

**Nutzerbasierte Adaption
des Fahrradrouutenplanungsprozesses
im Internet
auf Basis einer empirischen Untersuchung**

Dissertation

zur

Erlangung des Grades

Doktor der Naturwissenschaften (Dr. rer. nat.),

eingereicht am Fachbereich Mathematik/Informatik

der Universität Osnabrück

im August 2006

Dipl.-Umweltwiss. Katrin Stroemer

Danksagung der Autorin

Zunächst möchte ich mich bei dem Betreuer dieser Arbeit, Prof. Dr. Manfred Ehlers bedanken. Er hat mich stets motiviert und in der Durchführung der Arbeit bestärkt. Mein weiterer Dank gilt der Koreferentin dieser Arbeit, Frau Prof. Dr. Monika Sester.

Des Weiteren möchte ich den Mitarbeitern der Stadt Bremen mit dem Bausenator für Umwelt und Verkehr und Geoinformation Bremen danken, dass sie einem Pilotprojekt zugestimmt haben, so dass ich die Daten für diese Arbeit aus Bremen nutzen konnte. Besonderes Engagement zeigte Herr Wilhelm Hamburger, dem ich an dieser Stelle ganz besonders danken möchte.

Die freundliche Atmosphäre unter den Kollegen am Institut für Geoinformatik und Fernerkundung hat zur Fertigstellung dieser Arbeit beitragen. So wurde man von den Kollegen stets bestärkt, und konnte jederzeit auf Unterstützung zählen. Besonders bedanken möchte ich mich bei Guido Bohmann, der bei zahlreichen Problemen den richtigen Denkanstoß gab.

Zu guter Letzt möchte ich meiner Familie und meinen Freunden für die Geduld mit mir und die tolle Unterstützung danken. Sanne McClelland danke ich zusätzlich für das professionelle Korrekturlesen. Und natürlich möchte ich mich bei meinem Freund Dennis Tegeder bedanken, der in den letzten Jahren sehr viel Geduld gezeigt und nie aufgehört hat, an mich zu glauben. Danke.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	VIII
Tabellenverzeichnis	XII
1 Einleitung	1
2 Das Angebot aktueller Fahrradrouutenplaner im Internet	4
2.1 Statische Fahrradrouutenplaner mit Kartenkomponente	4
2.2 Statische Fahrradrouutenplaner mit Downloadkomponente (mit oder ohne Kartenkomponente)	5
2.3 Interaktive Fahrradrouutenplaner zur Erstellung einer individuellen Fahrradtour	6
2.3.1 <i>Berlin by Bike</i>	8
2.3.2 <i>Grüngürtel-FahrtFinder</i>	10
2.3.3 <i>Ruhrtal a la Karte</i>	12
2.3.4 Tourenplaner des Senne-Portals	14
2.3.5 <i>Radrouutenplaner NRW</i>	16
2.3.6 <i>Fahrradies</i>	19
2.4 Zusammenfassung	20
3 Ermittlung der Nachfrage: Befragung der Radfahrer zu ihrem Verhalten beim Planen einer Radtour	24
3.1 Rahmenbedingungen einer Befragung	24
3.1.1 Zielgruppe	24
3.1.2 Online-Befragung	25
3.1.3 Internet-Nutzung in Deutschland	25
3.1.4 Definition der Grundgesamtheit und des Stichprobenverfahrens	27
3.2 Erarbeitung und Aufbau eines Fragebogens	29
3.3 Technische Umsetzung der Befragung	32
3.4 Durchführung der Befragung	33
3.5 Ergebnisse der Befragung	36
3.6 Interpretation der Ergebnisse	55
4 Konzept zur Nutzeradaption des Fahrradrouutenplanungsprozesses	57
4.1 Algorithmen	57
4.1.1 Exakte und heuristische Verfahren	58
4.1.2 Konstruktion eines Algorithmus	58
4.1.3 Laufzeit eines Algorithmus	60
4.2 Graphentheorie	62
4.2.1 Bäume	63
4.2.2 Baumdurchläufe	64

4.3	Das Problem des kürzesten Weges	65
4.3.1	Minimaler Spannbaum	66
4.3.2	Dijkstra Algorithmus	67
4.3.3	A-Stern-Algorithmus	67
4.4	Das Rundreisenden-Problem	68
4.4.1	Nearest-Neighbour-Verfahren	69
4.4.2	Tabu Search	69
4.4.3	Branch and Bound Algorithmus	70
4.4.4	Abkühlungsprozess (Simulated Annealing)	70
4.4.5	Ameisenalgorithmus	71
4.5	Berechnung einer Route zwischen zwei Orten	73
4.6	Berechnung einer Rundtour	79
4.7	Einbinden von Optionen in die Routenberechnung	83
4.7.1	Berücksichtigung der Beschaffenheit	84
4.7.2	Berücksichtigung der Steigung	85
4.7.3	Bevorzugung oder Vermeidung von Hauptstraßen	87
4.7.4	Bevorzugung grüner Wege	88
4.7.5	Bevorzugung landschaftlich schöner Wege	89
4.7.6	Bildung von Profilen	90
4.8	Routenberechnung auf Grundlage einer Distanzangabe	91
4.8.1	Bereits existierende Verfahren	92
4.8.2	Entwickelte Vorgehensweise	92
4.8.2.1	Fallbeispiel 1: 15 km im ländlichen Bereich	98
4.8.2.2	Fallbeispiel 2: 30 km im ländlichen Bereich	99
4.8.2.3	Fallbeispiel 3: 15 km im städtischen Bereich	100
4.8.2.4	Entfernen von doppelt befahrenen Streckenabschnitten	101
4.8.2.5	Routenlängenabschätzung auf Basis der konvexen Hülle	103
4.8.2.6	Routenverkürzung	106
4.8.2.7	Routenverlängerung	106
4.9	Routenberechnung auf Basis einer Distanzeingabe sowie weiterer konkreter POI	108
4.9.1	Eingabe eines konkreten POI	108
4.9.2	Eingabe mehrerer konkreter POI	109
4.10	Routenberechnung auf Basis einer Distanzeingabe sowie einer oder mehrerer Kategorien	110
4.10.1	POI-basierte Kategorieauswahl	110
4.10.2	Flächenbasierte Kategorieauswahl	112
4.11	Bereitstellung einer Wegbeschreibung	117
4.12	Zusammenfassung	119

5	Aufbau eines webbasierten Fahrradrouenplaners	120
5.1	Einrichtung eines Servers	120
5.1.1	Betriebssystem und WebServer	121
5.1.2	Datenbank	122
5.1.3	Mapserver	122
5.1.3.1	<i>ArcView Internet MapServer (ArcView IMS)</i>	123
5.1.3.2	<i>Arc Internet MapServer (ArcIMS)</i>	124
5.1.3.3	<i>GeoMedia WebMap Professional (GMWM Pro)</i>	126
5.1.3.4	<i>University of Minnesota (UMN) MapServer</i>	127
5.1.3.5	Vergleich der MapServer	128
5.1.4	Datengrundlage	128
5.1.4.1	Räumliche Daten	128
5.1.4.2	Sachdaten	130
5.1.4.3	Datenaufbereitung	131
5.2	Aufbau einer graphischen Benutzeroberfläche	132
5.2.1	Technischer und inhaltlicher Aufbau der Benutzeroberfläche	132
5.2.2	Gestaltung der graphischen Benutzeroberfläche	135
5.2.2.1	Grundlagen der Software-Ergonomie	135
5.2.2.2	Beschreibung und Bewertung der Gestaltungselemente	136
	- Einheitliches Design der Benutzeroberfläche	137
	- Karte und zugehörige Elemente	137
	- Menüs und Werkzeugleiste	138
5.3	Kommunikation zwischen Client und Server	139
5.3.1	Kartenanfrage	140
5.3.2	Routenanfrage	140
5.4	Zusammenfassung	142
6	Möglichkeiten einer mobilen Fahrradnavigation	144
6.1	Global Positioning System (GPS)	145
6.2	Bestehende Hardware	146
6.2.1	Mobile Geräte für die Navigation	146
6.2.2	Merkmale mobiler Geräte	148
	- Ressourcenknappheit	148
	- Eingeschränkte Benutzerschnittstelle	148
	- Eingeschränkte Ausgabe für den Nutzer	148
6.3	Existierende Software-Systeme im Bereich Navigation	149
6.3.1	Software-Anwendungen für PC und mobiles Gerät	149
6.3.2	Mobile Software-Anwendungen	150
6.4	Existierende Projekte im Bereich der mobilen Navigation	150
6.4.1	SVG-Viewer	151
6.4.2	Fahrradtouren-Navigationssystem für Pocket PCs	151
6.4.3	Mobiles Deep Map	152
6.4.4	CityInfo	153
6.4.5	Lol@	153
6.5	Digitale Mitnahme einer Fahrradtour ins Gelände	154
6.5.1	Download der Route in Form eines Tracks	154

6.5.2	Download der Route zur Visualisierung auf einem PDA	156
6.5.2.1	Visualisierung der Daten mit <i>FNaS</i>	156
6.5.2.2	Realisierung des Datendownloads	157
	- Bereitstellung einer Hintergrundkarte	157
	- Bereitstellung der Route	158
6.6	Mobile Routenberechnung	159
6.7	Zusammenfassung	159
7	Zusammenfassung und Ausblick	160
8	Literaturverzeichnis	163
9	Glossar	175
10	Anhang 1	180
10.1	Fragebogen	180
10.2	Ergebnistabellen und -abbildungen zu den Befragungsergebnissen aus Kapitel 3	182
10.3	Arten der Routenausgabe	188

Abbildungsverzeichnis

2.1	Fahrradroutenvorschläge für ganz Deutschland	5
2.2	Tourenplanerplaner des ADFC Baden-Württemberg	6
2.3	Der Routenplaner <i>Berlin by Bike</i>	8
2.4	Der <i>GrünGürtel-FahrtFinder</i>	11
2.5	Der Routenplaner <i>Ruhrtal à la Karte</i>	12
2.6	Der Tourenplaner des Senne-Portals	14
2.7	Der <i>Radroutenplaner NRW</i>	17
2.8	Das <i>Fahrradies</i>	19
3.1	Deutschland und die Landschaft der Onliner, Offliner und Nutzungsplaner ab einem Alter von 14 Jahren im Jahr 2005	26
3.2	Internetnutzung nach Alter im Jahr 2005	26
3.3	Die Benutzeroberfläche des Online-Fragebogens	33
3.4	Räumliche Verteilung der Befragungsrückläufe	36
3.5	Prozentuale Verteilung der Befragungsrückläufe aus den deutschen Postleitzahlenbereichen 0-9	37
3.6	Aspekt bei der Planung einer Fahrradtour	39
3.7	Vorherrschender Aspekt in den deutschen Postleitzahlengebieten 0-9	39
3.8	Räumliche Verteilung der angeschriebenen Fahrradclubs- und Vereine	39
3.9	Häufigste Planungsart der Befragten	40
3.10	Nutzung von Fahrradroutenplanern im Internet	40
3.11	Nennungen bereits genutzter Fahrradroutenplaner	41
3.12	Bevorzugte Planungsmethode	42
3.13	Gewünschte Funktionalität für einen Fahrradroutenplaner im Internet	42
3.14	Vorherrschende gewünschte Funktionalität in den Postleitzahlenbereichen 0-9.....	44
3.15	Darstellung der Funktionalitäten nach Postleitzahlenbereichen 0 – 9	46
3.16	Bevorzugtes Ausgabemedium der Befragten	47
3.17	Übersicht über die Verteilung der Ausgabemedien in den deutschen Postleitzahlen 0-9	48
3.18	Nutzung von GPS-Geräten oder PDA für die Ausgabe der Fahrradroute	48
3.19	Häufigkeit der Durchführung einer Fahrradroute	49
3.20	Altersstruktur der Befragten	52
3.21	Beziehung zwischen dem Alter der Befragten und ihrer Art der Planung einer Fahrradroute	52
3.22	Beziehung zwischen dem Alter der Befragten und der bevorzugten Routenart	53
3.23	Beziehung zwischen den Altersklassen und der Art des Ausgabemediums einer Fahrradroute	54

3.24	Faktoren, die den Funktionsumfang des zu entwickelnden Fahrradrouutenplaners beeinflussen	55
3.25	Übersicht über die geplanten Funktionalitäten des Fahrradrouutenplaners	56
4.1	Ein Graph G und seine Repräsentation in Form einer Nachbarschaftsmatrix	63
4.2	Die Reihenfolge der besuchten Knoten bei der Tiefensuche und Breitensuche	64
4.3	Ein Graph, ein möglicher Spannbaum, der minimale Spannbaum	66
4.4	Erstellung eines Minimalen Spannbaums mit dem Algorithmus nach <i>Kruskal</i>	66
4.5	Erstellung eines Minimalen Spannbaums mit dem Algorithmus nach <i>Prim</i>	67
4.6	Ursprüngliche und verbesserte Lösung mit Simulated Annealing	71
4.7	Prinzip des Ameisenalgorithmus	71
4.8	Schematischer Ablauf der Futtersuche von Ameisen	72
4.9	Die Eingabekoordinate des Nutzers im Straßennetz	74
4.10	Snappen des Adresspunktes auf eine Straße	74
4.11	Kostenverteilung im A-Stern-Algorithmus	75
4.12	Vorgehen des A-Stern Algorithmus	76
4.13	Flussdiagramm des implementierten A-Stern-Algorithmus für die Routenberechnung zwischen zwei Orten	77
4.14	Berechnung der Kosten zwischen einzelnen Städten	79
4.15	Flussdiagramm des Ameisenalgorithmus nach OETZEL	82
4.16	Punktemenge und deren konvexe Hülle	93
4.17	Im Puffer selektierte Linienabschnitte	94
4.18	Konvexe Hülle der Start- und Endpunkte aller Linienabschnitte	95
4.19	Mögliche Rundtouren auf Basis der vorher erzeugten konvexen Hüllen	95
4.20	Angabe einer Himmelsrichtung für die Pufferausrichtung	96
4.21	Ergebnisse für Linienselektion und konvexe Hülle, wenn der Startpunkt sich am Pufferrand befindet	96
4.22	Mögliche Rundtouren auf Basis der neu erzeugten konvexen Hüllen	97
4.23	Die konvexe Hülle der Variante a für die Berechnung einer 15 km langen Route im ländlichen Bereich	98
4.24	Eine mögliche Route der Variante a für die Berechnung einer 15 km langen Route im ländlichen Bereich	98
4.25	Die konvexe Hülle der Variante c für die Berechnung einer 15 km langen Route im ländlichen Bereich	99
4.26	Eine mögliche Route der Variante c für die Berechnung einer 15 km langen Route im ländlichen Bereich	99
4.27	Die konvexe Hülle der Variante a für die Berechnung einer 30 km langen Route im ländlichen Bereich	99
4.28	Eine mögliche Route der Variante a für die Berechnung einer 30 km langen Route im ländlichen Bereich	99
4.29	Die konvexe Hülle der Variante c für die Berechnung einer 30 km langen Route im ländlichen Bereich	100
4.30	Eine mögliche Route der Variante c für die Berechnung einer 30 km langen Route im ländlichen Bereich	100

4.31	Die konvexe Hülle der Variante a für die Berechnung einer 15 km langen Route im städtischen Bereich	100
4.32	Eine mögliche Route der Variante a für die Berechnung einer 15 km langen Route im städtischen Bereich	100
4.33	Die konvexe Hülle der Variante c für die Berechnung einer 15 km langen Route im städtischen Bereich	101
4.34	Eine mögliche Route der Variante c für die Berechnung einer 15 km langen Route im städtischen Bereich	101
4.35	Doppelt befahrene Wege in der Ergebnisroute	102
4.36	Mögliche Route der Variante a mit einer Distanzvorgabe von 15 km im ländlichen Raum ohne das Befahren doppelter Streckenabschnitte	102
4.37	Mögliche Route der Variante c mit einer Distanzvorgabe von 15 km im ländlichen Raum ohne das Befahren doppelter Streckenabschnitte	102
4.38	Mögliche Route der Variante a mit einer Distanzvorgabe von 15 km im städtischen Raum ohne das Befahren doppelter Streckenabschnitte	102
4.39	Mögliche Route der Variante c mit einer Distanzvorgabe von 15 km im städtischen Raum ohne das Befahren doppelter Streckenabschnitte	102
4.40	Konvexe Hülle und Route der Variante a für eine 15 km lange Route im ländlichen Raum mit verkleinertem Pufferradius	103
4.41	Konvexe Hülle und Route der Variante c für eine 15 km lange Route im ländlichen Raum mit verkleinertem Pufferradius	103
4.42	Konvexe Hülle und Route der Variante a für eine 15 km lange Route im städtischen Raum mit verkleinertem Pufferradius	104
4.43	Konvexe Hülle und Route der Variante c für eine 15 km lange Route im städtischen Raum mit verkleinertem Pufferradius	104
4.44	Reduzierung der konvexen Hülle für Variante a im ländlichen Raum	105
4.45	Reduzierung der konvexen Hülle für Variante c im ländlichen Raum	105
4.46	Reduzierung der konvexen Hülle für Variante a im städtischen Raum	105
4.47	Reduzierung der konvexen Hülle für Variante c im städtischen Raum	106
4.48	Ausrichtung des Puffers nach dem gefundenen POI	108
4.49	Berechnung einer Route mit der zusätzlichen Eingabe eines konkreten POI	108
4.50	Kein Ergebnis bei der Eingabe mehrerer konkreter POI	109
4.51	Berechnung einer Route mit der zusätzlichen Eingabe mehrerer konkreter POI	110
4.52	Vorgehen bei der Suche nach möglichen POI-basierten Kategorien	110
4.53	Berechnung einer Route mit der zusätzlichen Eingabe einer POI-basierten Kategorie	111
4.54	Berechnung einer Route mit der zusätzlichen Eingabe mehrerer POI-basierter Kategorien	112
4.55	Berechnung einer Route mit der zusätzlichen Eingabe einer flächenbasierten Kategorie (durchfahren)	113
4.56	Berechnung einer Route mit der zusätzlichen Eingabe einer flächenbasierten Kategorie (vorbeifahren)	113
4.57	Vorgehen bei der Berechnung einer Route auf Basis einer Distanzeingabe und weiterer konkreter POI oder Kategorien	115
4.58	Berechnung von Abbiegevorschriften	117
4.59	Winkel und zugehörige Abbiegevorschrift	118

