreises liegen, bzw. keinen Schnittpunkt mit der Route besitzen. Redundante Straßen werden *zusammengefasst*. Die *Vereinfachung* bzw. Glättung der Route ist der nächste Schritt, bevor die Orientierungspunkte entsprechend ihrer originalen Position *verdrängt* werden. Im weitesten Sinne können die Anpassung der Linienlänge sowie der Winkel dem Überbegriff der *Vergrößerung* bzw. *Verdrängung* zugeordnet werden, doch in dieser Arbeit werden sie als extra Abstraktionsmaßnahme klassifiziert. Die nächsten Maßnahmen sind die *Auswahl* der wichtigsten Karteninhalte sowie das *Verdrängen* der Orientierungspunkte im Falle von Überlappungen. Im letzten Schritte werden die Elemente *bewertet*, *klassifiziert* und *vergrößert*. Durch *Bewerten* und *Klassifizieren* der einzelnen Kartenelemente können diese ihrer Bedeutung nach durch die Zuweisung passender Farben und Signaturen und Verbreiterung der Liniensignaturen betont oder vermindert werden.

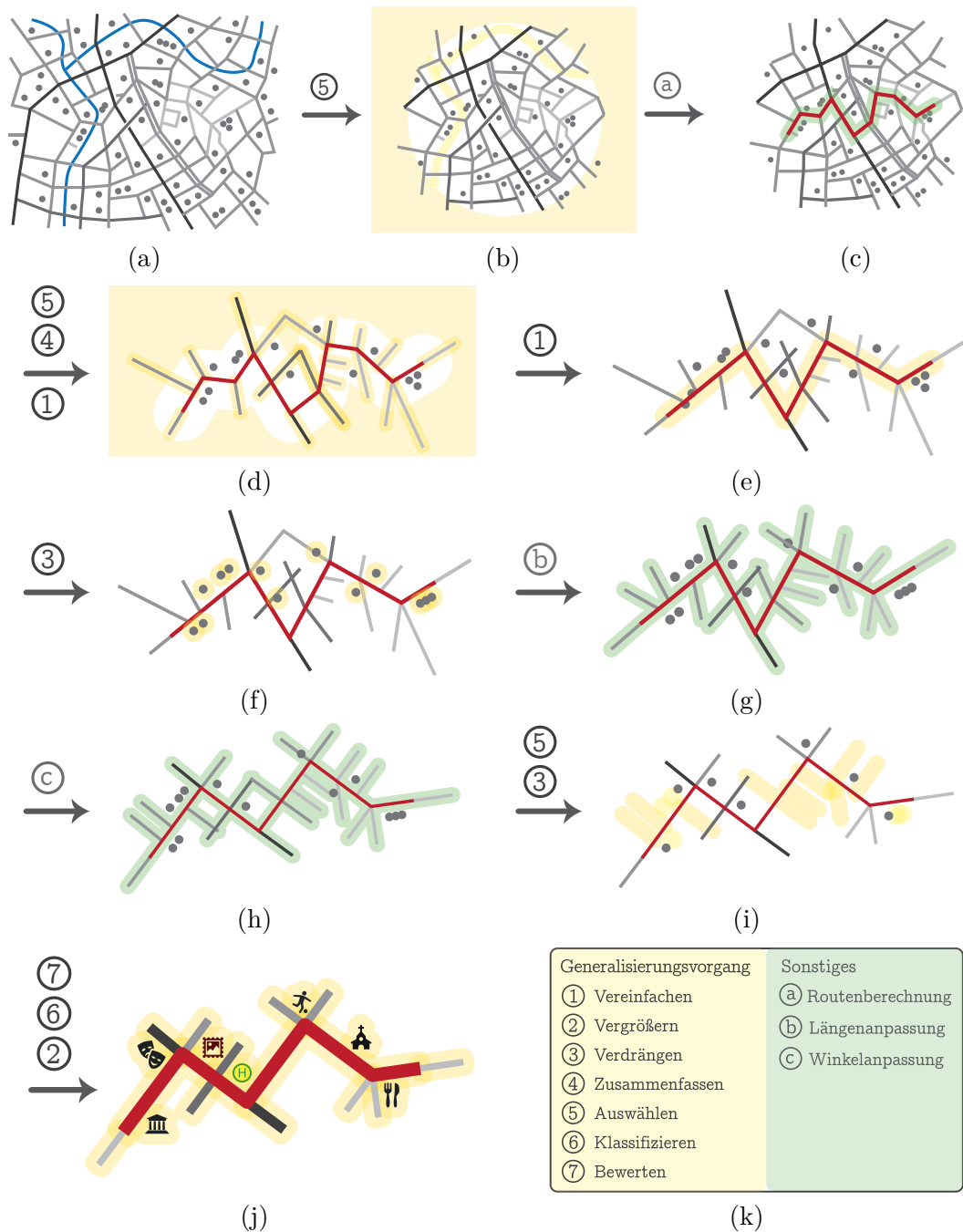


Abbildung 3.23: Konzeptioneller Einsatz der elementaren Generalisierungsvorgänge. Ausgangskarte (a), 5. *Auswahl* (bzw. Fortlassen) von Inhalten außerhalb des Routenumkreises und mit bestimmten Eigenschaften (b), Berechnung der Route (c), 5. *Auswahl* und *Vereinfachen* der Objekte in direktem Zusammenhang mit der Route, 4. *Zusammenfassen* redundanter Elemente (d), 1. *Vereinfachen* der Route (e), 3. *Verdrängen* der Orientierungspunkte (f), Anpassung der Linienlängen und Winkel (Abstraktion) (g) und (h), 5. *Auswahl* wichtigster Elemente und 3. *Verdrängen* von überlappenden Punkten (i), 7. *Bewerten*, 6. *Klassifizieren* und 2. *Vergrößern* der Karteninhalte.

Kapitel 4

Implementierung

Das Plugin zur automatisierten Generierung von Routenkarten die zur Nutzung von Fußgängern auf Smartwatches optimiert sind, wurde zur Verwendung in dem „open-source“ Geographischen-Informationssystem QGIS (Version 2.14) in Python in Form eines Skripts implementiert. Es umfasst die Berechnung der Route zwischen zwei ausgewählten Punkten mit dem Dijkstra-Algorithmus auf Basis räumlicher OpenStreetMap-Daten, die Auswahl, Generalisierung und Abstraktion der Karteninhalte sowie das Exportieren der finalen Karte in Rasterbildformat zur Darstellung auf einer Smartwatch. Die einzelnen Schritte des Skriptes sowie die gesamte „Pipeline“ (siehe Abschn. 4.2) werden in den nachfolgenden Abschnitten genauer erläutert.

4.1 QGIS

QGIS basiert auf der plattformunabhängigen Qt-Bibliothek und bietet eine Programmierschnittstelle die unter anderem das Schreiben von eigenständigen Skripten zur Verarbeitung räumlicher Daten in C++ oder Python erlaubt (Abb. 4.1). Dies wird durch *Python-Bindings* mit PyQt4 und SIP ermöglicht, was wiederum die nahtlose Integration von PyQGIS erlaubt. Python ist eine in geographischen Informationssystemen (GIS) häufig verwendete Skriptsprache, da sie im Gegensatz zu C++ plattformunabhängig ist und es somit keiner Kompilierung für jedes Betriebssystem bedarf [17, S. 1–3].

Eine Vielzahl von Vektor-, Raster- und Datenbankformaten sowie -funktionen werden von der QGIS Desktop-Applikation unterstützt, deren Benutzeroberfläche auf der *Core*- und der *GUI*-Bibliothek basiert. Die *Core*-Bibliothek enthält alle nicht-graphischen Komponenten, die dem Verarbeiten räumlicher Daten dienen, wie dem Öffnen und Speichern von Datasets oder dem Verarbeiten von Layern, Features oder deren Geometrien. Die *GUI*-Bibliothek hingegen beinhaltet wiederverwendbare Graphical-User-Interface-Elemente, dazu zählen u.a. Beispiel Dialogfenster oder Widgets [18]. Als Grundlage der automatisierten Generierung von Routenkarten dienen frei verfügbare OpenStreetMap-Daten (OSM), welche von verschiedenen Ländern und Regionen im pbf-Format auf der Webseite der Firma Geofabrik heruntergeladen werden können [30]. Dieses Datenformat ist das gängige Format zum Austausch von OSM-Daten und im Gegensatz zum xml-Format schneller zu lesen und schreiben. Alle verfügbaren Daten und Metadaten, bis auf die Information über die Bearbeitung sind darin enthalten [29].

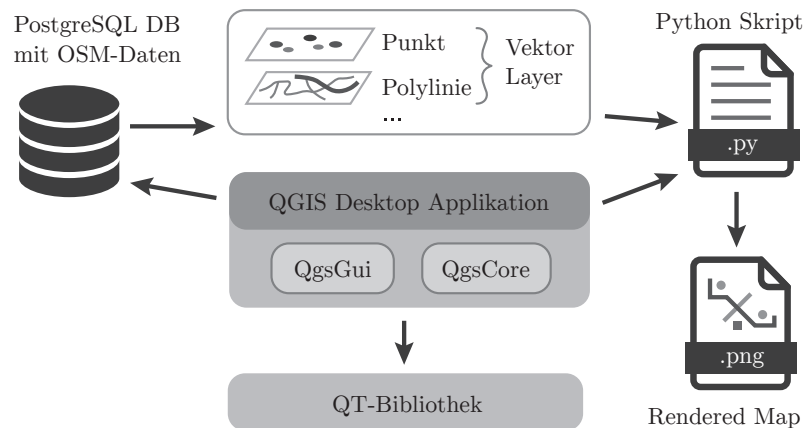


Abbildung 4.1: Struktur der QGIS Desktop Applikation sowie Komponenten, die für das Ausführen des Skripts vonnöten sind.

Die OSM-Daten werden in eine objektrelationale *PostgreSQL* Datenbank gespeichert, deren Erweiterung *PostGIS* zusätzlich geographische Funktionen beinhaltet [18, S. 114].

Über SQL-Abfragen können diese nach Bedarf ausgewählt und in Layern bzw. Shapefiles gespeichert werden, welche wiederum als Eingabeparameter für das Skript dienen. Die Vektor-Layer können entweder Punkt-, Polylinien- oder Polygon-Features enthalten, die sowohl Geometrien als auch Attribute aufweisen. Das im Thesis Projekt entwickelte, eigenständige Python-Skript greift mit Hilfe von Operationen auf die Geometrien und Attribute der Features dieser Layer zu und kann diese nach Bedarf verändern, löschen oder auch neue Features hinzufügen. Diverse GIS-Funktionen der *Core*-Bibliothek stehen dabei zur Verfügung oder können selbst implementiert werden. Auch das Exportieren der Layer die im *map view* sichtbar sind, sowie zusätzlicher Karteninhalte wie der Legende, Beschriftungen, Maßstab oder einem Nordpfeil, im PDF- oder Rasterbild-Format ist damit möglich (siehe Abb. 4.1) [17, S. 48].

4.2 Pipeline

Das Skript zur automatischen Generierung von Smartwatch-Routenkarten durchläuft die in Abb. 4.2 dargestellten Schritte sequentiell, elementare Vorgänge der kartographischen Generalisierung (siehe Abschn. 3.2.5) sind in diesem Abschnitt *kursiv* dargestellt.

Zunächst werden als Eingabeparameter die OSM-Datensätze in Form von Feature-Layern in „Shapefiles“ benötigt. Diese liegen für jeden Geometrietyp (Punkt, Polylinie, Polygon) einzeln vor und enthalten nur Features mit dem jeweiligen Geometrietyp. Features sind in Geographischen Informationssystemen abstrahierte Objekte der realen Welt, beispielsweise werden Straßen als Polylinien-Features dargestellt. Features enthalten Geometrien und Attribute. Bei einem Straßen-Feature besteht die Geometrie aus einer Liste von Punkten, die zusammen eine Polylinie bilden. Die Attribute eines Features geben Auskunft über dessen Eigenschaften und sind bei einem OSM-Straßen-Feature zum Beispiel die ID, der Name und ein Wahrheitswert ob es sich um eine Einbahnstraße handelt [18].

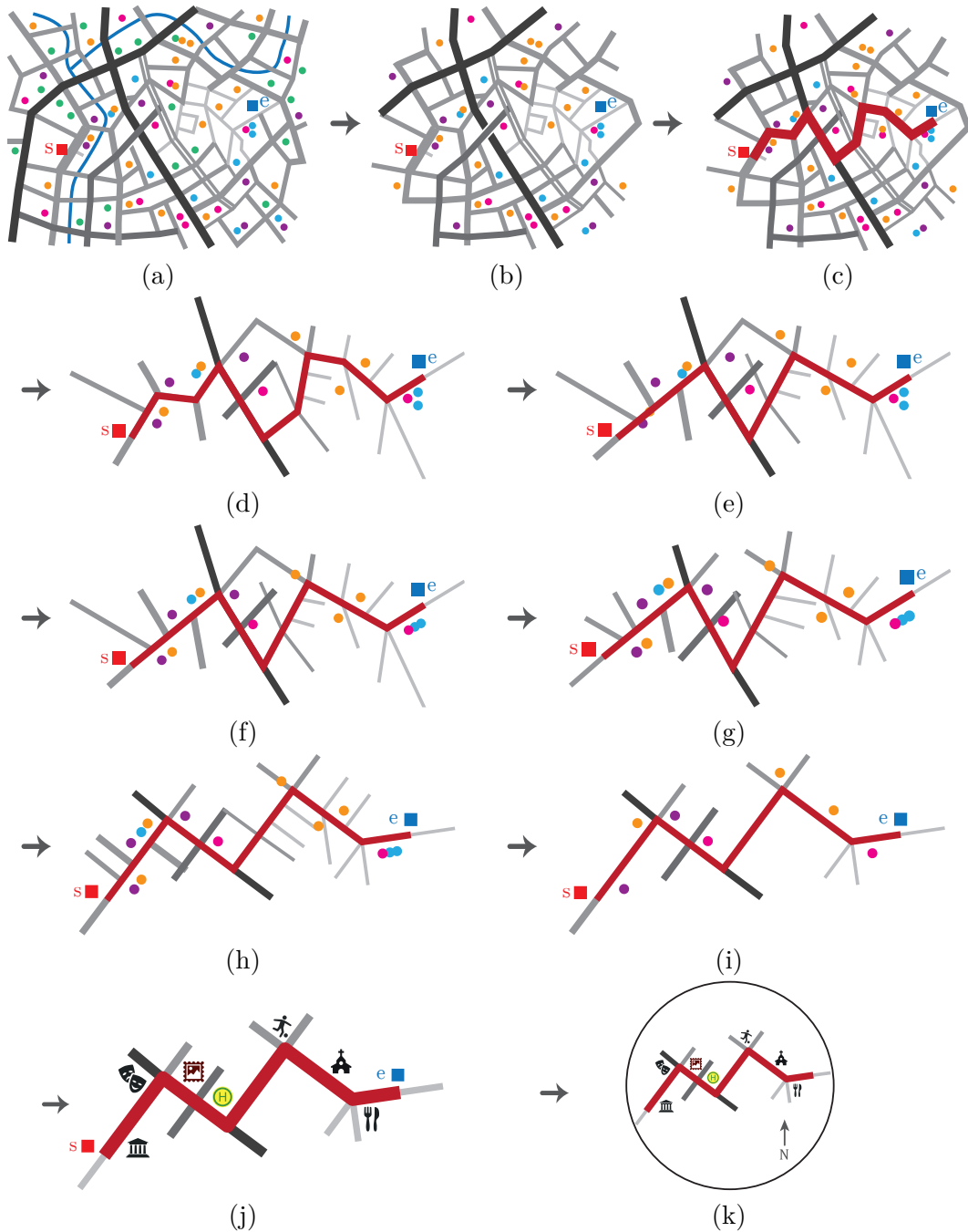


Abbildung 4.2: Pipeline des Skripts: Ausgangsdaten (a), Auswahl der Features anhand von Position und Attributen (b), Routenberechnung mit dem Dijkstra-Algorithmus (c), Reduzierung und Reparatur der Linien (*Vereinfachen*, *Zusammenfassen*) (d), Routenvereinfachung mit dem Douglas-Peucker-Algorithmus (e), Positionierung der Punkte entlang der Route (*Verdrängen*) (f), Anpassung der Routensegmentlängen (g), Anpassung der Winkel (h), *Auswahl* der wichtigsten kreuzenden Straßen und Orientierungspunkte sowie Beseitigung von Überlappungen (*Verdrängen*) (i), Zuweisung der Symbole (*Bewerten*, *Klassifizieren*, *Vergrößern*) (j), Rendern der Karte zur Darstellung auf Smartwatches (k).

Für das Skript werden lediglich die Punkt- und Polylinien-Layer benötigt. Auch Start- und Endpunkt der Route werden für die Ausführung des Skriptes benötigt, diese sind auf Abbildung 4.2 mit einem roten bzw. blauen Quadrat gekennzeichnet. Die Ausgangsdaten sind in Abb. 4.2(a) exemplarisch dargestellt, die Darstellung der Features mit Farben und Linienstärken dient dabei nur der Veranschaulichung, die OSM-Daten haben zwar Eigenschaften in Form von Attributen aber im Originalzustand in QGIS liegen diese ohne jegliche Symbolik vor. Hier repräsentiert das Aussehen der Features deren Attributwerte die in Abschn. 4.4 aufgelistet sind.

Im ersten Schritt des Skriptes werden zunächst aus den gesamten Eingabedaten die Features *ausgewählt*, die in einem gewissen Umkreis um den Start- und Endpunkt liegen und auf neuen Layern zur weiteren Verarbeitung gespeichert, Abb. 4.2(b). Nur Features mit einem vordefinierten Attributwert werden berücksichtigt (siehe Abschn. 4.4), beispielsweise müssen die Linien-Features einem bestimmten Straßentyp entsprechen, andere Linienarten wie öffentliche Verkehrsnetze oder Flüsse werden nicht benötigt.

Anschließend wird auf Basis des neu generierten Linien-Feature-Layers sowie dem Start- und Endpunkt mit dem Dijkstra-Algorithmus die kürzeste Route berechnet (siehe Abschn. 4.5). Außer der Linienlänge gibt es keine Gewichtung, somit wird die für den Fußgänger kürzeste Route berechnet (Abb. 4.2(c)), da dessen Laufgeschwindigkeit in der Regel nicht von Straßenkategorien beeinflusst wird.

Da für die Smartwatch-Karte nur die Straßen und Orientierungspunkte benötigt werden, die unmittelbar in Routennähe liegen, bzw. diese kreuzen, werden alle Features, die keinen Punkt innerhalb eines bestimmten Bereichs um die Route herum aufweisen, entfernt (*Auswahl*). Des Weiteren müssen einige Linien-Features der kreuzenden Straßen auf eine fehlerhafte Geometrie überprüft, bzw. für die weiteren Schritte des Skriptes optimiert werden (*Vereinfachen, Zusammenfassen*), siehe Abb. 4.2(d), Abschn. 4.6.

Die Route wird nun mit dem Douglas-Peucker-Algorithmus (Abb. 4.2(e)) *vereinfacht*, welcher einen Linienzug abhängig von der Wahl des Parameters ϵ glättet, aber dessen ursprüngliche Form bewahrt (siehe Abschn. 4.7). Die *Vereinfachung* dient der Übersichtlichkeit der Strecke. Für Fußgänger sind laut der Studie geringfügige „Unebenheiten“ der Route irrelevant, solange der grobe Routenverlauf erhalten bleibt.

Nun werden die Punkt-Features, die als Orientierungspunkte dienen sollen, entlang der Route positioniert (*Verdrängen*). Dazu wird für jeden Punkt der nächstgelegene Punkt auf der Route berechnet. Der Index des entsprechenden Routensegments, auf dem der berechnete Punkt liegt, der Winkel zwischen dem Routensegment und dem lotrechten Punkt (positiver oder negativer rechter Winkel, definiert die Seite auf dem der Punkt sich befindet) sowie dessen Position auf dem Segment werden als Attributwerte gespeichert, damit jeder Punkt nach *Vereinfachung* der Route korrekt und mit gleichmäßigem Abstand zur Route positioniert werden kann (siehe Abb. 4.2(f), Abschn. 4.8).

Ergebnisse der Studie haben gezeigt, dass eine maßstabsgetreue Darstellung der Route nicht notwendig ist. Viel wichtiger ist, dass auf dem sehr kleinen Display einer Smartwatch, alle zur Route gehörenden Wegabschnitte erkennbar sind. In diesem Schritt des Skriptes werden lange Abschnitte verkürzt und kurze verlängert, die Klassifizierung in die Kategorien „lang“ bzw. „kurz“ basiert auf dem Vergleich mit der durchschnittlichen Segmentlänge. Die groben Verhältnisse der Wegabschnitte zueinander bleiben erhalten, es werden lediglich die Längen aller Routensegmente innerhalb eines bestimmten Intervalls angepasst, sodass gewisse Mindestdimensionen eingehalten werden (siehe

Abb. 4.2 (g)). Dieser Algorithmus wird in Abschnitt 4.9 detailliert beschrieben.

Auch die exakte Darstellung der Winkel der Route und zwischen der Route und den kreuzenden Straßen ist für den Zweck dieser Karte laut Studie nicht erforderlich. Ähnlich wie in Liniennetzplänen von öffentlichen Verkehrsmitteln, werden die Winkel der Karte so stark angepasst, dass sie nur noch Winkel in 45°-Schritten enthält (siehe Abschnitt 4.10). Diese starke Abstraktion der Route ist für die Orientierung und Lesbarkeit von Vorteil. Im Vergleich zu der Karte mit Originalwinkeln (vgl. Abb. 4.2 (g) und (h)) ist die Karte nach Anpassung der Winkel wesentlich übersichtlicher und verständlicher. 79% der Studienrouten waren nach Norden hin ausgerichtet, deshalb wird in dieser Implementierung die ursprüngliche Ausrichtung der Route beibehalten. Dazu wird das Verhältnis der Linie zwischen dem Start- und Endpunkt und der Nordausrichtung ermittelt und die Route nach Anpassung der Winkel dementsprechend gedreht. Die zusätzliche Darstellung des Nordpfeils auf der finalen Karte und die korrekte Ausrichtung der Route unterstützen die Orientierung des Benutzers zusätzlich.

Um die Übersichtlichkeit weiter zu fördern, werden im nächsten Schritt nur die wichtigsten Orientierungspunkte und kreuzenden Straßen *ausgewählt* und deren Überlappungen beseitigt (*Verdrängen*), die unwichtigen Elemente werden entfernt (siehe Abschn. 4.11). Zu viele Informationen und Details überladen das Kartenbild und erschweren die Lesbarkeit der Kartenelemente aufgrund des begrenzten Platzangebots und der geringen Displaygröße. Bei den Ergebnissen der Studie wurde ebenfalls deutlich, dass die Teilnehmer/innen automatisch die für sie relevanten Elemente der Route darstellen und die weniger wichtigen Details stark reduzieren. Je kleiner die Fläche, welche für die zu skizzierende Route zur Verfügung stand, desto stärker wurden die bedeutendsten Elemente selektiert. Auch für die Smartwatch-Routenkarte wurde dieses Verfahren implementiert, die Gewichtung der Kartenelemente basiert dabei auf deren Position und Attribute. Dementsprechend sind Orientierungspunkte an Kreuzungen wichtiger als an Routenabschnitten ohne kreuzende Straßen. Auch bei der Studie wurden solche Orientierungspunkte verwendet, um beispielsweise auszusagen: „Beim Theater rechts abbiegen“. Des Weiteren sind auffällige und eindeutig identifizierbare Bauwerke wie Kirchen, Theater oder Museen höher klassifiziert als zum Beispiel Restaurants oder Bushaltestellen, deren Häufigkeit im innerstädtischen Bereich sie ohne Beschriftung weniger eindeutig erkennbar macht. Bei den kreuzenden Straßen ist die Priorität ebenfalls von Position (an einer Kreuzung, bei der ein Abbiegen erfolgt oder auf „geraden“ Routenabschnitten) und Attributen abhängig. So sind Autobahnen beispielsweise wichtiger als Fußgängerwege. Die Auswirkung dieser Reduzierung auf das gesamte Kartenbild ist auf Abbildung 4.2 (i) beispielhaft dargestellt. Die Klassifizierungen werden in Abschnitt 4.4 näher erläutert.

Im nächsten Schritt werden den Kartenelementen Signaturen zugewiesen (*Bewerten, Klassifizieren, Vergrößern*). Die Farben und Linienstärken in Abb. 4.2 dienen nur dem Verständnis und werden eigentlich erst in diesem Schritt hinzugefügt. Abhängig von ihren Klassifizierung werden den Punkten svg-Grafiken zugewiesen und die Straßen in Grautönen mit unterschiedlichen Linienstärken dargestellt. Die Route wird mit der stärksten Linie in rot abgebildet, damit sie auf dem kleinen Display eindeutig erkennbar bleibt (siehe Abb. 4.2 (j)).

