

Sebastian Feld

Alternative Routen in komplexen Umgebungen

Werkzeuge für ortsbezogene
Anwendungen und Dienste

EBOOK INSIDE

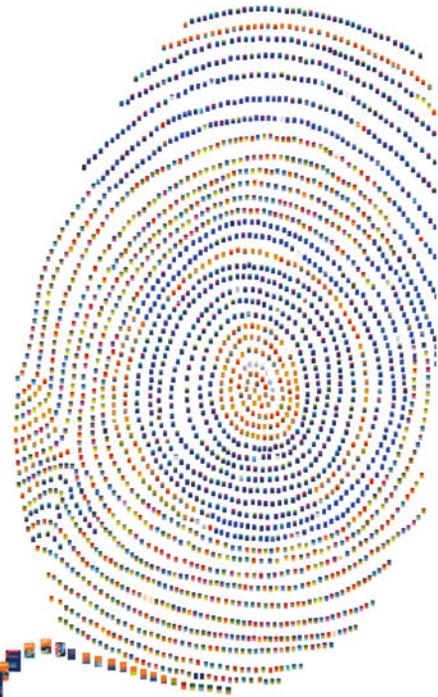
 Springer Vieweg

Alternative Routen in komplexen Umgebungen

Lizenz zum Wissen.

Sichern Sie sich umfassendes Technikwissen mit Sofortzugriff auf tausende Fachbücher und Fachzeitschriften aus den Bereichen: Automobiltechnik, Maschinenbau, Energie + Umwelt, E-Technik, Informatik + IT und Bauwesen.

Exklusiv für Leser von Springer-Fachbüchern: Testen Sie Springer für Professionals 30 Tage unverbindlich. Nutzen Sie dazu im Bestellverlauf Ihren persönlichen Aktionscode **C0005406** auf www.springerprofessional.de/buchaktion/



Jetzt
30 Tage
testen!

Springer für Professionals.

Digitale Fachbibliothek. Themen-Scout. Knowledge-Manager.

-  Zugriff auf tausende von Fachbüchern und Fachzeitschriften
-  Selektion, Komprimierung und Verknüpfung relevanter Themen durch Fachredaktionen
-  Tools zur persönlichen Wissensorganisation und Vernetzung

www.entschieden-intelligenter.de

Springer für Professionals

 Springer

Sebastian Feld

Alternative Routen in komplexen Umgebungen

Werkzeuge für ortsbezogene
Anwendungen und Dienste

Sebastian Feld
Ludwig-Maximilians-Universität München
München, Deutschland

ISBN 978-3-658-26269-3 ISBN 978-3-658-26270-9 (eBook)
<https://doi.org/10.1007/978-3-658-26270-9>

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Springer Vieweg

© Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, ein Teil von Springer Nature 2019

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jedermann benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des jeweiligen Zeicheninhabers sind zu beachten.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag, noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Springer Vieweg ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH und ist ein Teil von Springer Nature

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Abraham-Lincoln-Str. 46, 65189 Wiesbaden, Germany

Umwege erweitern die Ortskenntnis.
–Kurt Tucholsky

Geleitwort

Positionsbestimmung und Navigation sind Jahrhunderte alte Themen. Im Mittelalter wurden die Gestirne zu Hilfe genommen, in den 1960er Jahren wurde die Thematik Forschungswiese für das Militär. Die USA und damalige Sowjetunion schossen erste Satelliten zur Positionsbestimmung ins All, und U-Boote und Schiffe bedienten sich der Ortsdaten. Schrankgroße Navigationsendgeräte machten Ortung auf und unter der Meeresoberfläche möglich.

Heute leben wir im Zeitalter kleiner mobiler Endgeräte – nun hat jedes Auto, selbst jedes Smartphone ein Navi. Bunte Bilder zeigen den Weg, Abstandsmesser warnen zudem optisch und akustisch bei zu dichter Auffahrt, und selbstbremsende Elektronik ermöglicht den Beginn des Zeitalters autonomer Systeme. Wir sind angekommen in einer Zeit, da alle Probleme rund um Ortung und Navigation gelöst sind – oder noch nicht?