5.1	Die Architektur des <i>Fahrradies</i>	123
5.2	Die Systemarchitektur des <i>Fahrradies++</i> , implementiert mit dem <i>ArcIMS</i>	125
5.3	Systemarchitektur des Fahrradrouutenplaners <i>Fahrradies</i> , implementiert mit dem <i>GeoMedia WebMap Professional 5.1</i>	127
5.4	Überführen von Spaghetti in topologische Struktur	129
5.5	Thematische Dimensionen	130
5.6	Frameaufteilung der clientseitigen Anwendung	133
5.7	Maßstabsabhängige Layer	134
5.8	Die clientseitige Anwendung des Fahrradrouutenplaners	134
5.9	Die globale Navigation der Anwendung	139
5.10	Architektur des im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Fahrradrouutenplaners	139
5.11	Ausgefüllte Planungsmaske und Ergebnisroute	141
5.12	Textliche Ausgabe der Wegbeschreibung für die berechnete Route	141
5.13	Übersicht über die in der Webanwendung realisierten Funktionalitäten	142
6.1	Überblick über Systeme der Positionsbestimmung	144
6.2	GPS Raumsegment	145
6.3	Mobile Geräte für die Navigation	147
6.4	Benutzeroberfläche des Fahrradrouuten-Navigationssystems	152
6.5	Beispiel einer Panorama-Darstellung im mobilen Stadtinformationssystem CityInfo	153
6.6	Das mobile FahrradNavigationssystem <i>FNaS</i>	157
6.7	Karte mit zugehörigem Worldfile	158
6.8	Kleine Beispielroute und ihre Repräsentation in Form einer textbasierten Koordinatenabfolge	158
10.1	Fragebogen – Seite 1	180
10.2	Fragebogen – Seite 2	181
10.3	Altersstruktur bei den Nutzern mobiler Endgeräte	185
10.4 -		
10.11	Altersstrukturen in den Postleitzahlenbereichen 0 – 7	186
10.12 -		
10.13	Altersstrukturen in den Postleitzahlenbereichen 8 und 9	187
10.14	Ausgabe der Route in Form einer Übersichtskarte	188
10.15	Ausgabe des aktuellen Kartenausschnitts	189
10.16	Ausgabe der Wegbeschreibung in Form eines pdf-Dokuments	190

Tabellenverzeichnis

2.1	Bewertungsstufen für die subjektiven Kriterien zum Vergleich der ausgesuchten interaktiven Fahrradrouutenplaner	7
2.2	Auflistung der Stärken und Schwächen des Fahrradrouutenplaners <i>Berlin By Bike</i>	10
2.3	Auflistung der Stärken und Schwächen des Fahrradrouutenplaners <i>GrünFürtel-FahrtFinder</i>	11
2.4	Auflistung der Stärken und Schwächen des Fahrradrouutenplaners <i>RuhrtaI à la Karte</i>	14
2.5	Auflistung der Stärken und Schwächen des Tourenplaners des Senne-Portals	16
2.6	Auflistung der Stärken und Schwächen des <i>Radrouutenplaners NRW</i>	18
2.7	Auflistung der Stärken und Schwächen des Fahrradrouutenplaners <i>Fahrradies</i>	20
2.8	Zusammenfassung der Stärken der 6 untersuchten interaktiven Fahrradrouutenplaner im Internet	21
2.9	Vergleich der interaktiven Fahrradrouutenplaner im Internet nach unterschiedlichen Kriterien	22
3.1	Übersicht über die möglichen Auswahlverfahren für eine Befragung	28
3.2	Übersicht über Inhalt und Art der Fragen sowie deren Antwortmöglichkeiten	31
3.3	Übersicht über die angeschriebenen Portale zur Verlinkung der Befragungsseite	34
3.4	Skalen und ihre Messniveaus	38
3.5	Beziehung zwischen Aspekt der Route und gewünschter Funktionalität eines Rouutenplaners	44
3.6	Zusammenhang zwischen der Häufigkeit der Durchführung einer Fahrradroute und dem Aspekt, unter dem eine Route durchgeführt wird	50
3.7	Zusammenhang zwischen der Häufigkeit der Durchführung einer Fahrradroute und der Art und Weise, wie die Route im Vorfeld geplant wird	50
3.8	Beziehung zwischen der Häufigkeit der Durchführung einer Fahrradtour und der Nutzung eines Fahrradrouutenplaners im Internet	51
4.1	Informelle Namen für einige übliche O-Laufzeiten	61
4.2	Wachstum verschiedener Komplexitätsfunktionen für bestimmte Eingabegrößen	61
4.3	Kostenfaktoren der verschiedenen Oberflächentypen	85
4.4	Richtwerte für Längsneigungen eines Radweges in Abhängigkeit von der Länge der Steigungsstrecke	86

4.5	Kostenfaktoren der verschiedenen Steigungsklassen	86
4.6	Kostenfaktoren der verschiedenen Straßentypen	88
4.7	Bedeutung der Funktion und der Nebenwirkung von Begrünung	88
4.8	Bildung von Radfahrer-Profilen	90
4.9	Übersicht über die zu betrachtenden Fälle bei der Routenberechnung auf Grundlage einer Distanzangabe	91
4.10	Übersicht der zu untersuchenden Fallbeispiele für Variante a und c	98
4.11	Übersicht über die notwendigen Arbeitsschritte der Varianten a und c	107
5.1	Gegenüberstellung von GUI- und Webdesign im Bezug auf die „Grundsätze der Dialoggestaltung“	136
6.1	Geräte der Hersteller <i>Garmin</i> und <i>Magellan</i>	147
6.2	Übersicht über die gängigen Trackformate	155
10.1	Beziehung zwischen den Altersklassen und der Angabe bereits einen Fahrradrouenplaner im Internet genutzt zu haben	182
10.2	Beziehung zwischen der Häufigkeit der Durchführung einer Radtour und dem genutzten Ausgabemedium für die Fahrradtour	182
10.3	Beziehung zwischen den Altersgruppen und ihrem Wunsch nach Funktionalitäten für einen Fahrradrouenplaner im Internet	183
10.4	Gewünschte Funktionalität in den Postleitzahlenbereichen	183
10.5	Beziehung zwischen den Postleitzahlenbereichen und dem Aspekt bei der Planung einer Radtour	184
10.6	Bevorzugte Ausgabemedien in den einzelnen Postleitzahlenbereichen	184
10.7	Beziehung zwischen der Häufigkeit der Durchführung einer Fahrradtour und dem gewünschten Ausgabemedium	184
10.8	Beziehung zwischen der Häufigkeit der Durchführung einer Fahrradtour und der Nutzung eines mobilen Endgeräts	185

1 Einleitung

75,3 Millionen Fahrräder gab es in Deutschland bereits im Jahr 1997. Etwa jeder vierte Haushalt verfügt dabei über mindestens drei Fahrräder. Trotzdem liegt der Anteil des Radverkehrs am Gesamtverkehrsaufkommen auf Grundlage von Untersuchungen der letzten 10 Jahre bei einem Durchschnittswert von 11%. Dies zeigt, dass das Fahrrad als Verkehrsmittel noch eine untergeordnete Rolle spielt (FELDKÖTTER 2003, S. 19).

Im Urlaub hingegen wird das Radfahren immer beliebter. Radtouren lassen sich intensiver erleben als Touren in einem motorisierten Fahrzeug. Dazu kommt, dass mit dem Fahrrad im Gegensatz zum Wandern größere Strecken zurückgelegt werden können. Daher hat sich die Nutzung des Fahrrades in der Freizeit und im Urlaub in den letzten Jahren zu einer attraktiven Reiseform entwickelt (HOFFMANN und KEUL 2005). Parallel zur wachsenden Beliebtheit des Fahrradtourismus vollzog sich eine enorme Entwicklung im Bereich elektronischer Medien. Mit dem Internet ist ein Kommunikationsnetz entstanden, das neue Maßstäbe bezüglich des Verbreitungsgrads der Reichweite und Interaktivität setzt. Es ist mittlerweile als Informations- und Kommunikationsmedium auch im Bereich des Tourismus nicht mehr wegzudenken. Gerade auf dem Gebiet der Internetkartographie ist mit interaktiven Kartenanwendungen in den letzten Jahren ein enormer Fortschritt zu verzeichnen. In zunehmendem Maße werden Web-Karten und kartengestützte Online-Systeme für touristische Zwecke genutzt (DICKMANN 2001). Allerdings wird das Potential im Bereich des Fahrradtourismus bei weitem noch nicht ausgeschöpft.

Für den motorisierten Individualverkehr existiert im Internet bereits eine Vielzahl an Systemen, die dem Anwender eine Route zwischen zwei oder mehreren Orten berechnen. Weniger berücksichtigt waren bisher die Fahrradfahrer, die sich mit Hilfe eines Routenplaners eine Strecke für berufliche oder Freizeit-Zwecke planen möchten. Mittlerweile gibt es eine Reihe statischer Fahrradrouutenplaner, die dem Nutzer lediglich Tourenvorschläge liefern, jedoch nicht die Möglichkeit bieten, individuelle Touren zu planen. Erst wenige Systeme beschäftigen sich mit der interaktiven, internetgestützten Berechnung einer Fahrradtour. Grundlegend fehlen Konzepte die Radrouutenplanung flexibler, d.h. nach den Wünschen und Interessen der Anwender zu gestalten.

1.1 Motivation

Bereits seit dem Jahr 2001 beschäftigt sich das Institut für Geoinformatik und Fernerkundung (IGF) der Universität Osnabrück mit dem Thema Fahrradrouutenplanung im Internet. Entstanden ist ein internetgestützter Fahrradrouutenplaner, der dem Anwender individuelle Routen berechnet. Die Routenberechnung basiert auf der Eingabe der gewünschten Haltepunkte, die aus einer Liste von Sehenswürdigkeiten und Gastgebern ausgewählt werden können (EHLERS und STROEMER 2004, STROEMER 2002).

Für die Umsetzung des Routenplaners wurde unterschiedliche Basissoftware verwendet. Da es sich dabei in jedem Fall um proprietäre Software handelte, konnten die angebotenen Funktionalitäten nicht weiter oder nur geringfügig angepasst werden. Eine Adaption der Routenberechnung auf die Nutzerwünsche durch das Angebot spezieller Funktionalitäten war aus diesem Grund bisher nicht möglich. Es entstand daher die Idee, einen Fahrradrouenplaner basierend auf quelloffener Software zu entwickeln, so dass die Funktionalitäten direkt auf die Wünsche der Anwender adaptiert werden können. Dabei spielt nicht nur die Planung der Route im Internet sondern auch die Mitnahme der Route ins Gelände eine Rolle.

Zusätzlich stellt sich die Frage des Angebots an bereits im Internet existierenden Fahrradrouenplanern. Es wird vermutet, dass diese Planer bisher gar nicht oder nur zum Teil auf Benutzerwünsche eingehen. Daher entstand die Überlegung, diese im Vorfeld eingehend zu untersuchen und ihre Funktionalitäten diesbezüglich zu überprüfen.

1.2 Zielsetzung

Basierend auf den Überlegungen soll im Rahmen dieser Arbeit ein Fahrradrouenplaner für das Internet implementiert werden, der zum einen auf die Wünsche und Interessen der Anwender zugeschnitten und zum anderen quelloffen ist, um Anpassungen der Funktionalitäten überhaupt durchführen zu können. Da die Wünsche und Interessen der Anwender zunächst nicht bekannt sind, soll im Vorfeld eine Befragung durchgeführt werden, die diese Informationen stichprobenartig aus ganz Deutschland erfasst. Die ermittelten Informationen sollen für die Konzeption neuer Funktionalitäten genutzt werden. Der Routenplaner soll den Anwendern in Form einer Internetanwendung zur Verfügung stehen, welche zusätzlich zu konzipieren ist. Um zu prüfen, ob bereits im Internet vorhandene Fahrradrouenplaner die Interessen der Anwender befriedigen, wird im Vorfeld eine Bestandsanalyse durchgeführt. Die Ziele dieser Arbeit sind im Folgenden kurz zusammengefasst:

- Ermittlung des Angebots vorhandener interaktiver Fahrradrouenplaner im Internet
- Befragung von Radfahrern zur Ermittlung der Wünsche und Interessen im Hinblick auf einen internetgestützten Fahrradrouenplaner
- Auswertung der Befragungsergebnisse und Ableitung von zu entwickelnden Funktionalitäten
- Konzeption einer nutzerbasierten Adaption des Fahrradrouenplanungsprozesses, der vor allem transparent und für weitere Entwicklungen anpassbar, auf allen Plattformen lauffähig ist und problemlos auf andere Regionen übertragen werden kann
- Konzeption einer webbasierten Benutzerschnittstelle
- Aufzeigen von Ausgabemöglichkeiten für die berechnete Route

1.3 Gliederung der Arbeit

Die Arbeit gliedert sich in 7 Kapitel, die im Folgenden kurz umrissen werden sollen. Kapitel 2 gibt einen aktuellen Überblick über aktuell im Internet vorhandene interaktive Fahrradrouutenplaner, zeigt also das derzeitige Angebot an Fahrradrouutenplanern im Internet auf. Die vorgestellten Planer werden anhand ihrer Eigenschaften und Funktionalitäten miteinander verglichen und bewertet. Besonders positive Eigenschaften werden herausgearbeitet und sollen im weiteren Verlauf der Arbeit berücksichtigt werden.

Kapitel 3 beschäftigt sich im Gegensatz zu Kapitel 2 mit der Nachfrage nach Fahrradrouutenplanern im Internet. Im Rahmen einer Befragung werden die Wünsche und Interessen von potentiellen Anwendern ermittelt. Dabei werden neben dem Aspekt, unter dem eine Fahrradtour durchgeführt wird, auch die gewünschten Funktionalitäten sowie die Vorlieben bei der Ausgabe der Route zur Mitnahme ins Gelände abgefragt.

Die Ergebnisse der Kapitel 2 und 3 bilden die Grundlage für das weitere Vorgehen in dieser Arbeit. So soll in Kapitel 4 basierend auf den gewonnenen Ergebnissen Funktionalitäten für einen Fahrradrouutenplaner konzipiert werden, die an die Interessen der Anwender angepasst sind und die positiven Eigenschaften existierender Rouutenplaner berücksichtigen. Dabei wird zunächst auf die Grundlagen der Algorithmen und Graphentheorie sowie Baumstrukturen eingegangen, die eine entscheidende Basis für alle weiteren Verfahren in diesem Kapitel liefern. Im weiteren Verlauf werden einzelne Funktionalitäten vorgestellt und ihre technische Umsetzung in der Rouutenplanung erläutert. Besonderes Augenmerk wird auf ein im Rahmen dieser Arbeit entwickeltes Verfahren gelegt, welches die Rouutenberechnung von der Eingabe von Haltepunkten loslöst, um die Eingaben für den Anwender zu minimieren.

Kapitel 5 bindet die in Kapitel 4 entwickelten Funktionalitäten in eine Benutzerschnittstelle ein, die den Anwendern im Internet zur Verfügung stehen soll. Neben dem Aufbau der graphischen Benutzeroberfläche in Form von HTML-Seiten wird der Entwurf der Seiten nach den Grundlagen des Web-Designs erläutert. Den Abschluss in diesem Kapitel macht eine Darstellung der Kommunikation zwischen Anwender und Fahrradrouutenplaner.

Zur Mitnahme der in der Webanwendung berechneten Fahrradroute wird neben dem Druck auch die digitale Ausgabe realisiert. Kapitel 6 gibt einen Überblick über mögliche Hardware, die sich für eine Mitnahme ins Gelände eignet, sowie Softwarepakete, die eine Visualisierung der Fahrradroute im Gelände ermöglichen. Zusätzlich wird ein Verfahren vorgestellt, wie die berechnete Route für die Mitnahme auf einem mobilen Gerät aufbereitet werden kann.

Eine Zusammenfassung aller hier vorgestellten Inhalte gibt Kapitel 7. Zusätzlich werden in einem kurzen Ausblick die zukünftigen Trends und weitere Möglichkeiten im Bereich der Fahrradrouutenplanung im Internet sowie der mobilen Navigation aufgezeigt.

2 Das Angebot aktueller Fahrradrouutenplaner im Internet

Für die Konzeption eines adaptiven Fahrradrouutenplaners ist es notwendig, zunächst den aktuellen Stand bereits im Internet vorhandener Fahrradrouutenplaner zu ermitteln. An dieser Stelle wird aufgezeigt, welche Fahrradrouutenplaner zur Zeit (Stand Juni 2006) im Internet angeboten werden, welche Funktionalitäten sie besitzen, wie flexibel sie für den Anwender sind und welche Vor- und Nachteile sie aufweisen.

Im Vorfeld stellt sich die Frage, welche Fahrradrouutenplaner im Zuge dieser Arbeit untersucht werden sollen. Von Interesse sind nur „echte“ Fahrradrouutenplaner, d.h. Rouutenplaner, die dem Anwender die Planung einer individuellen Radtour ermöglichen. Sog. Fahrradrouutenplaner, die dem Anwender lediglich eine Auswahl an fertigen Rouutenvorschlägen anbieten und von denen mittlerweile eine Vielzahl im Internet verfügbar sind, sollen an dieser Stelle nicht genauer dargestellt, wenigstens jedoch gute Beispiele dafür genannt werden. Zusätzlich gibt es mittlerweile zahlreiche Portale im Internet, welche die Tourenvorschläge zusätzlich in Form von sog. Tracks zum Download anbieten. Ein Track ist eine Folge von Speicherpunkten, die auf einem GPS-Gerät eine Route abbilden kann.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass in dieser Arbeit die Fahrradrouutenplaner im Internet in drei Kategorien eingeteilt werden:

- Statische Planer mit Kartenkomponente
- Statische Planer mit Downloadkomponente (mit oder ohne Kartenkomponente)
- Interaktive Fahrradrouutenplaner.

Diese Kategorien werden im Folgenden kurz beschrieben sowie jeweils Beispiele aus verschiedenen Regionen Deutschlands dafür aufgezeigt.

2.1 Statische Fahrradrouutenplaner mit Kartenkomponente

Unter dieser Kategorie werden Fahrradrouutenplaner verstanden, die dem Anwender lediglich fertige Tourenvorschläge mit Streckeninformationen zur Verfügung stellen. Die Karte mit der eingezeichneten Tour kann aus dem Internet gedruckt werden. Ein gutes Beispiel für diese Art von Fahrradrouutenplanern ist das Portal *Geolife* (URL: <http://www.geolife.de>) von der Niedersächsischen Landesvermessung und Geobasisinformation (LGN). Der Anwender hat die Auswahl zwischen Radfernwegen und Erlebnistouren in Niedersachsen. Für die Touren werden ausführliche Wegbeschreibungen sowie eine kleine Übersichtskarte angezeigt. Zusätzlich wird auf den Shop der LGN hingewiesen, wo die Fahrradkarten erworben werden können.

Ein weiteres gutes Beispiel dieser Kategorie ist das Tourismus-Portal *deutschland-tourismus*, zu finden unter der URL <http://www.deutschland-tourismus.de>. Hier werden Rouutenvorschläge für ganz Deutschland zur Verfügung gestellt. Die Rouutenvorschläge sind entweder auf einer Übersichtskarte abrufbar (s. Abb. 2.1a), oder es werden dem Anwender durch eine Abfrage von

Kriterien wie z. B. Steigungen oder familienfreundliche Strecke (s. Abb. 2.1b) geeignete Routenvorschläge als Ergebnis angeboten. Für jede Route gibt es nur eine grobe Wegbeschreibung, jedoch Literaturhinweise für konkrete Routeninformationen. Des Weiteren erhält der Anwender eine einfache Übersichtskarte der Route (s. Abb. 2.1c) und etliche Informationen zu Unterkünften und Sehenswürdigkeiten.