Abschließend wird der Karte ein Nordpfeil und eine kreisförmige Umrandung beige-fügt, da die meisten Smartwatchmodelle ein rundes Display aufweisen. Das Exportieren der Karte im Rasterbildformat ist der letzte Schritt des Skriptes (Abb. 4.2 (k)).

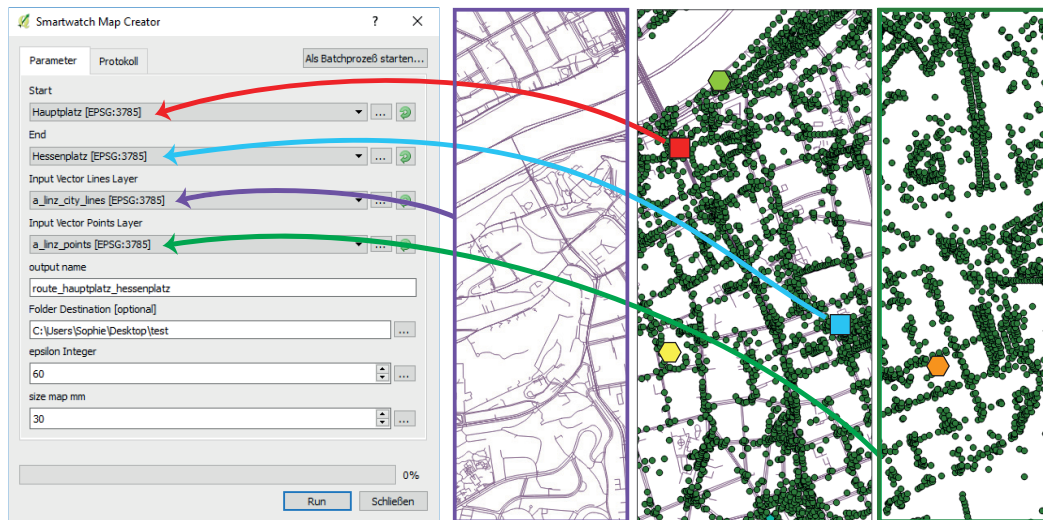


Abbildung 4.3: Dialogfenster des Skripts zur Generierung der Route vom Haupt- zum Hessenplatz in Linz in QGIS. Eingabeparameter sind Start- (rot) und Endpunkt (blau) der Route, ein Linien (lila)- und Punkt (grün)-Feature-Layer, Name, Speicherort sowie Epsilon. Die drei rechten Abbildungen zeigen die Linien (lila)- und Punkt (grün)-Features der OSM-Daten der Linzer Innenstadt, sowie einige ausgewählte lokale Sehenswürdigkeiten (gelbes, oranges und hellgrünes Sechseck), die im Dialogfenster als Start- und Endpunkt gewählt werden können.

4.3 Benutzeroberfläche und Eingabeparameter

Als Grundlage für das Verarbeitungsskript, das aus OpenStreetMap-Daten für Smartwatches optimierte Fußgängerrouutenkarten rendert, wird eine Benutzeroberfläche benötigt, in welcher Parameter für die Kartengenerierung gewählt werden können. Dazu wird ein Dialogfenster erstellt, welches zum Ausführen des Skripts gewisse Eingaben benötigt. Diese sind Start- und Endpunkt der Route, die OSM-Layer mit Punkt- und Linien-Features, Name und Speicherort der Ergebnisse des Skripts, ein optionaler Wert für Epsilon, welcher der Stärke der Linienglättung entspricht sowie die Kartengröße. Abbildung 4.3 zeigt neben dem Dialogfenster zur Berechnung der Route vom Hauptplatz zum Hessenplatz in Linz auch Ausschnitte aus den OSM-Layern im Bereich der Innenstadt von Linz, so wie sie im MapView von QGIS standardmäßig angezeigt werden.

Die *GUI*-Bibliothek von QGIS bietet einen einfachen Mechanismus, um ein Dialogfenster mit Input- und Output-Parametern zu generieren, das zum Ausführen eines eigenständigen Skripts notwendig ist. Dazu werden die Parameter im Python-Skript nach folgendem Muster definiert:

```
##[parameter_name]=[parameter_type] [optional_values].
```

Mögliche Start- und Endpunkte der Route wurden zu Testzwecken zuvor manuell in QGIS ausgewählt und von jedem dieser Punkte wurde ein separater Punkt-Feature-Layer erstellt, der als Eingabeparameter im Dialogfenster zur Auswahl steht. Dies könnte alternativ auch über Koordinateneingabe oder durch Eingabe eines bestimmten Attributs des Features, zum Beispiel dem Namen des Punkt-Features, implementiert werden.

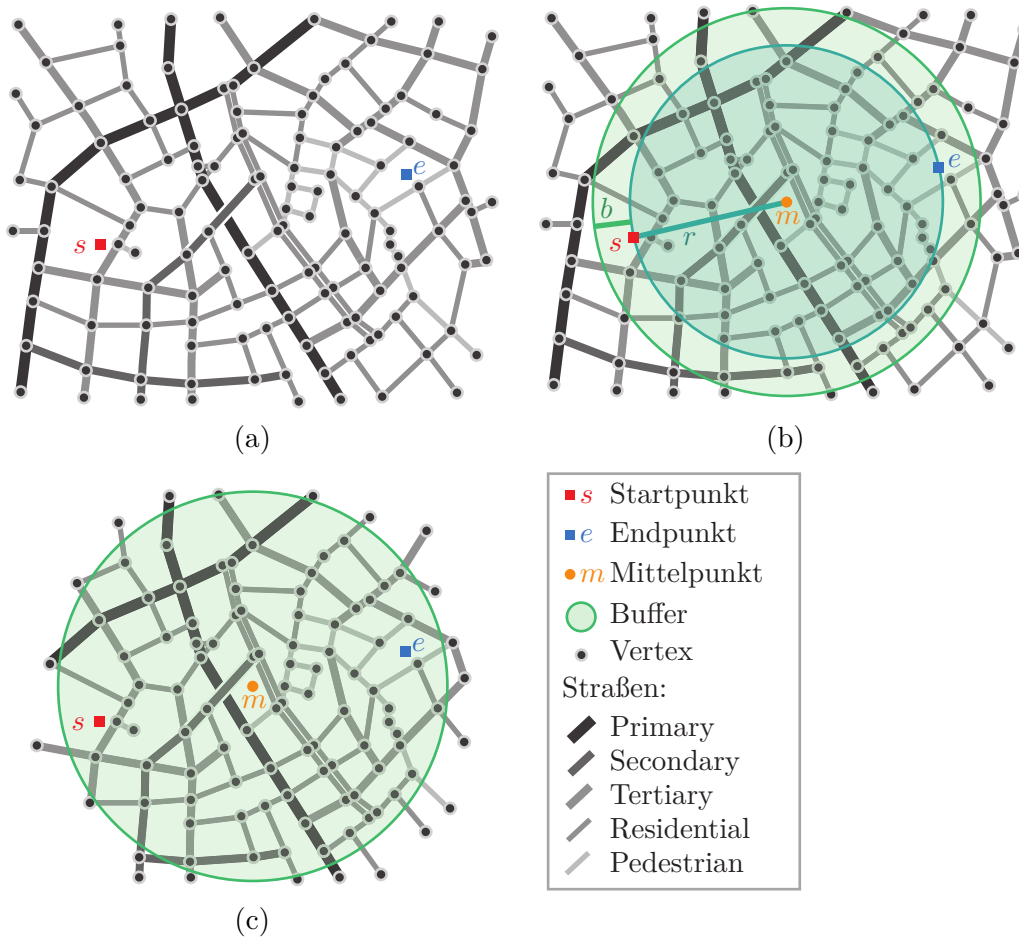








Abbildung 4.4: Ausschnitt aller Linien-Features um Start- und Endpunkt mit notwendiger Klassifizierung (siehe Tabelle 4.1) der OSM-Daten (a), anhand der berechneten Distanz d zwischen Mittelpunkt m und den Vertices der Straßen-Features werden nur diejenigen erhalten, die mit mindestens einem Vertex innerhalb des Umkreises „Buffer“ liegen, bzw. wenn $d < r + b$ (b), die Linien-Features außerhalb dieses Umkreises werden vom Layer `layer_lines` entfernt (c).

4.4 Datenselektion

Nach Eingabe der benötigten Parameter wird das Skript ausgeführt. Dabei werden zunächst aus den Layern der OSM-Ausgangsdaten die Punkt- und Linien-Features mit der richtigen Klassifizierung in einem bestimmten Umkreis um den Mittelpunkt m zwischen Start- s und Endpunkt e der Route selektiert (*Auswählen*) und auf den neuen Layern `layer_lines` und `layer_points` gespeichert (Abb. 4.4). Diese Layer sind die Grundlage für die weiteren Generalisierungs- und Abstraktionsmaßnahmen des Skripts.

Dazu wird zunächst der Mittelpunkt m berechnet, der zwischen Startpunkt s und Endpunkt e positioniert ist. Features, die keinen Punkt aufweisen, dessen Distanz zum Mittelpunkt kleiner ist als die Strecke $r + b$, wobei $r = |\overrightarrow{sm}|$ und b abhängig vom Maßstab und r berechnet wird, werden vom Layer entfernt. Der zusätzliche Abstand stellt sicher,

Tabelle 4.1: Verwendete Straßen der OSM-Daten. Autobahnen sind beispielsweise als **primary** klassifiziert, Fußgängerzonen als **pedestrian**.

	<i>Kategorie</i>	<i>Gewichtung</i>	<i>Symbol</i>
Route	route	–	
Primary	highway	6	
Secondary	highway	4	
Tertiary	highway	3	
Residential	highway	2	
Pedestrian	highway	1	

dass alle für die Route wichtigen Punkte und Linien in dieser ersten Datenvorauswahl enthalten sind.

Die Selektion der Punkte im Umkreis der Route erfolgt analog dazu. Die Elemente außerhalb des Umkreises werden nicht auf den neuen Layer `layer_points` übertragen.

Die zu speichernden Features müssen bestimmten, in Tabelle 4.1 und 4.2 aufgelisteten Kategorien entsprechen, welche die Spalten der Attributtabelle der OSM-Daten repräsentieren. Die Spalte `highway` des Linien-Feature-Layers stuft Straßen als solche ein, wenn die Features dort entsprechend ihrer Charakteristik klassifiziert sind. Andere Linien-Features wie Fließgewässer haben dort keinen Wert (`highway==NULL`). Anhand dieser Attribute können die für die Routenkarte benötigten Daten ausgewählt und auf den neuen Layern `layer_points` und `layer_lines` gespeichert werden.

Im Skript wurden von allen Linien-Features der OpenStreetMap-Daten bisher nur Straßen berücksichtigt, da sie laut Ergebnissen der Studie die wichtigsten linienhaften Orientierungselemente sind. Andere linienartige Kartenelemente wie Flüsse oder Schienen sind außerdem in Innenstädten seltener vorzufinden und werden hier nicht näher betrachtet. Tabelle 4.1 zeigt, welche Straßenarten bei der *Auswahl* der wichtigsten Linien berücksichtigt wurden. Der Gewichtungsfaktor ist abhängig von der Straßenkategorie, eine Autobahn ist zum Beispiel als `highway==primary` kategorisiert, während Fußgängerzonen vom Typ `highway==pedestrian` sind. Der Gewichtungsfaktor wird später für die *Auswahl* der wichtigsten Routenelemente benötigt. Einige Linien-Features verschiedener Kategorien der OpenStreetMap überlappen, bzw. sind redundant, zum Beispiel kann eine mit `highway==primary` klassifizierte Straße Gehwege (`highway==footway`) auf beiden Straßenseiten aufweisen, sowie verschiedene Linien-Features öffentlicher Verkehrsmittel. Aus diesem Grund wurde die *Auswahl* der Straßentypen auf jene in Tabelle 4.1 aufgelisteten reduziert, damit diese nur einfach vorliegen.

Als Orientierungspunkte der Karte dienen die in Tabelle 4.2 aufgelisteten punkthaften OSM-Daten. Die Punkt-Features des Layers werden im weiteren Verlauf des Skripts (Abschn. 4.11), abhängig von ihrem Gewichtungsfaktor gelöscht, bis sie auf die wichtigsten reduziert wurden und sich nicht mehr überlappen. Allerdings sind nicht alle Orientierungspunkte, die in der Realität als solche eingestuft würden in den OSM-

Tabelle 4.2: Verwendete Orientierungspunkte der OpenStreetMap-Daten. Die Kategorie entspricht dem Feld der Attributtabelle, in welchem der Punkt klassifiziert ist. Der Gewichtungsfaktor wurde anhand der Studie ermittelt und wird für die *Auswahl* der wichtigsten Punkte sowie dem späteren *Verdrängen* benötigt.























	<i>Kategorie</i>	<i>Gewichtung</i>	<i>Symbol</i>
Archaeological site	historic	3	
Arts centre	amenity	7	
Artwork	tourism	4	
Cafe	amenity	2	
Cinema	amenity	5	
Default	–	1	
Fountain	amenity	4	
Information	tourism	1	
Library	amenity	5	
Marketplace	amenity	6	
Memorial	historic	6	
Monument	historic	6	
Museum	tourism	7	
Parking	amenity	3	
Pitch	leisure	5	
Place of Worship	amenity	7	
Playground	leisure	5	
Restaurant	amenity	2	
Station	public_tra	7	
Stop Position	public_tra	3	
Theatre	amenity	7	
Viewpoint	tourism	1	



Abbildung 4.5: Vom exemplarischen Ausschnitt aus den Ausgangsdaten (a) zu den Features des neuen Layers nach Selektion anhand von Position und Attributen (b).

Punkt-Daten enthalten. Große Gebäude wie Kirchen liegen nicht als Punkt- sondern als Flächengeometrien vor, diese wurden jedoch im Skript nicht berücksichtigt.

Abbildung 4.5 stellt exemplarisch dar, wie die Ausgangsdaten entsprechend ihrer Position sowie Eigenschaften selektiert und reduziert werden.

4.5 Routenberechnung mit dem Dijkstra-Algorithmus

Die Berechnung der Route erfolgt mit dem bekannten Dijkstra-Algorithmus, dem in dieser QGIS-Version einzigen implementierten Graphentheorie-Methode. Der Algorithmus wurde von Edsger Dijkstra entwickelt und 1959 veröffentlicht, um den kürzesten Pfad von einem Knoten eines Graphen zu einem oder allen anderen zu finden [5]. Der Graph repräsentiert in diesem Skript das Straßennetzwerk (Abb. 4.6). Die Ausgangssi-

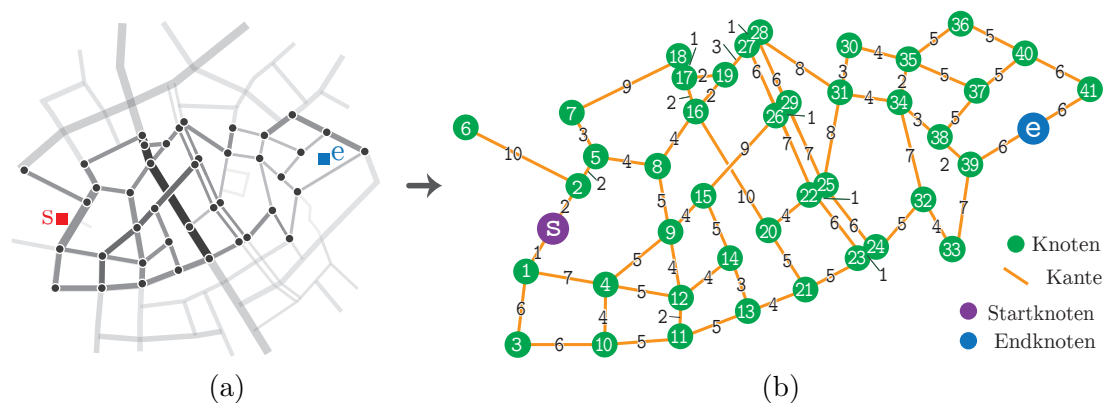


Abbildung 4.6: Konvertierung geographischer Daten in einen Graphen. Ausgangsdaten (hier stark reduziert, um die Komplexität des Beispiels zu verringern), die als Polylinien mit *Vertices* auf einem Layer liegen, sowie Start- und Endpunkt der zu berechnenden Route (a), werden zu einem gewichteten, ungerichteten Graphen mit Knoten, Kanten und Wegkosten konvertiert sowie Start- und Endknoten angebunden (b).

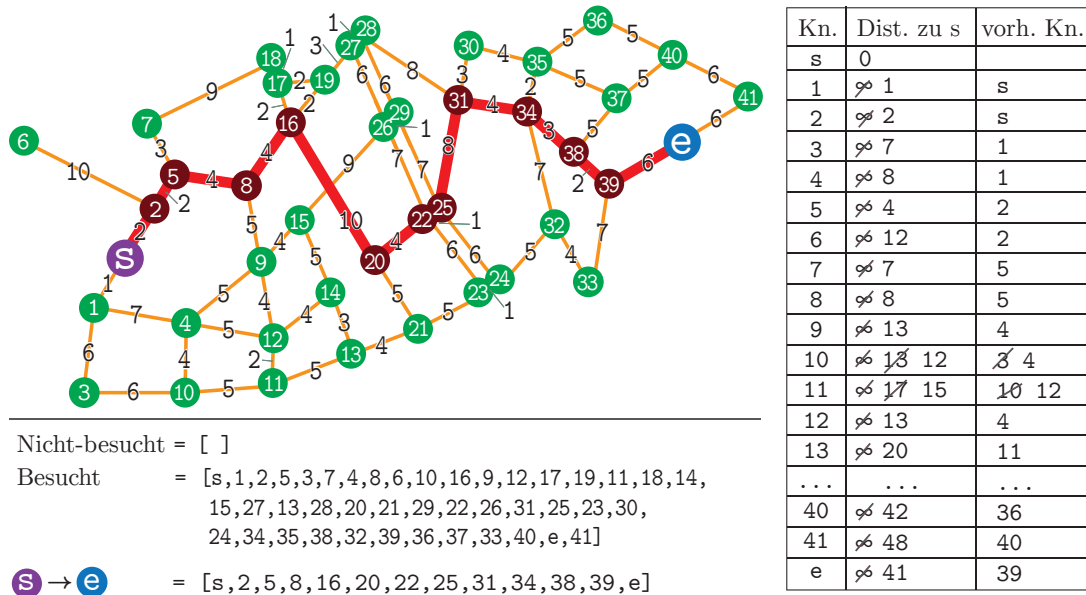


Abbildung 4.7: Der Algorithmus wird solange ausgeführt, bis alle Knoten als *Besucht* klassifiziert wurden. Durch Zurückverfolgen des ankommenden Knotens vom Zielknoten e aus, wird der kürzeste Pfad von s zu e ermittelt, dieser ist im Graphen rot dargestellt.

tuation des Algorithmus ist in Abbildung 4.6 (a) dargestellt. Alle Knoten des Graphen befinden sich dabei im *Set*, bzw. Array der „nicht-besuchten“ Knoten. Die Distanz vom Startknoten s zu ebendiesem beträgt 0, unendlich bei allen anderen.

Prinzipiell wird aus den benachbarten Knoten des zu untersuchenden Knotens derjenige ausgewählt, der die geringsten Kantenkosten bzw. Distanz aufweist. Im ersten Schritt hat der zu untersuchende Knoten s die nächstliegenden Knoten 1 und 2, wobei 1 mit einer Distanz von 1 die geringere Kantengewichtung aufweist. Die Distanz zum Startknoten s wird gespeichert, ebenso der vorherige Knoten von 1 (s) und s wird als *besucht* markiert. Die Distanz zum Startknoten kann verbessert werden, wenn eine kürzere gefunden wird. Dieser Vorgang wird wiederholt bis alle erreichbaren Knoten des Graphen besucht wurden (Abb. 4.7) [5].

Die Ergebnisse der Analyse werden in einem Baum für die kürzesten Pfade (**tree**) dargestellt, welcher einem gerichteten und gewichteten Graphen entspricht. Die Wurzel des Baumes besitzt keine ankommende Kante, alle anderen haben genau eine. Der kürzeste Weg wird ermittelt, indem die Vorgängerkante zurückverfolgt wird, bis der Startknoten erreicht wurde (Abb. 4.7) [17, S. 97].

Das Netzwerkanalyse-Modul der *Core*-Bibliothek ermöglicht die Konvertierung geographischen Daten, die in einem Polylinien-Vektor-Layer enthalten sind, in einen mathematischen Graphen (Abb. 4.6). Dieser wird benötigt, um herauszufinden welche Knoten des Graphen miteinander verbunden sind und welches der kürzeste Pfad ist. Dabei dienen die Polylinien-Vertices als Knoten des Graphen und die Segmente der Polylinien werden zu Kanten. Die Verbindung von zwei oder mehreren Kanten erfolgt über einen gemeinsamen Knoten, wenn die Vertices der Polylinien dieselben Koordinaten aufwei-

Programm 4.1: Routenberechnung mit der Netzwerkanalysebibliothek von QGIS.

```

1 from qgis.networkanalysis import *
2 def calculate_route(point_start, point_end, layer_lines):
3     route = [] # create empty array for the calculated route points
4     # treat all roads as bidirectional (for pedestrians):
5     director = QgsLineVectorLayerDirector(layer_lines, -1, '', '', '', 3)
6     # Add strategy to calculate and return edge properties :
7     director.addProperter(QgsDistanceArcProperter())
8     # Set up Builder that creates graph with coordinate reference system (EPSG:3785):
9     builder = QgsGraphBuilder(layer_lines_new.crs())
10    # create graph, to get list of "tied" points:
11    tiePoints = director.makeGraph(builder, [point_start, point_end])
12    # get the graph to use it for analysis:
13    graph = builder.graph()
14    # find vertices of start and end points:
15    idStart = graph.findVertex(tiePoints[0])
16    idEnd = graph.findVertex(tiePoints[1])
17    # get indices of incoming branches (shortest path tree) and distances:
18    (tree, cost) = QgsGraphAnalyzer.dijkstra(graph, idStart, 0)
19    # trace back the path of shortest distances and store the route vertices :
20    curPos = idEnd
21    while curPos != idStart:
22        route.append(graph.vertex(graph.arc(tree[curPos]).inVertex()).point())
23        curPos = graph.arc(tree[curPos]).outVertex()
24    route.append(tiePoints[0])

```

sen. Sowohl Attribute des Vektor-Layers als auch die Länge der Segmente können als Eigenschaften der Kante genutzt werden [17, S. 95].

Zur Berechnung der kürzesten Fußgängerroute *route* anhand der Polylinien-Features des Layers *layer_lines* werden zunächst mit dem *QgsLineVectorLayerDirector* die grundlegenden Einstellungen festgelegt, die zum Erstellen eines *QgsGraph* Objektes mit dem *Builder* benötigt werden. Für Fußgängernavigation sind Einbahnstraßen irrelevant, aus diesem Grund werden diese als Straßen behandelt, die in beide Richtungen führen (Prog. 4.1, Zeile 5).

Für die Berechnung der kürzesten Route werden Kanteneigenschaften benötigt, welche mit der *QgsDistanceArcProperter*-Strategie ermittelt und an den *Director* weitergegeben werden. Die Berechnung der Eigenschaften erfolgt mit dem *Strategy-Pattern* anhand der Länge der Strecken [17, S. 96].

Die Erstellung des Graphen erfolgt mit dem *Builder*, der notwendige Parameter des Koordinatenbezugssystems wird aus dem vorhandenen Layer übernommen (Prog. 4.1, Zeile 7). Die Punkte *point_start* sowie *point_ende* sind Anfangs- und Endpunkt der Route und nach Erstellen des Graphen enthält die Liste *tiePoints* die Koordinaten aller *angebundenen* Punkte. Für jeden zusätzlich angefügten Punkt wird der Knoten oder Punkt auf einer Kante gefunden, der diesem Punkt am nächsten ist. Ist letzteres der Fall, wird die Kante geteilt und ein neuer Knoten dem Graphen hinzugefügt [17, S. 95].

Dijkstra() ist eine von zwei möglichen Methoden der Klasse *QgsGraphAnalyzer*, um den kürzesten Pfadbaum zu berechnen und wird aufgrund effizienterer Nutzung des

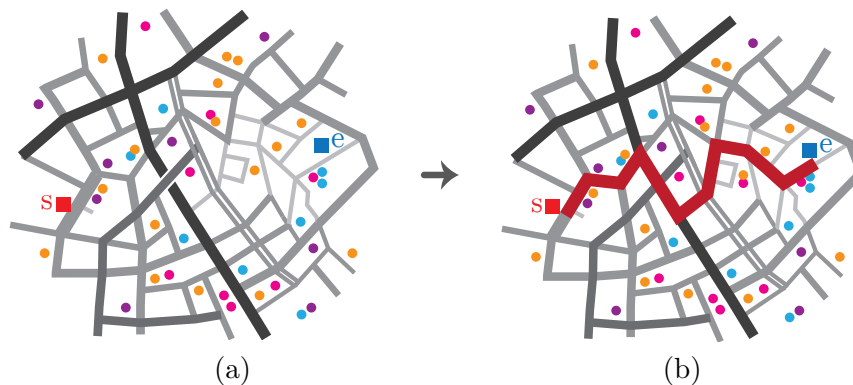


Abbildung 4.8: Nach der Datenselektion (a) erfolgt die Berechnung der Route mit dem Dijkstra-Algorithmus und ein Linien-Feature mit der entsprechenden Routen-Eigenschaft wird hinzugefügt (b).