Im Zeitalter des Internet of Things, von Industrie 4.0 und Robotik geht es um viel weitreichendere Probleme. Wie sieht eine Route Indoor aus? Was ist auf freien Flächen, wenn keine Straßen und Wege gegeben sind? Wie verlaufen Routen in Hallen, wenn die Wege von Lager- und Transportfahrzeugen räumlich durch Säulen und Maschinen eingeschränkt sind? Wie kann ich vermeiden, dass Lagerfahrzeuge Durchgänge verstopfen, weil alle dieselbe Route nehmen? Was macht ein Roboterarm, wenn ein anderer ihm in die Quere kommt? Welchen Weg sollte der Roboterarm nehmen, wenn er an einem Werkstück an verschiedenen Punkten Dinge zu erledigen hat?

Dies und vieles mehr sind die Probleme der heutigen Zeit.

Es geht darum, unabhängig von einer gegebenen Landkarte oder einem vorliegenden Stadtplan komplexe Umgebungen zu modellieren. Das Modell ist die Basis für die Berechnung, das Ziel ist die Optimierung. Es geht um Alternativen, von denen ich die beste wähle. Statt lokaler Optimierung heißt es, global zu denken – denn alle Dinge im Hier und Jetzt sind vernetzt. Sie können miteinander kommunizieren. Dadurch entsteht eine völlig neue Komplexität, die ungeahnte Speicher- und Rechenkapazitäten erfordert und derzeit noch unlösbar scheint. Doch Technologien wie zum Beispiel Quanten Computing öffnen gerade neue Türen.

München
Mai 2019

Claudia Linnhoff-Popien

Danksagung

Das vorliegende Buch basiert auf meiner Dissertation, die während meiner Zeit am Lehrstuhl für Mobile und Verteilte Systeme an der Ludwig-Maximilians-Universität in München entstanden ist. Dabei hatte ich das Glück, von vielen Seiten Unterstützung in ganz unterschiedlicher Form zu erfahren. Auf diesem Wege möchte ich meinen tiefsten Dank aussprechen.

Allen voran möchte ich mich bei meiner Doktormutter Prof. Dr. Claudia Linnhoff-Popien bedanken. Sie hat mir vor beinahe sechs Jahren die Möglichkeit eröffnet, an ihrem Lehrstuhl zu promovieren und mir vom ersten Tag an ihr Vertrauen geschenkt. Ich möchte mich insbesondere für die Offenheit bedanken und für die Möglichkeit, dass ich stets alles ansprechen konnte und viele Freiheiten hatte. Ich habe dadurch außerordentlich viel gelernt.

Darüber hinaus gilt mein Dank Prof. Dr. Uwe Baumgarten für die Übernahme der Zweitberichterstattung sowie Prof. Dr. Christian Böhm für das Mitwirken als Vorsitz der seinerzeitigen Prüfungskommission.

Ebenso möchte ich mich bei meinen Kollegen¹ und Freunden am Lehrstuhl bedanken. Hervorzuheben ist das außerordentlich freundschaftliche, produktive und fachlich fundierte Arbeitsklima während meiner Promotionsphase, aber auch im Hinblick auf das vorliegende Buch. Es hat einfach Spaß gemacht, mit den unterschiedlichsten Persönlichkeiten unzählige Gespräche und Diskussionen zu führen, gemeinsam zu publizieren oder Vorträge zu halten, Projekte zu bearbeiten, Studierende zu betreuen oder Lehrveranstaltungen durchzuführen.

Jede einzelne Person am Lehrstuhl hat mich auf ganz unterschiedliche Art – sei es fachlich oder moralisch – unterstützt. Besonders hervorheben möchte ich drei Personen: Dr. Martin Werner hat mir geholfen den Grundstein der Dissertation zu legen und stand

¹In diesem Buch wird aus Gründen der leichteren Lesbarkeit oft die männliche Form verwendet. Ich möchte betonen, dass selbstverständlich alle Geschlechter in dieser Schreibweise eingeschlossen und gemeint sind.

mir darüber hinaus mit seiner scharfsinnigen und intelligenten Art in vielen Bereichen zur Seite. Marie Kiermeier danke ich insbesondere für die Unterstützung bei der präzisen Formulierung meiner Gedanken sowie für die Möglichkeit, dass ich ihr jederzeit blind vertrauen konnte. Bei Dr. Mirco Schönfeld möchte ich mich für wahre Freundschaft bedanken und für all das, was sich daraus entwickelt.