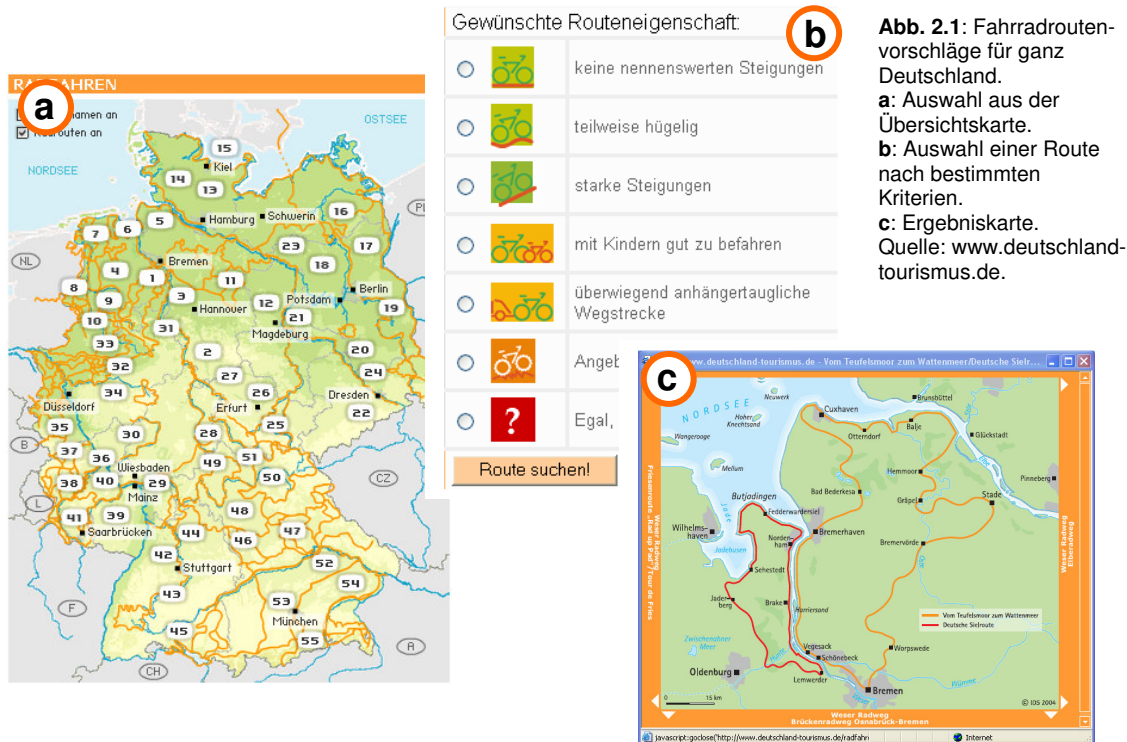


Abb. 2.1: Fahrradroutenvorschläge für ganz Deutschland.
a: Auswahl aus der Übersichtskarte.
b: Auswahl einer Route nach bestimmten Kriterien.
c: Ergebniskarte.
 Quelle: www.deutschland-tourismus.de.

2.2 Statische Fahrradroutenplaner mit Downloadkomponente (mit oder ohne Kartenkomponente)

Immer stärker verbreitet sind Fahrradroutenplaner, die für die angebotenen Tourenvorschläge nicht nur eine druckbare Karte sondern auch die Route in Form eines Tracks zum Download anbieten. Ein Beispiel hierfür ist das Portal *das-rad-ruft* (URL: <http://www.das-rad-ruft.de>), welches für eine Vielzahl an Tourenvorschlägen den Download kostenlos anbietet. Der Anwender hat hier die Möglichkeit, aus fast allen Bundesländern sowie einigen europäischen und anderen Ländern sich Touren in Form eines Tracks ausgeben zu lassen. Dabei können in einer Eingabemaske weitere Optionen wie z.B. Länge der Tour angegeben werden. Das System sucht dann einen entsprechenden Track aus der Datenbank heraus und stellt sie dem Anwender als Download zur Verfügung. Im Schnitt besuchen ca. 30 Nutzer pro Tag die Seite, die privat und mit Sponsorenlinks finanziert wird. Die Track-Datenbank umfasst inzwischen mehr als 55.000 Kilometer an Radtouren (HOFFMANN und KEUL 2005).

Gegen geringes Geld können sich auch die Bürger in Baden-Württemberg ihre Radtour herunterladen. Auf der Seite des ADFC Baden-Württemberg (URL: <http://mmwebportal.dyndns.org/adfc/bw/>) haben sie die Möglichkeit, sich bestimmte Tourenabschnitte per Mausklick auszuwählen. Es sind allerdings feste Touren, aus denen Abschnitte ausgewählt werden können. Für diese Abschnitte werden die Tracks zum Download bereitgestellt (s. Abb. 2.2). Auch die fertigen Tourenvorschläge können in der Karte angezeigt und herunter geladen werden. Hierfür hat der Anwender die Möglichkeit, die Touren nach Regionen aus einer Liste auszuwählen.

The screenshot shows the ADFC-Tourenportal interface. On the left (labeled 'a'), there is an interactive map titled 'Zusammengefigte Tour' showing a route in the Ehningen-Mauren region. On the right (labeled 'b'), there are tour details and a table of stages.

Die Tourdaten

Startpunkt: Ehningen-Württalbrücke
 Endpunkt: Ehningen-Mauren

Beschreibung: < nicht verfügbar >

Abschnitte: 5
 Region: Stuttgart
 Gesamtlänge: 19,3 km
 Höhenunterschied: 166 m / 163 m
 Kategorie: Mittel
 Oberflächenbeschaffenheit: Tourenrad geeignet
 Preis: 0,38 €

Tour in den Warenkorb legen

Etappen und Streckenabschnitte der gewählten Tour

Namen der Etappen und Streckenabschnitte				Optionen
<input checked="" type="checkbox"/>	Abschnitt Ehningen-Württalbrücke - Ehningen			Preis: 0,02 €
	Länge	Höhenunterschied	Kategorie	Oberfläche
	1,0 km	1 m / 3 m	Leicht	Tourenrad geeignet
				Strecke anzeigen in den Warenkorb
<input checked="" type="checkbox"/>	Abschnitt Ehningen - Ehningen-Eschbach			Preis: 0,04 €
	Länge	Höhenunterschied	Kategorie	Oberfläche
	2,1 km	12 m / 9 m	Leicht	Tourenrad geeignet
				Strecke anzeigen in den Warenkorb

Abb. 2.2: Tourenplaner des ADFC Baden-Württemberg. a: interaktive Karte. b: Tracks zum Downloaden. Quelle: <http://mmwebportal.dyndns.org/adfc/bw/>.

Die Lieferung erfolgt je nach Kundenwunsch in Form einer Routenbeschreibung, als GPS-Track oder einem Set digitaler geographischer Karten, die die ausgewählte Route darstellen. Je nach Möglichkeit des verwendeten Gerätes wird die Route entweder auf einer Karte angezeigt oder in Richtungsangaben umgewandelt (SEIDEL und HÜTTNER 2005, S. 34).

2.3 Interaktive Fahrradroutenplaner zur Erstellung einer individuellen Fahrradtour

Einer genaueren Untersuchung werden die aktuell im Internet vorhandenen, interaktiven Fahrradroutenplaner unterzogen. Die interaktiven Fahrradroutenplaner zeichnen sich dadurch aus, dass der Anwender individuelle Fahrradtouren mit ihnen erstellen kann. Die Tour wird dynamisch *on the fly* für den Nutzer erzeugt und ausgegeben. Um die einzelnen Fahrradroutenplaner vergleichen zu können, wurde im Vorfeld ein Kriterienkatalog erstellt. Anhand dieser Kriterien sollen die Fahrradroutenplaner vorgestellt und bewertet werden. Der entwickelte Kriterienkatalog umfasst folgende Aspekte:

- **Allgemeines zum Fahrradroutenplaner** (URL, Entstehungsdatum, entwickelt durch)
- **Benutzeroberfläche** (Aussehen/Design, Benutzerfreundlichkeit, Kartenqualität)
- **Funktionalität des Fahrradroutenplaners**
- **Ausgabemedien**

- zugrunde liegende Technik des Fahrradrouenplaners

Zu finden ist der Kriterienkatalog mit den vergleichenden Informationen zu den Fahrradrouenplanern in Tabelle 2.9. Für die subjektiven Kriterien wie das Aussehen der Benutzeroberfläche, die Benutzerfreundlichkeit und Kartenqualität ist eine Skala entwickelt worden, anhand derer Noten für die jeweilige Eigenschaft vergeben werden. Tabelle 2.1 gibt eine Übersicht über die drei Bewertungsstufen.

Bewertung	Aussehen/Design	Benutzerfreundlichkeit	Kartenqualität
NOTE 1	Sehr gutes, klares Design der Seite, angenehme Farbwahl, sehr übersichtlicher Aufbau.	Benutzeroberfläche ist sehr intuitiv zu bedienen. Es wird sofort klar, wie die Funktionen anzuwenden sind und welche Funktionalitäten sich hinter den Werkzeugen verstecken.	Sehr gute Qualität der Karte, Übersichtlichkeit in der Symbolik, Karte ist nicht „pixelig“.
NOTE 2	Mäßiges Design, Aufbau ist nur bedingt klar, Farben der Anwendung sind bedingt gut.	Benutzeroberfläche weist leichte Nachteile auf, z.B. werden bestimmte Funktionalitäten nicht deutlich, erst durch Probieren oder längere Nutzung wird konkretes Vorgehen deutlich.	Karte ist wenig „pixelig“, Beschriftungen sind bei bestimmten Maßstäben nicht gut zu lesen. Inhalte werden aber deutlich.
NOTE 3	Schlechtes Design der Oberfläche, kein klarer Aufbau der Seite, unpassende Farbwahl.	Es wird nicht deutlich, wie die Oberfläche zu bedienen ist. Erst durch das Lesen der Hilfe kann die Anwendung genutzt werden.	Karte ist „pixelig“, Symbole überlagern sich, Beschriftungen sind nicht zu lesen.

Tab. 2.1: Bewertungsstufen für die subjektiven Kriterien zum Vergleich der ausgesuchten interaktiven Fahrradrouenplaner.
Quelle: eigener Entwurf.

Für die Untersuchung sind folgende interaktive Fahrradrouenplaner ausgewählt worden:

- *Berlin by Bike*
- *GrünGürtel-FahrtFinder*
- *Ruhrtal à la Karte*
- Tourenplaner des Senne-Portals
- *Radrouenplaner NRW*
- *Fahrradies*

Die ausgewählten Planer sind durch die Beschäftigung mit den Thema Fahrradrouting im Internet bereits hinlänglich bekannt. Lediglich der *GrünGürtel-FahrtFinder* konnte durch eine Recherche im Internet zur Auswahl hinzugewonnen werden. Trotzdem erhebt diese Auswahl keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Es ist möglich, dass weitere Fahrradrouenplaner im Internet existieren, welche die Voraussetzungen eines interaktiven Fahrradrouenplaners erfüllen und in die Übersicht miteinbezogen werden müssten. Die ausgewählten sechs Fahrradrouenplaner sollen im Folgenden detailliert dargestellt und ihre Stärken und Schwächen herausgearbeitet werden. Getestet werden sie mit einem analogen 56k Modem.

2.3.1 **Berlin by Bike** (<http://www.bbbike.de>) (Stand 27. Juni 2006)



Die in der Skriptsprache Perl programmierte Anwendung *Berlin by Bike* (*BBBike*) ist im Oktober 1999 an der Technischen Universität Berlin im Rahmen einer Diplomarbeit entstanden. Sie stellt eine Anwendung dar, die auf Adresseingabe basiert. Der Planer ist für die Region Berlin und Brandenburg konzipiert worden.

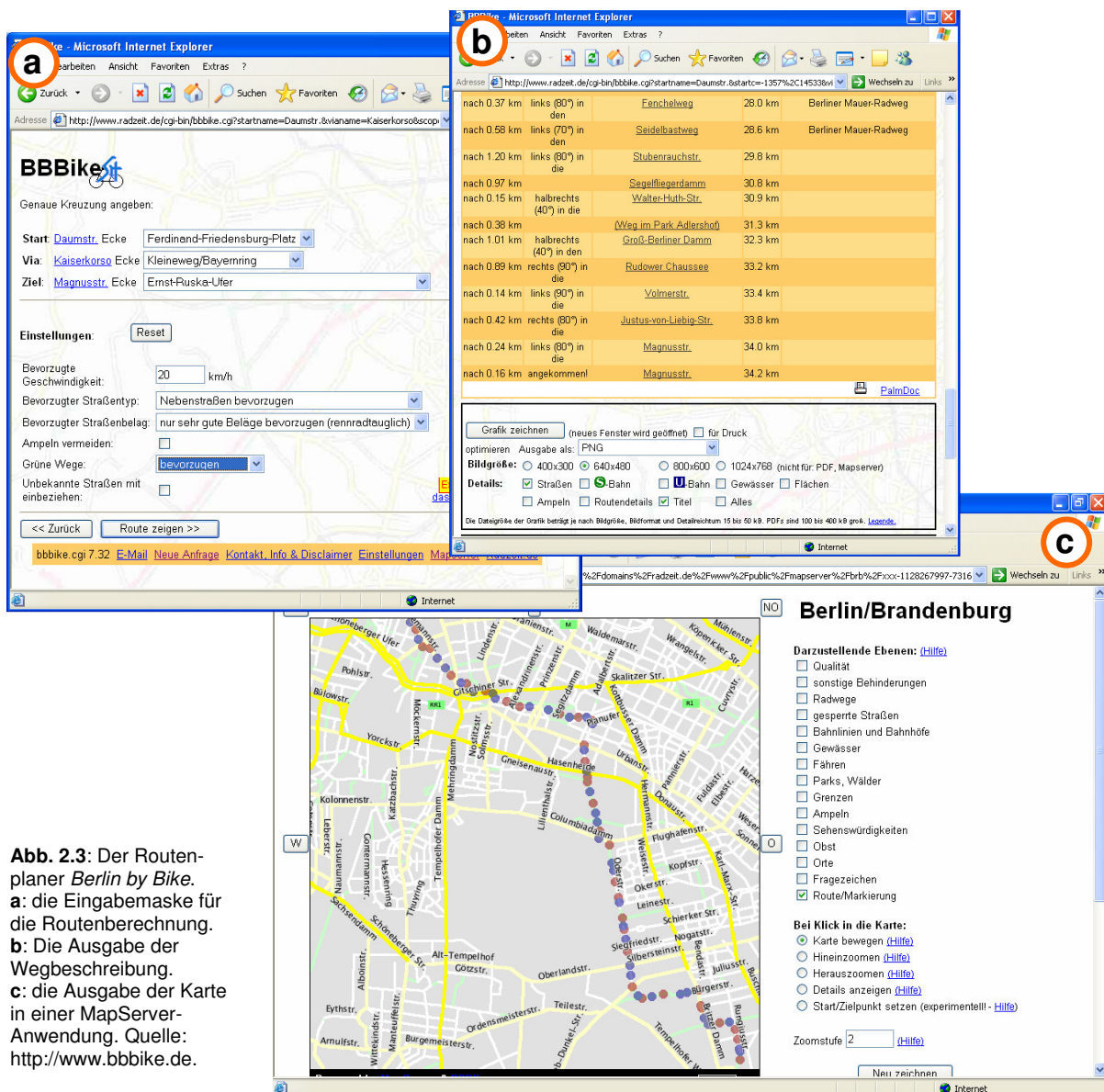


Abb. 2.3: Der Routenplaner *Berlin by Bike*. a: die Eingabemaske für die Routenberechnung. b: Die Ausgabe der Wegbeschreibung. c: die Ausgabe der Karte in einer MapServer-Anwendung. Quelle: <http://www.bbbike.de>.

Der Anwender kann über eine einfache Oberfläche eine Start- und Endadresse sowie optional eine Via-Adresse angeben (s. Abb. 2.3a). Eine Liste aller bekannten Straßen erleichtert die Eingabe der Adressen. Optional ist die Eingabe der Start- und Zieladresse auch durch Klick in eine Übersichtskarte möglich. Des Weiteren hat der Anwender die Möglichkeit, Parameter wie bevorzugter Straßentyp oder Straßenbelag einzugeben. Eine anzugebende Durchschnittsgeschwindigkeit bedingt im weiteren Verlauf die Dauer der zu fahrenden Route. Zusätzlich können grüne Wege bei der Routenberechnung bevorzugt, Ampeln hingegen vermieden werden. Die Routenberechnung dauert ca. 5 Sekunden, allerdings erhält der Anwender zunächst nur die Wegbeschreibung der Route. Das Laden der Karte dauert weitere 12 Sekunden, so dass eine Routenberechnung mit Kartendarstellung in ca. 17 Sekunden durchgeführt ist.

Als Ergebnis erhält der Anwender eine sehr ausführliche Wegbeschreibung, die auch für einen Palm PDA heruntergeladen werden kann (s. Abb. 2.3b). Hierfür benötigt man auf dem Palm dann allerdings einen entsprechenden Viewer. Aktuelle Wetterdaten für die Region sind verlinkt. Eine Karte kann optional angezeigt werden. Dabei hat der Anwender die Möglichkeit zwischen der Ausgabe als Graphik, als pdf-Dokument oder einer MapServer-Anwendung auszuwählen. In der Anwendung können 15 verschiedene Layer ein- oder ausgeblendet werden. Zusätzlich sind einfache Navigationsoperationen wie herein- und herauszoomen möglich (s. Abb. 2.3c). Durch Klick auf Objekte in der Karte können Informationen zu diesen abgefragt werden. Sehr gut ist die Möglichkeit, die Route auch direkt in den Berliner Stadtplan unter www.berliner-stadtplan.com einzubinden. Die berechnete Route wird dann direkt über den Stadtplan gezeichnet. Die Route kann in dieser Anwendung zusätzlich in Form eines Tracks für ein GPS-Gerät heruntergeladen werden. Vor der Berechnung der Route hat der Anwender zusätzlich die Möglichkeit, unter der Rubrik *BikePower* persönliche Einstellungen wie z.B. Gewicht oder Haltung des Fahrers anzugeben. Falls die Einstellungen für *BikePower* ausgefüllt wurden, kann mit der aktuellen Windgeschwindigkeit die Fahrzeit berechnet werden.

BBBike ist nicht nur im Internet verfügbar. Es gibt eine wesentlich komplexere Version von *BBBike* mit interaktiver Karte, mehr Kontrollmöglichkeiten über die Routensuche, GPS-Anbindung und den kompletten Daten. Diese Version läuft als normales Programm (mit Perl/Tk-Interface) unter Unix, Linux, Mac OS X und Windows. Zusätzlich gibt es eine kleine PDA-Version von *BBBike* für iPAQ/Linux mit Namen *tkbabybike*. Zusätzlich kann man unter der Adresse <http://bbbike.de/wap> *BBBike* per WAP-Handy nutzen.

Die Benutzeroberfläche besitzt kein auffällig schönes Design, allerdings ist die Benutzerfreundlichkeit als sehr gut zu beurteilen. Auch für einen unerfahrenen Nutzer wird sofort deutlich, wie die Anwendung zu bedienen ist. Die Kartenqualität ist sehr gut, das Laden der Karte benötigt allerdings viel Zeit.

BBBike ist vor allem für Fahrradkurier oder Alltagsradler von Vorteil, da Start- und Endpunkt in Form einer Adresse anzugeben sind und die schnellstmögliche Route berechnet wird. Für den Tourismus ist diese Form der Routenberechnung allerdings weniger nützlich, da weder Sehenswürdigkeiten noch Unterkünfte verzeichnet sind. Trotzdem wurde der Planer für eine genauere Betrachtung an dieser Stelle der Arbeit ausgewählt, da er über interessante Funktionalitäten verfügt wie z.B. die Einbeziehung des Belags in die Routenberechnung. In Tabelle 2.2 werden zusammenfassend die wichtigsten Eigenschaften dieses Planers aufgezeigt.

Stärken	<ul style="list-style-type: none"> - Bevorzugung eines bestimmten Straßentyps - Einbeziehung des Straßenbelags - Bevorzugung grüner Wege - Vermeidung von Ampeln - Einbindung der Route in einen Stadtplandienst - ausführliche Wegbeschreibung - sehr gute Kartenqualität
Schwächen	<ul style="list-style-type: none"> - Routenberechnung nur auf Grundlage von Adressen - Karte wird nicht automatisch geladen - Lange Ladezeit der Karte

Tab. 2.2: Auflistung der Stärken und Schwächen des Fahrradrouenplaners *Berlin By Bike*.
Quelle: eigene Erhebung.