Arbeitsspeichers und höheren Geschwindigkeit vom *QGIS Developer Cookbook* empfohlen, außerdem gibt sie neben dem Baum des kürzesten Pfades auch den Abstand zur Wurzel des Baumes zurück (Prog. 4.1, Zeile 13) [17, S. 97 ff.]. Dieser Abstand entspricht der realen Routenlänge und könnte für spätere Erweiterungen des Skripts in Form von zusätzlichen Informationen oder Beschriftungen verwendet werden.

Anschließend wird der kürzeste Pfad zwischen dem Startpunkt `point_start` und dem Endpunkt `point_end` ermittelt, indem der Baum `tree rückwärts`, also vom End- zum Startpunkt durchlaufen wird. Die Knoten des kürzesten Pfades werden demnach in umgekehrter Reihenfolge zur Liste `route` hinzugefügt, bis der Startpunkt erreicht ist (Prog. 4.1, Zeile 14-18) [17, S. 99].

Die Liste `route`, welche die Vertices des kürzesten Weges enthält, kann nun als Feature dem Polylinien-Layer hinzugefügt werden. Durch ein zusätzliches Attribut `route` des Layers kann die Route als solche identifiziert werden und beispielsweise mit einem anderen Aussehen bzw. Symbol versehen werden.

Abbildung 4.7 zeigt den Schritt von der Datenselektion zur berechneten Route. Es befinden sich nun Linien- und Punkt-Features, bzw. Straßen und Orientierungspunkte, im Umkreis um die Route auf den Layern, sowie die eigentliche Routengeometrie.

4.6 Reduzierung, Vereinfachung und Reparatur der Liniengeometrien

Nach Berechnung der Route werden die Features des Polylinien-Layers auf diejenigen reduziert, die mit der Route verbunden sind (*Auswahl*). Die Punkt-Features müssen sich innerhalb eines gewissen Buffers um die Route herum befinden, der Rest wird entfernt. Die Wahl der Größe der Buffergeometrie begründet sich ebenfalls auf Ergebnissen der Studie (vgl. Abschn. 3.1), es wurden 150 m gewählt, da Orientierungspunkte dabei noch in Sichtweite liegen. Globale Orientierungspunkte werden hierbei nicht berücksichtigt.

Diese zu erhaltenden Linien-Features müssen entweder die Route schneiden oder einen gemeinsamen Vertex mit ihr besitzen. Dabei können gewisse Geometrien der OpenStreetMap-Daten im weiteren Verlauf des Skripts Probleme verursachen, dies wird

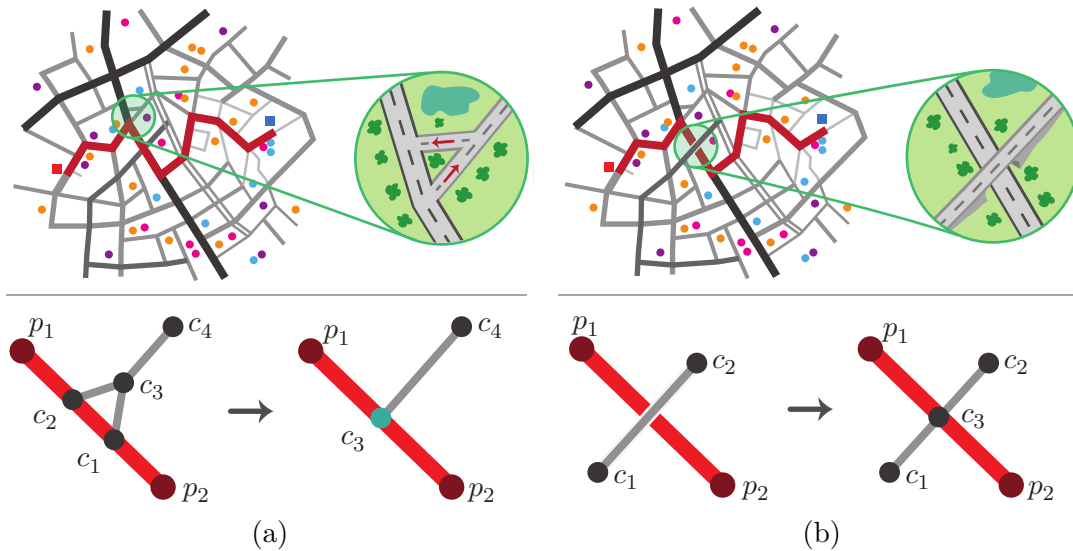


Abbildung 4.9: Linien-Features, deren Geometrien Probleme verursachen sind beispielsweise eine sich gabelnde Straße, die aus mehreren Polylinien besteht. Diese dreiteilige Geometrie wird auf eine reduziert (a). Ein weiteres Beispiel sind zwei Straßen die sich zwar schneiden, aber keinen gemeinsamen Vertex besitzen (bei Unterführungen oder Brücken). In diesem Fall wird die Polylinie am Schnittpunkt in zwei Geometrien aufgeteilt (b).

durch *Vereinfachen* und *Zusammenfassen* verhindert (Abb. 4.9 – Abb. 4.11).

Im Falle einer sich gabelnden Straße, die in eine andere „mündet“ oder durch verkehrsbau technische Elemente wie Verkehrsinseln in zwei separate Geometrien aufgeteilt wird, werden alle Straßenfragmente zu einer Geometrie zusammengefasst, indem die kurzen Polylinien $[c_2, c_3]$ und $[c_1, c_3]$ gelöscht und der Vertex c_3 der Linie $[c_3, c_4]$ auf den nächstgelegenen Punkt der Routengerade $[p_1, p_2]$ projiziert wird (siehe Abb. 4.9 (a), der verschobene Vertex c_3 ist in türkis abgebildet).

Ein weiteres Problem stellen Straßen dar, deren Polylinien sich zwar schneiden, aber über keinen identischen Vertex verfügen (Abb. 4.9 (b)). Dies ist beispielsweise bei Brücken oder Unterführungen der Fall. Für die Darstellung auf der finalen Karte sind diese Details über den genauen Verlauf der kreuzenden Straße ebenfalls irrelevant. Da die implementierten Funktionen allerdings auf der Tatsache beruhen, dass die Polylinien aller kreuzenden Straßen einen Vertex aufweisen, welcher auf der Route liegt, werden solche Geometrien von kreuzenden Straßen am Schnittpunkt mit der Route c_3 in zwei Polylinien $[c_1, c_3]$ und $[c_2, c_3]$ aufgeteilt.

Mehrspurige Straßen oder solche, die durch Trennstreifen getrennt und deren Polylinien redundant sind, werden zu einer zusammengefasst (Abb. 4.10 (a)), da der Fußgänger eine solche Straße laut der Studie als Einheit wahrnimmt. Im innerstädtischen Bereich ist dies zum Beispiel aufgrund von öffentlichen Nahverkehrsmitteln der Fall, da Straßenbahngleise oder Busspuren die Straße separieren oder bedingt durch Begrünung oder Schutzplanken. Für die Zusammenfassung wird der Mittelpunkt der Punkte c_1 und c_2 sowie zwischen c_3 und c_4 ermittelt und die Punkte der Linie $[c_1, c_2]$ werden dorthin verschoben, während $[c_3, c_4]$ vom Layer entfernt wird.

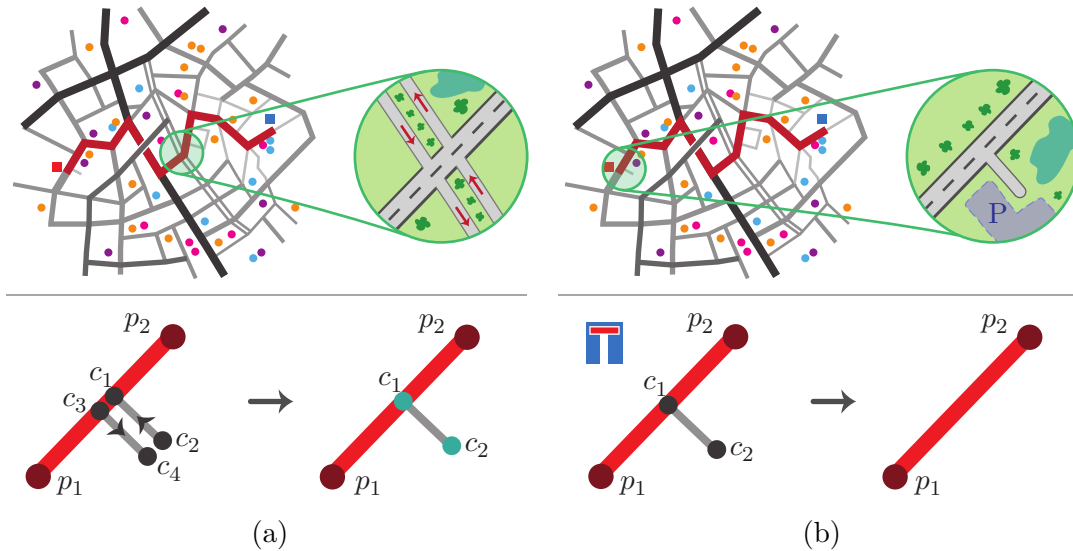


Abbildung 4.10: Die Geometrien von doppelten Straßen werden auf eine gemeinsame reduziert wenn diese dieselbe Straße charakterisieren. Dies ist beispielsweise bei mehrspurigen Straßen der Fall oder wenn die Fahrspuren durch Grünstreifen oder Parkplätze getrennt sind (a). Sackgassen in Form von Polylinien, deren Start- oder End-Vertex mit keinem Vertex einer anderen Linie verbunden ist werden gelöscht (b).

Polylinien, deren Anfangs- und Endvertex mit keinem Vertex einer anderen Linie übereinstimmt, werden gelöscht (Abb. 4.10 (b)). Darunter fallen neben Sackgassen auch Privatwege (`highway=residential`) wie Einfahrten. Diese sind für die Orientierung und Navigation irrelevant.

Polylinien von Features, deren Anfangs- als auch Endvertex die Route schneiden, werden aufgeteilt (Abb. 4.11 (a)). Die Teilung erfolgt am Vertex, der die größte Distanz zur Linie $[c_1, c_4]$ aufweist. Für Fußgängernavigation ist die Information darüber, ob eine kreuzende Straße mit der nächsten verbunden ist irrelevant, da sie nicht mit der eigentlichen Route in Verbindung steht.

Des Weiteren ist für Smartwatch-Fußgängerroutenkarten mit einem hohen Abstraktionsgrad der exakte Verlauf von kreuzenden Straßen nicht notwendig, aus diesem Grund werden diese *vereinfacht* und so aufbereitet, dass sie schlussendlich aus zwei Vertices bestehen, von denen einer die Routenpolylinie schneidet (c_1) (Abb. 4.11 (b)). Wenn die Polylinie, deren Vertices auf zwei reduziert werden, länger ist als 50 m, wird diese an dem Punkt gekürzt, der einer Distanz von 50 m nächsten liegt und alle Vertices dazwischen werden entfernt. Für die Fußgängernavigation reicht die Andeutung des Verlaufs der kreuzenden Straßen laut der Studie aus, deshalb wurde dieser Wert gewählt.

Das Ergebnis dieses Schrittes ist auf Abb. 4.12 dargestellt, die Feature-Layer beinhalten dementsprechend Orientierungspunkte in Routennähe, die Routengeometrie, sowie alle die Route kreuzenden Straßen.

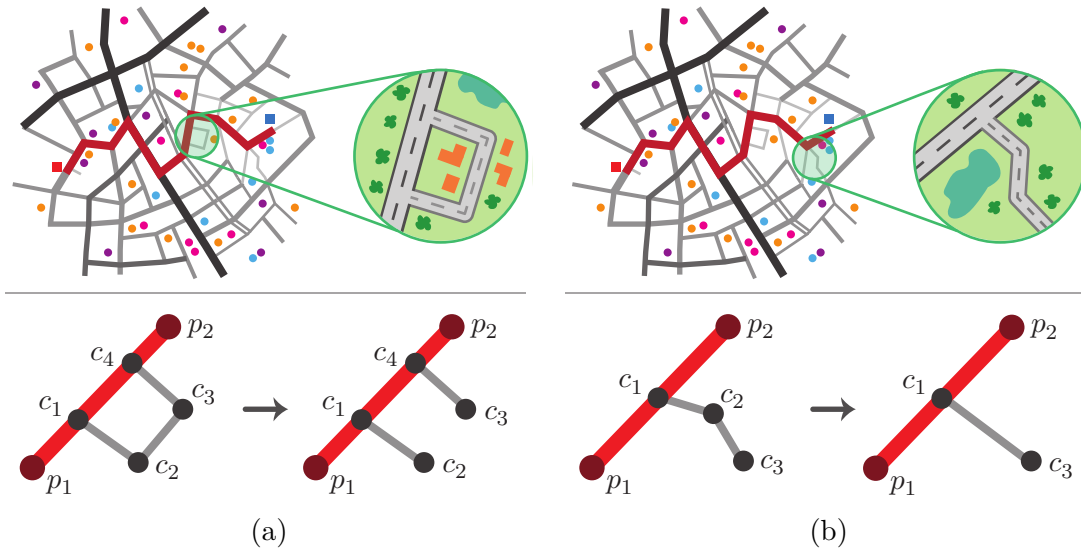


Abbildung 4.11: Straßengeometrien, deren Anfangs- und Endvertex die Route schneiden, werden geteilt, da nur unmittelbar von der Route abzweigenden Wege relevant sind (a). Die Anzahl der Vertices der kreuzenden Straßen wird auf zwei reduziert (b).

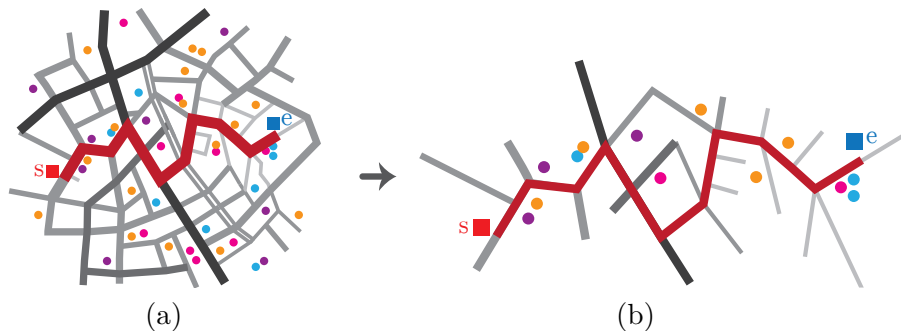


Abbildung 4.12: Die zuvor berechnete Route (a) stellt die Basis für diesen Schritt dar: Ausgehend von ihrer Geometrie werden die anderen Features reduziert und die Linien-Features vereinfacht und gegebenenfalls repariert (b).

4.7 Vereinfachung der Route mit dem Douglas-Peucker-Algorithmus

Die Polylinie der Route enthält derweil noch die Originalgeometrie der OpenStreet-Map Linien-Features, aus denen sie sich zusammensetzt. Ihre Geometrie enthält alle Vertices die in den OSM Daten enthalten sind, welche die Realität unabhängig vom Maßstab relativ genau widerspiegeln, inklusive aller straßenbaubedingten Kurven und Fahrbahndetails, die im weiteren Verlauf des Skripts entfernt werden, damit die Route der finalen Karte einer rechtwinkligen Polylinie entspricht, deren Vertices auf die wichtigsten Eckpunkte reduziert wurden. Im Zuge der kartographischen und geometrischen Generalisierung muss die Route nun geglättet werden. Dieser Vorgang entspricht der kartographischen Generalisierungsmethode des *Vereinfachens* [8, S. 111–113].

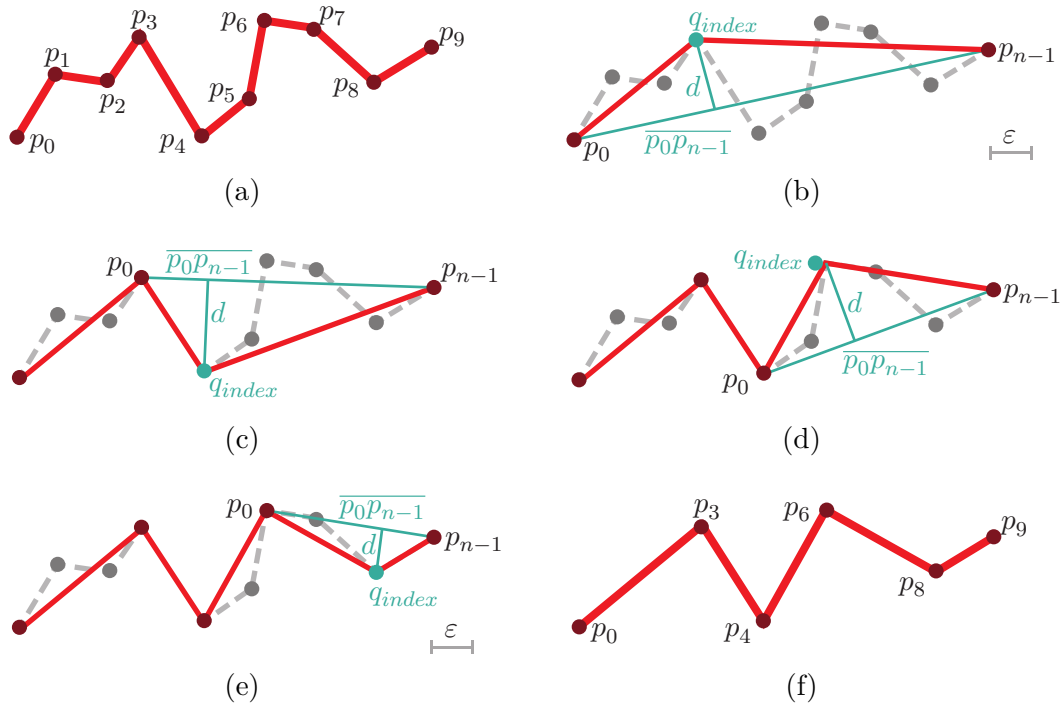


Abbildung 4.13: Der Douglas-Peucker-Algorithmus benötigt als Eingabeparameter eine Folge von n Punkten $polyline = [p_0, \dots, p_{n-1}]$ (a), nun wird derjenige Punkt p_{index} gesucht, der am weitesten von der Strecke $\overline{p_0 p_{n-1}}$ entfernt ist. Die Distanz d muss größer sein als ε (b). Dies wird mit den Teilfolgen $l_1 = [p_0, \dots, p_{index}]$ und $l_2 = [p_{index}, \dots, p_{n-1}]$ rekursiv fortgesetzt (c) – (e), bis kein Punkt eine größere Distanz zur Streckenapproximation aufweist als ε , die restlichen Punkte werden verworfen und der Algorithmus liefert die resultierende Liste aus Punkten $result$.

Dazu wird der Douglas-Peucker-Algorithmus verwendet, auch bekannt als Ramer-Douglas-Peucker-Algorithmus, der eine Folge von Punkten so *vereinfacht*, dass die ursprüngliche Gestalt in etwa erhalten bleibt (Abb. 4.13). Der Grad der *Vereinfachung* ist dabei abhängig vom maximalen gewählten Abstand (ε) zwischen ursprünglichen Punkten und dem approximierenden Streckenzug [6; 19].

Die Funktionsweise ist in Alg. 4.1 sowie Abbildung 4.13 dargestellt. Als Eingabeparameter benötigt der Algorithmus eine Folge von n Punkten $polyline = [p_0, \dots, p_{n-1}]$ sowie die Toleranz $\varepsilon > 0$. Anschließend wird derjenige Punkt p_{index} aus den Punkten $[p_1, \dots, p_{n-2}]$ gesucht, der die größte orthogonale Distanz zur Strecke $\overline{p_0 p_{n-1}}$ aufweist:

$$d_{max} = \max_{i=1, \dots, n-2} d(p_i, \overline{p_0 p_{n-1}}). \quad (4.1)$$

In Abbildung 4.13 (b) ist dies p_3 mit dem Abstand d . Die beiden Teilfolgen $l_1 = [p_0, \dots, p_{index}]$ und $l_2 = [p_{index}, \dots, p_{n-1}]$ werden ihrerseits nach Punkten mit $d > \varepsilon$ untersucht und wiederum geteilt. Wird kein Punkt mit entsprechendem Abstand zur Linienapproximation gefunden, werden die Punkte der Teilfolge verworfen und alle Streckenabschnitte zu einer resultierenden Punktfolge $result$ zusammengefügt (Abb. 4.1 (f)).

Der Algorithmus teilt jede Punktfolge nach dem Prinzip „Teile und Herrsche“ in zwei Abschnitte die den Algorithmus rekursiv durchlaufen, bis die Bedingung $d_{max} > \varepsilon$ nicht mehr erfüllt wird.

Algorithmus 4.1: Douglas-Peucker. Vereinfacht eine Folge von n Punkten (*polyline*), sodass nur die Punkte mit einem Abstand $d_{max} > \varepsilon$ zum approximierenden Streckenzug erhalten bleiben.

```

1: DOUGLAS-PEUCKER(polyline,  $\varepsilon$ )           ▷ polyline =  $[p_0, \dots, p_{n-1}]$ ,  $\varepsilon \in \mathbb{R} > 0$ 
2:    $d_{max} \leftarrow 0$ 
3:    $index \leftarrow 0$ 
4:   for  $i \leftarrow 1, \dots, n - 1$  do
5:      $d \leftarrow \text{PERPENDICULARDISTANCE}(p_i, p_0, p_{n-1})$ 
6:     if  $d > d_{max}$  then                       ▷ Find point  $p_{index}$  with maximum distance
7:        $index \leftarrow i$ 
8:        $d_{max} \leftarrow d$ 
9:     end if
10:  end for
11:  if  $d_{max} > \varepsilon$  then
12:     $l_1 \leftarrow \text{DOUGLAS-PEUCKER}([p_0, \dots, p_{index}], \varepsilon)$ 
13:     $l_2 \leftarrow \text{DOUGLAS-PEUCKER}([p_{index}, \dots, p_{n-1}], \varepsilon)$ 
14:     $result \leftarrow [l_1[p_0, \dots, p_{end-1}], l_2]$            ▷ build the result list
15:  else
16:     $result \leftarrow [p_0, p_{n-1}]$ 
17:  end if
18:  return result
19: end

```

Im Dialogfenster des Skriptes kann ein beliebiger Wert für ε gewählt werden, je höher dieser ist, desto stärker wird die Route geglättet. Der Wert von ε beträgt in dieser Implementierung standardmäßig 60, was einer Distanz von 60 m in Realität entspricht. Für die Linzer Innenstadt hat sich dieser Wert aufgrund des relativ gleichmäßigen Straßennetzwerkes als geeignet erwiesen, sodass der Abstraktionsgrad der Route für die Smartwatch optimierte Karten liefert. In dieser Implementierung wurde eine Konstante anstelle einer durch die Charakteristiken der Route berechneten Variable für ε gewählt, da die Abstraktion zu Testzwecken unabhängig von der Routenlänge und Struktur konstant sein soll, damit zum Beispiel eine sehr lange Strecke nicht zu stark geglättet wird und die Anzahl der Routenpunkte nach Glättung nicht von der Originalroute abhängt sondern von ihrem groben Verlauf. Dadurch wird ein Vergleich von unterschiedlichen Routen beim selben Abstraktionsgrad ermöglicht. Außerhalb des innerstädtischen Raums und bei längeren Routen sollte jedoch ein größerer Wert für ε gewählt werden, da die sich die Größenverhältnisse stark verändern und ein hoher Abstraktionsgrad ansonsten nicht gewährleistet werden kann. Um das Skript weiter zu optimieren, könnte ε jedoch auch anhand der Struktur und Länge der Route berechnet werden.