Schließlich gehört mein größter Dank meinen Eltern und meiner Schwester. Ich möchte mich für das unendliche Vertrauen bedanken, für die offenen Ohren und das Verständnis, für die Liebe und den fehlenden Zweifel. Danke für den unbeirrten Fokus auf das Gute.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Motivation und Beiträge des Buches	3
1.2	Vorveröffentlichungen	6
1.2.1	Homotopy and Alternative Routes in Indoor Navigation Scenarios	6
1.2.2	Criteria for Selecting Small Sets of Alternative Routes in Free Space Scenarios	7
1.2.3	Scoring of Alternative Routes Using Implicit Building Topologies	7
1.2.4	Archetypes of Alternative Routes in Buildings	7
1.2.5	Identifying Divergent Building Structures Using Fuzzy Clustering of Isovist Features	8
1.2.6	Approximated Environment Features With Application to Trajectory Annotation	8
1.3	Aufbau des Buches	9
	Literatur	10
2	Grundlagen der Navigation in komplexen Umgebungen	13
2.1	Ortsbezogene Anwendungen und Dienste	13
2.1.1	Historie und Begriffserklärung	13
2.1.2	Anwendungskategorien	14
2.1.3	Abgrenzung	16
2.2	Alternative Routen	17
2.2.1	Begriffsdefinitionen	17
2.2.2	Lösungen für das Kürzester-Pfad-Problem	18
2.2.3	Erweiterte Problemstellungen	19
2.2.4	Alternative Routen in der Anwendung	20

2.3	Komplexe Umgebungen	21
2.3.1	Definition komplexer Umgebungen	21
2.3.2	Kartendarstellungen	23
2.3.3	Ortsbezogene Dienste in komplexen Umgebungen	25
2.4	Anwendungsfälle für alternative Routen in komplexen Umgebungen	27
2.5	Zusammenfassung und Ausblick	27
	Literatur	28
3	Berechnung alternativer Routen in Freiflächen	31
3.1	Motivation und Herausforderungen	31
3.2	Definition alternativer Routen mittels Homotopie	33
3.2.1	Homotopie als Äquivalenzrelation	34
3.2.2	Approximation der Homotopie	37
3.3	Heuristiken zum Finden nicht homotoper Pfade	40
3.3.1	One-Patching-Algorithmus	41
3.3.2	Penalty-Algorithmus	42
3.3.3	Evaluation der Heuristiken zum Finden nicht homotoper Pfade	44
3.3.4	Zusammenfassende Bewertung	51
3.4	Auswahlkriterien für Alternativen in Straßennetzen	52
3.4.1	Qualitätsmetriken für alternative Routen	53
3.4.2	Qualitätsmetriken für Alternativgraphen	55
3.5	Übertragbarkeit auf alternative Routen in Freiflächen	57
3.5.1	Limited Sharing und Total Distance	58
3.5.2	Uniformly Bounded Stretch und Average Distance	62
3.5.3	Local Optimality	63
3.5.4	Decision Edges	64
3.5.5	Gegenseitige Beeinflussung der Qualitätsmetriken	65
3.6	Zusammenfassung	66
	Literatur	67
4	Vergleich geospaialer Trajektorien	71
4.1	Motivation und Herausforderungen	72
4.2	Clusteranalyse und Distanzmaße	73
4.2.1	Clustering-Algorithmen	74
4.2.2	Archetypische Analyse	76
4.2.3	Distanzmaße	80
4.3	Überlastungswahrscheinlichkeit zur Bewertung von Routen	81
4.3.1	Definitionen und Ziel	83
4.3.2	Überlastungswahrscheinlichkeit	83
4.3.3	Methodik	86