2.3.2 GrünGürtel-FahrtFinder (<http://stadtplan.frankfurt.de/radroutenplaner/>)
(Stand 27. Juni 2006)



Der *GrünGürtel-FahrtFinder* ist ein im Jahr 2002 für das Gebiet Frankfurt am Main entstandener Fahrradrouenplaner. Entwickelt wurde er von der Firma megatel Informations- und Kommunikationssysteme GmbH in Zusammenarbeit mit dem Stadtvermessungsamt der Stadt Frankfurt. Eine einfache Eingabemaske ermöglicht dem Nutzer die Auswahl eines Start- und eines Zielpunkts. Dabei kann sich dieser innerhalb des GrünGürtels, der sich um Frankfurt befindet, oder innerhalb der Innenstadt befinden. Neben der Auswahl eines vordefinierten Punktes kann alternativ eine Adresse angegeben werden (s. Abb. 2.4a). Bevor die Route berechnet wird, können zusätzlich die Optionen „Attraktivität“ und „Steigung“ sowie die „Vermeidung von Gefahrenpunkten“ in die Routenberechnung miteinbezogen werden. Die Route wird dem Anwender innerhalb eines Stadtplanes angezeigt. Zusätzlich wird eine ausführliche Wegbeschreibung ausgegeben. Um eine ca. 25 km lange Fahrradtour zu erstellen, muss der Anwender ca. 12 Sekunden warten, bis das Ergebnis in der Karte zu sehen ist. Zu einigen Punkten in der Karte können Informationen per Klick in die Karte abgefragt werden.

Das Aussehen des *GrünGürtel-FahrtFinders* kann als sehr gut bewertet werden. Die Oberfläche ist sehr klar strukturiert und übersichtlich. Die Benutzerfreundlichkeit auf Seiten der Eingabemaske ist nur zum Teil als gut zu betrachten. Es wird nicht sofort klar, wie die Eingaben in den unterschiedlichen Textfeldern und Listen getätigt werden müssen. Die Kartenanwendung ist wenig komfortabel durch statische Zoom-Funktionen zu bedienen. Die Kartenqualität ist als sehr gut einzustufen. Da die Route im Vordergrund eines Stadtplans dargestellt wird, sind POI und Straßenzüge sehr gut zu erkennen. Besonders positiv hervorzuheben ist die Wegbeschreibung. Sie ermöglicht durch Klick auf einzelne Straßenabschnitte diesen in der Karte markiert darzustellen.

Abb. 2.4: Der GrünGürtel-FahrtFinder.

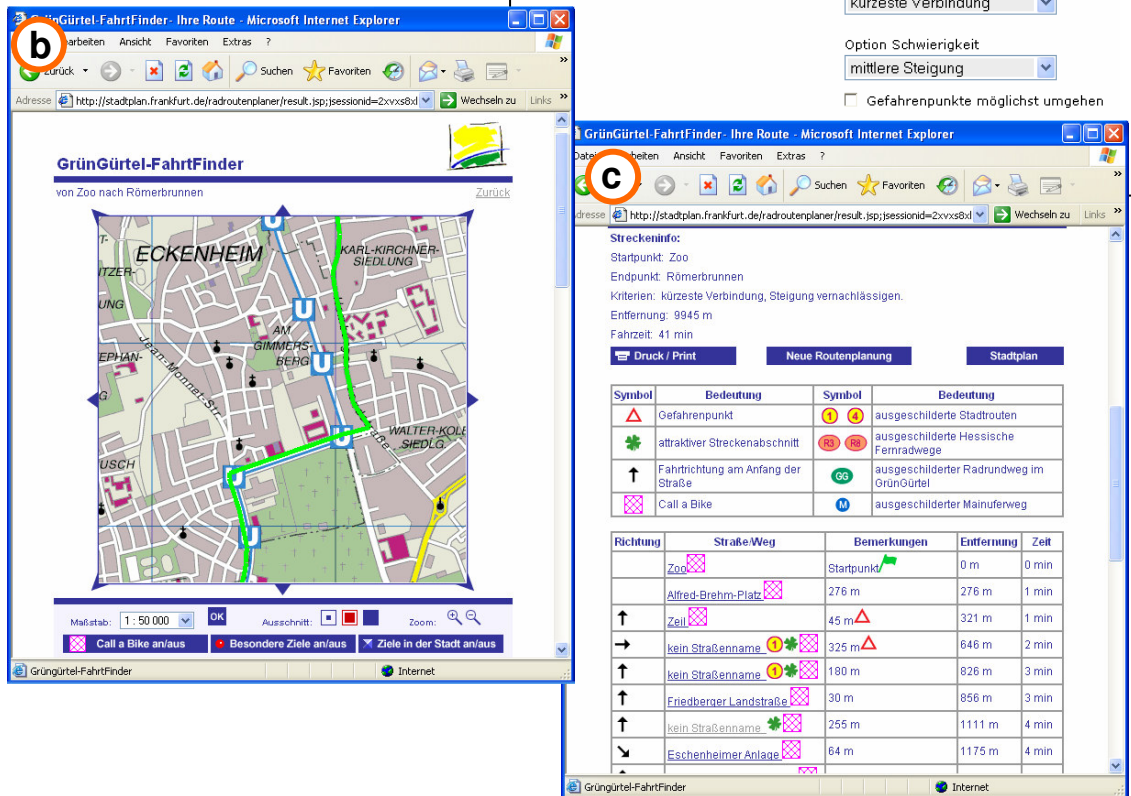
a: die Eingabemaske.

b: die Ausgabekarte.

c: die Wegbeschreibung

Quelle:

http://stadtplan.frankfurt.de/radroutenplaner/.



Die Anwendung dieses Fahrradroutenplaners beschränkt sich nur auf die Routenberechnung zwischen zwei Orten. Eine Rundtour kann nicht berechnet werden. Touristen werden diesen Planer möglicherweise eher selten nutzen, besonders weil keine Unterkünfte oder Sehenswürdigkeiten verzeichnet sind. Allerdings ist es möglich, sich auch fertige Routenvorschläge in der Karte anzeigen zu lassen. Die Stärken und Schwächen des *GrünGürtel-FahrtFinders* werden abschließend in Tabelle 2.3 zusammengefasst.

Stärken	<ul style="list-style-type: none"> - Einbeziehung der Attraktivität und Steigung in die Routenberechnung - Vermeidung von Gefahrenpunkten - Stadtplan als Kartengrundlage - dynamische Wegbeschreibung
Schwächen	<ul style="list-style-type: none"> - Keine Möglichkeit der Berechnung einer Rundtour - Navigation in der Karte

Tab. 2.3: Auflistung der Stärken und Schwächen des Fahrradroutenplaners *GrünFürtel-FahrtFinder*.

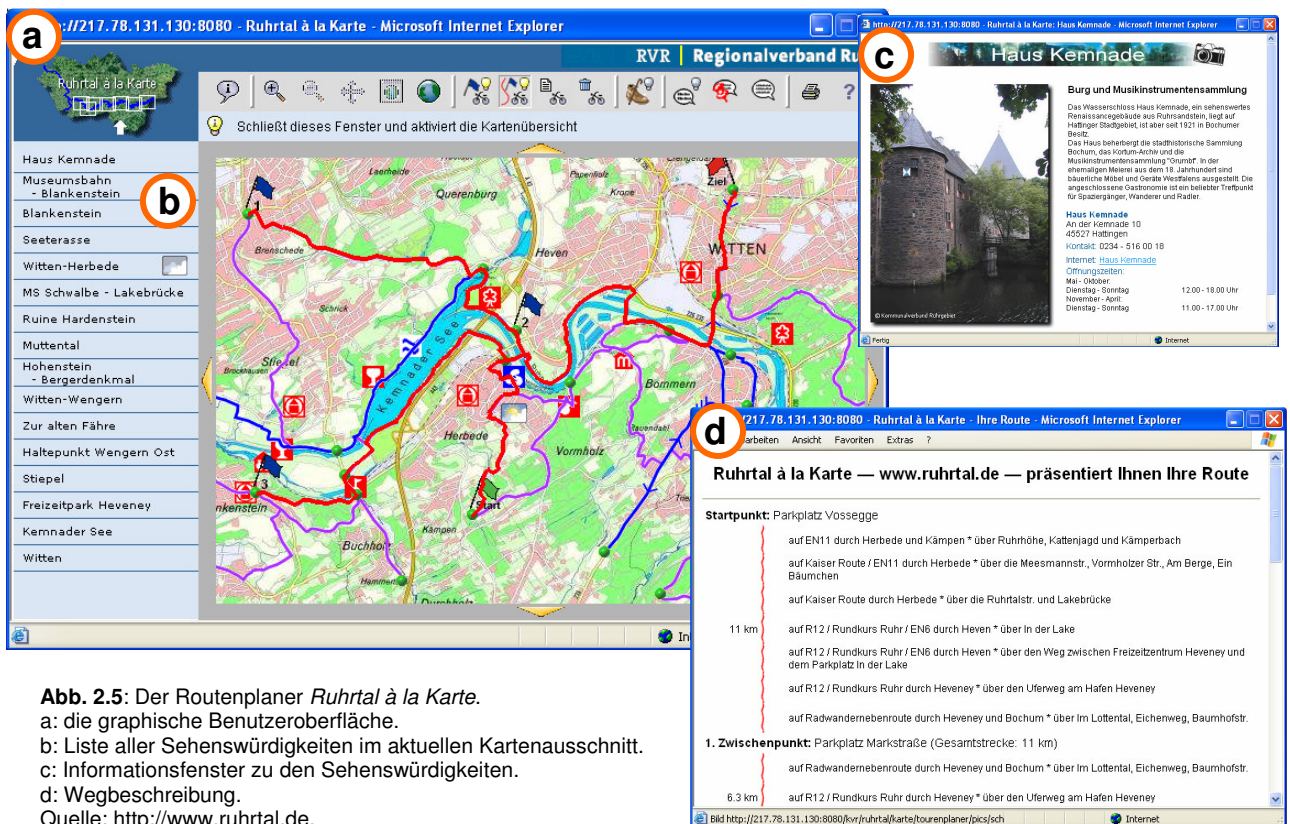
Quelle: eigene Erhebung.

2.3.3 *Ruhrta à la Carte* (<http://www.ruhrtal.de>)(Stand 27. Juni 2006)



Ruhrta à la Carte ist ein vom Kommunalverband Ruhrgebiet (KVR) und dem Institut für Kartographie und Geoinformatik der Uni Bonn im Jahr 2001 entwickelter individueller Fahrradroutenplaner. Er umfasst Gebiete in Nordrhein-Westfalen entlang der Ruhr. Dabei können sieben verschiedene Kartenausschnitte angezeigt werden. Diese Kartenausschnitte umfassen die Gebiete Mülheim, Kettwig/Werden, Baldeneysee/Überruhr, Hattingen/Dahlhausen, Kemnader See/Witten, Harthortsee/Hengsteysee und Hengsteysee/Schwerte. Beim Einstieg in eine der Kacheln gelangt der Besucher zunächst auf vorgefertigte Karten, die als einfache Bilder im Jpeg-Format in die HTML-Seiten eingebunden werden. Erst beim Hineinzoomen wird die Karte dynamisch erzeugt (STEINRÜCKEN 2001, S. 54)

Für jede Kachel bzw. jeden Kartenausschnitt werden die Sehenswürdigkeiten auf der linken Seite der Benutzeroberfläche in einer Liste angezeigt. Zusätzlich sind die Sehenswürdigkeiten in der Karte durch Symbole dargestellt. Unterkünfte der Region sind nicht aufgeführt. Per Mausklick auf das jeweilige Symbol oder durch Klick auf den Link der entsprechenden Sehenswürdigkeit in der Liste erhält man eine neue Seite mit Informationen und Fotos. Ein neuer Kartenausschnitt kann durch Klick auf den gewünschten Ausschnitt in der Übersichtskarte oder durch Pfeile am Rand der Hauptkarte geladen werden. Leider bietet die Anwendung keine Legende, in der die Symbole beschrieben werden.



Neben fertigen Routenvorschlägen und Wandertouren hat der Anwender die Möglichkeit, sich durch Auswahl von Punkten in der Karte eine Route berechnen zu lassen. Die für die Route

auszuwählenden Haltepunkte sind in der Anzahl sehr begrenzt. Es handelt sich dabei um Routenstützpunkte der Routenvorschläge (grün dargestellt in der Karte). Die Haltepunkte werden nach der Reihenfolge abgefahren, in der sie angegeben wurden. Grundlage der Routenberechnung sind fertige Routenvorschläge und nicht wie gewohnt das Straßen- und/oder Radwegnetz. Es scheint, als könnte man lediglich die in dem Gebiet vorhandenen Fahrradrouuten individuell abändern. Die eigentliche Routenberechnung erfolgt innerhalb weniger Sekunden. Das Routing ist nicht nur innerhalb einer Kachel sondern auch kachelübergreifend möglich. Die Schnelligkeit der Routenberechnung ist mit der Vorgehensweise zur Routenermittlung zu begründen. Während die anderen hier vorgestellten Systeme die Route in Echtzeit innerhalb des zugrunde liegenden Netzes suchen, sind alle möglichen Routen im *Ruhrtal à la Karte* bereits im Vorfeld generiert und in einer Matrix abgelegt worden. Diese Matrix lässt sich sehr schnell abfragen, solange die Zahl der Haltepunkte überschaubar bleibt (PLÜMER et al. 2002, S. 3).

Die Wegbeschreibung, die für die berechnete Route ausgegeben werden kann, beinhaltet die einzelnen Straßennamen der zu befahrenden Straßen. Allerdings fehlen die links/rechts-Anweisungen (s. Abb.2.5d). Besonders positiv ist, dass die Beschilderung, die einem auf der Strecke begegnet, auf der Seite angezeigt und erklärt wird. Die Wegbeschreibung wird nach Anklicken des entsprechenden Buttons in der Werkzeugleiste in wenigen Sekunden generiert. Gedruckt werden kann immer nur der aktuelle Kartenausschnitt in einer niedrigen und einer hohen Qualität. Die Druckseite wird daraufhin in Form einer HTML-Seite generiert. Je nachdem, wie tief in die Karte hereingezoomt wurde, kann man in der Karte ausreichend Informationen zur Nutzung im Gelände erkennen.

Zusätzlich zu den anderen Funktionalitäten können Kommentare in die Karte eingebunden werden. Mit Klick in die Karte wird ein Ort festgelegt, an dem ein Kommentar oder ein Bild etc. angehängt werden soll. Zusätzlich kann auf Wunsch ein Wanderweg angezeigt werden. Zu jeder Kachel sind aktuelle Wetterinformationen abrufbar.

Der Routenplaner besitzt ein ansprechendes Design. Die Anwendung ist nicht überladen und hat eine klare Strukturierung. Deutlich erkennbar ist die Trennung zwischen Werkzeugleiste, Informationsleiste und Karte. Die Bedienbarkeit des *Ruhrtal à la Karte* ist als gut bis befriedigend zu bewerten. Als ungünstig werden vor allem die Werkzeugsymbole angesehen. Es erschließt sich dem Nutzer nicht auf den ersten Blick, was mit den Werkzeugen ausgeführt wird. Erst beim Überfahren der Symbole mit dem Mauszeiger wird ein Hilfetext angezeigt, der die Funktion beschreibt. Die Qualität der Karte hängt ganz von der jeweiligen Zoomstufe ab. In der vollen Ausdehnung einer Kachel sind die Inhalte der Karte wie Grünflächen, bebaute Flächen, Gewässer, Straßen, Sehenswürdigkeiten, Bahnlinien und Beschriftungen der Städte gut zu erkennen. Zoomt man allerdings weiter herein, wird eine Karte geladen, auf der die Beschriftungen leider nicht gelesen werden können. Erst bei weiterem Reinzoomen wird die Karte klarer. Zusammenfassend werden noch mal alle Stärken und Schwächen des *Ruhrtal à la Karte* in Tabelle 2.4 aufgelistet.

Stärken	<ul style="list-style-type: none"> - Angabe der Schilder, die einem auf der Route begegnen - Einbinden von Kommentaren in die Karte
Schwächen	<ul style="list-style-type: none"> - keine Legende - keine selbsterklärenden Werkzeuge - Routenberechnung auf Basis eines sehr kleinen Netzes

Tab. 2.4: Auflistung der Stärken und Schwächen des Fahrradroutenplaners *Ruhrtal à la Carte*.
Quelle: eigene Erhebung.

2.3.4 Tourenplaner des Senne-Portals

(<http://www.geodok.de/SennePortalRouting/main.faces>) (Stand 27. Juni 2006)



Der Tourenplaner des Senne-Portals ist vergleichsweise jung. Erst im Juli 2005 wurde er veröffentlicht. Entwickelt wurde er von der Firma Geodok GmbH aus Bielefeld. Die Präsentation des Planers erfolgt durch die Biologische Station Senne, Senne-Original und Verlag Thomas P. Kiper. Die finanzielle Förderung hat die Stiftung für Umwelt und Sport der Stadtwerke Bielefeld übernommen. Der Planer umfasst räumlich das Gebiet zwischen Bielefeld, Gütersloh, Paderborn und Horn-Bad Meinberg.