Der Algorithmus ist ein in der Kartographie häufig verwendetes Verfahren zur *Linienvereinfachung* [1], der insbesondere bei automatisierten Kartenerstellungen angewendet wird. Dies ist beispielsweise beim System zur Generierung von Destination Maps

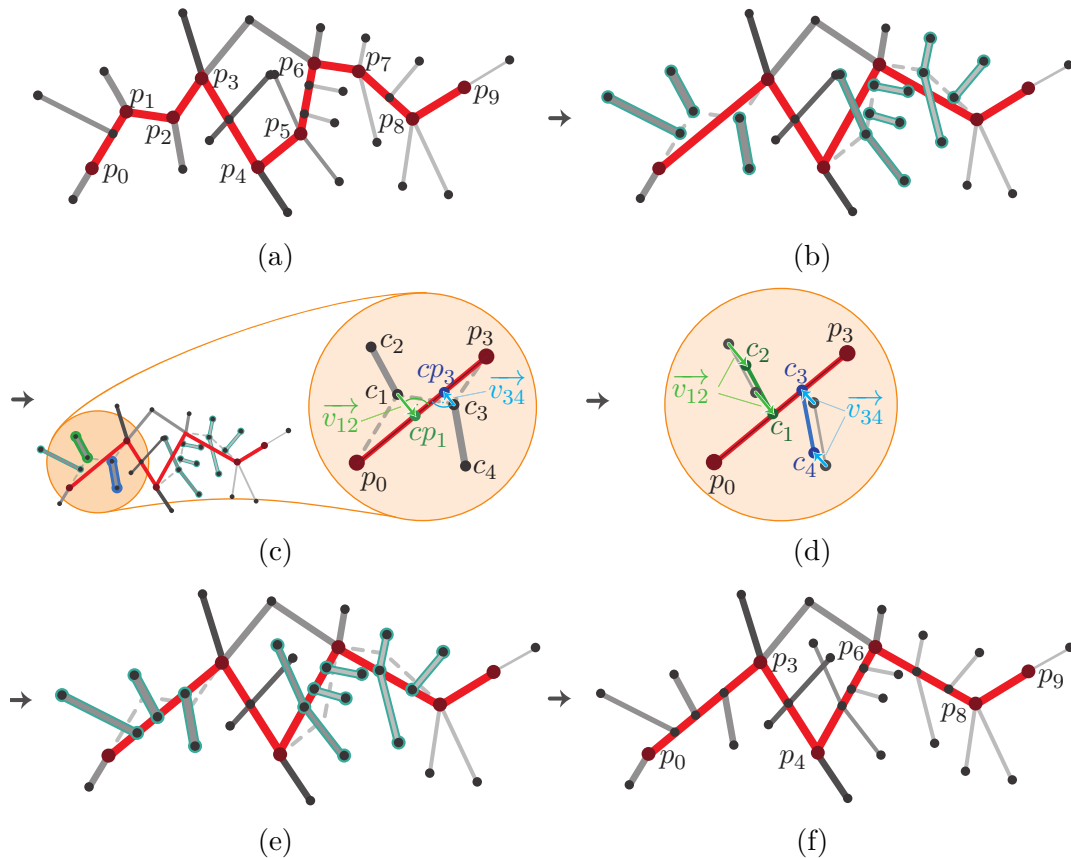


Abbildung 4.14: Verschiebung der kreuzenden Straßen an begradierten Routensegmenten. Die Geometrien der Route und kreuzenden Straßen vor (a) und nach der *Vereinfachung* (b), türkis umrandete Straßen liegen an begradierten Routensegmenten oder gelöschten Punkten der Route (c) – (d), sodass ihre Ursprungsposition in etwa erhalten bleibt (e), alle Linien-Features nach Verschiebung der kreuzenden Straßen (f).

der Fall, es nutzt eine subtraktive Variante des Douglas-Peucker-Algorithmus, um die Topologie des Straßennetzwerkes zu erhalten [11].

Die Position der kreuzenden Straßen, die sich an geglätteten Routensegmenten befinden, muss nach der *Vereinfachung* der Routengeometrie ebenfalls angepasst werden, da die Schnittpunkte nicht länger auf der Routen-Polylinie liegen. Dies ist in Abbildung 4.14 dargestellt. Dazu werden diejenigen Kreuzungsstraßen ermittelt, die an im Zuge des Douglas-Peucker-Algorithmus entfernten Routenpunkten liegen, oder die das vorherige oder nachfolgende Routensegmente schneiden. Diese sind hier türkis umrandet (siehe Abb. 4.14 (b)). Der orthogonal nächstgelegene Punkt cp_j zum auf dem vereinfachten Routensegment $[p_i, p_{i+1}]$ liegenden Punkt c_j wird mit dem Lotfußpunktverfahren berechnet, das im nächsten Abschnitt 4.8 genauer beschrieben wird, und die kreuzende Straße wird um den Vektor $\vec{v}_{i+1} = \vec{cp}_j - \vec{c}_j$ verschoben.

Abbildung 4.15 veranschaulicht, wie die Route geglättet und die kreuzenden Straßen dementsprechend verschoben werden.

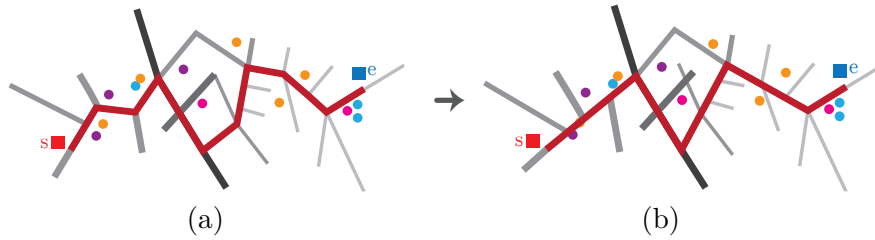


Abbildung 4.15: Die originale Route (a) wird mit dem Douglas-Peucker-Algorithmus geglättet und kreuzende Straßen dementsprechend verschoben (b).

4.8 Positionierung der Punkte entlang der Route

Laut der Studie sind neben den kreuzenden Straßen auch Orientierungspunkte wie Sehenswürdigkeiten oder markante Gebäude wichtig für die Orientierung auf der Route. Deshalb wird im nächsten Schritt die Position dieser Punkte entlang der vereinfachten Route ermittelt damit sie nach Durchführung aller geometrischen Operationen im Sinne der kartographischen *Verdrängung* korrekt positioniert werden können.

Dazu erfolgt zunächst die Positionsbestimmung der Punkte (Abb. 4.16) mit der Originalroute als Referenz. Jeder Orientierungspunkt o (bunte Punkte in Abb. 4.17) ist einem Segment der vereinfachten Route $[p_i, p_{i+1}]$ mit einer Position u zugeordnet, wobei $u \in [0, 1]$, $i \in [0, n - 1]$ und n der Anzahl der Vertices der Route entspricht. Zur Positionierung der Punkte entlang der Route werden ihnen folgende Attribute zugewiesen:

- **at_seg:** der Index i des ersten Vertex' des Routensegments $[p_i, p_{i+1}]$, das dem Punkt o orthogonal am nächsten liegt,
- **position:** die Position $u \in [0, 1]$ des von o aus nächstgelegenen Punktes q_i auf dem Routensegment $[p_i, p_{i+1}]$, dabei muss q_i zwischen p_i und p_{i+1} liegen,
- **angle:** Winkel zwischen dem Routensegment $[p_i, p_{i+1}]$ und dem Punkt o , zur Bestimmung der Seite auf welcher der Punkt liegt.

Der orthogonal nächstgelegene Punkt q_i auf der Linie $p_i p_{i+1}$ zu einem Punkt o wird mit dem Lotfußpunktverfahren und vektorisierten Punkten bzw. Linien bestimmt. Dabei gilt dass $\overrightarrow{p_i q_i}$ orthogonal zu $\overrightarrow{o q_i}$ ist, somit ist das Skalarprodukt der beiden Vektoren gleich null:

$$\overrightarrow{p_i q_i} \cdot \overrightarrow{o q_i} = 0. \quad (4.2)$$

Die Parameterform der Geradengleichung des Vektors $\overrightarrow{p_i q_i}$ lautet $\overrightarrow{p_i q_i} = \overrightarrow{p_i} + \lambda \cdot \overrightarrow{p_i p_{i+1}}$. Durch Einsetzen der Parameterform in die Gleichung 4.2 ergibt sich

$$(\overrightarrow{p_i} + \lambda \cdot \overrightarrow{p_i p_{i+1}}) \cdot \overrightarrow{o q_i} = 0. \quad (4.3)$$

Nun kann λ ermittelt werden, also das beliebige Vielfache des Richtungsvektors $\overrightarrow{p_i p_{i+1}}$, was wiederum zur Berechnung der Koordinaten des Punktes q_i benötigt wird:

$$\overrightarrow{q_i} = \overrightarrow{p_i} + \lambda \cdot \overrightarrow{p_i p_{i+1}}. \quad (4.4)$$

Der Abstand $|\overrightarrow{o q_i}|$ von Punkt o zum orthogonal nächsten Punkt q_i auf der Routenpolylinie wird für jedes Routensegment $[p_i, p_{i+1}]$ einzeln berechnet (Abb. 4.16 (b)) und der

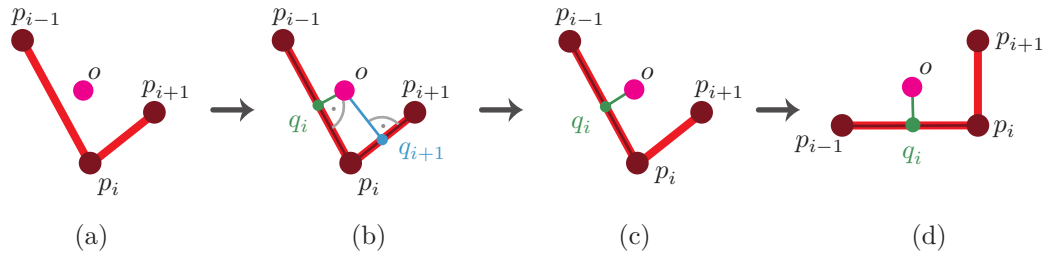


Abbildung 4.16: Positionsbestimmung des Punktes o . Originalposition des Punktes o entlang der Route (Ausschnitt) $[p_0, \dots, p_{n-1}]$ mit n Vertices (a), Messen der orthogonalen Distanz $\overline{oq_i}$ von o zu allen Routensegmenten $[p_i, p_{i+1}]$, $i \in [0, n-1]$, und Bestimmung des Lotfußpunktes q_i (b), Zuweisung des Punktes zum Routensegment $[p_i, p_{i+1}]$ mit der kleinsten Distanz $\overline{oq_i}$ und der Position $u \in [0, 1]$ (c), damit kann der Punkt auch nach geometrischen Veränderungen der Route am jeweiligen Segment positioniert werden (d).

Index i des ersten Vertex p_i des Segments mit der geringsten Distanz wird dem Punkt zugeordnet. Dabei muss überprüft werden, ob der Lotfußpunkt q_i auf dem Routensegment liegt, da der Punkt q_i des Vektors auch „außerhalb“ des vektorisierten Routensegments liegen kann. Die Überprüfung erfolgt mit Hilfe der Berechnung des Kreuzprodukts der Vektoren $\overrightarrow{p_i p_{i+1}}$ und $\overrightarrow{p_i q_i}$. Wenn dieses 0 ergibt, liegen alle Punkte auf einer Geraden. Ist das Skalarprodukt der Vektoren $\overrightarrow{p_i p_{i+1}}$ und $\overrightarrow{p_i q_i}$ größer als 0 sowie kleiner als das Quadrat der Distanz $|\overrightarrow{p_i p_{i+1}}|$, liegt Punkt q_i zwischen den beiden Punkten p_i und p_{i+1} .

Die Position u entlang des Liniensegments (Abb. 4.16 (c)) berechnet sich mit

$$u = \frac{\overline{p_i q_i}}{\overline{p_i p_{i+1}}}. \quad (4.5)$$

Mit linearer Interpolation kann somit der Punkte jederzeit, zum Beispiel nach Drehen oder Verlängern des Segments, an der richtigen Stelle entlang der Route positioniert werden (Abb. 4.16 (d)). Der Abstand der Orientierungspunkte zur Route in der finalen Karte ist bei allen Punkten gleich groß, da die genaue Distanz für den Kartennutzer irrelevant ist und auf dem kleinen Display ohnehin schwer zu ermitteln wäre. Damit wird die Gleichmäßigkeit und Abstraktion des Kartenbildes ebenfalls gewährleistet. Die Orientierungspunkte werden nach Durchführung des letzten geometrischen Schrittes korrekt entlang der Route positioniert (siehe Abb. 4.17).

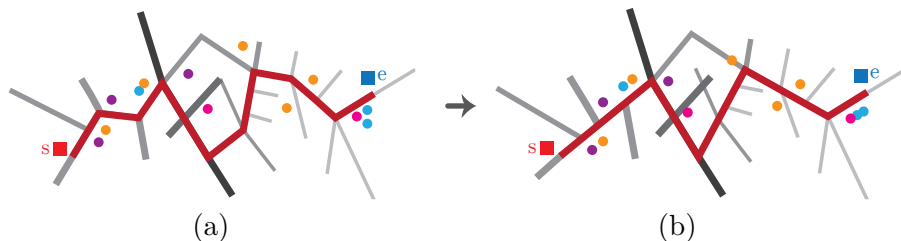


Abbildung 4.17: Orientierungspunkte o (bunt) werden entsprechend ihrer originalen Position (a) entlang der Route mit gleichmäßigem Abstand zu dieser positioniert (b).

4.9 Anpassung der Linienlängen

Die Auswertungen der Studie haben ergeben, dass die maßstabsgetreue Darstellung der Route nicht notwendig ist. Wichtiger für die Orientierung ist, dass alle Wege, die zur Route gehören erkennbar sind. Durch die starke Limitierung der Quantität und Größe der Kartenelemente aufgrund der geringen Displaygröße ist es in der Implementierung unabdingbar, die Dimensionen der einzelnen Routensegmente anzupassen, sodass auch kurze Wegabschnitte noch erkennbar sind. Lange Strecken werden wiederum verkürzt und somit ergibt sich insgesamt ein ebenmäßiges Kartenbild.

Die Verwendung eines variablen Maßstabs in einer Routenkarte erfolgte auch in *LineDrive*, einem System das verschiedene Generalisierungsmethoden nutzt, um in Echtzeit automatisiert Routenkarten für PDAs zu designen und zu rendern. Implementiert wurde *LineDrive* bereits 2001 von Agrawala und Stolte [1].

Der Algorithmus zur Anpassung der Linienlänge der Route verkürzt alle Segmente, die länger sind als das durchschnittliche Routensegment und verlängert die kürzeren (siehe Abb. 4.18). Somit bleiben die Verhältnisse der einzelnen Segmente zueinander annähernd erhalten, der zuvor längste Abschnitt bleibt derjenige mit der längsten Distanz und vice versa. Die exakte Distanz kann anhand der finalen Karte jedoch nicht mehr genau ermittelt werden. Für die Fußgängeroute sind solche Details allerdings irrelevant, eine angepasste, ungefähr die Längenverhältnisse widerspiegelnde Streckenlänge ist laut der Studie vollkommen ausreichend.

Die Berechnung der angepassten Länge eines Routensegments seg_i (Abb. 4.19) ist abhängig von der durchschnittlichen Segmentlänge d_{av} der Route $polyline = [p_1, \dots, p_n]$ mit der Gesamtlänge d_{total} , die aus n Punkten und $n - 1$ Segmenten besteht:

$$d_{av} = \frac{d_{total}}{n - 1},$$

die Gesamtlänge der Route d_{total} berechnet sich aus der Summe aller Segmentlängen

$$d_{total} = \sum_{i=0}^{n-1} \overline{p_i p_{i+1}}.$$

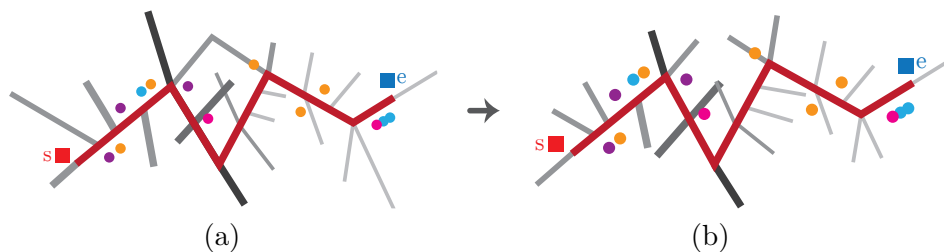


Abbildung 4.18: Die vereinfachte Routengeometrie in gleichmäßigem Maßstab, mit ursprünglichen Segmentlängen (a), nach Anpassung der Längen sind alle Routensegmente zwischen $\frac{2}{3} \cdot d_{av}$ und $\frac{4}{3} \cdot d_{av}$ lang (vgl. *LineDrive* [1]) und die kreuzenden Straßen werden auf eine einheitliche Länge gebracht. Die Route ist nun in einem variablen Maßstab dargestellt (b).

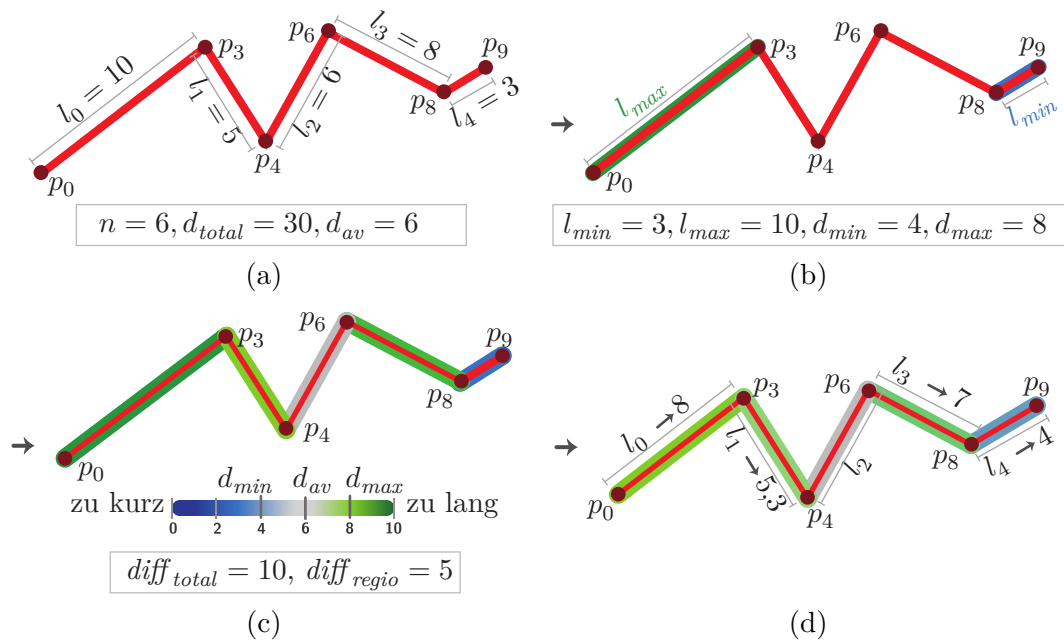


Abbildung 4.19: Die Berechnung der angepassten Segmentlänge, hier mit fiktiven Werten. Messen der Länge l_{n-1} der $n-1$ Routensegmente und Berechnung der durchschnittlichen Länge d_{av} (a), Ermittlung des längsten l_{max} und kürzesten l_{min} Routensegments, sowie Berechnung der Grenzwerte d_{max} und d_{min} der Längen, welche die angepassten Segmente mindestens und höchstens aufweisen dürfen (b), grün hinterlegte Segmente werden verkürzt und blaue verlängert; grau entspricht der Durchschnittslänge, diese wird nicht verändert (c), so dass die angepassten Längen l_n zwischen d_{max} und d_{min} liegen (d).

Um ein ebenmäßiges Kartenbild zu erhalten, bei dem alle kurzen Linien eine Mindestlänge haben, welche deren Lesbarkeit gewährleistet, werden nun die minimale und maximale Länge der Linien definiert. Die minimale Länge eines Routensegments l_{min} beträgt $\frac{2}{3}$ der durchschnittlichen Segmentlänge d_{av} , die maximale $l_{max} = d_{av} \cdot \frac{4}{3}$. Innerhalb dieses Bereichs werden nun die Längen aller Segmente angepasst mit $l_i \in [l_{min}, l_{max}]$.

Das zuvor kürzeste Segment seg_{min} wird auf eine Länge von l_{min} verlängert und das längste seg_{max} auf l_{max} verkürzt. Nun wird aus der Differenz zwischen der Länge jedes Segments d_i und der durchschnittlichen Segmentlänge d_{av} die Summe $diff_{total}$ berechnet:

$$diff_{total} = \sum_{i=0}^{n-1} |d_i - d_{av}|,$$

damit anschließend die Länge der übrigen Segmente proportional angepasst werden kann.

Da die Summe der Differenzen zwischen den Längen der kurzen Segmente und der Durchschnittslänge äquivalent zu der entsprechenden Summe der längeren Segmente ist, wird die gesamte Differenz $diff_{total}$ halbiert mit: $diff_{region} = \frac{diff_{total}}{2}$, damit die Längen für beide Regionen individuell angepasst werden.

Für die Anpassung der Längen wird für die langen und kurzen Wege jeweils ein Faktor benötigt, der das jeweilige Segment entsprechend seiner Originallänge sowie mehrerer

Einflussfaktoren, wie den Grenzwerten der Längen (d_{min} und d_{max}), der durchschnittlichen Segmentlänge usw. verlängert oder verkürzt. Die Faktoren u_l für kurze Wege und u_h für die langen berechnen sich mit

$$u_l = \left| \frac{diff_{region} \cdot (d_{min} - l_{min})}{l_{min} - d_{av}} \right|, \text{ bzw.} \quad (4.6)$$

$$u_h = \left| \frac{diff_{region} \cdot (d_{max} - l_{max})}{l_{max} - d_{av}} \right|, \quad (4.7)$$

dabei entspricht d_{min} der Länge des kürzesten Segments und d_{max} der des längsten.

Die angepasste Länge l_i wird für jedes Routensegmente einzeln berechnet, dazu wird die Differenz der Originallänge d_i zum Durchschnitt $d_{av} - d_i$ im Verhältnis zur Summe aller Differenzen im jeweiligen Bereich wird mit dem Faktor u_l bzw. u_h multipliziert, je nachdem ob sie kürzer ist als der Durchschnitt oder länger

$$l_i = \begin{cases} d_i + \left| \frac{d_{av} - d_i}{diff_{region}} \right| \cdot u_l & \text{für } length_i < d_{av}, \\ d_i - \left| \frac{d_{av} - d_i}{diff_{region}} \right| \cdot u_h & \text{für } length_i > d_{av}. \end{cases} \quad (4.8)$$

Für die Anpassung der Segmentlängen muss zunächst die Position $u_{c_j} \in [0, 1]$ der Schnittpunkte der kreuzenden Straßen mit den Routensegmenten ermittelt werden (siehe Abb. 4.20 (a)), damit diese nach Anpassung der Segmentlängen korrekt und mit den richtigen Verhältnissen entlang der Segmente platziert werden können. Für jeden Kreuzungspunkt c_j gilt

$$u_{c_j} = \frac{|\overrightarrow{p_i c_j}|}{|\overrightarrow{p_i p_{i+1}}|}.$$

Anschließend wird für jedes Routensegment seg_i zwischen den Punkten p_i und p_{i+1} mit linearer Interpolation der neue Punkt q_i berechnet, dass die Distanz $\overline{p_i q_{i+1}}$ der neu berechneten Segmentlänge l_i entspricht. Der Punkt p_{i+1} , sowie alle nachfolgende Routenpunkte (p_{i+2}, \dots, p_n) sowie Punkte kreuzender Straßen der folgenden Routensegmente werden um den Vektor $\overrightarrow{v_{i+1}} = q_{i+1} - p_{i+1}$ zwischen dem ursprünglichen Punkt p_{i+1} und dem neuen Routenpunkt q_{i+1} verschoben (Abb. 4.20 (b)). Die vorherigen Routenpunkte (p_0, \dots, p_i) und Punkte kreuzender Straßen der bereits angepassten Routensegmente werden nicht verschoben. Ein Sonderfall stellen die Straßen dar, die die Route an dem angepassten Segment seg_i schneiden. In diesem Fall wird mit linearer Interpolation und der relativen Position u_{c_j} des Kreuzungspunktes c_j auf dem Segment die neue Position des Punktes c_j berechnet und nach der Anpassung der Segmentlänge wird die kreuzende Straße um den Vektor v_{c_j} auf die entsprechende Position verschoben (siehe Abb. 4.20(c)).

Die Länge l_c der kreuzenden Straßen $[c_j, c_{j+1}]$ entspricht der minimalen Routensegmentlänge l_{min} , damit diese ebenfalls stets erkennbar sind. Allerdings muss l_c kleiner sein als der doppelte Durchmesser der Punktsymbole, damit diese eindeutig sowie mit einem gleichmäßigen Abstand zur Route und den kreuzenden Straßen positioniert werden können. Es gilt $d_{min} < d_{icon}$, ansonsten ist $l_c = d_{icon}$. Bei Routen mit vielen Routenpunkten verhindert dies, dass sich die abzweigenden Straßen kreuzen und bei kurzen Routen werden sie nicht zu groß im Verhältnis zu den Punktsymbolen, da der Hauptaugenmerk auf der Route liegen soll. Alle Straßen, die nicht zur Route gehören, werden mit der einheitlichen Länge $l_c = \min(l_{min}, 2 \cdot d_{icon})$ dargestellt (siehe Abb. 4.20 (d)).