4.3.4	Evaluation und Diskussion	90
4.3.5	Zusammenfassende Bewertung	93
4.4	Archetypische Routen und Archetypische Distanz	94
4.4.1	Archetypen von alternativen Routen	95
4.4.2	Archetypische Distanz als Distanzmaß für Trajektorien	98
4.4.3	System zur Berechnung archetypischer Routen.	99
4.4.4	Evaluation	101
4.5	Zusammenfassung	111
	Literatur	113
5	Identifizierung von Strukturen in Gebäuden	115
5.1	Motivation und Herausforderungen	116
5.2	Einbeziehung der lokalen Umgebung mittels Isovisten.	117
5.2.1	Quantitative Analyse der Wahrnehmung von Raum	118
5.2.2	Analyse von Isovisten	120
5.3	Diskrete Isovisten als Approximation der lokalen Umgebung	124
5.3.1	Definition und Berechnung diskreter Isovisten	125
5.3.2	Evaluation	128
5.4	Archetypische Routen und Regionen unter Einbeziehung der lokalen Umgebung.	136
5.4.1	Konzept	137
5.4.2	Evaluation und Diskussion.	139
5.5	Zusammenfassung	149
	Literatur	151
6	Zusammenfassung und Ausblick	155
6.1	Zusammenfassung	156
6.2	Ausblick.	158
	Literatur.	160

Abkürzungsverzeichnis

ALT	A*, Landmarks, and Triangle Inequality
BGL	Boost Graph Library
CPD	Closest Pair Distance
DTW	Dynamic Time Warping
EDR	Edit Distance on Real Subsequences
FD	Fréchet Distance
GIS	Geoinformationssystem
GPS	Global Positioning System
HD	Hausdorff Distance
IoT	Internet of Things
LCS	Longest Common Subsequence
NRMSD	Normalized Root-Mean-Square Deviation
PC	Personal Computer
RSS	Residuenquadratsumme
SPD	Sum of Pair Distance
TUM	Technischen Universität München
VGA	Visibility Graph Analysis
VGI	Volunteered Geographic Information



Intelligente Mobilität ist eines der großen Schlagworte der heutigen Zeit. Nicht nur die deutsche Bundesregierung sieht sie in ihrer neuen Hightech-Strategie als eine der prioritären Zukunftsaufgaben [3, 4], auch wird das Thema als eine von drei Fokusgruppen innerhalb der Plattform „Digitale Netze und Mobilität“ des Digital-Gipfels (ehemals Nationaler IT-Gipfel) behandelt [6, 7]. Forschungsergebnisse aus den unterschiedlichsten Themenfeldern wie etwa Mobilkommunikation, Batterietechnik oder Algorithmen und Datenstrukturen, um nur einige Beispiele zu nennen, finden in der intelligenten Mobilität eine integrierte Anwendung und haben somit direkten Einfluss auf das Leben der einzelnen Bürger und auf die Gesellschaft im Allgemeinen. Voraussetzung für eine moderne Mobilität ist das Vorhandensein von Daten, um den aktuellen Zustand messen und entsprechend reagieren zu können. Somit bekommt das oft zitierte *Internet der Dinge* ein Gesicht. Die Ideen hinter der intelligenten Mobilität verfolgen das Ziel der Effizienz, was im Sinne eines Optimierungsproblems ein ansprechendes Thema für die Informatik ist.

Eine enorm wichtige Komponente bei der Realisierung von Visionen wie etwa dem automatisierten Fahren [9] sind digitale Karten. Diese dreidimensionalen Karten [16] sollten möglichst hoch aufgelöst und mit Echtzeitinformationen angereichert sein. Ein beispielhafter Anbieter von Geokartendiensten ist *Here*, der 2015 von den drei deutschen Automobilherstellern Audi, BMW und Daimler übernommen wurde [20].