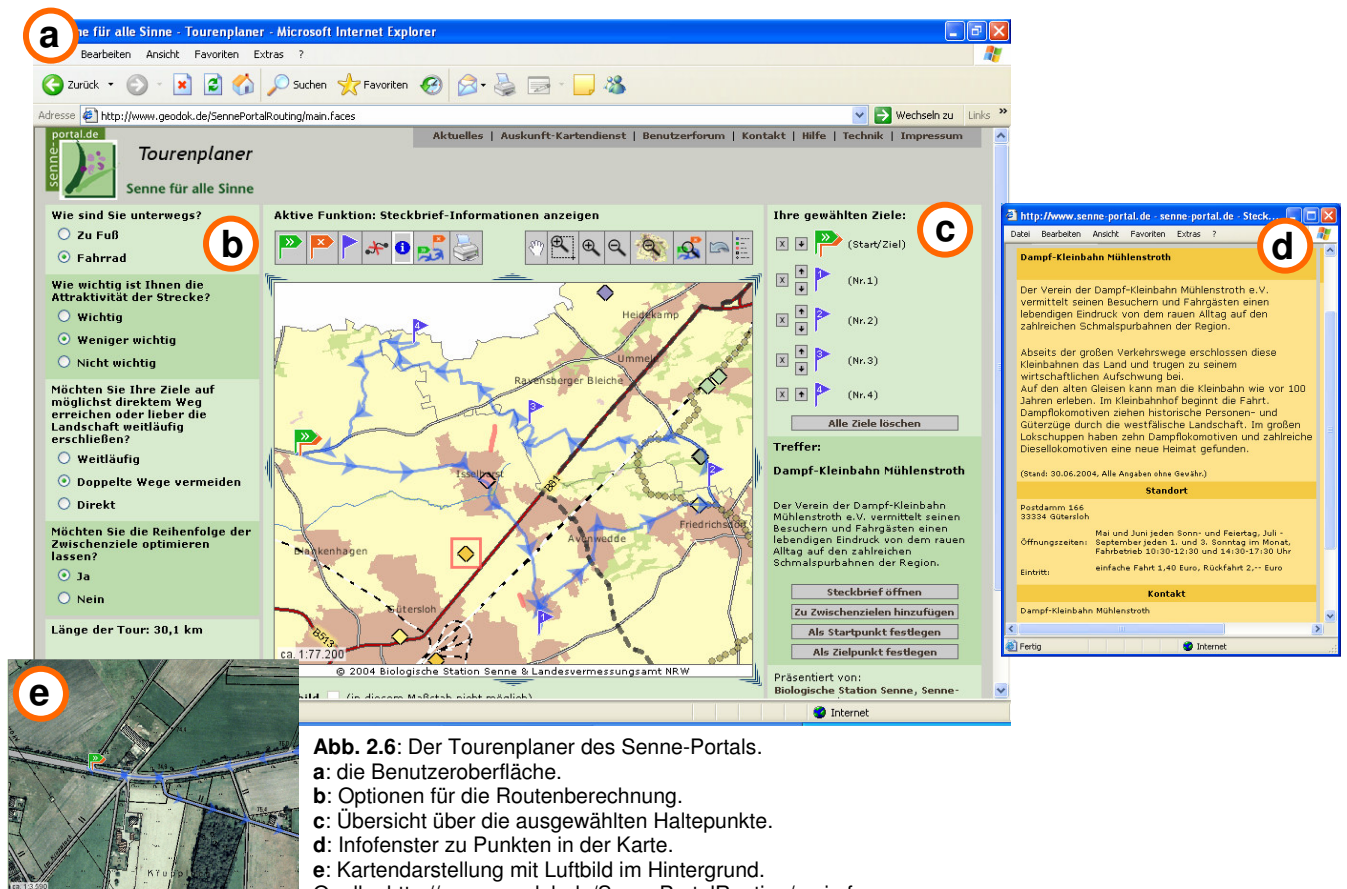


Abb. 2.6: Der Tourenplaner des Senne-Portals.
a: die Benutzeroberfläche.
b: Optionen für die Routenberechnung.
c: Übersicht über die ausgewählten Haltepunkte.
d: Infenster zu Punkten in der Karte.
e: Kartendarstellung mit Luftbild im Hintergrund.
 Quelle: <http://www.geodok.de/SennePortalRouting/main.faces>.

Der Routenplaner des Senne-Portals hat eine dreigeteilte Oberfläche (s. Abb. 2.6). Auf der linken Seite befinden sich die einstellbaren Optionen, in der Mitte ist die Karte platziert und rechts sind zum einen die einzelnen Haltepunkte aufgelistet, zum anderen werden hier Informationen der einzelnen POI in der Karte dargestellt. Letzteres ist allerdings erst auf den zweiten Blick zu erkennen. Für unerfahrene Nutzer steht eine ausführliche Hilfe zur Verfügung.

Die Symbole in der Karte sind im kleineren Maßstab nur als Kästchen dargestellt. Dadurch wird nicht auf Anhieb deutlich, worum es sich bei diesen Objekten handelt. Erst bei weiterem Reinzoomen erscheinen die richtigen Objektsymbole. Wird tief genug in die Karte hineingezoomt, erscheint ein Luftbild als Hintergrund, und Straßennamen werden sichtbar. Zu den einzelnen Punkten gibt es Info-Steckbriefe, die durch Klick auf die Symbole auf der rechten Seite der Anwendung erscheinen. Dies ist ein wenig versteckt und erst nach mehrfachem Betätigen erkennt der Benutzer, wo die Informationen erscheinen. Neben den Punktsymbolen werden auch Straßen, Flüsse, Gemeindegrenzen, Siedlungs-, Heide- und Waldflächen sowie der Truppenübungsplatz dargestellt. Eine Legende ist vorhanden, allerdings wird dort leider nicht die Bedeutung der einzelnen Punktsymbole in der Karte erläutert.

Die Haltepunkte einer Route können durch Klick in die Karte gesetzt werden. In der Benutzeroberfläche oben rechts wird eine Liste mit bereits ausgewählten Haltepunkten angezeigt. Diese können beliebig in der Reihenfolge verschoben werden. Start- und Zielpunkt sind zunächst identisch. Dies kann jedoch durch eine Änderung der Voreinstellungen verhindert werden, wenn eine Route zwischen zwei Orten geplant werden soll. Bevor die Route berechnet wird, können noch weitere Optionen für die Routenberechnung eingestellt werden. So können bestimmte Wegabschnitte durch Markierung dieser in der Karte für die Routenberechnung ausgeschlossen werden. Zusätzlich kann angegeben werden, ob doppelte Wege vermieden werden sollen oder ob die Landschaft weiträumig erschlossen werden soll. Eine weitere Option ist die Einbeziehung der Attraktivität der Strecke in die Routenberechnung. Interessant zu wissen wäre, wie diese Funktion realisiert wird, da Attraktivität ein eher subjektives Empfinden ist (vgl. Kap. 4.7.5). Zu guter Letzt kann die Reihenfolge der Punkte nach Wahl optimiert oder in der Reihenfolge, in der sie ausgewählt wurden, festgelegt werden. Die Routenberechnung ist verhältnismäßig zeintensiv. Für eine ca. 30 km lange Tour werden 40 Sekunden benötigt, bis die Route in der Karte zu sehen ist. Besonders hervorzuheben sind die kleinen Pfeile an der Route, welche die Richtung der Tour anzeigen.

Nach der Berechnung der Tour kann diese in Form einer Karte ausgedruckt werden. Dem Nutzer ist es nicht möglich, aus einer Übersichtskarte oder Kartenkacheln auszuwählen. Es wird automatisch ein pdf-Dokument erzeugt, welches zwar beide Kartenformen, allerdings aber keine textliche Wegbeschreibung beinhaltet. Da die einzelnen Kartenkacheln sehr klein sind, ist das Dokument sehr aufgebläht. Für die oben berechnete Route von ca. 30 km erhält der Nutzer nach erst 2 Minuten und 20 Sekunden das angeforderte pdf-Dokument. Dieses umfasst 23 Seiten. Möchte der Anwender dieses Dokument mit einem 56k Modem herunterladen, kann dies zwischen 8 und 10 Minuten dauern.

Das Aussehen der Benutzeroberfläche kann als sehr gut bewertet werden. Die Bedienbarkeit erhält trotz eigentlich klarer Struktur ein gut, da beim Klick auf Punktsymbole Informationen in der rechten unteren Ecke erscheinen. Diese Ecke ist nach KRAAK und BROWN (2001, S. 201)

diejenige, die der Nutzer erst ganz am Ende wahrnimmt. Daher fällt erst auf den zweiten Blick auf, dass die Informationsabfrage tatsächlich ein Ergebnis liefert. Ansonsten ist die Bedienung sehr intuitiv und die einzelnen Bereiche der Optionen sind farblich sehr gut voneinander abgegrenzt. Die Qualität der Karte ist als sehr gut einzustufen. In jeder Zoomstufe erhält man eine klare übersichtliche Karte zurückgeliefert. Besonders schön ist auch das Erscheinen der Luftbilder bei entsprechender Zoomstufe. Tabelle 2.5 fasst die wichtigsten Aspekte des Senne-Portal-Fahrradroutenplaners zusammen.

Stärken	<ul style="list-style-type: none"> - Vermeidung von doppelten Wegen - Ausschluss von Wegabschnitten in der Karte - Kleine Übersicht über ausgewählte Haltepunkte - Gute Kartenqualität - kleine Pfeile zeigen die Richtung der Route an
Schwächen	<ul style="list-style-type: none"> - Lange Routenberechnung - Sehr lange Generierung der Druckkarte - Fehlende Wegbeschreibung

Tab. 2.5: Auflistung der Stärken und Schwächen des Tourenplaners des Senne-Portals.
Quelle: eigene Erhebung.

2.3.5 Radroutenplaner NRW (<http://www.radroutenplaner.nrw.de>)
(Stand 27. Juni 2006)



Der *Radroutenplaner NRW* ist im Auftrag des Ministeriums für Bauen und Verkehr des Landes NRW von der Ingenieurgruppe IVV GmbH & Co. KG im Jahr 2003 realisiert worden. Wie der Name schon sagt, umfasst der Planer das gesamte Bundesland Nordrhein-Westfalen.

Bevor die Routenplanungsoberfläche geöffnet wird, muss der Anwender angeben, in welcher Region er starten möchte. Dies ist sinnvoll, um die Region in der Karte zunächst einzugrenzen und dadurch die Ladezeit zu verringern. Nach der Auswahl einer Region wird die Karte geöffnet. Die Benutzeroberfläche ist in drei Bereiche untergliedert. Auf der linken Seite sind die Optionen zur Routenberechnung aufgelistet (s. Abb. 2.7a). Rechts daneben befindet sich die Karte mit der darüber liegenden Werkzeugleiste (s. Abb. 2.7b). Ganz unten ist ein Infofenster mit vier Karteireitern platziert. Hier werden zu einem späteren Zeitpunkt die Wegbeschreibung, das Höhenprofil etc. ausgegeben (s. Abb. 2.7c/d). Neben den gängigen Navigationsfunktionen hat der Anwender die Möglichkeit, sich eine ausführliche Legende in der Karte einblenden zu lassen. Positiv ist die Möglichkeit, die einzelnen Bereiche der Benutzeroberfläche in ihrer Größe zu verändern, so dass eine individuelle graphische Benutzeroberfläche erzeugt werden kann.

Zusätzlich zu den Radwegen, die klassifiziert nach der Steigung, nach der Art der Radverkehrsanlage oder Routenart in der Karte dargestellt werden können, befinden sich Sehenswürdigkeiten, Kreisgrenzen, Wald- und bebaute Flächen, Wiesen und Gewässer in der Karte. Auf Wunsch werden auf dem Bildschirm zusätzlich die Radverkehrsanlage, Wirtschaftswege, Mehr-

zweckstreifen, Tempo-30-Zonen oder die Führung der Fahrbahn angezeigt (MONHEIM 2005, S. 225).

Neben einer Auswahl von fertigen Routenvorschlägen, auf die leider bei der Auswahl standardmäßig nicht gezoomt wird, kann der Anwender auch eine eigene Route anhand individueller Haltepunkte planen. Zu diesem Zweck stellt die Anwendung Möglichkeiten bereit, bestimmte Adressen zu suchen oder Sehenswürdigkeiten oder Bahnhöfe aus Listen auszuwählen. Das setzen der Haltepunkte ist nicht intuitiv. Der Nutzer muss mit der rechten Maustaste in die Karte klicken. Daraufhin öffnet sich ein Kontextmenü, welches die Möglichkeit bietet, den geklickten Punkt als Start-, Ziel- oder Zwischenpunkt auszuwählen. Auch aus den Listen herausgesuchte Sehenswürdigkeiten müssen auf diese Weise in die Liste der Haltepunkte hinzugefügt werden. Zusätzlich kann anhand der Nummer jedes Pfostens, an dem ein Wegweiser des Landesnetzes angebracht ist, ein Startpunkt gesetzt werden.

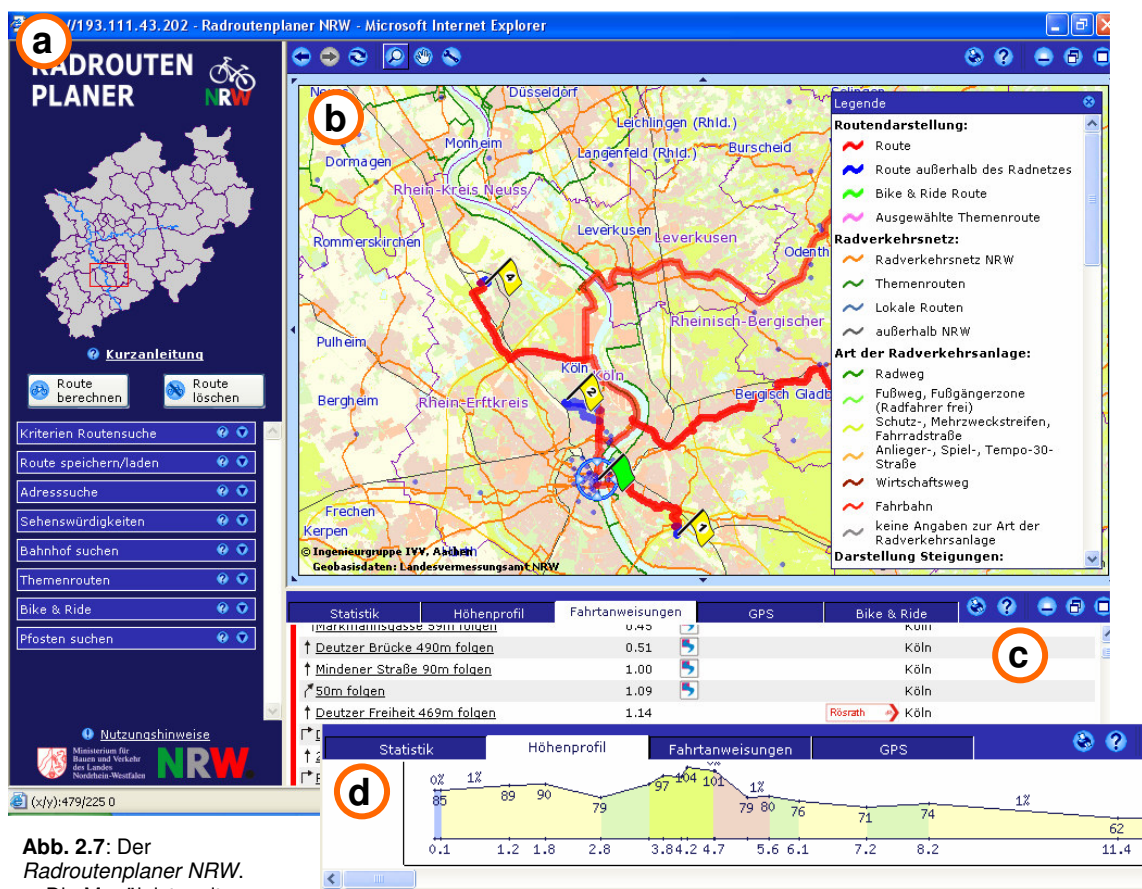


Abb. 2.7: Der Radroutenplaner NRW.
a: Die Menüleiste mit Eingabeoptionen für die Routenberechnung.
b: Die Karte mit eingeblendeter Legende.
c: Ausgabe der Wegbeschreibung im Informationsfenster am unteren Rand der Benutzeroberfläche.
d: Ausgabe eines Höhenprofils der Route. Quelle: <http://www.radroutenplaner.nrw.de>.

Bei der Routenberechnung wird nicht eine optimale Reihenfolge der Haltepunkte berechnet, sondern die Punkte werden der Reihe nach, wie sie angeklickt worden sind, abgefahren. Für einen Anwender, der sich in der Region nicht auskennt, ist dieses Vorgehen nicht von Vorteil, da er die Führung seiner Route bereits im Vorfeld wissen muss. Gut ist allerdings, dass die Steigung in die Routenberechnung miteinbezogen wird, und ausgewiesene Radwege für die

Routenberechnung besonders berücksichtigt werden können. Eine Route zwischen Start, Ziel oder Zwischenziel besteht in der Regel aus drei Abschnitten: Einem Zugang vom Startpunkt über alle Straßen und Wege zu einem günstigen Einstiegspunkt in das Radnetz, weiter nur über die fahrradtauglichen Wege des Netzes selbst und schließlich vom Ausstiegspunkt wieder über alle Straßen und Wege zum Ziel. Bei kurzem Abstand zwischen Start und Ziel kann dieses Verfahren zu großen Umwegen führen. Deshalb wird mit der Direktroutingfunktion festgelegt, bis zu welcher Luftlinienentfernung zwischen 2 Fährnchen ausschließlich über alle Straßen und Wege gesucht wird. Wenn über das Radnetz gefahren werden soll, sollte hier ein geringer Wert (z.B. 0) gewählt werden, bei der kürzesten Verbindung wird ein hoher Wert gewählt. Für eine ca. 30 km lange Fahrradtour muss ca. 10 Sekunden lang gewartet werden, bis das Ergebnis in der Karte dargestellt wird.

Nach der Routenberechnung wird die Route rot in der Karte dargestellt. Eine ausführliche Wegbeschreibung kann im Infofenster am unteren Rand der Anwendung aufgerufen werden. Hier ist es zudem möglich, sich das Höhenprofil der berechneten Route anzeigen zu lassen. Unter der Rubrik Statistik finden sich allgemeine Informationen zu der Route, wie z.B. die Streckenlänge oder die Fahrtzeit. Die persönliche durchschnittliche Reisegeschwindigkeit, welche die Fahrtzeit bedingt, kann hier angegeben werden. Um die Route mit in das Gelände zu nehmen, kann sie zum einen ausgedruckt werden. Allerdings kann der Anwender keine Übersichtskarte oder die Karte in Form von Kacheln drucken. Die Anwendung druckt lediglich den aktuellen Kartenausschnitt mit der Legende. Zum anderen ist es möglich, sie in Form einer Tracklist für die Mitnahme auf einem GPS-Gerät herunter zu laden. Eine berechnete Route kann zudem im System abgespeichert und zu einem späteren Zeitpunkt wieder geladen werden. Hierfür muss der Browser des Anwenders allerdings sog. Cookies zulassen. Der Routenplaner ist mittlerweile auch als Anwendung für mobile Endgeräte verfügbar. Allerdings muss das Gerät einen Zugang zum Internet besitzen, um die Anwendung nutzen zu können.

Der *Radrouutenplaner NRW* ist eine sehr ansprechende Anwendung mit einer guten Benutzeroberfläche und einer ausführlichen Hilfe. Allerdings kann es des Öfteren passieren, dass sich die Anwendung „aufhängt“. Zusätzlich wird viel Zeit für das Laden der Karte benötigt. Tabelle 2.6 fasst noch mal die markantesten Merkmale dieses Routenplaners zusammen.

Stärken	<ul style="list-style-type: none"> - Einbeziehung der Steigung - Ausgabe eines Höhenprofils - Download der Route als Track - Aufbau der Benutzeroberfläche
Schwächen	<ul style="list-style-type: none"> - Keine optimale Reihenfolge der Haltepunkte bei der Routenberechnung - Lange Kartenladezeiten - Auswahl der Haltepunkte nicht intuitiv

Tab. 2.6: Auflistung der Stärken und Schwächen des *Radrouutenplaners NRW*.
Quelle: eigene Erhebung.



2.3.6 Fahrradies (<http://www.fahrradies.com>) (Stand 27. Juni 2006)

Das *Fahrradies* wurde im Jahr 2001 vom Institut für Geoinformatik und Fernerkundung (IGF) der Universität Osnabrück konzipiert und erstellt. Die Implementation erfolgte im Auftrag des Tourismusverbundes Oldenburger Münsterland. Diese Region wollte mit dem Fahrradrounenplaner die Attraktivität des beschilderten Radwegenetzes in der Region Landkreis Vechta und Landkreis Cloppenburg erweitern.

Der Routenplaner besitzt eine Menüleiste auf der linken Seite, auf der rechten Seite die Werkzeugleiste und die Karte. Neben den POI mit entsprechenden Punktsymbolen werden in der Karte die Radwege (in rot), die Straßen, Grün-, Wald- und bebaute Flächen der Region sowie Gewässer und die Bahnlinien dargestellt. Alle Symboliken in der Karte werden in der Legende, die über einen Werkzeugbutton geöffnet werden kann, erläutert. Für jeden der POI kann ein Infowindow aufgerufen werden. Die Navigation ist nur durch Klick in die Karte und nicht durch Aufziehen einer Box möglich. Allerdings hat der Anwender die Möglichkeit, Punkte in der Karte durch Klick abzufragen.