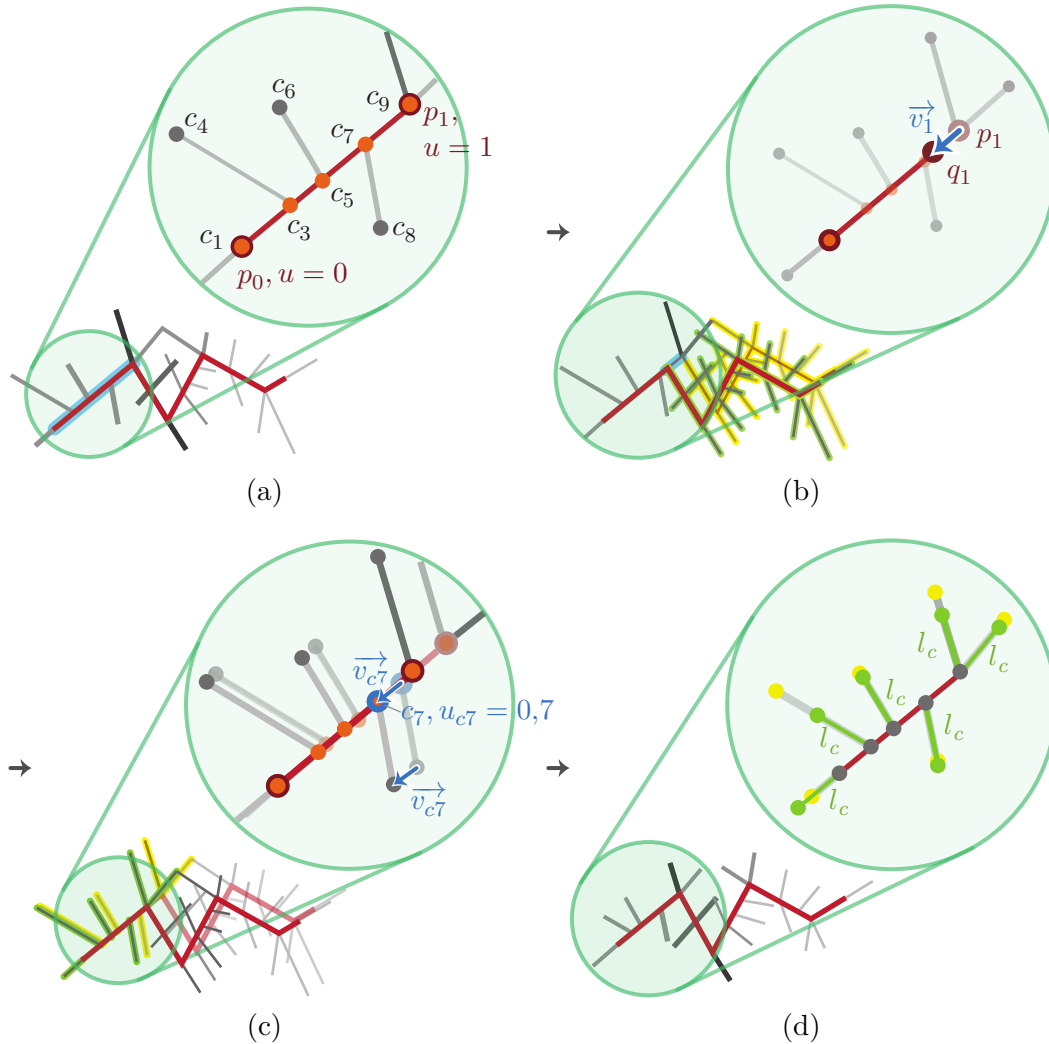


Abbildung 4.20: Vorgehen zur Anpassung der Linienlängen. Ermittlung der ursprünglichen relativen Position $u_{c_j} \in [0, 1]$ der Kreuzungspunkte c_j auf dem Segment seg_0 (blau hinterlegt) zwischen den Routenpunkten p_0 und p_1 (a), Berechnung des Vektors \vec{v}_1 zwischen dem ursprünglichen Routenpunkt p_1 und dem neuen Punkt q_1 des angepassten Segments, sowie Verschiebung aller Routenpunkte $(p_{i+1}, \dots, p_{n-1})$ und kreuzenden Straßen der nachfolgenden Segmente um den Vektor \vec{v}_1 (die ursprünglichen Linien Geometrien sind gelb hinterlegt, grün nach dem Verschieben) (b), alle kreuzenden Straßen des angepassten Routensegments müssen entsprechend ihrer relativen Position u_{c_j} auf dem Segment verschoben werden, dazu wird der Vektor \vec{v}_{c_j} zwischen dem ursprünglichen Kreuzungspunkt und dem mit linearer Interpolation berechneten Punkt c_j , der dieselbe relative Position auf dem angepassten Segment hat, ermittelt und beide Punkte der Liniengeometrie um diesen Vektor verschoben (die originalen Straßen sind gelb hinterlegt, die verschobenen grün) (c), die Länge der kreuzenden Straßen wird auf l_c vereinheitlicht (d).

4.10 Anpassung der Winkel

Die Studie hat deutlich belegt, dass die realitätsgetreue Darstellung der Winkel nicht notwendig ist. Starke *Vereinfachung* und Abstraktion ist eine häufig verwendete Generalisierungstechnik der Studienteilnehmer/innen, um die Liniengeometrien der Route auf der limitierten Zeichenfläche darzustellen. Aus diesem Grund werden die Winkel zwischen den Liniengeometrien in der Implementierung so stark generalisiert, dass lediglich Winkel in 45° Intervallen abgebildet werden (siehe Abb. 4.21 (b)), ähnliche Darstellungen sind unter anderem auch in Netzplänen von öffentlichen Verkehrsmitteln zu finden.

Die Vorgehensweise zur Anpassung der Winkel ist in Abbildung 4.22 dargestellt. Zunächst müssen die ursprünglichen Winkel zwischen Route und Kreuzungsstraßen sowie zwischen den Routensegmenten und die globale Orientierung der Route berechnet werden, bevor alle Liniengeometrien schrittweise gedreht und angepasst werden können.

Für die Anpassung der Winkel zwischen Route und kreuzenden Straßen wird für jede dieser Kreuzungsgeometrien $[c_j, c_{j+1}]$ ermittelt, welchen Vertex der Route sie schneidet, bzw. an welchem Routensegment sie liegt, falls sie zwischen zwei Vertices liegt. Die relative Position u_{c_j} des Kreuzungspunktes c_j wird, wie in Abschnitt 4.8 beschrieben, gemessen und der Winkel α_{c_j} zwischen dem Routensegment und der kreuzenden Straßen berechnet (siehe Abb. 4.22). Diese Werte werden für jede Kreuzungsstraße als Attribute gespeichert:

- **at_Vertex:** Der Index i des ersten Vertex des Segments $[p_i, p_{i+1}]$, auf dem der Punkt c_j liegt, falls die kreuzende Straße keinen Routenvertex schneidet, bzw. der Index i des Routenvertex p_i , der dieselben Koordinaten wie der Punkt c_j hat, wenn die kreuzende Straße die Route an einem Routenvertex schneidet,
- **position:** Die relative Position $u_{c_j} \in [0, 1]$ des Punktes c_j auf dem Segment $[p_i, p_{i+1}]$ von p_i aus, dabei muss c_j zwischen p_i und p_{i+1} liegen,
- **angle:** Der Winkel α_{c_j} zwischen den Geometrien des Routensegments $[p_i, p_{i+1}]$ und der kreuzenden Straße $[c_j, c_{j+1}]$.

Die Ermittlung des Index i sowie der relativen Position u_{c_j} erfolgt analog zum in

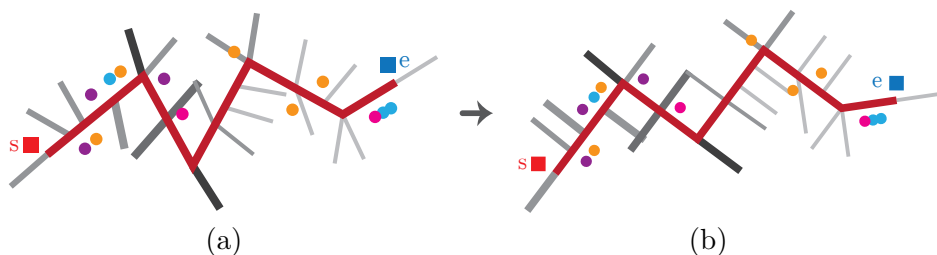


Abbildung 4.21: Die Winkel sind zwar durch die *Vereinfachung* der Route (siehe Abschn. 4.7) bereits leicht verändert und vereinfacht (a), doch für ein stark abstrahiertes Kartenbild werden diese noch stärker vereinfacht. Die Winkel der Routengeometrie sowie die zwischen Route und kreuzenden Straßen werden in 45° Intervallen dargestellt; die Ausrichtung der gesamten Route vom Startpunkt bis zum Endpunkt entspricht der Originalausrichtung (b).

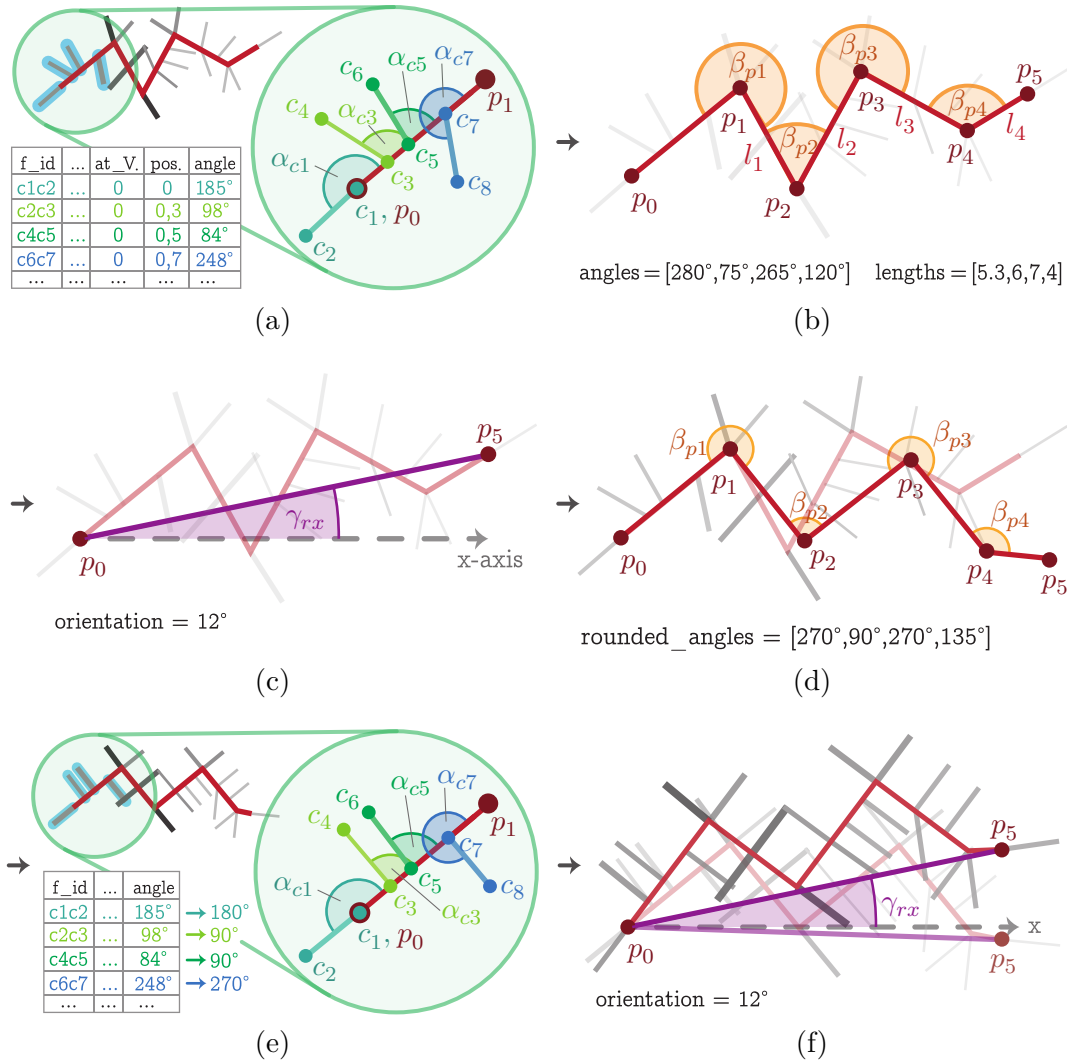


Abbildung 4.22: Schritte zur Anpassung der Winkel. Berechnung der Winkel α_{cj} , Position u_{cj} und Index i des Vertex des entsprechenden Routensegments, Speicherung der Daten in der Attributtabelle der Features (a), Ermittlung der Winkel β_{pi} und Längen l_i der Routensegmente, Speicherung in Arrays (b), Messen der Orientierung γ_{rx} der gesamten Route anhand der Verbindungslinie $[p_0, p_{n-1}]$ zwischen Start- und Endpunkt (c), Runden der Routensegment-Winkel β_{pi} in 45°-Intervalle und Anpassung der Routensegmente (siehe Abb. 4.23) (d), die Winkel α_{cj} zwischen Routensegment und kreuzender Straßen werden gerundet und letztere anhand ihrer zuvor ermittelten Position u_{cj} am jeweiligen Routensegment mit entsprechendem Winkel positioniert (e) und Drehung aller Liniengeometrien, sodass die Orientierung der ursprünglichen Ausrichtung γ_{rx} entspricht (f).

Abschnitt 4.8 beschriebenen Vorgehen.

Der Winkel α_{cj} zwischen Routensegment und kreuzender Straße berechnet sich wie folgt: Wenn der Vektor \vec{a} orthogonal zu den Vektoren $\vec{c_j p_{i+1}}$ und $\vec{c_j c_{j+1}}$ ist, hat er die Länge

$$|\vec{a}| = |\vec{c_j p_{i+1}} \times \vec{c_j c_{j+1}}| = |\vec{c_j p_{i+1}}| \cdot |\vec{c_j c_{j+1}}| \cdot \sin(\alpha_{cj}).$$

Des Weiteren berechnet sich das Skalarprodukt der Vektoren $\overrightarrow{c_j p_{i+1}}$ und $\overrightarrow{c_j c_{j+1}}$ mit dem Winkel α_{cj} in der Form

$$\overrightarrow{c_j p_{i+1}} \cdot \overrightarrow{c_j c_{j+1}} = |\overrightarrow{c_j p_{i+1}}| \cdot |\overrightarrow{c_j c_{j+1}}| \cdot \cos(\alpha_{cj}).$$

Daraus ergibt sich für den Winkel α_{cj} zwischen den Vektoren $\overrightarrow{c_j p_{i+1}}$ und $\overrightarrow{c_j c_{j+1}}$

$$\alpha_{cj} = \arctan \left(\frac{|\overrightarrow{c_j p_{i+1}} \times \overrightarrow{c_j c_{j+1}}|}{\overrightarrow{c_j p_{i+1}} \cdot \overrightarrow{c_j c_{j+1}}} \right). \quad (4.9)$$

Analog zu diesem Vorgehen werden im nächsten Schritt die Winkel β_{pi} zwischen den Routensegmenten berechnet sowie die Länge der Routensegmente $l_i = \overline{p_i p_{i+1}}$ ermittelt und in zwei Arrays gespeichert. Bei $n - 1$ Segmenten der Routengeometrie $[p_0, \dots, p_n - 1]$ mit n Punkten werden alle $n - 2$ Winkel zwischen den Segmenten ermittelt (siehe Abb. 4.22 (b)).

Die Orientierung der gesamten Route muss nach Anpassung der Winkel wieder in den Originalzustand gebracht werden. Die Ergebnisse der Studie zeigen deutlich, dass bei fast allen (79% aller Kartenskizzen) Teilnehmer/innen eine Ausrichtung nach Norden dargestellt wurde. Aus diesem Grund, wird die Ausrichtung der originalen Route berechnet und für die spätere Korrektur gespeichert. Dies erfolgt mit Hilfe der Berechnung des Winkels γ_{rx} zwischen der Verbindungslinie $[p_0, p_{n-1}]$ des Start- und Endpunktes der Route sowie der x-Achse.

Bevor die Winkel der kreuzenden Straßen angepasst werden, erfolgt zunächst die Anpassung der Winkel α_{pi} zwischen den Routensegmenten.

Dazu wird für alle Segmente, außer dem ersten, der im Array gespeicherte Winkel α_{pi} anhand des Index ermittelt und auf einen Winkel im 45° -Intervall mit $\alpha_{pi} \in [0^\circ, 45^\circ, \dots, 270^\circ, 315^\circ]$ gerundet. Damit wird beispielsweise ein 50° -Winkel zu einem 45° -Winkel, 233° werden auf 225° abgerundet, etc. Nun wird der Punkt q_{i+1} auf dem Routensegment $[p_{i-1}, p_i]$ mit der Entfernung l_i von p_i mit Hilfe von linearer Interpolation platziert und diese Geometrie $[p_i, q_{i+1}]$ um den Ursprung p_i um α_{pi} gedreht. Anschließend wird der Routenpunkt p_{i+1} durch q_{i+1} ersetzt, dieser bildet mit dem vorherigen Routensegment den vereinfachten Winkel. Dieses Verfahren wird für alle $n - 2$ Winkel der Route wiederholt.

Die neue Routengeometrie mit den begradierten Winkeln bildet die Grundlage für die Anpassung der Winkel zwischen Route und kreuzenden Straßen (siehe Abb. 4.23).

Da diese Winkel in der Attributtabelle der Features gespeichert sind, werden sie ebenfalls auf ein 45° -Intervall gerundet und wie oben beschrieben und in Abb. 4.23 zu sehen, vereinfacht.

Im letzten Schritt werden die gesamte Route und alle zugehörigen kreuzenden Straßen auf Ausgangslage gedreht, sodass der Winkel zwischen x-Achse und der Verbindungslinie des Startpunktes und dem veränderten Endpunkt der Route dem zuvor berechneten Winkel γ_{rx} entspricht.

Die Orientierungspunkte der Route können nach Drehung der Liniengeometrien wieder, wie in Abschn. 4.8 beschrieben, korrekt positioniert werden, da ihre relative Position entlang der Routensegmente bekannt ist.

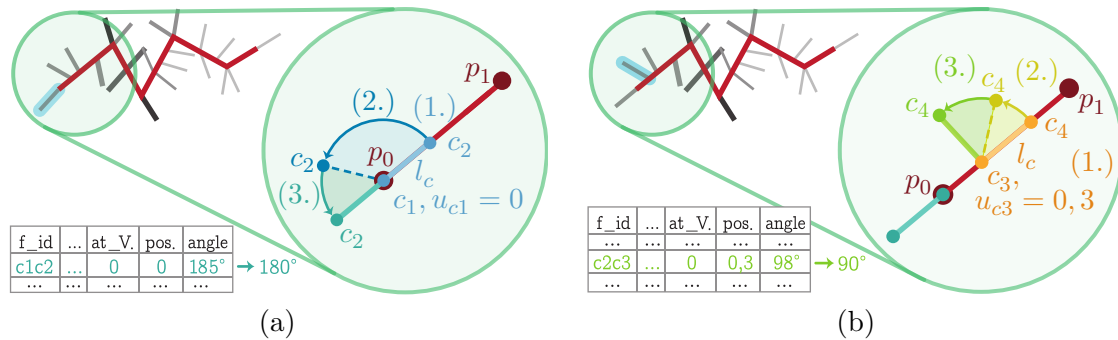


Abbildung 4.23: Vorgehensweise zur Drehung der Liniengeometrien um einen bestimmten Winkel am Beispiel der ersten beiden kreuzenden Straßen $[c_1, c_2]$ (a) und $[c_3, c_4]$ (b). Der Punkt c_j , welcher auf der Route liegt, wird anhand seiner gespeicherten Position u_{c_j} (position) mit linearer Interpolation auf dem i -ten (at_Vertex) Routensegment positioniert. Der zweite Punkt $p_{c_{j+1}}$ der Geometrie wird mit dem Abstand l_c zu c_j , welcher bei allen kreuzenden Straßen gleich groß ist (siehe Abschn. 4.8), auf dem Routensegment $[p_i, p_{i+1}]$ des Routensegments platziert (1.). Die Liniengeometrie $[c_j, c_{j+1}]$ wird nun um den aufgerundeten Winkel um den Ursprung c_j rotiert (2.), bis sie die korrekte Position mit einem 45° -Interval-Winkel zur Route aufweist (3.). Das Feature wird mit der neuen Geometrie überschrieben und der Vorgang für alle kreuzenden Straßen wiederholt.

4.11 Auswahl wichtigster Kartenelemente und Beseitigung von Überlappungen

Im nächsten Schritt des Skripts werden, basierend auf der zuvor berechneten Route sowie Erkenntnissen aus der Studie, die wichtigsten Straßen und Orientierungspunkte *ausgewählt*, die zur Orientierung und Navigation notwendig sind (Abb. 4.24).

Die *Auswahl* der für die Route bedeutendsten Straßen erfolgt anhand der Gewichtung, diese setzt sich aus dem in Tabelle 4.1 aufgeführten Gewichtungsfaktors nach Straßentyp und der Position des Kreuzungspunktes zusammen. Straßen, die an Kreuzungen liegen, bei der ein Richtungswechsel der Route vorliegt wird ein zusätzliche Gewichtung von fünf addiert, damit auch „unwichtige“ Wege dort erhalten bleiben und die Orientierung beim Abbiegen unterstützen. Diese Straßen haben einen gemeinsamen Vertex mit der Routenpolylinie. Mehrere, die Route kreuzende Wege, welche einen gemeinsamen Schnittpunkt mit der Route aufweisen, werden ebenfalls mit +5 aufgewertet, damit der Routenverlauf bei multiplen Abbiege-Optionen klar ersichtlich bleibt. Alle Linien-Features, deren Gewichtung kleiner als 6 ist, werden entfernt. Damit ist die Erhaltung der großen Straßen (`highway == primary`) unabhängig von der Position gesichert, da diese laut der Studie eine Orientierung gewährleisten.

Das Verfahren zur *Auswahl* der wichtigsten Punkte basiert ebenfalls auf der Gewichtung abhängig von Typ (Tabelle 4.2) und Position. Liegt der Punkt nahe eines Vertex' der Route, also wenn diese ihren Verlauf ändert oder ein Abbiegen erfolgt, wird dem Punkt eine Gewichtung von zwei addiert, da Orientierungspunkte dort der Navigation dienlicher sind als an „geraden“ Strecken der Route. Es bleiben nur Punkte erhalten, deren Gewichtung nicht kleiner als drei ist.

Des Weiteren müssen Akkumulationen von Punkten beseitigt werden, welche zu

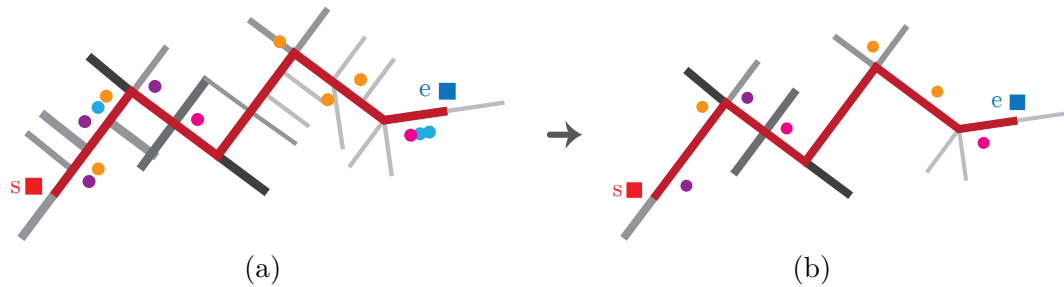


Abbildung 4.24: Nach Durchführung aller geometrischen Operationen (a) müssen unwichtige Kartendetails und Überlappungen entfernt werden (b).

Überschneidungen von Punkten auf der stark begrenzten Kartenfläche führt. Die Anzahl der Überlappungen von jedem einzelnen Orientierungspunkt o mit allen anderen Punkten wird ermittelt. Dabei gilt, dass der Abstand von einem Orientierungspunkt zum nächsten mindestens dem Durchmesser der Punktsymbole entsprechen muss.

Die Überprüfung erfolgt mit Hilfe von Buffergeometrien, diese werden um den Mittelpunkt des Punkt-Features „herum“ erstellt mit einem Radius bzw. Abstand vom Durchmesser des Punktes o in Realität (Abb. 4.25 (b)). Dieser berechnet sich mit

$$o_{diam} = scale \cdot icon_{diam},$$

wobei $icon_{diam}$ dem Durchmesser der Signaturen entspricht (siehe Abschn. 3.2.2) und sich die Maßstabszahl $scale$ aus dem Verhältnis der Naturstrecke $extent$ und deren Kartenäquivalent $mapsize$ zusammensetzt

$$scale = \frac{extent}{mapsize}.$$

Wenn beispielsweise die quadratische Ausdehnung $extent$ der Karte einer Strecke von 600 m in der Natur entspricht, so wäre der Maßstab bei einer quadratischen, 30 mm breiten Karten 1:20, also 1 mm auf der Karte entsprechen 20 m in Realität. Die Ausdehnung $extent$ der Karte wird anhand des maximalen Wertes (Breite oder Höhe) der Ausmaße des Polylinien-Layers ermittelt.