Nicht nur die Techniken im Hintergrund werden immer intelligenter, sondern auch die Anwendungen, die im direkten Kontakt zum Menschen stehen. Smartphones sind die ständigen Begleiter der Menschen [27] und werden nicht selten für Anwendungen mit Ortsbezug verwendet [23]. Über Spracheingabe werden dem Smartphone Fragen wie etwa „Wo ist der nächste Bankautomat?“ oder „Wann sollte ich am besten losfahren, um trotz Staus rechtzeitig anzukommen?“ gestellt. Zunehmend werden ortsbezogene Anwendungen und Dienste nicht nur im Freien oder im Kontext von Straßennetzen, sondern auch innerhalb von Gebäuden verwendet. Dies passt zu einer bereits im Jahre 2001 veröffentlichten Studie, die besagt,

dass Menschen aus den USA mehr als 80% ihrer Zeit innerhalb von Gebäuden verbringen [2, 19]. Aber nicht nur der Mensch profitiert von den Anwendungen, sondern auch die Anwendungen profitieren von den Menschen. Aktuelle Themen in der Forschungsgemeinde der ortsbezogenen Anwendungen und Dienste sind insbesondere *crowdsourcing* sowie *volunteered geographic information* (VGI), also der Rückkanal des Menschen zur Anwendung [21, 28].

Ein eigener Forschungsbereich ist das Thema Robotik. Dies ist gleichzeitig auch integraler Bestandteil der Visionen einer intelligenten Mobilität innerhalb von Smart Cities mit Smart Factories. In sich selbst organisierenden Industrieanlagen soll das System selbst entscheiden, welchen Weg die Werkstücke bei der Produktion nehmen und in welcher Reihenfolge von welchen Maschinen diese verarbeitet werden sollen. Neuartige Fragestellungen beziehen sich somit auf das Testen der Qualität eines solchen Systems [8] sowie auf die Ergründung von Fehler(-ketten) [25]. Auch in der Logistik werden zunehmend autonome Roboter eingesetzt. So verwendet ein chinesisches Lieferunternehmen einen Roboterschwarm, um Pakete zu sortieren [26], und auch in den Warenhäusern des Online-Versandhändlers Amazon werden in großem Umfang Roboter verwendet [15, 22]. Schließlich finden regelmäßig Wettkämpfe für Roboter statt, in denen es um das autonome Spielen von Fußball geht, um das eigenständige Suchen nach Überlebenden bei der Katastrophenhilfe oder um das Erfüllen unterschiedlicher Aufgaben im täglichen Leben innerhalb einer Wohnung [1, 18].

Ermöglicht werden die oben aufgeführten Innovationen durch die geschickte Einbeziehung und die intelligente Verarbeitung von ortsbezogenen Daten. Der Forschungsbereich *Spatial Computing* umfasst grundsätzlich alle Ideen und Techniken, die sich auf das Verständnis, die Kommunikation und die Visualisierung von Ortsinformationen beziehen [23, 30]. Um etwas abstrahierter und technischer zu werden: Grundlage für die erwähnten Themen ist stets eine passende Abbildung und Behandlung der realen Welt. In einem ergänzenden Video [5] zur Titelgeschichte *Spatial Computing* [23] der Fachzeitschrift *Communications of the ACM* wurde folgendes Bild beschrieben:

Ein Punkt ist einzigartig; eine Linie ist die kürzeste Distanz zwischen Punkten; eine Ebene ist eine perfekte Oberfläche und einfache Koordinaten beschreiben eine Kugel. Die Berechnung räumlicher Zusammenhänge in dieser imaginären Welt ist einfach. Aber die Realität unserer Welt spricht dagegen. Der Globus wölbt sich in der Mitte, die Erdoberfläche besitzt Berge und Täler, und Straßen schlängeln sich.

Es herrscht also eine Diskrepanz zwischen der Theorie und der Realität. Es werden Ansätze benötigt, die die Unsicherheiten der realen Welt für den Computer greifbar machen. Es herrscht stets ein Kompromiss, einerseits wird eine Abstraktion benötigt, andererseits jedoch eine Genauigkeit. Diese Gedanken stellen die Ausgangsbasis für das vorliegende Buch dar.