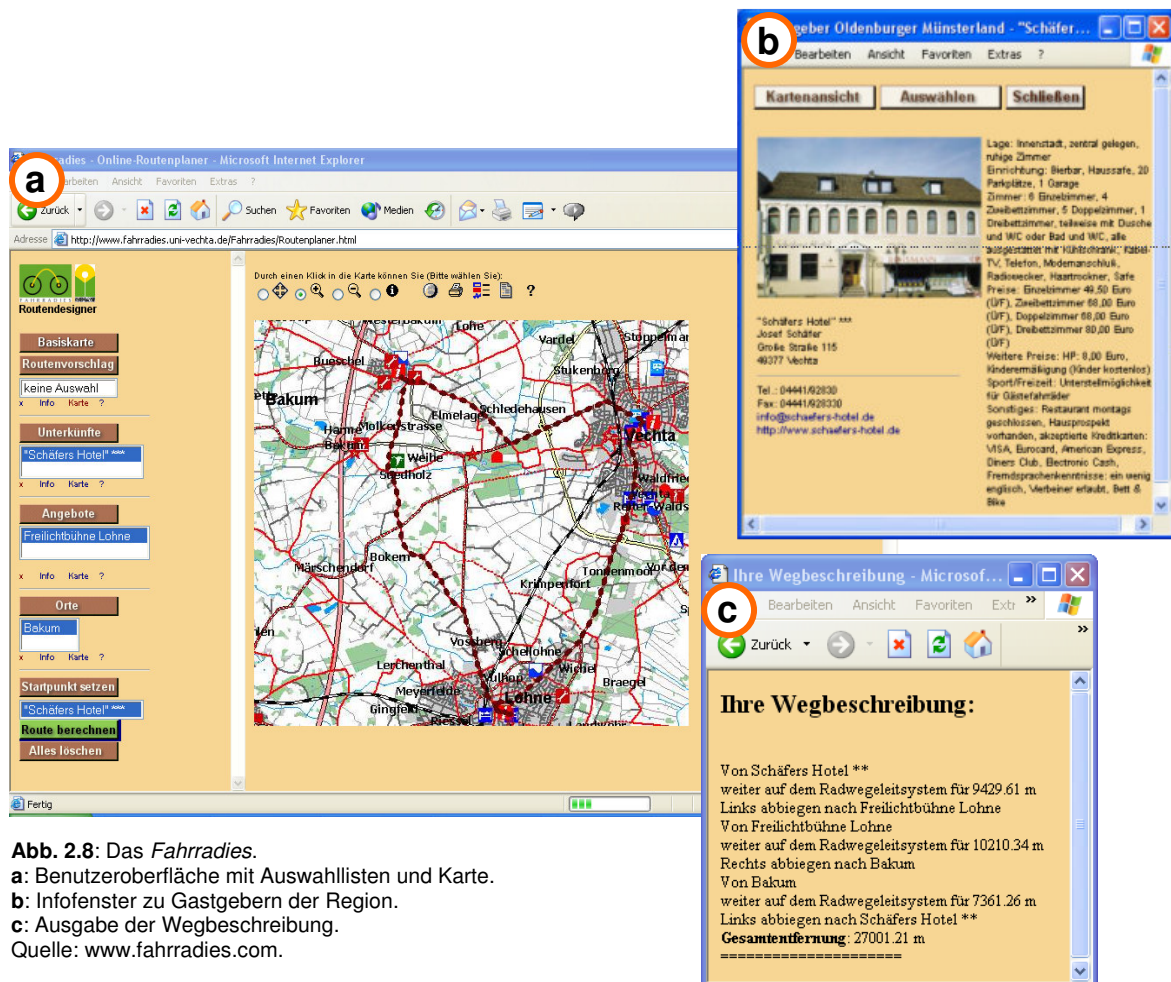


Abb. 2.8: Das *Fahrradies*.
a: Benutzeroberfläche mit Auswahllisten und Karte.
b: Infowindow zu Gastgebern der Region.
c: Ausgabe der Wegbeschreibung.
 Quelle: www.fahrradies.com.

Zur Darstellung einer Route kann der Anwender entweder eine aus 26 fertigen Routenvorschlägen auswählen oder eine eigene, individuelle Route planen. Dabei gibt es die Möglichkeit, fertige Routenvorschläge anhand von gewünschten Haltepunkten zu erweitern, oder eine komplett

eigene Route zu planen. Hierfür stehen dem Anwender drei Listen zur Verfügung. Diese beinhalten alle Unterkünfte, Sehenswürdigkeiten und Orte der Region. Für jeden POI (Unterkünfte, Sehenswürdigkeiten, Orte) steht dem Anwender eine Infoseite mit zahlreichen Informationen zur Verfügung. Nach Auswahl der gewünschten Punkte muss noch ein Startpunkt gesetzt werden.

Für eine ca. 25 km lange Tour werden ca. 12 Sekunden an Ladezeit benötigt. Durch Veränderung der Punkte in den Listen kann die Route abgeändert werden. Es wird aber immer eine Rundtour berechnet, d.h. das Start- und Endpunkt identisch sind. Für die Haltepunkte wird dabei die bestmögliche Reihenfolge ermittelt. Die Ergebniskarte kann entweder in einer Übersichtskarte oder in gekachelter Form im Maßstab 1:75000 ausgedruckt werden. Eine Wegbeschreibung wird zusätzlich dynamisch generiert (s. Abb. 2.8c). Diese ist allerdings von der Form her als schlecht zu beurteilen, vor allem weil keine Straßennamen miteingebunden werden.

Das Aussehen der Benutzeroberfläche sowie die Bedienbarkeit sind nur mäßig gut, da die Nutzung der Listen zur Routenberechnung trotz klarer Struktur nicht intuitiv zu bedienen ist. Als gut hervorzuheben sind die Kurzinformationen, die beim Überfahren der meisten Elemente in der Oberfläche erscheinen und die Funktionalität der Elemente erläutern. Die Kartenqualität erhält mit Abstand die schlechteste Note aller bisher vorgestellten Routenplaner. Die Objekte in der Karte wirken teilweise sehr unscharf (vgl. Abb. 2.8a), an einigen Stellen wirkt die Karte sehr überladen. Sich überschneidende Punktsymbole stellen einen weiteren Nachteil dar. Zusammenfassend werden noch mal die wichtigsten Merkmale des *Fahrradies* in Tabelle 2.7 dargestellt.

Stärken	<ul style="list-style-type: none"> - Berechnung einer optimalen Route (optimale Reihenfolge der Haltepunkte) - Gekacheltes Drucken
Schwächen	<ul style="list-style-type: none"> - Kartenqualität unzureichend - Navigieren durch Klick in die Karte und nicht durch Aufziehen einer Box - Wegbeschreibung

Tab. 2.7: Auflistung der Stärken und Schwächen des Fahrradrouenplaners *Fahrradies*.
Quelle: eigene Erhebung.

2.4 Zusammenfassung

Es ist sinnvoll, aus den hervorzuhebenden Merkmalen der untersuchten Fahrradrouenplaner diejenigen herauszunehmen, die besonders positiv hervorstechen. Sie können für die Konzeption des Funktionsumfangs für einen neuen Fahrradrouenplaner hilfreich sein. Es muss natürlich berücksichtigt werden, dass die Stärken der untersuchten Radrouenplaner teilweise subjektiv empfunden werden. Tabelle 2.8 fasst alle positiven Merkmale der Fahrradrouenplaner zusammen. Dabei werden die Stärken für die Bereiche *Optionen für die Routenberechnung*, *Routing* und die *Ausgabe* unterschieden.

Optionen für die Routenberechnung	<ul style="list-style-type: none"> - Bevorzugung eines bestimmten Straßentyps - Einbeziehung des Straßenbelags - Bevorzugung grüner Wege - Einbeziehung der Attraktivität - Vermeidung von Gefahrenpunkten - Vermeidung von doppelten Wegen - Ausschluss von Wegabschnitten in der Karte - Einbeziehung der Steigung
Routing	<ul style="list-style-type: none"> - Kleine Übersicht über ausgewählte Haltepunkte - Berechnung einer optimalen Route (optimale Reihenfolge der Haltepunkte)
Ausgabe	<ul style="list-style-type: none"> - Stadtplan als Kartengrundlage - Angabe der Schilder, die einem auf der Route begegnen - Einbinden von Kommentaren in die Karte - kleine Pfeile zeigen die Richtung der Route an - ausführliche Wegbeschreibung - gekacheltes Drucken - Ausgabe eines Höhenprofils - Download der Route als Track

Tab. 2.8: Zusammenfassung der Stärken der 6 untersuchten interaktiven Fahrradrouutenplaner im Internet. Quelle: eigene Erhebung.

Den ausführlichen Vergleich aller hier vorgestellten interaktiven Fahrradrouutenplaner innerhalb unterschiedlicher Kriterien zeigt Tabelle 2.9.

In diesem Kapitel ist das Angebot aktuell im Internet vorhandener Fahrradrouutenplaner aufgezeigt worden. Allerdings sagt dies nichts darüber aus, was tatsächlich von den Nutzern, die diese Fahrradrouutenplaner im Internet anwenden sollen, an Funktionalitäten gewünscht ist. Gerade die Nachfrage ist jedoch ein wichtiger Punkt für die Konzeption von neuen Funktionalitäten, die einen Fahrradrouutenplaner flexibler gestalten sollen. Aus diesem Grund soll im nächsten Kapitel die Nachfrage der potentiellen Anwender ermittelt werden.

	<i>Berlin by Bike</i>	<i>Ruhrtal à la Carte</i>	<i>Fahrradroutenplaner des Senne-Portals</i>	<i>Radroutenplaner NRW</i>	<i>Fahrradies</i>	<i>GrünGürtel-FahrtFinder</i>
Allgemeines						
URL	www.bbbike.de	www.ruhrtal.de	www.geodok.de/SennePortalRouting/main.faces	www.radroutenplaner.nrw.de	www.fahrradies.com	http://stadtplan.frankfurt.de/routenplaner/
Entstehungsdatum	Oktober 1999	2001	Juli 2005	August 2003	Februar 2001	Juni 2002
Gebiet	Berlin/Brandenburg	Ruhrgebiet	Raum zwischen Bielefeld, Gütersloh, Paderborn und Horn-Bad Meinberg	Gesamtes Bundesland NRW	Oldenburger Münsterland (Landkreis Vechta, Landkreis Cloppenburg)	Frankfurt am Main
implementiert durch	Technische Universität Berlin	Institut für Kartographie und Geoinformation der Uni Bonn, Herausgeber: Regionalverband Ruhr	Geodok GmbH	Ingenieurgruppe IVV GmbH & Co. KG	Forschungszentrum für Geoinformatik und Fernerkundung der Hochschule Vechta	megatel Informations- und Kommunikationssysteme GmbH in Zusammenarbeit mit dem Stadtvermessungsamt der Stadt Frankfurt
Benutzeroberfläche						
Aussehen/Design	2	2	1	1	2	1
Benutzerfreundlichkeit	1	2-3	2	2-3	2	2-3
Kartenqualität	1	2	1	1	3	1
Funktionalität						
Auswahl von Haltepunkten						
Auswahl von Haltepunkten aus Listen	0	0	0	X (muss aber noch durch Kontextmenü in der Karte ausgeführt werden)	X (Listen über Angebote, Gastgeber und Orte)	0
Auswahl von Haltepunkten durch Klick in die Karte	0	X (aber nur ausgewählte Punkte)	X	X	0	0
Auswahl von Haltepunkten durch Adresseingabe	X	0	0	X (muss aber noch durch Kontextmenü in der Karte ausgeführt werden)	0	X
Routenberechnung						
Angebot von Routenvorschlägen	0	X	0	X	X (26 beschilderte Routenvorschläge werden angeboten)	X
Erweiterung von Routenvorschlägen	0	0	0	0	X	0
Berechnung einer Rundtour	X (aber doppelte Wege und nur ein Via)	X	X	X	X	0
Berechnung einer Route von A nach B	X	X	X	X	0	X
Einbeziehung von Steigung	0	0	0	X	0	X
Einbeziehung der Beschaffenheit der Straße	X	0	0	X	0	0
Wie schnell wird die Route berechnet	5 Sek.(ohne Karte) (mit Karte 17 Sek.)	wenige Sek. (Basis = sehr kleines Netz)	40 Sek.	10 Sek.	13 Sek.	12 Sek.
Abfrage- und Navigationsfunktionen						
Zoom in	X	X	X	X	X (aber nur per Klick)	X
Zoom out	X	X	X	X	X	X
Pan	X	X	X	X	X (aber nur per Klick)	X
Auf Gesamtgebiet zoomen	0	X	X	0	X	0
Route erweitern	0	0	X	X	X	0
auf Route zoomen	0	0	X	0	X	0
Route speichern	0	0	0	X	0	0
Route löschen	0	X	X	X	0	0
Hilfefunktion	X	X	X, gute Hilfe	X	X	0
Informationsabfrage zu Objekten in der Karte	X	X	X	X (aber nur Name des Punktes, keine weiteren Informationen)	X (durch Klick auf die Punkt-symbole)	X
weitere Funktionen	Download der Wegbeschreibung als PalmDoc	Einbindung von Kommentaren und Bildern in die Karte, Aufruf von aktuellen Wetterinformationen	Ausschluss von Wegabschnitten, Vermeidung von doppelten Wegen, Einbeziehung der Attraktivität der Landschaft	Netzdarstellung auf drei Weisen: durch Steigung, Radverkehrsnetz oder Art der Radverkehrsanlage	---	Einbeziehung der Attraktivität der Strecke und der Steigung, Vermeidung von Gefahrenpunkten

	<i>Berlin by Bike</i>	<i>Ruhrtal à la Carte</i>	Fahrradroutenplaner des Senne-Portals	<i>Radroutenplaner NRW</i>	<i>Fahrradies</i>	<i>GrünGürtel-FahrtFinder</i>
Ausgabe						
Inhalte der Karte	15 verschiedene Themenbereiche, durch Klick an- und ausschaltbar	Je nach Zoomstufe	POIs, Straßen, Flüsse, Gemeindegrenzen, Siedlungs-, Heide- und Waldflächen, Truppenübungsplatz	Radverkehrsnetz NRW, Sehenswürdigkeiten, Kreisgrenzen, Wald-, bebaute Flächen, Wiesen, Gewässer	Radwege, Straßen, POIs, Grün-, Wald- und bebaute Flächen, Gewässer, Bahnlinien	Stadtplan, Route
Wegbeschreibung	X	X (aber keine links/rechts Anweisungen)	0	X	X	X
Karte drucken	X	X (niedrige und hohe Qualität)nur Kartenausschnitt	X	X	X	0
gekachelt drucken	0	0	X	0	X (im Maßstab 1:75000)	0
Übersichtskarte drucken	X	0	X	0	X (passend auf DiN A4)	0
Download als Track möglich	X (testweise)	0	0	X	0	0
Datendownload zur Darstellung auf einem PDA	0	0	0	0	0	0
Höhenprofil	0	0	0	X	0	0
Legende	X	0	X (aber nicht für Punktsymbole)	X	X	0
Technik						
Basissoftware MapServer bzw. Desktop	Perl, Karte mit UMN MapServer	ArcIMS	ArcIMS / ArcSDE	nicht bekannt	ArcView 3.2 mit den Erweiterungen ArcView Internet Map Server und Network Analyst	nicht bekannt
Basis für Routingalgorithmus	A-Stern-Algorithmus	Floyd-Algorithmus berechnet im Vorfeld alle mögliche Touren, die in einer Matrix abgelegt und dann dynamisch abgefragt werden.	Selbst entwickelt, basierend auf dem Traveling Salesman Algorithmus	nicht bekannt	Traveling Salesman Problem, implementiert in ArcView 3.2	nicht bekannt
Bildformat der Karte	png	gif	png	gif	jpg	gif
Raster oder Vektorkarte	Raster	Raster	Raster	Raster	Raster	Raster

Tab. 2.9: Vergleich der interaktiven Fahrradroutenplaner im Internet nach unterschiedlichen Kriterien. Stand Juni 2006. Quelle: eigener Entwurf.

3 Ermittlung der Nachfrage: Befragung der Radfahrer zu den Interessen und ihrem Verhalten beim Planen einer Radtour

Für die Gestaltung eines flexiblen Fahrradrouutenplaners sollte besonders auf die Wünsche und Vorstellungen des Endanwenders, also des Radfahrers, der sich letztendlich die Route im Internet nach seinen Wünschen zusammenstellt, eingegangen werden. Um einen Überblick zu erhalten, was die potentiellen Anwender von einem Fahrradrouutenplaner, der im Internet zur Verfügung steht, erwarten bzw. welche Funktionalitäten er bereit stellen soll, müssen diese Vorstellungen erfasst werden. Zusätzlich ist es sinnvoll, die Akzeptanz neuer Medien für die Ausgabe einer Fahrradkarte wie z.B. ein PDA sowie die Gewohnheiten bei der Planung einer Route abzufragen. Um diese Fragestellungen anhand einer empirischen Studie zu beantworten, ist die Gewinnung von Daten notwendig, die den interessierenden Sachverhalt widerspiegeln (FAHRMEIR et al. 2004, S. 23). Aus diesem Grund wurde im Rahmen dieser Arbeit eine Befragung durchgeführt, die als Grundlage für die Entwicklung des Konzeptes für einen Fahrradrouutenplaner im Internet dienen soll.

3.1 Rahmenbedingungen der Befragung

Unter einer Befragung „versteht man eine Methode, bei der Versuchspersonen (Befragte) auf der Grundlage verbaler Äußerungen (z.B. direkte, indirekte Fragen) oder anderer ‚Reize‘ (z.B. bildhafte oder grafische Vorlagen) zu verbalen Reaktionen veranlasst werden.“ (WOSNITZA und JÄGER 1999, S. 17). Eine mündliche Befragung wird als Interview bezeichnet, schriftliche Befragungen werden anhand eines Fragebogens durchgeführt. Jede Methode hat ebenso Stärken wie Schwächen. Während der Interviewer bei einer mündlichen Befragung bei der Bearbeitung motivieren und Hilfestellungen leisten kann, ist bei Befragungen mittels eines Fragebogens der Teilnehmer auf sich gestellt. Daher müssen die Fragen in diesem Fall besonders präzise und eindeutig sein (WOSNITZA und JÄGER 1999, S. 19). Im Vorfeld der Befragung musste zunächst die Methode sowie weitere Rahmenbedingungen geklärt werden. So stellte sich die Frage, wer bei dieser Befragung angesprochen werden soll und auf welche Weise die Personen erreicht werden können.

3.1.1 Zielgruppe

Der Allgemeine Deutsche Fahrrad-Club (ADFC) hat eine Nomenklatur entwickelt, die es ermöglichen soll, Radlergruppen voneinander abgrenzen zu können. Es wird nach Alltagsradlern, die das Rad als tägliches Verkehrsmittel nutzen, und Freizeitradlern unterschieden. „Letztere unternehmen Kurz- und Tagesausflüge, Wochenendtouren, mehrtägige Radtouren sowie ausgedehnte Radreisen“ (HUFF 2004, S. 14). Die Befragung soll sich an die Freizeitradler richten, die

in ihrer Freizeit Fahrradtouren durchführen, da Alltagsradler meistens keine Routenplanungen vornehmen.