Die Auflösung der finalen Karte beträgt 300 dpi und die standardmäßig eingestellte Größe $mapsize$ für die quadratische Routenkarte 30×30 mm bzw. 354×354 Pixel, diese kann aber im Dialogfenster des Skripts beliebig gewählt werden. Diese Maße entsprechen in etwa der durchschnittlichen Displaygröße gängiger Smartwatchmodelle (siehe Abb. 2.2).

Die Größe $icon_{diam}$ der Punktsymbole entspricht einem Zehntel der Kartengröße $mapsize$, ist die gewählte Kartengröße kleiner als 20 mm, so beträgt die Symbolgröße konstant 2 mm, da sonst die Mindestdimensionen nicht mehr eingehalten werden und die Lesbarkeit nicht mehr gewährleistet werden kann. Aufgrund der Bildhaftigkeit der Symbole wurde eine Mindestgröße von 2 mm gewählt, damit diese selbst auf sehr kleinen Displays noch lesbar und identifizierbar sind. Beträgt die Kartengröße standardmäßig 30 mm, so ist ein Punktsymbol auf der gerenderten Karte 3 mm groß.

Da der Platz auf einer Smartwatch zur Darstellung der Routenkarte sehr begrenzt und die Auflösung mancher Displays gering ist, müssen beim Rendern der Symbole

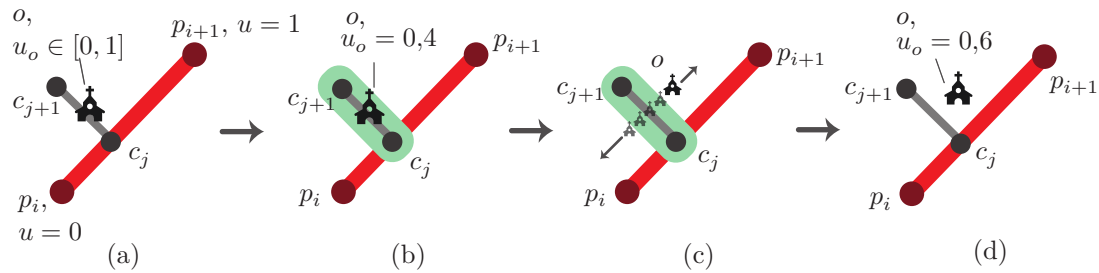


Abbildung 4.25: Verschiebung der Punkte, die den Mindestabstand zu Polylinien nicht einhalten. Punkt o mit $u_o \in [0, 1]$ ist entlang des Routensegments $[p_i, p_{i+1}]$ positioniert, wobei gilt: $u = 0$ bei Punkt p_i und $u = 1$ bei p_{i+1} (a), Test ob o im Polygon Buffer der Linie $[p_i, p_{i+1}]$ liegt (b), Verschieben des Punktes durch abwechselnde Erhöhung und Verringerung von u_o (c), bis eine Position u_o gefunden ist, die außerhalb des Buffers liegt (d).

gewisse Mindestdimensionen eingehalten werden (siehe Abschn. 3.2.2). Dies führt unweigerlich dazu, dass Orientierungspunkte oder Straßen mit Orientierungspunkten überlappen oder den Mindestabstand nicht einhalten.

Zunächst werden überlappende oder zu nah beieinander liegende Punkte ihrer Gewichtung nach so lange gelöscht, bis die Punkte mit höchster Priorität übrig bleiben, nicht mehr überlappen und den Mindestabstand zu umliegenden Punkten einhalten.

Die Reihenfolge der zu löschenden Punkte beruht auf deren Gewichtung $priority_o$ und der Anzahl ihrer Überlappungen $overlappings_o$. Damit Punkte in Akkumulationszentren mit vielen Überschneidungen und sehr hoher Priorität nicht vor solchen entfernt werden, die eine geringere Gewichtung aber weniger Überlappungen aufweisen, werden die beiden Faktoren folgendermaßen miteinbezogen:

$$weight_o = 5 \cdot priority_o - overlappings_o,$$

der Gewichtungsfaktor $priority_o$ setzt sich aus der Punktkategorie (siehe Tabelle 4.2) sowie der Position des Punktes zusammen, die Lage im Bereich eines Routenvertex erhöht die Priorität um 2.

Das Vorgehen zur Beseitigung von Punktüberlappungen erfolgt folgendermaßen: Die Anzahl der Überschneidungen eines jeden Punktes o wird ermittelt. Der Punkt mit der geringsten Gewichtung $weight_o$ mit mindestens einer Überlappungen $overlappings_o$ wird gelöscht. Anschließend werden die Überschneidungen aller Punkte erneut gezählt. Diese Schritte werden so lange ausgeführt, bis keine Punkte mehr überlappen.

Anschließend werden die Punkte entlang des ihnen zugeordneten Routensegments verschoben (*Verdrängung*), sollten diese nicht den Mindestabstand zu einer Liniengeometrie einhalten (Abb. 4.25 (a)).

Anhand einer Buffergeometrie mit dem Radius der Symbolgröße wird für jeden Punkt o überprüft, ob dieser den Mindestabstand zu allen Liniengeometrien einhält, der Abstand entspricht wie zuvor beschrieben dem Durchmesser der Punktsymbole in Realität.

Im Falle einer Überlappung des Punktes mit einer oder mehreren Liniengeometrien, erfolgt die Verschiebung (*Verdrängung*) abwechselnd in beide Richtungen entlang

des Routensegments, dem der Punkt zugeordnet ist. Da die relative Position u_o jeden Punktes in dessen Attributtabelle gespeichert ist, kann diese nun sequentiell erhöht und verringert werden, bis eine Position u_o gefunden wurde, bei dem der Punkt keine Überlappungen mehr aufweist. In diesem Fall wird der Punkt o auf seine neue relative Position u_o entlang des Segments verschoben.

Abbildung 4.24 zeigt die Kartenelemente nach Durchführung aller geometrischen Operationen die in den vorherigen Abschnitten beschrieben wurden. Überlappungen von Punkten sowie von Punkten mit Straßen müssen entfernt werden, damit die Mindestabstände zwischen Kartenelementen (siehe Abschn. 3.2.2) bewahrt werden. Auch unwichtige Kartendetails wie kleine Seitenstraßen überladen das Kartenbild und sind laut der Studie nicht wichtig für die Orientierung. Lediglich die wichtigsten Elemente bleiben nach diesem Schritt erhalten (b).

4.12 Aussehen der Kartenelemente

Der letzte Schritt vor dem Rendern der Karte ist die Zuweisung der Symbole und Signaturen der Kartenelemente (siehe Abb. 4.26). Durch die Generalisierungsvorgänge *Klassifizieren*, *Vergrößern* und *Bewerten* der Kartenelemente wird die Lesbarkeit sichergestellt und ein einheitliches und übersichtliches Kartenbild erzeugt. Für Demonstrationszwecke wurden die Geometrien auf den Abbildungen der vorherigen Abschnitte bereits in den entsprechenden Farben dargestellt, dies erfolgt in der Implementierung eigentlich erst in diesem Schritt.

Das Aussehen und die Symbole der einzelnen Kartenelemente ist in den Tabellen 4.1 und 4.2 in Abschnitt 4.4 dargestellt.

Die Symbole der Liniengeometrien werden anhand ihrer Farbe und Linienstärke unterschieden. Da das Hauptaugenmerk der fertigen Karte auf der Route liegen soll, ist diese als dicke rote Linie visualisiert. Die kreuzenden Straßen werden ihrer Kategorie, bzw. Größe nach in Grautönen und geringer werdenden Linienstärke dargestellt. „Große“

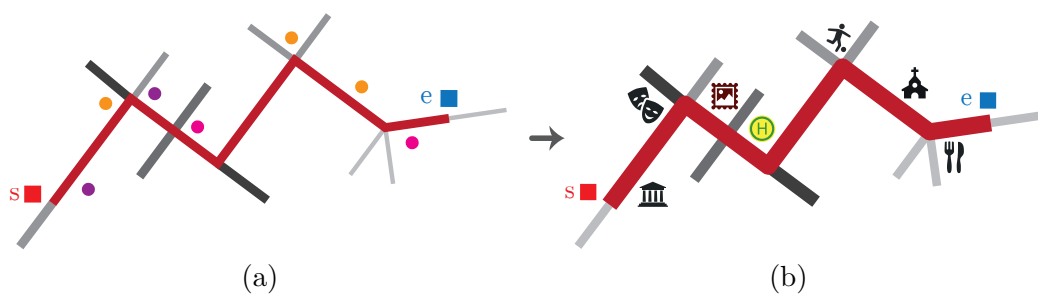


Abbildung 4.26: Zuweisung der Signaturen. Nach Durchführung aller Operationen zur Selektion und geometrischen Anpassung der Karteninhalte haben die Features kein differenzierbares Erscheinungsbild (die Farben und Linienstärken der bisherigen Abbildungen dienen nur der Veranschaulichung der Vorgehensweise des Skripts, kommen aber eigentlich erst in diesem Schritt zum Einsatz) (a), nach Zuweisung der Symbole kann beispielsweise ein Museum (rechts neben dem Startpunkt) oder ein Restaurant (Besteck links unterhalb des Endpunktes) identifiziert werden (b).

Straßen wie Autobahnen sind dunkelgrau und fast so dick wie die Route, Fußgängerwege hingegen hellgrau und dünn im Vergleich zur Route. Die Schweizer Gesellschaft für Kartographie gibt in ihren Richtlinien für digitale Karten eine Mindeststärke von Linien von 1 Pixel vor bei einer Pixelgröße von 0,3 mm [21]. Damit in den finalen Karten dieser Implementierung die einzelnen Straßenkategorien und Grautöne noch erkennbar sind, beträgt die Mindestgröße der dünnsten Straßenkategorie (Fußgängerwege, `highway==pedestrian`) bei sehr kleinen Karten 0,5 mm (*mapsize* < 20 mm), ansonsten beträgt die Linienstärke *line_strength* ein Fünzigstel der Kartengröße. Mit den Standardabmessungen 30 × 30 mm ist die Linie der dünnsten Straßenkategorie also 0,6 mm stark.

Mit dem regelbasierten `QgsRuleBasedRendererV2` der *QGIS-Core*-Bibliothek wird jedem Linien-Feature des Polylinien-Layers abhängig von einem bestimmten Attributwert (*expression*) eine Farbe (*color*) sowie eine Linienstärke (*line_strength*) zugewiesen:

```
road_rules = ( # label, expression, color, size
  ('Route', '"route" LIKE \'route\'', color_route, line_strength * 2), # ... etc.
  ('Pedestrian', '"highway" LIKE \'pedestrian\'', color_pedestrian, line_strength),
)
```

Die Punktsymbole liegen als Vektor-Grafiken im `.svg`-Format vor, diese haben den Vorteil, dass sie im Vergleich zu Rastergrafiken wie `.png` oder `.gif` ohne Qualitätsverlust beliebig skaliert werden können. Die Grafiken wurden in *Adobe Illustrator* erstellt und sollen den jeweiligen Orientierungspunkt mit ihrem bildhaften Aussehen repräsentieren, ohne dass eine Beschriftung zur Identifikation des Punktes notwendig ist. Die Größe der Punktsymbole beträgt, wie in Abschn. 4.11 erläutert, ein Zehntel der Kartengröße, bzw. 2 mm, wenn die gerenderte Karte kleiner ist als 20 × 20 mm. Damit wird sichergestellt, dass die Symbole die Mindestdimensionen der digitalen Kartographie einhalten (siehe Abschn. 3.2.2). Bei einer Pixelgröße von 0,3 mm müssen Punktsignaturen wie Quadrate oder Kreuze mindestens 5 pixel, also 1,5 mm groß sein, damit die Lesbarkeit gewährleistet wird [21]. Da die gängigen Smartwatch-Modelle jedoch mit Pixelgrößen von 0,07 bis 0,12 mm bereits eine wesentlich besserer Auflösung haben, die Symbole in dieser Implementierung jedoch sehr detailliert und bildhaft sind, wurde eine Punktsymbolgröße gewählt, die einem Zehntel der Kartengröße entspricht. Je mehr Kartenfläche also zur Verfügung steht, desto größer und besser lesbar sind die Orientierungspunkte. Deren Mindestgröße beträgt 2 mm, diese wird angewandt, sollte die Größe der Karte kleiner als 20 mm gewählt werden. Wenn die Kartengröße standardmäßig 30 mm beträgt, sind die Punktsymbole 3 mm groß.

Ähnlich wie bei den Linien-Features erfolgt die Zuweisung der Punktsymbole mit Hilfe der `QgsCategorizedSymbolRendererV2`-Klasse, dabei werden die Kategorien aller Punkt-Features des Punkt-Layers ermittelt und anhand des Wertes der Attributtabelle Spalte *category* wird jedem Punkt-Feature das jeweilige Symbol mit der entsprechenden Bezeichnung *category.svg* zugewiesen.

4.13 Rendern der Karte

Zur Darstellung auf einer Smartwatch wird die Karte im letzten Schritt des automatisierten Skriptes im Rasterbildformat .png gerendert. Wie in Abschnitt 4.11 beschrieben hat die gerenderte Karte eine Auflösung von 300 dpi bei einer standardmäßig eingestellten Größe von 30×30 mm bzw. 354×354 Pixel. Da die meisten Smartwatch-Modelle ein rundes Display besitzen, werden in dieser Implementierung rechteckige Displays, wie die der *Apple*-Smartwatch-Modelle, nicht berücksichtigt. Die finale Routenkarte ist für runde Displays optimiert, dazu wurde speziell ein kreisförmiger Rahmen um die Karte platziert, damit die Verhältnisse der Karteninhalte im Vergleich zum Platz auch analog eingesehen werden können.

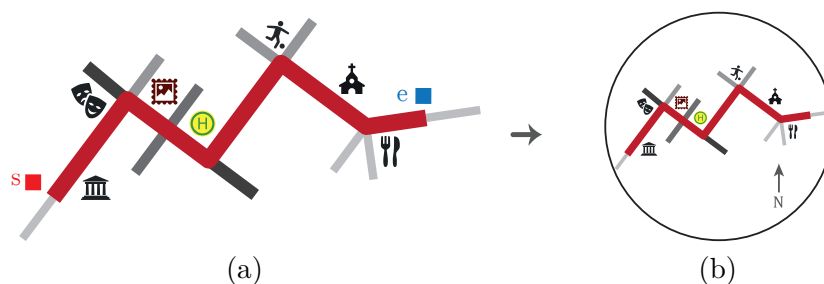


Abbildung 4.27: Nach Zuweisung der Kartensignaturen für Punkt- und Linien-Features (a), wird die finale Routenkarte mit einem Nordpfeil und einem repräsentativen runden Kartenrahmen versehen und im Rasterbildformat in der gewählten Größe in einer Auflösung von 300 dpi exportiert (b).

Des Weiteren wurde der Karte zusätzlich ein Nordpfeil hinzugefügt. Dieser soll die Orientierung auf der Route unterstützen. 79% aller Ergebniskarten der Studie waren nach Norden ausgerichtet, laut der Studie ist dies ein wirksames Mittel der Orientierung, aus diesem Grund wurde auch diese Karte statisch nach Norden ausgerichtet. Der Nordpfeil wird von der rechten oberen Ecke aus im Uhrzeigersinn in der nächsten freien Ecke platziert.

Eine weitere Ausrichtungsmöglichkeit wäre beispielsweise die Ausrichtung nach der Luftlinie von Start- und Endpunkt. Damit wäre der Startpunkt der Route am unteren Rand der Karte platziert und der Endpunkt am oberen. Dies entspräche einer statischen „Course-up“-Ausrichtung.

Bei einem Export in vektorisiertem Format wäre in der weiteren Implementierung auch denkbar, die Ausrichtung ähnlich wie in einem Autonavigationssystem der aktuellen Position auf der Route anzupassen, sodass die „Course-up“-Ausrichtung der Karte und der Symbole über GPS-Daten oder einen in der Hardware eingebauten Kompass dynamisch angepasst wird (siehe Abschn. 6.2).

Kapitel 5

Resultate

In diesem Kapitel werden einige Ergebniskarten des automatisierten Systems zur Generierung von Smartwatch-Routenkarten dargestellt und untersucht. Die Limitierungen des Systems beziehen sich sowohl auf inhaltliche Mängel als auch auf die Darstellung der Inhalte. Zwar wurden die gerenderten Routenkarten bisher noch nicht auf ihre praktische Funktionalität getestet, doch auf Basis der Analyse der Ergebniskarten können bereits einige Limitierungen erkannt und mögliche Verbesserungen konzipiert werden.

5.1 Routen im Vergleich

Alle in diesem Abschnitt dargestellten Routen sind die original generierten (Teil-) Ergebniskarten des Skripts, das in QGIS mit OpenStreetMap-Daten ausgeführt wurde, stellen Routen in der Innenstadt von Linz (Oberösterreich) dar und variieren unter anderem in Inhalt, Länge und Verlauf. Die gerenderten Ergebniskarten sind mit einem Durchmesser von 30 mm dargestellt, da zwar die meisten Smartwatches ein geringfügig größeres Display aufweisen, jedoch eine schlechtere Auflösung haben als die analoge Version dieser Arbeit.

Auf der beigelegten CD dieser Arbeit (siehe Anhang A) sind alle gerenderten Teilschritte jeder hier aufgeführten Route enthalten, am Beispiel der Route vom Hessenplatz zum Hauptplatz in Linz (siehe Abb. 5.1) werden diese einmalig vollständig dargestellt.

Einige Schritte der Pipeline aus Kapitel 4 sind zum Rendern der einzelnen Teilergebniskarten zusammengefasst worden (siehe Abb. 4.2). Des Weiteren sind in den Abbildungen der Teilschritte die Punktobjekte zur Veranschaulichung erst ab (g) sichtbar und Signaturen werden zur Veranschaulichung schon zu Beginn zugewiesen. Elementare Vorgänge der kartographischen Generalisierung sind *kursiv* geschrieben.

Zunächst wird die Route berechnet und die Linien- sowie Punkt-Features auf den Umkreis der Route reduziert (Abb. 5.1 (a)), bevor die Liniengeometrien nur noch auf diejenigen im direkten Zusammenhang mit der Route reduziert werden (*Auswahl* (siehe Abb. 5.1 (b))). Die Linien-Features werden „repariert“, bzw. zu einer QGIS Polylinien-Geometrie bestehend aus zwei Punkten umgewandelt (*Vereinfachen, Zusammenfassen*), damit die weiteren Berechnungen des Skripts auf alle Linien-Features gleichermaßen angewandt werden können (Abb. 5.1 (c)). Die *Vereinfachung (Glättung)* der Route erfolgt mit dem Douglas-Peucker-Algorithmus (Abb. 5.1 (d)), anschließend werden die Routen-

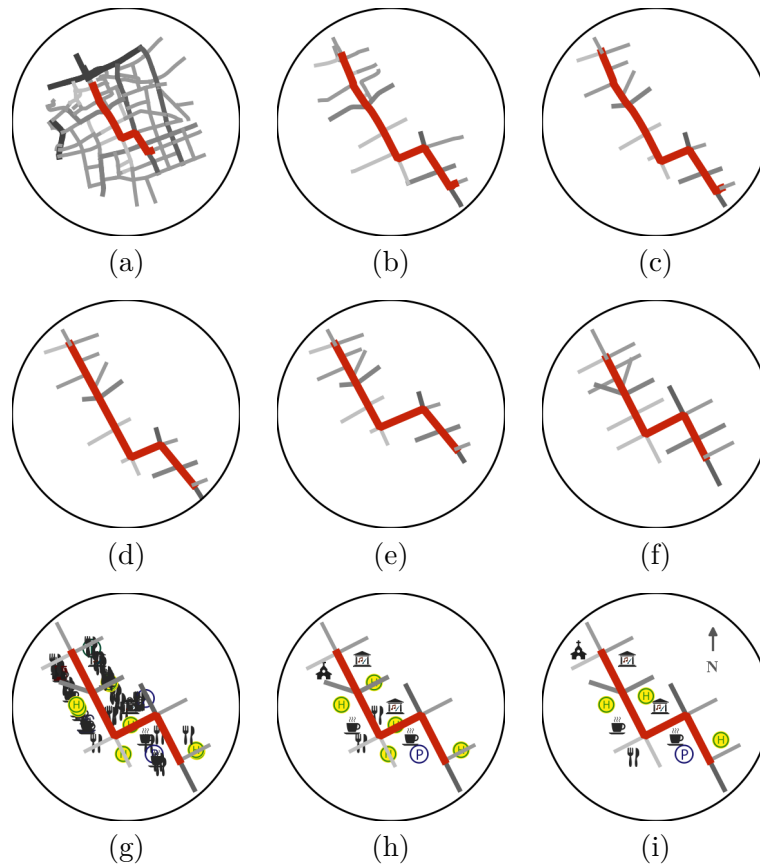


Abbildung 5.1: Pipeline des Skripts mit allen gerenderten Teilschritten von der Originalroute (a) bis zur Ergebniskarte (i) am Beispiel der Route vom Hessen- zum Hauptplatz in Linz mit $\varepsilon = 60$.

segmentlängen (Abb. 5.1 (e)), sowie die Winkel angepasst (Abb. 5.1 (f)). Die Platzierung der Punkte entlang der Route (*Verdrängen*) erfolgt bereits nach der *Vereinfachung* der Route in Schritt (Abb. 5.1 (g)), dies ist aber erst im Teilschritt (g) sichtbar. Die wichtigsten kreuzenden Straßen und Orientierungspunkte werden *ausgewählt* (Abb. 5.1 (h)), bevor Überlappungen beseitigt werden (*Verdrängen*), der Nordpfeil eingefügt und die Karte zur Darstellung auf einer Smartwatch gerendert wird (Abb. 5.1 (i)).

Da der Wert von ε (Grad der Routenvereinfachung) standardmäßig auf 60 gesetzt ist, sind nicht alle Routenkarten für ihre jeweiligen Gegebenheiten optimiert (siehe Abschnitt 5.4). Abhängig von Länge und Verlauf der Route sind einige Ergebnisse zu detailliert, während es anderen an Orientierungselementen mangelt. Abbildung 5.2 zeigt die Route der Pipeline mit $\varepsilon = 60$ (b) und $\varepsilon = 30$ (c). Der Wert dieses Parameters wirkt sich nicht nur auf den Detailgrad der Routensegmente aus, sondern auch auf die abgebildeten Orientierungspunkte, die abhängig vom Platzangebot und den dargestellten Querstraßen ausgewählt und platziert werden.

Besonders bei langen Routen mit vielen Abbiegungen und kurzen Routensegmenten wirkt sich ε stark auf die Darstellung und die Inhalte der Karte aus. Problematisch

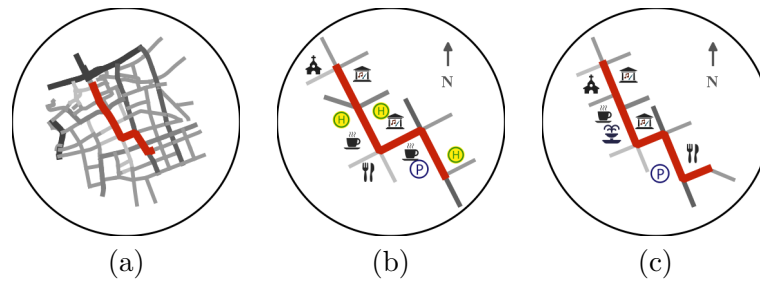


Abbildung 5.2: Fußgängerrourenkarte der Route vom Hessenplatz zum Hauptplatz in Linz: Nach Berechnung der Route und Reduzierung auf Features im Umkreis (a), die Ergebniskarte mit $\varepsilon = 60$ (b) und $\varepsilon = 30$ (c).

bei solchen Routen ist, dass die Übersichtlichkeit sowie die Lesbarkeit bei einer hohen Anzahl von Abbiegungen und Querstraßen nicht mehr gewährleistet werden kann. Eine Reduzierung der Straßendetails führt zwar zu einer Verbesserung der Übersichtlichkeit, doch die Wirklichkeitstreue der Karte nimmt mit ansteigendem Abstraktionsgrad stetig ab. Während sich die Routenkarten der kurzen Route vom Hessen- zum Hauptplatz (Abb. 5.2) noch recht ähnlich sehen, ist bei den Karten der Strecke von der Familienkirche zum Linzer Schloss (Abb. 5.3) auf den ersten Blick nicht viel Ähnlichkeit zu erkennen. Ob eine so stark abstrahierte Route wie in Abbildung 5.3 (c) noch ausreichend zur Navigation ist muss in einer weiteren Studie evaluiert werden.

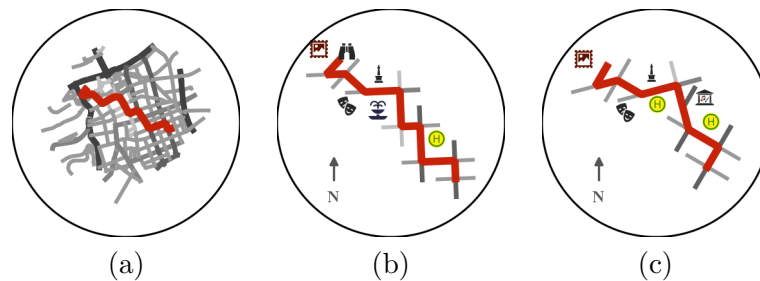


Abbildung 5.3: Routenkarte vom Schloss zur Familienkirche in Linz. Berechnete Route ohne Generalisierung (a), Ergebniskarte des Skripts mit $\varepsilon = 60$ (b) und $\varepsilon = 100$ (c).