1.1 Motivation und Beiträge des Buches

Das vorliegende Buch befasst sich mit alternativen Routen in komplexen Umgebungen. Selbst ohne eine genauere Beschreibung des Begriffs „komplexe Umgebung“ scheinen „alternative Routen“ einen generellen Zweck zu besitzen: Sie bieten die Möglichkeit zur Entscheidung. Bevor jedoch alternative Routen beziehungsweise Alternativen im Allgemeinen verwendet werden können, müssen verschiedene Fragen beantwortet werden. Die grundlegendste Frage ist zum einen, ab wann eine Möglichkeit nicht mehr äquivalent ist, sondern alternativ. Zum anderen stellt sich die Frage nach der qualitativen Vergleichbarkeit von Entscheidungsmöglichkeiten. In diesem Abschnitt werden die Fragestellungen, die dieses Buch motivieren, vorgestellt und die Beiträge der entsprechenden Kapitel benannt.

Die grundsätzliche Motivation des Buches ist die Vorstellung des Besuchs eines Flughafens. Dieser Ort ist ein perfektes Beispiel für eine komplexe Umgebung, in der es weitläufige Freiflächen gibt, in denen man sich nahezu frei bewegen kann. Im Sinne der Routenfindung sind beim Besuch eines Flughafens oft auch ein Start- und ein Zielpunkt gegeben. Der Startpunkt für das Durchlaufen eines Flughafens kann das Parkhaus sein, einer der vielen Eingänge in das Gebäude, der Check-in-Schalter einer Fluggesellschaft oder schlichtweg der aktuelle Standpunkt. Das Ziel der eigenen „Route“ kann ein genau zu benennendes Gate im Falle einer Reise oder der Ankunftsbereich, falls jemand abgeholt wird, sein. Darüber hinaus gibt es zahlreiche Möglichkeiten (Alternativen), das Ziel zu erreichen. Bei wenig verbleibender Zeit sollte der schnellste Weg verwendet werden, der nicht zwingend auch der kürzeste Weg sein muss. Falls bis zum Abflug noch viel Zeit vorhanden ist, so sind Routen denkbar, die an Geschäften, Souvenir-Ständen, Bistros oder Toiletten vorbeiführen. Schließlich sind zudem Entscheidungsmöglichkeiten dadurch gegeben, dass unterschiedliche Check-in-Schalter der Fluggesellschaft verwendet werden können, verschiedene Warteschlangen bei der Kontrolle des Handgepäckes und zahlreiche Wege innerhalb der Duty-Free-Shops. Aber auch die Verwendung von Treppen, Rolltreppen, Aufzügen oder horizontalen Fahrsteigen bietet Möglichkeiten zur Auswahl.

Auf einer abstrakten Ebene können Alternativen über eine Art Semantik beschrieben werden: „Nimm den Aufzug“, „Nach der Sicherheitskontrolle rechts halten“ oder „Am besten durchläufst du den Duty-Free-Shop“. Erstes Ziel des vorliegenden Buches ist es demnach, eine algorithmische *Berechnung alternativer Routen in Freiflächen* (siehe Kap. 3) zu ermöglichen. Im ersten Schritt wird eine Definition vorgestellt, mit der entschieden werden kann, ob eine Route alternativ oder äquivalent zu einer anderen anzusehen ist. Dazu wird das topologische Konzept der Homotopie verwendet (Abschn. 3.2.1). Vereinfacht ausgedrückt gelten zwei Routen mit gleichem Start- und Zielpunkt als äquivalent, wenn sie die Hindernisse in der gleichen Art und Weise umlaufen. Anschließend wird eine effiziente Methode zur Berechnung dieser Abfrage vorgestellt (3.2.2). Diese Methode bezieht sich auf Routen, die als Vektoren von x - und y -Koordinaten dargestellt sind und in einer monochromen Karte eingezeichnet sind. Die Idee hinter der Methode ist die Überprüfung, ob die von den Routen eingeschlossene Fläche Hindernisse beinhaltet oder nicht. Ferner werden Heuristiken