Um regionale Unterschiede in den Rückläufen feststellen zu können, ist eine große räumliche Verteilung der Befragungsteilnehmer wünschenswert. Zusätzlich ist es von Interesse, auch eine gute Altersverteilung zu erreichen. Diese Vorgaben können mit einer persönlichen Befragung mittels eines Interviews aus Zeit- und Kostengründen nicht realisiert werden. So muss auf eine andere Art der Befragung zurückgegriffen werden, mit der möglichst viele Personen mittels eines Fragebogens in ganz Deutschland angesprochen werden können. Kein anderes Medium ist in diesem Fall besser geeignet als das Internet, so dass eine Internet- bzw. Onlinebefragung durchgeführt wurde.

3.1.2 Online-Befragung

Unter einer Online-Befragung wird eine Befragung verstanden, bei denen die Teilnehmer den

- auf einem Server abgelegten Fragebogen im Internet online ausfüllen,
 - Fragebogen von einem Server herunterladen und per E-Mail zurücksenden,
 - Fragebogen per E-Mail zugeschickt bekommen und zurücksenden
- (ADM 2001, S. 1).

Vorteile von Online-Befragungen bestehen vor allem in dem geringen Kostenaufwand gegenüber Briefbefragungen oder Interviews. Serien-E-Mails können viele Teilnehmer gleichzeitig, schnell und ohne erhöhten Kostenaufwand erreichen. Zusätzlich kann eine große räumliche Abdeckung durch einen Versand erfolgen. Interviews hingegen lassen sich nur an einem bestimmten Ort durchführen. Des Weiteren ist davon auszugehen, dass Teilnehmer eher bereit sind, einen Fragebogen selbstständig auszufüllen, da sie sich zum einen den Zeitpunkt selbst wählen können und zum anderen eher bereit sind Informationen preiszugeben, wenn die Befragung anonym ist und ihnen kein Interviewer gegenübersteht (BOURQUE und FIELDER 1995, S. 10ff).

Nachteile können in einer geringen Rücklaufquote bestehen. Dies ist meistens dann der Fall, wenn der Anreiz für die angesprochenen Teilnehmer an der Befragung teilzunehmen zu gering ist. Zusätzlich besteht ein gewisses Risiko z.B. durch ein Missverständnis von Fragen und daraus folgenden Falschantworten. Außerdem können spontane Reaktionen der Befragten nicht erfasst werden. Hinzu kommt, dass nicht alle Personen der Zielgruppe in Deutschland via Internet oder E-Mail zu erreichen sind. Aus diesem Grund muss im Vorfeld geklärt werden, wie die aktuelle Benutzerstruktur des Internets in Deutschland aussieht.

3.1.3 Internetnutzung in Deutschland

Laut dem (N)ONLINER Atlas 2005 (TNS INFRATEST et al. 2005a, S. 10) besitzt mehr als jeder zweite Deutsche einen Internetzugang. „Das Internet ist für die Mehrheit der Deutschen Alltag“. Dies belegen auch die Zahlen. Im Jahr 2005 haben 55,1% der Deutschen das Internet genutzt. 38,6% der Deutschen werden nach dem (N)ONLINER Atlas 2005 als Offliner bezeichnet. Sie

sind noch nicht online. In die Kategorie Nutzungsplaner, also Nichtnutzer mit der Absicht, innerhalb der nächsten 12 Monate das Internet zu nutzen, fallen immerhin noch 6,3% aller Deutschen. Abbildung 3.1 macht deutlich, wie diese Zahlen in den einzelnen Bundesländern aussehen. So ist in den Bundesländern Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen-Anhalt, Sachsen sowie dem Saarland die Anzahl der Onliner unter 50%. Dagegen ist der Anteil der Internet-Nutzer in Berlin, Hamburg, Hessen und Baden-Württemberg besonders hoch.

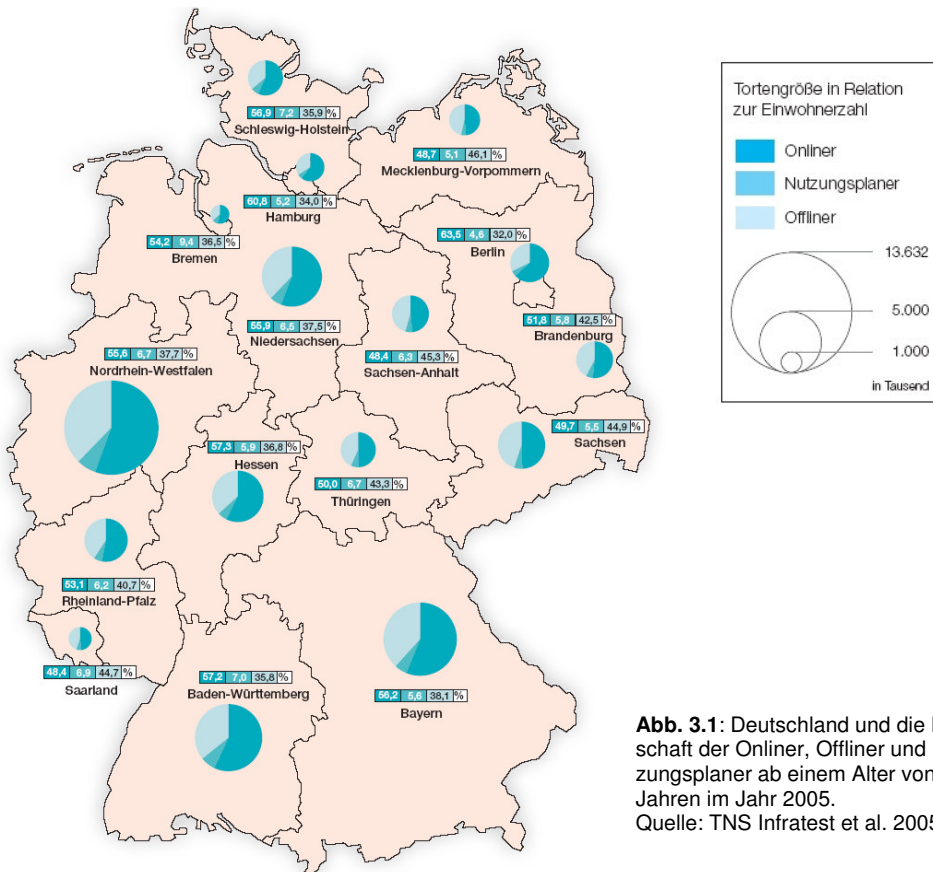


Abb. 3.1: Deutschland und die Landschaft der Onliner, Offliner und Nutzungsplaner ab einem Alter von 14 Jahren im Jahr 2005. Quelle: TNS Infratest et al. 2005a, S. 11.

Wichtig zu beachten ist außerdem die Altersverteilung der Internetnutzer. Die Onliner werden im Durchschnitt immer älter, 2005 sind sie durchschnittlich 39 Jahre alt. Jüngere Generationen sind bereits stark im Internet vertreten, und auch die Älteren sind auf dem Vormarsch besonders die Gruppe der über 50jährigen. Die Altersverteilung der Internetnutzer 2005 zeigt die Abbildung 3.2. Diese Informationen müssen bei der Auswertung der Befragung berücksichtigt werden.

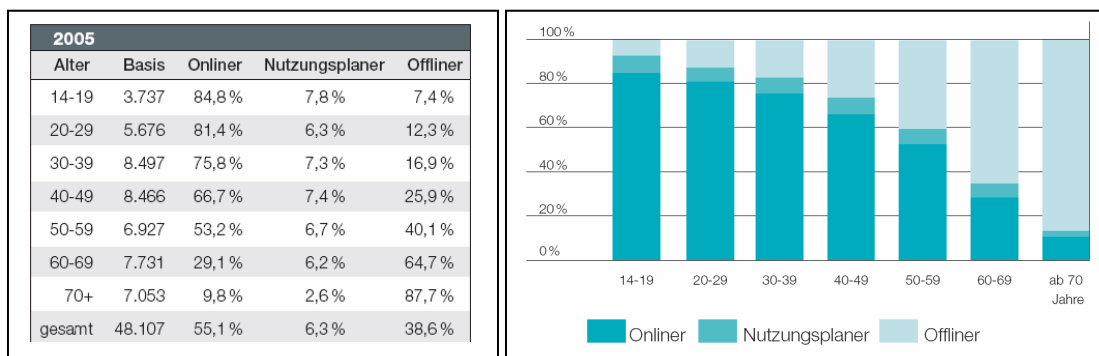


Abb. 3.2: Internetnutzung nach Alter im Jahr 2005. Quelle: TNS Infratest et al. 2005a, S. 12.

3.1.4 Definition der Grundgesamtheit und des Stichprobenverfahrens

Für eine Befragung jeglicher Art muss zunächst eine Grundgesamtheit definiert werden. „Die Grundgesamtheit ist die Gesamtheit der Einheiten, über die eine statistische Untersuchung etwas aussagen soll“ (MOSLER und SCHMID 2005, S. 7). Um von einer repräsentativen Untersuchung sprechen zu können, muss die Grundgesamtheit einer Untersuchung in sachlicher, räumlicher und zeitlicher Hinsicht eindeutig definiert und abgegrenzt sein. Gleichzeitig muss die Auswahlgrundlage entweder diese Grundgesamtheit oder eine nachvollziehbare und zu beschreibende repräsentative Teilmenge daraus sein (ADM 2000, S. 1).

Werden mittels einer Untersuchung alle statistischen Einheiten einer Grundgesamtheit erfasst, so spricht man von einer Vollerhebung. Allerdings ist eine Vollerhebung in den seltensten Fällen möglich oder erwünscht. Wird auf eine Vollerhebung verzichtet, muss auf die Ziehung einer Stichprobe aus der eigentlich interessierenden Grundgesamtheit zurückgegriffen werden (FAHRMEIR et al. 2004, S. 25). Die Stichprobe ist also eine Auswahl von Personen oder Elementen aus einer bestimmten Gruppe, die befragt oder untersucht wird, um Informationen über die Grundgesamtheit zu erhalten (WOSNITZA und JÄGER 1999, S. 43). „Der zentrale Begriff der Stichprobenuntersuchungen ist „Repräsentativität“. Repräsentativität ist dann gegeben, wenn die Stichprobe ein verkleinertes Abbild der Grundgesamtheit darstellt, d.h. wenn die Verteilung hinsichtlich der Merkmale in der Grundgesamtheit und Stichprobe gleich ist“ (WOSNITZA und JÄGER 1999, S. 46). Für die Auswahl einer Stichprobe gibt es verschiedene Verfahren, die in Tabelle 3.1 aufgezeigt werden.

Auswahlverfahren	Beschreibung
Einfache Wahrscheinlichkeitsauswahl (simple random sample)	Alle Elemente der Grundgesamtheit müssen bekannt sein. Anhang einer Zufallsauswahl werden Elemente für die Stichprobe ausgewählt.
Systematische Wahrscheinlichkeitsauswahl	Alle Elemente der Grundgesamtheit müssen bekannt sein. Jedes xte Element wird in die Stichprobe einbezogen.
Geschichtete Wahrscheinlichkeitsauswahl	Im Vorfeld wird die Grundgesamtheit anhand bestimmter Merkmale in mehrere Schichten aufgeteilt. Aus diesen Schichten werden Teilstichproben nach den bereits geschilderten Verfahren gezogen.
Mehrstufiges Auswahlverfahren (multi stage sample)	Bieten sich an, wenn zwar kein Verzeichnis über alle Elemente der Grundgesamtheit vorliegt, man aber Kenntnis darüber hat, welche Gruppen dieser Elemente es gibt und wie diese lokalisiert oder verteilt sind. Eine Form dieses Verfahrens ist die Klumpenstichprobe (cluster sample). Sind die einzelnen Elemente in Klumpen oder Gruppen organisiert, so zieht man zunächst eine Stichprobe solcher Klumpen und untersucht diese vollständig. Wichtig: jedes Element der Grundgesamtheit ist nur einem Klumpen zugeordnet und wird daher nicht mehrfach in die Auswahl aufgenommen. Sind einzelne Klumpen noch zu groß für die Untersuchung, kann man einen weiteren Auswahlschritt ein-

	bauen und weitere Klumpen bilden. Voraussetzungen: eine möglichst heterogene Zusammensetzung der einzelnen Klumpen sowie eine möglichst ähnliche Zahl von Elementen pro Klumpen.
Bewusstes Auswahlverfahren	Erfüllt nicht die Voraussetzung, dass die Ergebnisse der Untersuchung der Stichprobe auf die Grundgesamtheit übertragen werden kann. In der Regel ist dies aber auch gar nicht Ziel, sondern das Aufzeigen von Trends oder die Meinung und Einschätzungen bestimmter Gruppen zu ermitteln. Hier werden vor allem typische oder extreme Fälle ausgewählt.

Tab. 3.1: Übersicht über die möglichen Auswahlverfahren für eine Befragung.
Quelle: FAHRMEIR et al. 2004, WOSNITZA und JÄGER 1999.

Im Falle der Befragung dieser Arbeit ist es sehr schwierig, eine konkrete Grundgesamtheit zu definieren, da nicht abgeschätzt werden kann, wie viele Personen in Deutschland als Freizeitradler bezeichnet werden können. Im Jahr 2004 nutzten z.B. 19,5 Millionen Deutsche das Fahrrad als Urlaubsaktivität (HOFMANN 2005, S. 3). Wenn man davon ausgeht, dass 55% dieser 19,5 Millionen Radurlauber das Internet nutzen und an der Befragung teilnehmen könnten, so errechnen sich 10,7 Millionen Radler, die für die Grundgesamtheit in Frage kämen. Allerdings ist davon auszugehen, dass die Zahl der Freizeitradler noch um ein Vielfaches höher ist, da die Personen, die ihr Rad in der Freizeit auch außerhalb des Urlaubs nutzen, hier keine Berücksichtigung finden. Es ist folglich nicht realisierbar, alle Freizeitradler in Deutschland zu erfassen, so dass für die Befragung dieser Arbeit nur ein bewusstes Auswahlverfahren in Betracht gezogen werden konnte. Das Vorgehen im Zuge der Befragung und die Kontaktaufnahme zu den Teilnehmern wird im Abschnitt *Durchführung der Befragung* ausführlich erläutert.

Nach der Auswahl der Stichprobe stellt sich im Folgenden die Frage nach der optimalen Größe einer solchen Stichprobe. Nach WOSNITZA und JÄGER (1999, S. 65) gibt es keine eindeutigen Regeln, die besagen, wie groß eine optimale Stichprobe sein muss. Dies hängt ganz von der Komplexität der Fragen bzw. der Differenzierung in der Auswertung ab. Eine differenzierte Auswertung besagt, dass die Verteilung der Rückläufe in bestimmte Kategorien aufgegliedert wird. Die Belegung, d.h. die Anzahl der Elemente in einer Kategorie kann dann sehr klein sein, wenn man stark differenziert und eine kleine Stichprobe hat. Je größer eine Stichprobe ist, desto größer kann in der Auswertung differenziert werden, ohne dabei eine zu geringe Zellenbesetzung zu erlangen. Im Falle dieser Arbeit ist auf die Größe der Stichprobe kein Einfluss genommen worden. Alle Rückläufe, die vollständig im Befragungszeitraum eingegangen sind, fanden in der Auswertung der Befragung Berücksichtigung.

3.2 Erarbeitung und Aufbau eines Fragebogens

„Die allgemeinen methodischen Anforderungen, die an die Gestaltung von Fragebögen sowie die Abfolge und Formulierung von Fragen bei den herkömmlichen Befragungstechniken zu stellen sind, gelten auch für Online-Befragungen. Ähnlich wie bei schriftlichen Befragungen ist die Beachtung der allgemeinen methodischen Anforderungen sogar von besonderer Bedeutung, weil die Befragten sich ohne Hilfe eines Interviewers im Fragebogen zurechtfinden, die Fragen verstehen und adäquat beantworten müssen“ (ADM 2001, S. 3). Die Thematik bzw. Absicht einer Befragung muss sich dem Befragten auf den ersten Blick erschließen. Die Fragen einer Untersuchung sind nur dann sinnvoll, wenn für den Befragten auf Anhieb die Beziehung zwischen der eigentlichen Frage und der Thematik der Befragung deutlich wird (FINK 1995b, S. 13). Fragen, bei denen dies nicht der Fall ist, sollten mit einem Kommentar versehen werden, wodurch die Beziehung verdeutlicht wird.

Für eine Befragung gibt es zwei mögliche Arten von Fragen, offene und geschlossene Fragen. Wenn der Befragte eine Frage mit eigener Formulierung beantworten muss, handelt es sich um eine offene Frage (FINK 1995b, S. 15). Eine offene Frage ist also eine Frage ohne Antwortvorgabe. Offene Fragen sind empfehlenswert, „wenn

- die Information über die Einstellung von Personen zu einem gegebenen Problem gering ist,
- der Bezugsrahmen des Befragten ermittelt werden soll,
- differenzierte Einstellungen, z.B. von Extremgruppen erhoben werden soll“ (WOSNITZA und JÄGER 1999, S. 81).

Der Nachteil offener Fragen ist die Inhomogenität der Antworten bei der Auswertung. So ist es folglich schwer, allgemeine Aussagen treffen zu können. Geschlossene Fragen hingegen beinhalten bereits verschiedene Antwortmöglichkeiten. Sie lassen sich in drei Typen kategorisieren:

- Identifikationstyp: wer, wo wann, welche etc.
- Selektionstyp: es können eine oder mehrere Antwortmöglichkeiten ausgewählt werden.
- Ja-Nein-Typ (WOSNITZA und JÄGER 1999, S. 82).

Fragebögen, die vom Befragten selbständig und ohne Hilfe von außerhalb ausgefüllt werden müssen, wie es bei der empirischen Untersuchung zu dieser Arbeit der Fall ist, sollten überwiegend geschlossene Fragen enthalten, da Teilnehmer eher dazu bereit sind, fertige Antworten anzukreuzen bzw. sich in bestimmte Kategorien einzuordnen, als selbständig Antworten zu formulieren. So kann es passieren, dass beim vermehrten Einsatz von offenen Fragen die Rückläufe teilweise nicht vollständig ausgefüllt sind. Wichtig ist zudem, dass der Befragte sich bei geschlossenen Fragen in den vorgegebenen Antwortmöglichkeiten oder Kategorien wiederfindet, bzw. alle möglichen Kategorien und Aspekte abgedeckt sind (BOURQUE und FIELDER 1995, S. 17). Folgende Aspekte müssen zusammenfassend bei der Erstellung eines benutzerfreundlichen Fragebogens nach BOURQUE und FIELDER (1995, ab S. 41) und CZAJA und BLAIR (1996, S. 54) besonders berücksichtigt werden:

- **die Art und Weise der Formulierung der Fragen:** Gerade bei Online-Befragungen ist es wichtig, dass die Frage klar formuliert ist, keine unscharfen Formulierungen wie z.B. in der letzten Zeit (stattdessen in den letzten 3 Wochen) oder Begriffe enthält, die dem Befragten nicht zwangsläufig ein Begriff sind, z.B. Fachausdrücke. Die Fragen müssen also so formuliert werden, dass die Befragten zuverlässig konkrete Informationen abgeben können.
- **Konzeption der Antwortmöglichkeiten:** Der Befragte muss in der Lage sein, sich in den möglichen Antwortkategorien wiederzufinden, um eine Verzerrung der Ergebnisse zu vermeiden.
- **Geringe Nutzung offener Fragen**
- **Vollständige Anweisungen bzw. Informationen zur Befragung:** Der Befragte muss klare Anweisungen zur Beantwortung der Fragen erhalten, um ein korrektes Ausfüllen des Fragebogens zu gewährleisten.
- **Vermeidung einer Beeinflussung des Befragten** durch das Einfließen einer persönlichen Meinung bzw. Vorurteils in die Fragen und Antwortmöglichkeiten
- **Logische Reihenfolge der Fragen:** Die Fragen sollten logisch aufeinander folgen, um dem Fragebogen eine klare Struktur zu geben.
- **Allgemeine Datenabfrage z.B. Abfrage von Demographischen Daten am Ende eines Fragebogens platzieren:** Da meistens eine inhaltliche Einführung dem Fragebogen vorangestellt ist, welche die Personen motivieren soll, an der Befragung teilzunehmen, ist es ein Bruch in der Struktur, wenn zu Beginn demographische Daten abgefragt werden. Zusätzlich werden diese sensiblen Daten von vielen Teilnehmern nicht gerne preisgegeben. Viele Teilnehmer könnten durch dieses Vorgehen abgeschreckt werden und die Befragung bereits an dieser Stelle abbrechen.