Die Bewertung der einzelnen Ergebniskarten erfolgt anhand mehrerer Faktoren:

- *Verlauf*: Stimmt der grobe Verlauf mit der Originalroute überein?
- *Vollständigkeit*: Sind die wichtigsten Kreuzungen und Orientierungspunkte erhalten?
- *Mindestdimensionen*: Sind die Mindestdimensionen und Abstände eingehalten worden, sind Überlappungen vorhanden?
- *Lesbarkeit*: Sind alle Kartenelemente erkennbar und zu unterscheiden?
- *Abstraktionsgrad*: Könnte die Karte noch weiter abstrahiert werden (ohne den Verlust wichtiger Informationen und Inhalte) oder wurde sie zu stark abstrahiert?

Die Anzahl der dargestellten Orientierungspunkte hängt neben dem Vorhandensein

von möglichen Punkten in der Realität auch stark von der Länge und dem Verlauf der Route ab. Je mehr Hauptverkehrsachsen die Route kreuzen, desto weniger Orientierungspunkte werden dargestellt. Kurze Routen mit wenig Abbiegungen müssen nicht so stark abstrahiert werden wie besonders lange, dementsprechend sind diese auch übersichtlicher und wirklichkeitsgetreuer. Die folgenden Abbildungen zeigen einige positive Beispiele ausgewählter Strecken in Linz (siehe Abbildungen 5.4 – 5.8).

Die Ergebniskarte der Route vom Parkbad zum Hessenplatz in Linz (Abb. 5.4) ist ein gutes Beispiel dafür, dass die Richtung und der Verlauf der Route ungefähr erhalten bleibt, trotz Anpassung der Winkel im 45° -Intervall. Die wichtigsten Kreuzungen sowie einige Orientierungspunkte sind in dieser Karte enthalten. Die Länge der Liniengeometrien sowie Größe der Punktsignaturen entspricht den vorgegebenen Mindestdimensionen, allerdings ist der Abstand der Brunnensignatur zur Straße etwas gering.

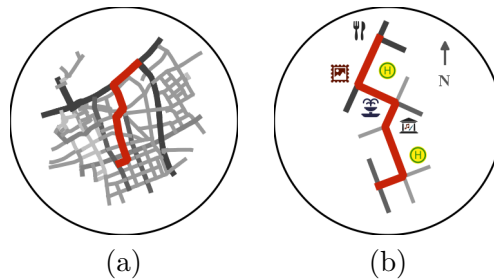


Abbildung 5.4: Die originale Route Parkbad – Hessenplatz (a) und Ergebniskarte mit $\varepsilon = 60$ (b).

Die Karte der Route vom Europaplatz zum Volksgarten (Abb. 5.5) enthält wenig signifikante Orientierungspunkte und nutzt stattdessen die „großen“ Kreuzungsstraßen als Anhaltspunkte. Diese Karte zeigt deutlich, dass ein variabler Maßstab durchaus sinnvoll ist, denn der lange, beinahe horizontale Streckenabschnitt wurde in der Karte deutlich verkürzt im Gegensatz zum kurzen Streckenabschnitt vor dem Volksgarten. Die Lesbarkeit beider Routensegmente wird dadurch eindeutig gewährleistet.

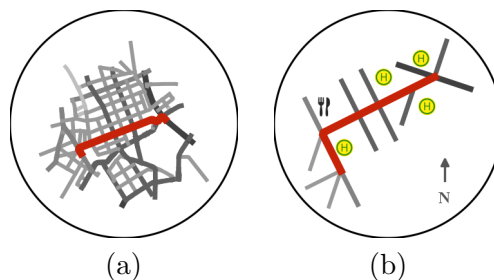


Abbildung 5.5: Die Route vom Europaplatz zum Volksgarten: Durch die Längen Anpassung und den variablen Maßstab sind alle Streckenabschnitte erkennbar.

Ein weiteres Beispiel für den wirksamen Einsatz der Längen Anpassung stellt Abbildung 5.6 dar. Dabei wurden das kurze Anfangs- und Endsegment der Route so sehr verlängert, dass sie die berechnete Mindestlänge einhalten.

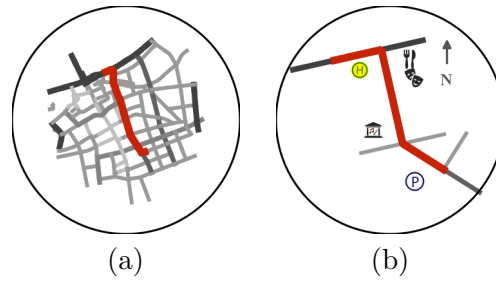


Abbildung 5.6: Originalroute (a) und Ergebniskarte (b) der Route Lentos – Hessenplatz.

Etwas viel Platz am Rand verschenkt die Routenkarte vom Mariendom zur Familienkirche in Linz (siehe Abb. 5.7). Die Lesbarkeit ist allerdings dank Mindestdimensionen noch gewährleistet.

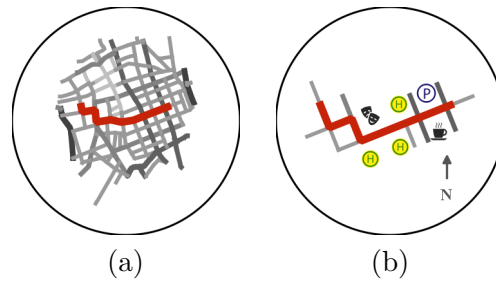


Abbildung 5.7: Originalroute vom Mariendom zur Familienkirche (a) und Ergebniskarte (b).

Relativ viele Routendetails zeigt die in Abbildung 5.8 (b) dargestellte Routenkarte vom Volksgarten zum Hessenplatz. Hier wäre die Wahl eines höheren Wertes für ε nötig, um sie weiter zu abstrahieren, jedoch wären dann die Abbiegungen nicht mehr klar aus der Karte ersichtlich.

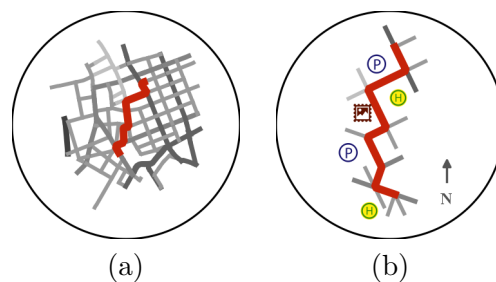


Abbildung 5.8: Route Volksgarten – Hessenplatz: Original- (a) und Ergebniskarte (b).

5.2 Negativbeispiele

Bei einigen Ergebniskarten sind kleine Mängel aufgefallen, beispielsweise fehlt in Abbildung 5.9 eine wichtige Kreuzungsstraße, diese ist nach Beseitigung doppelter Straßengeometrien entfernt worden. Zwar werden im Skript einige Fälle berücksichtigt (siehe Abschn. 4.6), bei denen Geometrien „repariert“ bzw. vereinfacht werden (Brücken, Unterführungen, mehrspurige Straßen, etc.), doch diese Fälle werden einzeln untersucht und bereinigt. Im Bereich zwischen der Nibelungenbrücke und der Unteren Donaulände in Linz liegen jedoch mehrere dieser Gegebenheiten vor, die Straßen sind mehrspurig, es gibt Unter- sowie Überführungen und die Straßenführung ist sehr komplex. Dies wurde im bisherigen System noch nicht berücksichtigt.

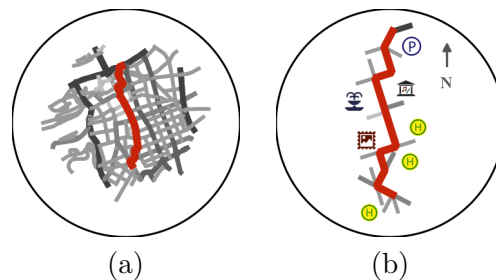


Abbildung 5.9: Bei der Ergebniskarte der Strecke vom Lentos zum Volksgarten (b) fehlt eines der wichtigsten Orientierungselemente – der linke Teil der als **primary** klassifizierten Kreuzungsstraße am oberen Kartenrand.

Auch die Darstellung der Route vom Hauptbahnhof zum Mariendom (Abb. 5.10) ist nicht zufriedenstellend. Aufgrund der Winkel- und Straßenlängen Anpassung entsteht unterhalb des Haltestellen-Symbols eine Überschneidung zweier Straßen. Auch liegt hier ein Fehler bei Berechnung der Ausdehnung vor, da im rechten Kartenbereich relativ viel freie Fläche verloren geht, diese sollte stattdessen genutzt werden um die Elemente größer darzustellen, um die Lesbarkeit der Kartenelemente zu gewährleisten.

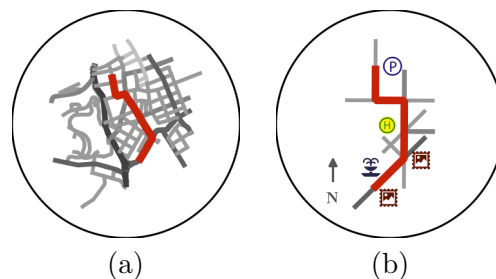


Abbildung 5.10: Hauptbahnhof zum Mariendom: Originale Route (a) und abstrahierte Ergebniskarte (b).

Die abstrahierte Route zwischen dem ArsElectronicaCenter und dem Europaplatz (Abbildung 5.11 (b)) hat einen etwas ungewöhnlichen Verlauf, im Vergleich zur Originalroute scheint gerade im unteren Bereich der Karte mehr Abstraktion nötig um die

vielen Querstraßen und Abbiegungen korrekt darzustellen. Auch die Visualisierung von weiteren linearen Objekten wie Fließgewässern würde die Orientierung auf dieser Route fördern, da in den Linzer Studienergebnissen die Donau häufig als Orientierungshilfe abgebildet wurde.

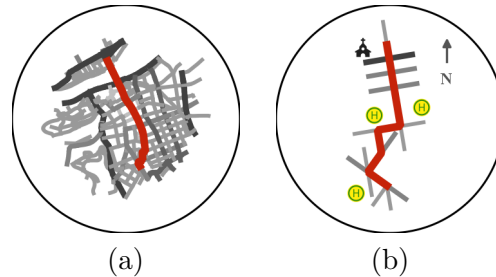


Abbildung 5.11: Originale Routenkarte (a) und Ergebniskarte (b) der Strecke vom ArsElectronica Center zum Europaplatz.

Ein großes Problem stellen Straßen mit einem serpentinartigen Verlauf dar, wie im Beispiel der Route vom Mariendom zum Botanischen Garten (Abbildung 5.12). Bei dem standardmäßig gesetzten $\varepsilon = 60$ wird der grobe Verlauf der Strecke relativ gut bewahrt. Möchte man diesen Streckenabschnitt jedoch komplett vereinfachen, reicht eine bloße Erhöhung von ε nicht aus (siehe Abb. 5.12 (c) und (d)). Zu viele wichtige Routendetails gehen dabei verloren und die Strecke wird zwar geglättet doch in Kombination mit der Winkelanpassung erfolgt eine Überlagerung der Routenabschnitte, was dazu führt, dass die Karte sehr unübersichtlich und unverständlich wird. Ob die Wiedergabe solcher serpentinartigen Wegabschnitte für die Navigation überflüssig ist oder nicht muss in einer praktischen Studie getestet werden. In den Kartenskizzen der zweiten Bielefelder Route wurden ähnliche Wege in der Nähe der *Sparrenburg* vereinzelt relativ wirklichkeitsgetreu dargestellt.

Zur Überprüfung auf seine Funktionalität ist eine Evaluierung des Systems notwendig. Die bisherigen Analysen waren nur theoretisch, ob die Routenkarten sich auch in der Praxis zur Navigation eignen, muss erst noch evaluiert werden.

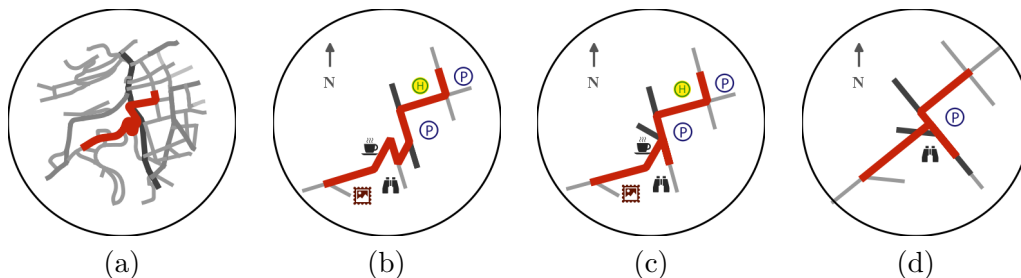


Abbildung 5.12: Bei der Route vom Mariendom zum Botanischen Garten verursacht der serpentinartige Wegabschnitt Probleme: Originale Route (a), Ergebniskarte mit $\varepsilon = 60$ (b), $\varepsilon = 80$ (c) und $\varepsilon = 100$ (d).

5.3 Limitierungen

Die generierten Routenkarten wurden nur für einen Zweck konzipiert: Die Navigation von einem Start- zum Endpunkt im innerstädtischen Bereich, in welchem das Straßennetz und vorhandene signifikante Orientierungspunkte zur Navigation und Orientierung dargestellt werden können. Die Zielgruppe sind ortsfremde Fußgänger und die Karten sind für Smartwatches mit kleinen, runden Displays optimiert.

Die Routenkarten eignen sich nicht gut für Sightseeing oder Spaziergänge ohne konkretes Ziel, da lediglich die Art der Orientierungspunkte und Straßentypen dargestellt ist, nähere Informationen wie Objektbezeichnungen, welche zur eindeutigen Identifikation nötig sind, wurden zum aktuellen Zeitpunkt noch nicht implementiert. Des Weiteren wird nur die berechnete Route und die direkt damit zusammenhängenden Nebenstraßen und Orientierungspunkte abgebildet. Abweichungen von der Route wurden nicht berücksichtigt. Durch Einbindung von GPS-Positionen und Darstellung der aktuellen Position kann dies abgefangen werden.

Ein Kritikpunkt an der hohen Abstraktion, den wenigen Karteninhalten und der statischen Ausrichtung der Karten ist die notwendige Voraussetzung einer einigermaßen vorhandenen Orientierungsfähigkeit der Nutzer. Technische Hilfsmittel wie in einigen Smartwatch-Modellen integrierte Gyroskope oder GPS-Sensoren können hierbei Abhilfe schaffen, denn die ständige Identifikation von Position und Nordrichtung in der Stadt ist ohne Kompass bei Bewölkung oder nachts schwierig. Der variable Kartenmaßstab und die Reduzierung auf die wichtigsten Kartendetails könnten bei Nutzern, die detaillierte topographische Karten gewohnt sind, anfangs zu Schwierigkeiten bei der Nutzung der Routenkarten führen.

5.4 Verbesserungen

90% aller Studienteilnehmer/innen nutzen ihr Smartphone, um zu Fuß einen Weg zu finden. Vorteile von Kartenapplikationen auf modernen Smartphones sind beispielsweise die Nutzung eingebauter Sensoren zur genauen Lage- und Richtungsbestimmung. Auch einige Smartwatch-Modelle verfügen bereits über solche Hardwarekomponenten und in Zusammenspiel mit der abstrahierten Routenkarte können sie das Navigationserlebnis des Nutzers/ der Nutzerin zusätzlich verbessern.

Einige Inhalte, welche die Orientierung und Nutzbarkeit der Routenkarten auf Smartwatches fördern aber zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht implementiert wurden, sind:

- *Maßstab*: Eine Angabe über die Länge der Strecke und der einzelnen Streckenabschnitte (Zeit oder Distanz).
- *Legende*: Eine Übersicht über die Bedeutung der verwendeten Signaturen, denn nicht alle Nutzer sind geübte Kartenleser, welche die Signaturen eindeutig identifizieren können.
- *Position*: Die Darstellung der aktuellen GPS-Position der Nutzer in der Karte würde die Nutzung dieser erheblich vereinfachen.
- *Signaturenstil*: Die Anpassung der Signaturen zu skizzenhaften Darstellungen könnte den Abstraktionsgrad der Karte hervorheben und diese eindeutig als Kartenskizze erkennbar machen, die auf das wichtigste reduziert ist.

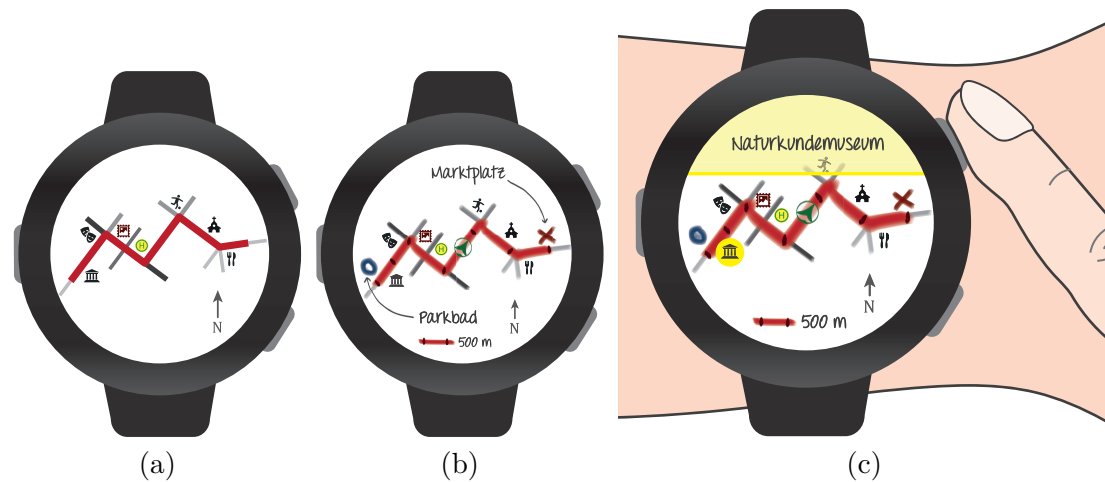


Abbildung 5.13: Mögliche Verbesserungen der Routenkarte. Aktueller Stand (a), Implementierung von skizzenhaften Liniensignaturen, Integration von aktueller Position, Start- und Endpunkt sowie Distanzangaben (b) und mögliche Interaktion durch Einblendung zusätzlicher Informationen über die Orientierungspunkte (c).

- *Start- und Ziel:* Durch die Darstellung vom Start- und Zielpunkt wird die Richtung des Routenverlaufs eindeutig.
- *Infos durch Interaktion:* Durch Interaktionen mit der Smartwatch könnten zusätzliche Infos, wie Namen der Orientierungspunkte oder Straßen einblendet werden, diese würden die Orientierung unterstützen und Unklarheiten beseitigen (z.B. bei mehreren gleichen Orientierungspunkten in Realität und nur einem auf der Karte). Eine statische Beschriftung der Kartenelemente wäre damit nicht nötig.
- *Routen glättung:* Automatische Berechnung von ε abhängig von Routenlänge, Streckenverlauf, geometrischen und geographischen Gegebenheiten.

Abbildung 5.13 zeigt neben der momentanen Version der Implementierung (a) auch eine verbesserte Variante (b), die neben einem skizzenhaften Liniensignaturstil beispielsweise auch die aktuelle Position des Kartennutzers darstellt. Die schemenhafte Darstellung wie in einer Zeichnung soll verdeutlichen, dass die Route nur eine abstrahierte Version der Realität ist. Durch das Einfügen des Start- und Endpunktes der Route wird deren Verlauf eindeutig, Richtungsangaben durch Pfeile o.ä. sind dann nicht mehr notwendig, außer bei der Beschriftung von Start- und Endpunkt, die abhängig vom verfügbaren Platz zur eindeutigen Identifikation mit Beschriftungspfeilen erfolgen kann. Auch eine Angabe der Distanzen ist hilfreich zur Navigation auf der Route. Statt diese mit Wörtern einzubinden, könnte diese durch Markierungen auf der Route dargestellt werden. Da ein variabler Maßstab durch die Anpassung der Routensegmentlängen vorliegt, ist es nicht möglich, die Längen auf der Karte mit einem gewöhnlichen graphischen Maßstabsbalken abzubilden. Zusätzlich könnte der Nutzer mit Hilfe eines einfachen Interaktionsmechanismus Informationen über die einzelnen Orientierungspunkte und Straßen erhalten. Dies könnte zum Beispiel durch einfaches Klicken eines Hardware-Buttons realisiert werden, mit dem einzelne Kartenelemente ausgewählt und Details darüber einblendet werden können (c).

Kapitel 6

Zusammenfassung

6.1 Fazit

Das Ziel dieser Arbeit bestand darin, ein System zu entwickeln, welches automatisiert für Smartwatches optimierte Routenkarten generiert, die von ortsfremden Fußgängern zur innerstädtischen Navigation genutzt werden können. Dieses System basiert unter anderem auf den Erkenntnissen einer Studie, die konzipiert wurde, um die gängigen Generalisierungs- und Abstraktionstechniken in handgezeichneten Routenkarten zu untersuchen und darauf aufbauend ein Designkonzept für die Routenkarte zu entwickeln. Auch kartographische Darstellungsregeln und Mindestdimensionen wurden berücksichtigt, um die Les- und Nutzbarkeit der Karten zu gewährleisten. Die Problematik bei Smartwatches liegt hauptsächlich in ihrem kleinen Display und dessen teilweise geringen Auflösung. Bei einem Durchmesser von etwa 3 bis 3,5 cm sind gängige Smartwatchmodelle einfach zu klein, um eine detaillierte Karte lesbar darzustellen, obwohl viele der verbreiteten und verfügbaren Kartenapplikationen lediglich verkleinerte Versionen der Smartphone-Karten sind. Auch die ständige Interaktion mit dem Gerät, die erforderlich ist, um den gewünschten Inhalt einer „normalen“ Karte der jeweiligen Situation angepasst darzustellen eliminiert den Vorteil dieser „Wearables“, welcher darin liegt, beide Hände zur Verfügung zu haben und die Aufmerksamkeit auf die Umgebung richten zu können. Neue Darstellungs- und Abstraktionstechniken sind aus diesem Grund unabdingbar und wurden in dieser Arbeit auf ihre Anwendbarkeit hin untersucht.

Gängige kartographische Generalisierungstechniken wie die *Auswahl* wichtiger Kartenelemente, *Vereinfachung* bzw. *Glättung* von linearen Objekten und *Verdrängung* von Punkten in Folge von anderen elementaren Vorgängen sind nur einige Beispiele der implementierten Techniken, die zur Vereinfachung der Karteninhalte notwendig waren. Neben diesen kartographischen Generalisierungsmethoden wurden auch weitere Abstraktionstechniken genutzt, um die Inhalte noch stärker zu vereinfachen und übersichtlich sowie lesbar zu gestalten. Dies wurde unter anderem durch Anpassung der Linienlängen und Winkel sowie der Nutzung eines variablen Maßstabs erreicht.

Ein Vorreiter dieser Art der Routendarstellung ist das System LineDrive [1], welches eine große Inspiration für diese Arbeit war, jedoch für Autonavigation auf PDAs konzipiert wurde. Die Idee der Anwendung eines variablen Maßstabs zur Sicherung der Lesbarkeit von kurzen Routenabschnitten wurde von dort aufgegriffen und für die

Smartwatchkarten entsprechend entwickelt. Lange Routenabschnitte werden verkürzt und kurze verlängert, sodass alle Teile der Route auf dem kleinen Smartwatchdisplay zu erkennen sind.

Liniennetzpläne von öffentlichen Verkehrsmitteln stellen eine weitere Quelle der Inspiration dar. Die Inhalte dieser Pläne sind auf den groben Streckenverlauf, Haltestellen und wichtige Orientierungspunkte (meistens für Touristen wichtige Punkte wie Bahnhöfe oder zentrale Sehenswürdigkeiten) beschränkt. Starke Vereinfachung der Route und Anpassung der Winkel werden dabei zum Zwecke der Übersichtlichkeit genutzt.

Neben diesen Inspirationsquellen wurde die konzipierte Studie auf verschiedenste Faktoren hin untersucht und viele der häufig gefundenen Techniken und Darstellungsmethoden in algorithmischer Form implementiert. Das System besteht aus einem Python-Skript, welches auf Basis von frei verfügbaren OpenStreetMap-Daten eine Route zwischen zwei Punkten derart generalisiert und vereinfacht, so dass die schlussendlich generierte Kartenskizzen liniennetzplanartig den groben Verlauf der Route mit den wichtigsten Straßenkreuzungen und Orientierungspunkten darstellt.