vorgestellt, mit denen die alternativen Routen für gegebene Start- und Zielpunkte innerhalb einer Karte berechnet werden können (3.3). Die Heuristiken werden zudem zur Berechnung von Mengen von Routen verwendet, die als Eingabe für weitere in diesem Buch vorgestellte Ansätze dienen. Neben der Frage nach der Definition einer alternativen Route ist eine weitere Motivation des Kapitels die Frage nach der Qualität einer Route. So wird in Abschn. 3.4 untersucht, wie sich die Ansätze der umfangreichen Literatur bezüglich Qualitätsmetriken von alternativen Routen und Alternativgraphen in Straßennetzen im Kontext von komplexen Umgebungen verhalten. Ein Beitrag dieses Buches ist die strukturierte Aufbereitung des Stands der Technik bezüglich Auswahlkriterien für Alternativen in Straßennetzen sowie insbesondere die Übertragbarkeit auf Freiflächen (3.5). Die Philosophie dahinter ist die Entwicklung und Diskussion von Qualitätsmetriken in komplexen Umgebungen.

Eine weitere Motivation dieses Buches und Basis für die angesprochenen Qualitätsmetriken ist die Frage, wie Routen, die durch ein Gebäude führen, angemessen verglichen werden können. Wie eingangs erwähnt, sind einfache geometrische Anfragen in der Theorie eindeutig: die Distanz zwischen zwei Punkten ist die Länge der verbindenden Linie. Wenn nun aber anstatt zweier Punkte zwei Folgen von Punkten betrachtet werden, wie steht es dann um die Distanz zwischen diesen geospatalen Trajektorien? Als motivierendes Beispiel sollen vier exakt parallele Linien dienen: Die Intuition besagt, dass die beiden äußeren Linien weiter voneinander entfernt sind als die beiden inneren. Nun stellt sich die Frage, wie die Distanz zwischen zwei sich kreuzenden Linien ist oder zwischen Linien, die stets nah zueinander verlaufen und nur an einer Stelle einen Ausreißer haben, an denen sie sich voneinander entfernen und anschließend wieder nähern. Der Begriff der Distanz, sei es zwischen zwei Routen oder generell zwischen zwei Objekten, kann jedoch auch viel weiter gefasst werden. Die Frage nach Gleichheit kann sehr subjektiv oder gar philosophisch beantwortet werden, sie bezieht sich nicht selten auf den Kontext oder beinhaltet Einschätzungen, die schwer oder gar nicht algorithmisch mess- oder verarbeitbar sind.

Dieser grundsätzlichen Problematik widmen sich die Beiträge zum *Vergleich geospataler Trajektorien* (siehe Kap. 4). Zuerst wird für eine gegebene Menge von Routen durch ein Gebäude ein Scoring erstellt. Das Scoring ist eine Technik, um schwer abzuschätzende Sachverhalte wie etwa qualitative oder subjektive Fakten (beispielsweise die Kreditwürdigkeit) vergleichbar zu machen. Dazu werden Punkte berechnet und den Sachverhalten zugeordnet, wodurch diese sortierbar werden. Die Idee hinter der vorzustellenden Bewertungsfunktion von Routen ist die, dass Orte innerhalb einer Karte, die häufig auf einem kürzesten Weg liegen, auch häufig durchlaufen werden. Dadurch wird eine Überlastungswahrscheinlichkeit für Regionen innerhalb einer Karte erstellt, die ausschließlich auf Kürzester-Pfad-Anfragen basiert. Die zu vergleichenden Routen werden anhand der von ihnen durchlaufenen Regionen als potentiell verkehrsarm oder verkehrsreich bewertet und sortiert. Darüber hinaus ist ein Vergleich von Routen auch aufgrund der Tatsache notwendig, dass ein Gebäudeplan, in dem eine Navigation notwendig ist, gleichzeitig auch eine hohe Anzahl von alternativen Routen beinhaltet – zumindest nach der oben erwähnten Definition. Es ist jedoch das Extrahieren von möglichst wenigen, möglichst unterschiedlichen Routen anzustreben. Ein weiterer