Eindeutig aus der Studie hervorgegangen sind die Tatsachen, dass eine Reduzierung der Inhalte auf das Wesentliche notwendig ist und dass die Abstraktion und Vereinfachung der Inhalte nicht nur die Lesbarkeit sondern auch die Übersichtlichkeit der Karte unterstützt. Die Verwendung eines einheitlichen Maßstabs hingegen ist nicht erforderlich.

Insgesamt war die durchgeführte Studie recht eindeutig und hilfreich bei der Konzeption des Kartendesigns, doch die vielen unterschiedlichen Routen des ersten Teils der Studie haben die Auswertung erschwert. Die Studienteilnehmer/innen sollten ohne Beeinflussung einer vorgegebenen Route oder kartographischer Hilfsmittel die Route frei aus dem Gedächtnis zeichnen. Das Fehlen einer konkreten Vorgabe bezüglich der Darstellungsmethode der Kartenskizzen hat zu einigen Ergebnissen geführt, die stark von den Erwartungen abgewichen sind, beispielsweise durch die Verwendung vieler textbasierter Navigationshinweise anstelle von graphischen Darstellungen. Nichtsdestotrotz hat dies wichtige Einblicke in die Nutzung verschiedenster Darstellungsmethoden gewährt.

Die finale Version des Skripts hat zwar einige Limitierungen, doch die meisten generierten Ergebniskarten stellen die Anforderungen an eine gute Fußgängerrouutenkarte für Smartwatches in der Theorie größtenteils zufrieden und enthalten die notwendigen Inhalte zur Navigation entlang der Route. Lesbarkeit und Übersichtlichkeit werden durch die starke Vereinfachung und Reduzierung auf die wichtigsten Inhalte gewährleistet und die zusätzliche Abstraktion sorgt für ein klar strukturiertes Kartenbild. Zwar werden einige Anforderungen der traditionellen Kartographie nicht länger vollständig berücksichtigt (z.B. Wirklichkeitstreue und Vollständigkeit), doch für diesen speziellen Anwendungszweck und die Limitierungen durch die Displaygröße müssen klassischen Richtlinien über Bord geworfen und neue Darstellungsmethoden verwendet werden. Die moderne Kartographie muss sich den technischen Neuerungen anpassen, damit Karten für den jeweiligen Verwendungszweck und das Endgerät optimiert entwickelt werden können.

Verbesserungen wie die Einbindung der aktuellen Position, des Start- und Endpunktes oder Distanzmarkierungen würden die Nutzung der Routenkarten zusätzlich optimieren, jedoch würde das Kartenbild dementsprechend auch voller und unübersichtlicher

werden. Ob und welche Verbesserungen in Zukunft noch implementiert werden, hängt auch von einem praktischen Test ab, denn in der Praxis müssen die Ergebniskarten erst noch evaluiert werden.

6.2 Ausblick

Um das System der Smartwatch-Fußgängerrourenkarten noch zu perfektionieren, sind sicherlich weitere Verbesserungsmöglichkeiten vorhanden. In Abschnitt 5.4 wurden einige davon erläutert. Vor dem Testen auf Praxistauglichkeit der Routenkarten sollten zumindest die Darstellung von Start- und Endpunkt auf den Kartenskizzen implementiert werden. Auch die automatische Berechnung der Variable ε (Stärke der Routenglättung) anhand des Routenverlaufs und den vorhandenen Bedingungen, sollte noch integriert werden, damit das Skript vollautomatisiert ausgeführt werden kann. Einige Algorithmen, wie beispielsweise der zur Reparatur der Liniengeometrien, haben noch Optimierungsbedarf, sodass nicht nur einzelne Fälle (z.B. Brücken oder mehrspurige Straßen) behandelt werden sondern auch wenn diese in Kombination vorliegen.

Die Studie zum Testen der gerenderten Routenkarten in der Praxis würde Aufschluss darüber geben, ob die Abstraktionstechniken und Generalisierungsmethoden, die in handgezeichneten Routenkarten gefunden und im Skript implementiert wurden, auch in der praktischen Nutzung eine gute Orientierung entlang der Route und Navigation zum Ziel ermöglichen.

Wenn die nötigen Verbesserungen durchgeführt wurden und die Ergebniskarten zufriedenstellend getestet wurden, kann das System auch in einem anderen Umfeld implementiert werden. Die Nutzung des open-source GIS-Systems QGIS in Kombination mit dem Python-Skript ist keine finale Lösung, um das System beispielsweise in Echtzeit direkt von der Smartwatch aus zu nutzen. Je nach Plattform und Anbindung an eine Datenbank mit räumlichen Daten können zum Beispiel Lösungen in Java (Android) oder C++ (Tizen für Samsung-Smartwatches) auf Basis der in dieser Arbeit verwendeten, verbesserten oder entwickelten Algorithmen zur Darstellung der Karteninhalte implementiert werden.

Anhang A

Inhalt der CD-ROM

Format: CD-ROM, Single Layer, ISO9660-Format

A.1 PDF-Dateien

Pfad: /

Drummer_Sophie_2018.pdf Masterarbeit

A.2 Studie

Pfad: /Studie/

Bielefeld/ 13 Studienbögen (BF_Nr.pdf)
Karlsruhe/ 9 Studienbögen (KA_Nr.pdf)
Linz/ 15 Studienbögen (LI_Nr.pdf)
Ulm/ 14 Studienbögen (UL_Nr.pdf)
Auswertung.xlsx Excel-Auswertung der Studie

A.3 Ergebnisse

Ergebniskarten einiger exemplarischer Routen in Linz inklusive aller Teilschritte von der `1_resultmap_Start_End_original_route.png` bis zu `13_resultmap_Start_End_result.png` mit $\varepsilon = 60$.

Pfad: /Ergebnisse/

aec_vog/ Route vom ArsElectronicaCenter zum Volksgarten
eup_pab/ Route vom Europaplatz- zum Parkbad
eup_vog/ Route vom Europaplatz zum Volksgarten
hbf_mad/ Route vom Hauptbahnhof zum Mariendom
hep_hap/ Route vom Hessen- zum Hauptplatz
hep_hap_e30/ Route vom Hessen- zum Hauptplatz ($\varepsilon = 30$)

hep_vog/	Route vom Hessenplatz zum Volksgarten
len_hep/	Route vom Lentos zum Hessenplatz
len_vog/	Route vom Lentos zum Volksgarten
mad_bog/	Route vom Mariendom zum Botanischen Garten
mad_fak/	Route vom Mariendom zur Familienkirche
pab_hep/	Route vom Parkbad zum Hessenplatz
sch_fak/	Route vom Schloss zur Familienkirche
vog_hep/	Route vom Volksgarten zum Hessenplatz

A.4 Projekt

Das Masterthesis-Projekt inklusive Inputdaten und Anleitung zum Aufsetzen von QGIS und Integration der OpenStreetMap-Daten zum Ausführen des Skript, das automatisch für Smartwatches optimierte Routenkarten generiert.

Pfad: /Projekt/

Drummer_Smartwatch_Map_Renderer.py	Python-Skript zum Generieren von Smartwatch-Routenkarten in QGIS
Installation_Guide.pdf	Anleitung zum Aufsetzen von QGIS
readme.txt	Kurzfassung des Masterthesis-Projekts

Pfad: /Projekt/Data/

Linz_Line_Features/ .	Auswahl der OpenStreetMap-Linien-Features zur Verwendung in QGIS (Ausschnitt der Linzer Innenstadt)
Linz_Point_Features/ .	Auswahl der Linzer OSM-Punkt-Features zur Verwendung in QGIS (Inhalt analog zu Linien-Features)
Linz_Start_End_Points/	Auswahl von Punkt-Features zur Verwendung als Start- und Endpunkt der Routen
Example_Output_Hauptplatz_Hessenplatz/	Exemplarische Ausgabe des Skripts mit Linien- und Punkt-Features der Route und (Teil-)Ergebniskarten
svg/	SVG-Signaturen zum Rendern der Smartwatch-Routenkarten

Pfad: /Projekt/Data/Linz_Line_Features/

linz_lines_selection.shp	Shapefile, beinhaltet Geometrien
linz_lines_selection.dbf	enthält Attribute im dBase Format
linz_lines_selection.shx	Indexdatei
linz_lines_selection.prj	Projektionsinformationen (Mercator-Projektion)
linz_lines_selection.qpj	enthält alle Parameter des verwendeten Koordinatenreferenzsystems (EPSG:3785, Mercator-Projektion)

A.5 Online-Quellen

Pfad: /Online-Quellen/

- Geofabrik_30.pdf . . . Download OpenStreetMap data for this region Austria [30]
- Geofabrik_29.pdf . . . Data Extracts - Technical Details [29]
- geoinformation.net_31.pdf Kartographische und Modellgeneralisierung [31]
- Mac_Rumors_32.pdf . Artikel: Apple Watch Outsold All Competing Smartwatches Combined Last Year [32]
- QGIS_17.pdf PyQGISDeveloperCookbook Version 2.18 [17]
- QGIS_18.pdf QGIS 2.18 UserGuide[18]

A.6 Grafiken der Thesis

In diesem Verzeichnis befinden sich alle in dieser Arbeit eingebundenen Bilder und Grafiken. Letztere liegen im pdf-Format vor, welches eine Bearbeitung z.B. mit *Adobe Illustrator* erlaubt.

Pfad: /Grafiken/

- grafikname.pdf Bezeichnungsschema der Grafik-Dateien dieser Arbeit

Anhang B

Studie (Linz)

Die Grundlage des implementierten Systems bilden die Ergebnisse der Studie, die untersucht, wie Leute heutzutage Routenkarten für Fußgängernavigation skizzieren. Hauptaugenmerk lag bei der Analyse darauf, welche Generalisierungsmethoden intuitiv verwendet wurden, um eine Route aus dem Kopf oder mit einer Vorlage auf eine begrenzte Zeichenfläche zu übertragen (siehe Kap. 3). Die Studie wurde für vier verschiedene Städte erstellt, deren unterschiedliche geographischen und geometrische Gegebenheiten zu einer breiten Varianz von Ergebnissen führt. Für jede der folgenden Städte mussten zwei Routen aus dem Kopf gezeichnet werden (Seite 97) sowie zwei Routen einer unbekanntes, vorgegebenen Strecke in Wien (98).

Dabei wurden als Start- und Zielpunkt Orte gewählt, die als Sehenswürdigkeiten sowohl einheimischen Studienteilnehmer/innen als auch ortsfremden Tourist/innen bekannt sind, wodurch das Szenario der Studie möglichst real gestaltet wurde. Diese Orte ergaben sich aus Gesprächen mit Einheimischen sowie durch Recherche der bedeutendsten Sehenswürdigkeiten der Städte (Tabelle B.1).

Tabelle B.1: Die Städte der Studie den dazugehörigen Routen.

<i>Stadt</i>	<i>Route</i>
Linz	Musiktheater → Tabakfabrik
	Lentos → Mariendom
Ulm	Theater → Rathaus
	Münsterplatz → Metzgerturn
Karlsruhe	Schloss Gottesaue → Schloss Karlsruhe
	KIT → Friedrichsplatz
Bielefeld	Kunsthalle → Rathaus
	Sparrenburg → Alter Markt
Wien	Hofburg → Karlskirche

STUDIE (LINZ)

Allgemeines

Geschlecht

weiblich männlich

Wie oft benutzen Sie folgende Karten um einen Weg (zu Fuß) zu finden?

a) Gedruckte Karten (Stadtplan, Wanderkarte...):

Nie Selten Gelegentlich Oft Immer

Alter

_____ Jahre

b) Digitale Karten (Google Maps, Apple Maps...)?

Nie Selten Gelegentlich Oft Immer

Welche Hilfsmittel benutzen Sie in einer fremden Stadt zur Orientierung/ Navigation?

Smartphone Smartwatch Stadtplan/ Karte _____

An wie vielen Tagen im Monat sind Sie durchschnittlich in der Linzer Innenstadt? _____ Tage/Monat

Teil 1:

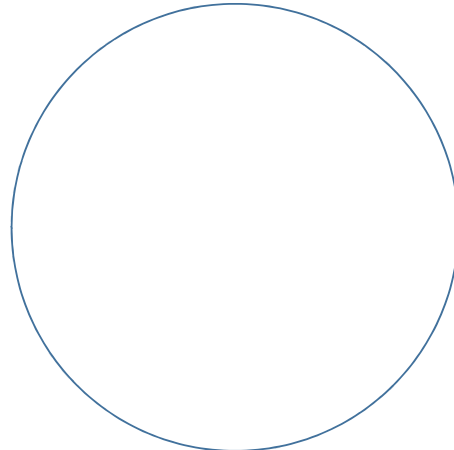
Stellen Sie sich vor, Sie sind in der Linzer Innenstadt unterwegs und ein Tourist (der noch nie in Linz war) fragt Sie, wie er zu Fuß zu einer Sehenswürdigkeit gelangt. Er bittet Sie, ihm den Weg zu skizzieren.

Info

Bitte erfüllen Sie diese Aufgabe, ohne z.B. auf Google Maps nachzusehen. Die genaue Route der Wege dabei spielt keine Rolle, es gibt keinen „richtigen“ oder „falschen“ Weg!

Weg A: Musiktheater (am Volksgarten) -> Tabakfabrik

Weg B: Lentos -> Mariendom



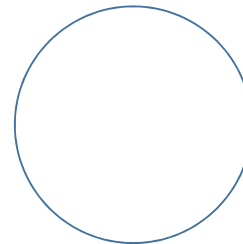
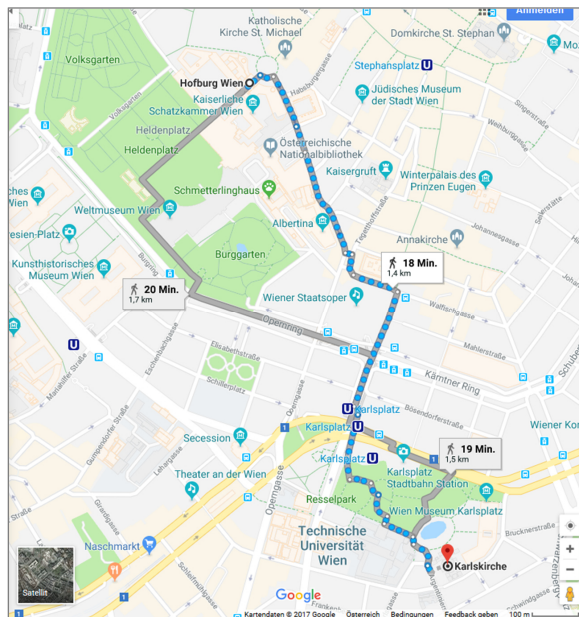
Teil 2:

Hier sehen Sie den Ausschnitt einer Google Maps Karte von der Route „Hofburg“ nach „Karlskirche“ in Wien.

Bitte skizzieren Sie diese Route in dem Rechteck und Kreis (2 mal), so dass Sie den Weg von der Hofburg zur Karlskirche bei einem Wienbesuch nur mit Hilfe Ihrer Skizze finden können.



Sollte die unten abgebildete Karte zu schlecht lesbar sein, können Sie sich alternativ die Route direkt bei Google Maps anzeigen lassen. Link: <https://goo.gl/maps/DZRxCvbUtA2> oder QR Code:



Über die Studie

Diese Studie wurde im Rahmen der Masterthesis von Sophie Drummer erstellt und dient dazu, die Orientierung und Navigation von Fußgängern an einem fremden Ort zu verbessern. Dazu werden die Darstellungsmethoden der Teilnehmer analysiert um diese später in einem automatisierten Prozess für weitere Studien anzuwenden.

Einverständniserklärung

Mit meiner Unterschrift erkläre ich mein Einverständnis zur Teilnahme an der Studie. Die Daten werden anonym evaluiert und nur zu internen Präsentationszwecken verwendet.

_____ Datum

_____ Unterschrift

Vielen Dank für Ihre Teilnahme!

Bitte das Original abgeben oder einscannen und an sophie.masterthesis@gmail.com senden!

Quellenverzeichnis

Literatur

- [1] Maneesh Agrawala und Chris Stolte. „Rendering Effective Route Maps: Improving Usability Through Generalization“. In: *Proceedings of the 28th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques*. SIGGRAPH '01. New York: ACM, 2001, S. 241–249. URL: <http://doi.acm.org/10.1145/383259.383286> (siehe S. 2, 4, 5, 31, 34, 64, 68, 90).
- [2] Michael A. Bekos. „Map Labeling Algorithms with Application in Graph Drawing and Cartography“. Diss. Athen: National Technical University of Athens, School of Applied Mathematics und Physical Sciences, Department of Mathematics, 2008 (siehe S. 29).
- [3] Jacques Bertin. *Graphische Semiologie: Diagramme, Netze, Karten*. Berlin; New York: De Gruyter, 1974 (siehe S. 40, 41).
- [4] Matthias Bobzien. „Methodische Aspekte der Generalisierung von Geodaten“. Diss. Bonn: Institut für Kartographie und Geoinformation, Landwirtschaftliche Fakultät der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, 2005 (siehe S. 13, 14).
- [5] Edsger Dijkstra. „A note on two problems in connexion with graphs“. *Numerische Mathematik* 10.1 (1959), S. 269–271 (siehe S. 56, 57).
- [6] David Douglas und Thomas Peucker. „Algorithms for the reduction of the number of points required to represent a digitized line or its caricature“. *Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization* 10.2 (1973), S. 112–122 (siehe S. 12, 13, 63).
- [7] Floraine Grabler u. a. „Automatic Generation of Tourist Maps“. SIGGRAPH '08 (2008), 100:1–100:11. URL: <http://doi.acm.org/10.1145/1399504.1360699> (siehe S. 4, 6).
- [8] Günter Hake und Dietmar Grünreich. *Kartographie*. 7. Aufl. Berlin; New York: Walter de Gruyter, 1994 (siehe S. 4, 8–12, 26, 29, 30, 33, 36–39, 41–44, 62).
- [9] Lars Harrie und Robert Weibel. „Modelling the Overall Process of Generalisation“. In: *Generalisation of Geographic Information*. Hrsg. von William A. Mackaness, Anne Ruas und L. Tiina Sarjakoski. International Cartographic Association. Amsterdam: Elsevier Science B.V., 2007. Kap. 4, S. 67–87 (siehe S. 14).

- [10] Michael Heisser. „Modellierung der Generalisierung für die Anwendung in digitalen Systemen“. In: *Nachrichten aus dem Karten- und Vermessungswesen*. Bd. 1. 1996, S. 69–78 (siehe S. 44).
- [11] Johannes Kopf u. a. „Automatic Generation of Destination Maps“. In: *ACM SIGGRAPH Asia 2010 Papers*. SIGGRAPH ASIA '10. Seoul, South Korea: ACM, 2010, 158:1–158:12. URL: <http://doi.acm.org/10.1145/1866158.1866184> (siehe S. 4, 6, 7, 65).
- [12] David K. McGookin und Stephen A. Brewster. „Investigating and Supporting Undirected Navigation for Runners“. In: *CHI '13 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*. CHI EA '13. Paris, France: ACM, 2013, S. 1395–1400. URL: <http://doi.acm.org/10.1145/2468356.2468605> (siehe S. 3, 4).
- [13] Robert McMaster und Stuart Shea. *Generalization in Digital Cartography*. Washington D.C.: Association of American Geographers, 1992 (siehe S. 13, 42–44).
- [14] Liqiu Meng. *Automatic Generalization of Geographic Data*. Stockholm: VBB Viak, 1997 (siehe S. 11–14).
- [15] Dieter Morgenstern und Dietrich Schürer. „A concept for model generalization of digital landscape models from finer to coarser resolution“. In: *Proceedings of the 19th International Cartographic Conference*. Ottawa, 1999, S. 1021–1028 (siehe S. 9, 13).
- [16] Jean-Claude Müller, Robert Weibel und Jean-Philippe Lagrange. *GIS and Generalization - Methodology and Practice*. Bd. 1. GISDATA. Bristol; London: Taylor & Francis Ltd, 1995 (siehe S. 12, 14).
- [17] QGIS. *PyQGIS developer cookbook*. Version 2.18. Mai 2018. URL: <http://docs.qgis.org/2.18/pdf/de/QGIS-2.18-PyQGISDeveloperCookbook-de.pdf> (siehe S. 47, 48, 57–59).
- [18] QGIS. *QGIS User Guide*. Version 2.18. Mai 2018. URL: <http://docs.qgis.org/2.18/pdf/de/QGIS-2.18-UserGuide-de.pdf> (siehe S. 47, 48).
- [19] Urs Ramer. „An iterative procedure for the polygonal approximation of plane curves“. *Computer Graphics and Image Processing* 1.3 (1972), S. 244–256 (siehe S. 13, 63).
- [20] Johannes Schoppmeyer. *Modellgeneralisierung - dargestellt am Beispiel des Übergangs von DLM 25 zum DLM 200. Aktuelle Forschung und berufliche Praxis im Umfeld der Kartographie*. Schriftenreihe. Institut für Kartographie und Topographie der Rheinischen Friedrichs-Wilhelms-Universität Bonn, 1999, S. 85–101 (siehe S. 11).
- [21] Ernst Spiess u. a. *Topographic Maps: Map Graphics and Generalisation*. Cartographic publication series. Swiss Society of Cartography, 2005 (siehe S. 9, 10, 36–38, 79).
- [22] Friedrich Töpfer. *Kartographische Generalisierung*. Gotha, Leipzig: Haack, 1974 (siehe S. 12).
- [23] Internationale Kartographische Vereinigung. *Mehrsprachiges Wörterbuch kartographischer Fachbegriffe*. Wiesbaden, 1973 (siehe S. 8).

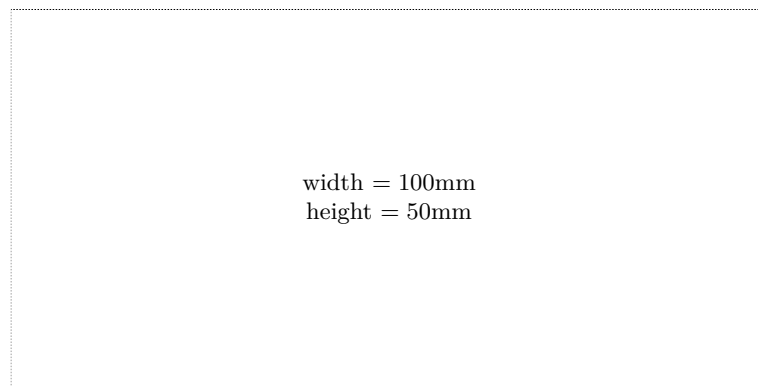
- [24] Dirk Wenig u. a. „ScrollingHome: Bringing Image-based Indoor Navigation to Smartwatches“. In: *Proceedings of the 18th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services*. MobileHCI '16. Florence, Italy: ACM, 2016, S. 400–406. URL: <http://doi.acm.org/10.1145/2935334.2935373> (siehe S. 2–4).
- [25] Dirk Wenig u. a. „StripeMaps: Improving Map-Based Pedestrian Navigation for Smartwatches“. In: *Proceedings of the 17th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services*. MobileHCI '15. Copenhagen, Denmark: ACM, 2015, S. 52–62. URL: <http://doi.acm.org/10.1145/2785830.2785862> (siehe S. 1, 3, 4).
- [26] Nina Wenig u. a. „Pharos: Improving Navigation Instructions on Smartwatches by Including Global Landmarks“. In: *Proceedings of the 19th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services*. MobileHCI '17. Vienna, Austria: ACM, 2017, 7:1–7:13. URL: <http://doi.acm.org/10.1145/3098279.3098529> (siehe S. 2–4).
- [27] Max Wertheimer. „Untersuchungen zur Lehre von der Gestalt“. *Psychologische Forschung: Zeitschrift für Psychologie und ihre Grenzwissenschaften* 4 (1923), S. 301–350 (siehe S. 39).
- [28] Herbert Wilhelm. *Kartographie in Stichworten*. Bd. 7. Berlin; Stuttgart: Gebrüder Borntraeger Verlagsbuchhandlung, 2002 (siehe S. 1, 4, 8, 10, 26, 30, 37).

Online-Quellen

- [29] Geofabrik. *Data Extracts - Technical Details*. 2018. URL: <https://download.geofabrik.de/technical.html> (besucht am 11.05.2018) (siehe S. 47).
- [30] Geofabrik. *Download OpenStreetMap data for this region: Austria*. 2018. URL: <http://download.geofabrik.de/europe/austria.html> (besucht am 07.02.2018) (siehe S. 47).
- [31] *Kartographische und Modellgeneralisierung. Visualisierung von GIS-Lehrstoffen*. Lernmodul 10. Universität Bonn - Institut für Kartographie und Geoinformation. Jan. 2004. URL: www.geoinformation.net (besucht am 05.08.2018) (siehe S. 9–14, 37, 38).
- [32] Joe Rossignol. *MacRumors. Apple Watch Outsold All Competing Smartwatches Combined Last Year*. MacRumors. Jan. 2018. URL: <https://www.macrumors.com/2018/03/01/apple-watch-outsold-all-smartwatches-combined-2017/> (besucht am 08.10.2018) (siehe S. 15).

Messbox zur Druckkontrolle

— Druckgröße kontrollieren! —



— Diese Seite nach dem Druck entfernen! —