Unter Berücksichtigung dieser Aspekte wurden für die Befragung dieser Arbeit folgende Fragen dargestellt in Tabelle 3.2 für den Fragebogen erarbeitet:

Inhalt der Frage	Antwortmöglichkeiten	Art der Frage
Allgemeine Planung einer Fahrradtour		
Aspekt, unter dem eine Fahrradtour durchgeführt wird (Frage 1).	Sport, Touristischer Aspekt, Erholung, Familie, Urlaub (Mehrfachnennungen möglich)	geschlossen: Selektionstyp
Art und Weise, wie eine Fahrradtour geplant wird (Frage 2).	Analog, digital, beides, keine Planung	geschlossen: Identifikationstyp
Routenplanung mit einem Fahrradroutenplaner im Internet		
Nutzung eines Fahrradroutenplaners im Internet? (Frage 3)	Ja (mit Textfeld für die Angabe des genutzten Planers), Nein	Kombination: Geschlossen: Ja-Nein-Typ/offen
Frage, welche Möglichkeit für eine Routenplanung der Befragte bevorzugen würde (Frage 4)	Routenvorschlag, individuelle Route	geschlossen: Identifikationstyp
Gewünschte Funktionalität eines Fahrradroutenplaners im Internet	9 verschiedene Funktionalitäten, die für einen Fahrradroutenplaner im	geschlossen: Selektionstyp

(Frage 5)	Internet denkbar wären (Mehrfachnennungen möglich).	
Ausgabemedien		
Nutzung welcher Ausgabemedien? (Frage 6)	Analoge Karte, Ausdruck, digitale Medien	geschlossen: Selektionstyp
Wurden bereits digitale Medien für die Ausgabe genutzt? (Frage 7)	Ja (Textfeld für gemachte Erfahrungen), nein	Kombination: Geschlossen: Ja-Nein-Typ /offen
Informationen zur Person		
Persönliche Angaben (Frage 8)	Wohnort, Alter, Häufigkeit der Durchführung einer Fahrradrouten	Kombination: Offen/ geschlossen: Identifikationstyp

Tab. 3.2: Übersicht über Inhalt und Art der Fragen sowie deren Antwortmöglichkeiten.
Quelle: eigener Entwurf.

Aufgebaut ist der Fragebogen in vier thematisch gegliederte Abschnitte. Der erste Abschnitt beinhaltet allgemeine Fragen zum Planen einer Fahrradtour. Zum einen wird der Aspekt, unter dem eine Fahrradtour durchgeführt wird, ermittelt. Dies ist sinnvoll für die Konzeption eines Fahrradroutenplaners für das Internet, da der Aspekt etwas über die Vorstellungen des potentiellen Nutzers aussagt. So wird davon ausgegangen, dass für Sportler nicht so sehr die Sehenswürdigkeiten von Interesse sind, sondern die Beschaffenheit der Strecke. Urlaubsfahrer hingegen nutzen gerne die Möglichkeit, sich Teilstrecken berechnen zu lassen sowie die Einbindung attraktiver Sehenswürdigkeiten in die Fahrradrouten. So lässt diese Frage bereits zu Beginn eine Tendenz der möglichen Richtung, in die der Fahrradroutenplaner gehen sollte, erkennen. Zusätzlich ist es von Interesse, auf welche Art und Weise der Befragte die Route normalerweise plant. Dies ermittelt Frage 2. Sie soll einen Einblick darüber geben, inwieweit das Internet bereits in eine Fahrradroutenplanung miteinbezogen wird, oder ob weiterhin die analoge Karte vorherrschendes Medium ist.

Im zweiten Abschnitt des Fragebogens wird vor allem auf die Nutzung von Fahrradroutenplanern im Internet eingegangen. So wird mit Frage 3 zunächst abgefragt, ob und wenn ja, welcher Fahrradroutenplaner im Internet bereits genutzt worden ist. Hiermit wird zum einen ermittelt, ob sich Fahrradroutenplaner im Internet bereits etabliert haben, und zum anderen, welche Fahrradroutenplaner bereits bei den Freizeitradlern bekannt sind und auch genutzt werden. Frage 4 ermittelt, ob der Befragte bei der Nutzung eines Fahrradroutenplaners im Internet eher einen Routenvorschlag oder die Planung einer individuellen Route vorziehen würde. Mit dieser Frage soll auf den Grund gegangen werden, ob die Befragten tatsächlich das Bedürfnis haben, sich eine individuelle Route zu planen oder ob sie doch lieber auf bestehende Routenvorschläge zurückgreifen. Mit Frage 5 wird die zentrale Frage nach den Funktionalitäten, die der Meinung der Befragten nach ein Fahrradroutenplaner im Internet aufweisen sollte, gestellt. Die Ergebnisse dieser Frage fließen direkt in die Implementation des Radroutenplaners mit ein. Es soll deutlich werden, welche Aspekte aus Mangel an Nachfrage vernachlässigt werden können, und welche Funktionalitäten wiederum auf keinen Fall fehlen dürfen. Um die Übersichtlichkeit zu gewährleisten, wurden nur die Kriterien zur Auswahl angeboten, die sich durch die langjährige

Erfahrung im Bereich des Fahrrad routings sowie durch zahlreiche Anregungen von Nutzern und die Recherche des vorhandenen Angebots im Internet herauskristallisiert haben.

Im dritten Abschnitt des Fragebogens wird auf die Wahl des Ausgabemediums für eine Fahrradtour eingegangen. Zunächst wird mit Frage 6 überprüft, welche Ausgabemedien ein Freizeitradler zur Mitnahme ins Gelände nutzen würde. Hier zeigt sich, ob z.B. mobile Geräte bereits hinreichend Akzeptanz besitzen. Auf die mobilen Geräte wird in Frage 7 noch näher eingegangen. Hier wird differenziert, welche Art von mobilem Gerät bereits verwendet wurde. Die Erfahrungen, die bei der Nutzung gemacht wurden, spielen zusätzlich eine wichtige Rolle. Da eine Ausgabe per Tracklist oder Daten für den zu konzipierenden Fahrrad routenplaner angedacht ist, wird an dieser Stelle die Nachfrage der neuen Ausgabemedien geprüft um zu klären, ob es sinnvoll ist, diese Möglichkeiten der Datenausgabe für den Routenplaner zu implementieren.

Der vierte und letzte Abschnitt der Befragung widmet sich allgemeinen Angaben des Befragten. Um zum einen die räumliche Verteilung der Befragung zu dokumentieren aber auch mögliche räumliche Abhängigkeiten zu ermitteln, wird der Wohnort mit Postleitzahl zur Einordnung abgefragt. Zusätzlich können sich Abhängigkeiten hinsichtlich des Alters der Radler ergeben. Die Häufigkeit der Durchführung von Fahrradtouren könnte außerdem eine Tendenz bieten, wie häufig ein Fahrrad routenplaner in Anspruch genommen werden würde bzw. wie hoch die Nachfrage tatsächlich ist. Zur Gewährleistung der Anonymität der Befragten werden keine weiteren Daten wie Name oder Adresse verlangt. Ein weiterer Grund hierfür ist die dadurch gesteigerte Bereitwilligkeit der Befragten. Viele sind möglicherweise nicht gewillt, ihre persönlichen Daten preiszugeben, aufgrund der Befürchtung, dass sie in eine Mailingliste aufgenommen werden.

Um zu gewährleisten, dass die Fragen sowohl für Laien als auch für Profis rund um das Fahrrad verständlich sind, wurden Pretests an oben genannten Gruppen durchgeführt. Besonders nicht Sachkundige wurden gezielt um einen Pretest gebeten. Auf diese Weise konnte ermittelt werden, ob die Fragen unverständliche Begriffe enthalten, ob bei einigen Fragen weitere Antwortkategorien fehlen, ob die Fragen klar formuliert sind oder ob die Reihenfolge der Fragen eine Logik aufweist. Zusätzlich wurde der Fragebogen durch fachkundige Personen getestet. Hier wurde besonders auf das Auffinden von fehlenden Aspekten abgezielt. Die Ergebnisse der Pretests bewirkten eine Überarbeitung des Fragebogens. Der endgültige Fragebogen befindet sich in Anhang 1 (Abb. 10.1 und 10.2).

3.3 Technische Umsetzung der Befragung

Um den Fragebogen im Internet zur Verfügung zu stellen, sind Vorbereitungen für die technische Umsetzung notwendig. Dabei ist es wichtig darauf zu achten, dass der Fragebogen auch für weniger erfahrene und wenig sachkundige Internet-Nutzer zu bedienen ist. Zusätzlich sollte die Teilnahme unabhängig vom spezifischen Zugang und dem Endgerät des Befragten möglich sein, um keine Verzerrung der Befragung hervorzurufen. Dies bedeutet, dass der Fragebogen sowohl mit unterschiedlichen Betriebssystemen sowie Browsern problemlos ausgefüllt werden

kann (ADM 2001, S. 4). Aus diesem Grund wurde der Fragebogen vor dem Start der Befragung mit den gängigsten Browsern getestet.

Für die Durchführung der Befragung wurde eine Webseite (s. Abb. 3.3) in HTML erweitert durch JavaScript aufgebaut, in der die Teilnehmer die Antworten ankreuzen können. Teilweise sind Textfelder für weitere Anmerkungen der Befragten vorgesehen. Die Einträge dieser HTML-Seite werden mit Hilfe der Skriptsprache PHP direkt in eine mySQL-Datenbank auf dem Server eines Privatansbieters geschrieben. Vor dem Absenden der Daten an die Datenbank erfolgt mittels JavaScript eine Kontrolle der Eingaben. So wird überprüft, ob alle Fragen beantwortet sind.

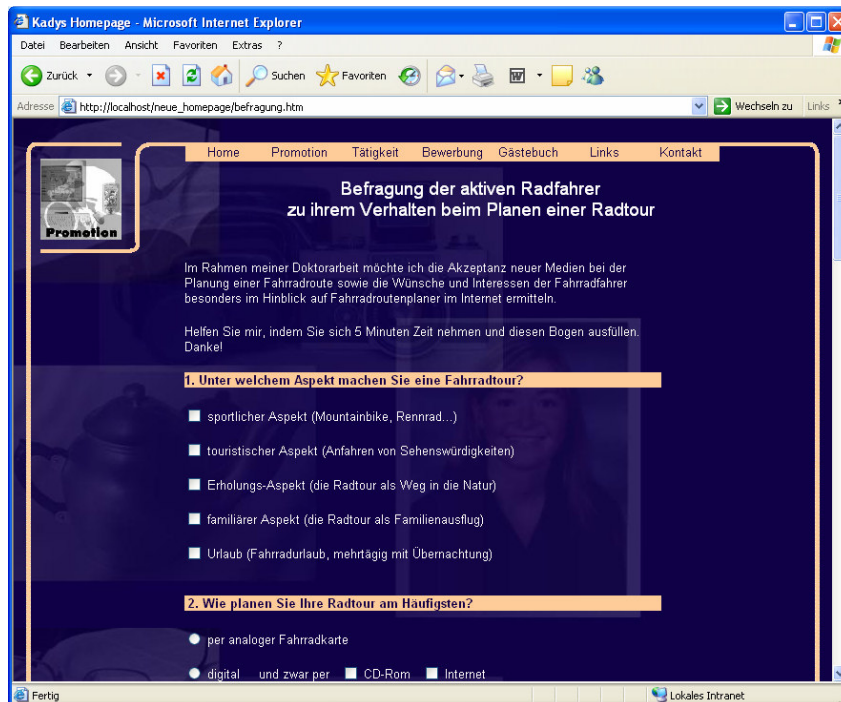


Abb. 3.3: Die Benutzeroberfläche des Online-Fragebogens.
Quelle: <http://www.katrin-stroemer.de>.

Da die Befragten keine persönlichen Angaben wie Name und Adresse angeben müssen, kann keine Kontrolle über eine Mehrfachteilnahme von Personen durchgeführt werden. So wurden nach Beendigung der Befragung eindeutig identische Datenreihen aus der Datenbank entfernt. Es belief sich hierbei nur um sieben Fälle. Die Informationen, die in der Datenbank gespeichert werden, können exportiert, in das Statistik-Programm SPSS Version 13.0.1 (Superior Performing Software System) eingelesen und dort verarbeitet werden.

3.4 Durchführung der Befragung

Die Teilnahmeansprache ist eines der größten Probleme bei Online-Befragungen. Es ist deshalb üblich, die Teilnehmer aktiv auf diese aufmerksam zu machen und sie um die Teilnahme zu bitten (HUFF 2004, S. 49). So wurde der digitale Fragebogen zunächst auf der Homepage

des *Fahrradies*, welches am Institut für Geoinformatik und Fernerkundung gehostet wird, auf der Startseite verlinkt. Zusätzlich wurden zahlreiche Portale rund um das Thema Fahrrad angeschrieben, mit der Bitte die Befragung dort zu verlinken oder dort auf die Befragung aufmerksam zu machen. Tabelle 3.3 zeigt eine alphabetisch sortierte Übersicht über die angeschriebenen Portale und deren Bereitschaft zur Mithilfe (“-“ = keine Bereitschaft).

Portal	Inhalte	Bereitschaft
www.adfc-burgdorf.de	Homepage der ADFC Ortsgruppe Burgdorf/Uetze	verlinkt
www.aktiv-radfahren.de	Online-Ausgabe von <i>aktiv Radfahren</i> , dem Fahrrad-Magazin für Genussradfahrer und Radreisefreunde.	-
www.bikefreaks.de	Reisen mit dem Fahrrad	-
www.bikesport.de	Internetportal rund ums Fahrrad mit den Themen Hersteller, Radsport, Mountainbike, Handel, Radreisen, Training etc.	-
www.biketrekking.de	Informationen rund um das Thema Fahrradreisen	-
www.deutschland-tourismus.de	Reiseziele, Reisetipps und Routenvorschläge für ganz Deutschland	-
www.fahrradkarten.de	Radwanderkarten aus aller Welt, vor allem für Deutschland, Österreich und der Schweiz	-
www.fahrradreisen.de	Die Radreise-Datenbank	Mitteilung im Newsletter
www.fahrrad-tour.de	Illustrierter Fahrradführer mit Fahrradtouren zur individuellen Tourenplanung (statisch)	-
www.fahrradtouren.de	Fahrradkarten, Radreisen, Radwege, schöne Fahrradtouren in Deutschland, geführte Radtouren.	verlinkt
www.forum.cycling4fans.de	Forum zum Thema Radsport	Eintrag ins Forum
www.quaeldich.de	Portal für Rennradfahrer	-
www.radcommunity.de	Forum zum Thema Radtouristik, Radsport, etc.	Eintrag ins Forum
www.rad-forum.de	Forum zum Thema Radreisen	Eintrag ins Forum
www.rad-reise-service.de	Informations-Portal rund ums Rad	verlinkt
www.radtouren.de	Wissenswertes zum Thema Radreisen, aktuelle Radreise-Meldungen und neue Produkte	Eintrag ins Forum
www.radtouren.net	Touren in Deutschland und Nachbarländern	verlinkt
www.radtour4u.de	Gastgeberverzeichnisse, Liste aller Radfernwege, Radtourentipps, Adressen von Fahrradverleihern	verlinkt
www.radurlaub.de	Wissenswertes zum Thema Urlaub mit dem Fahrrad	verlinkt
www.reiseradler.de	Informationsseite für Fahrradfahrer, z.B. Fahrvermietung, Fahrrad-Shops, Equipment	-

Tab. 3.3: Übersicht über die angeschriebenen Portale zur Verlinkung der Befragungsseite.
Quelle: eigene Erhebung.

Doch eine Verlinkung allein reicht nicht aus. Die Teilnehmer müssen aktiv ausgewählt werden. Das bedeutet, dass derjenige, der die Befragung durchführt, selbst bestimmt, wen er anspricht und um eine Teilnahme an der Befragung bittet. „Ein allgemeiner Hinweis auf eine bestimmte Online-Befragung oder eine allgemeine Aufforderung (z.B. per Banner), sich daran zu beteiligen, genügt nicht den methodischen Anforderungen, die an das Auswahl- bzw. Rekrutierungsverfahren bei wissenschaftlichen Befragungen zu stellen sind“ (ADM 2001, S. 2). In solch einem

Fall würde derjenige, der die Befragung durchführt, nicht selbst bestimmen, wer für das Auswahlverfahren angesprochen wird. Diese passive Auswahl hat aufgrund ihrer Selbstselektivität Verzerrungen der Stichprobe zur Folge (ADM 2001, S. 2).

Um eine möglichst große Streuung in ganz Deutschland zu erhalten, wurde der Allgemeine Deutsche Fahrrad-Club (ADFC) mit Hauptsitz in Bremen angesprochen. Der ADFC zeigte zunächst großes Interesse an der Befragung und erklärte sich bereit, die Webseite, welche die Befragung beinhaltet, auf den Seiten des ADFC (radwelt-online.de) zu verlinken und den ADFC-Verteiler anzuschreiben, um auf die Befragung aufmerksam zu machen. Leider stellte sich heraus, dass lediglich 70 Vertreter des Fachausschusses Tourismus angeschrieben wurden und eine Verlinkung nie stattgefunden hat.

Dementsprechend verlief der Rücklauf nach der Kontaktaufnahme zum ADFC sehr schleppend. Daher wurde beschlossen, die zu Befragenden selbst per Email anzuschreiben. Für sinnvoll erschien das Kontaktieren zahlreicher Radclubs in Deutschland. So wurden aus dem Internet die Email-Adressen etlicher Fahrradclubs und Radsportvereine, die in Deutschland ansässig sind, recherchiert (Quelle (Stand März 2005): <http://www.bikesport.de/veloweb/clubs.html> und <http://www.radsport-aktiv.de/vereine/vereine.php>). Die Recherche gestaltete sich aufgrund der starken Heterogenität der Webseiten von den einzelnen Clubs und Vereinen sehr schwierig. Die ca. 320 ermittelten Adressen wurden in einer Datenbank abgelegt und per Sammelmail angeschrieben. Der Rücklauf war sehr erfreulich. Allein an den ersten zwei Tagen nach dem Email-Aufruf nahmen ca. 80 Personen an der Befragung teil. Zusätzlich gingen zahlreiche textliche Rückmeldungen mit interessanten Anregungen für einen Fahrradroutesplaner im Internet per Email ein. Viele der angeschriebenen Fahrradclubs sagten zu, die Anfrage an ihren eigenen Verteiler weiterzuschicken.

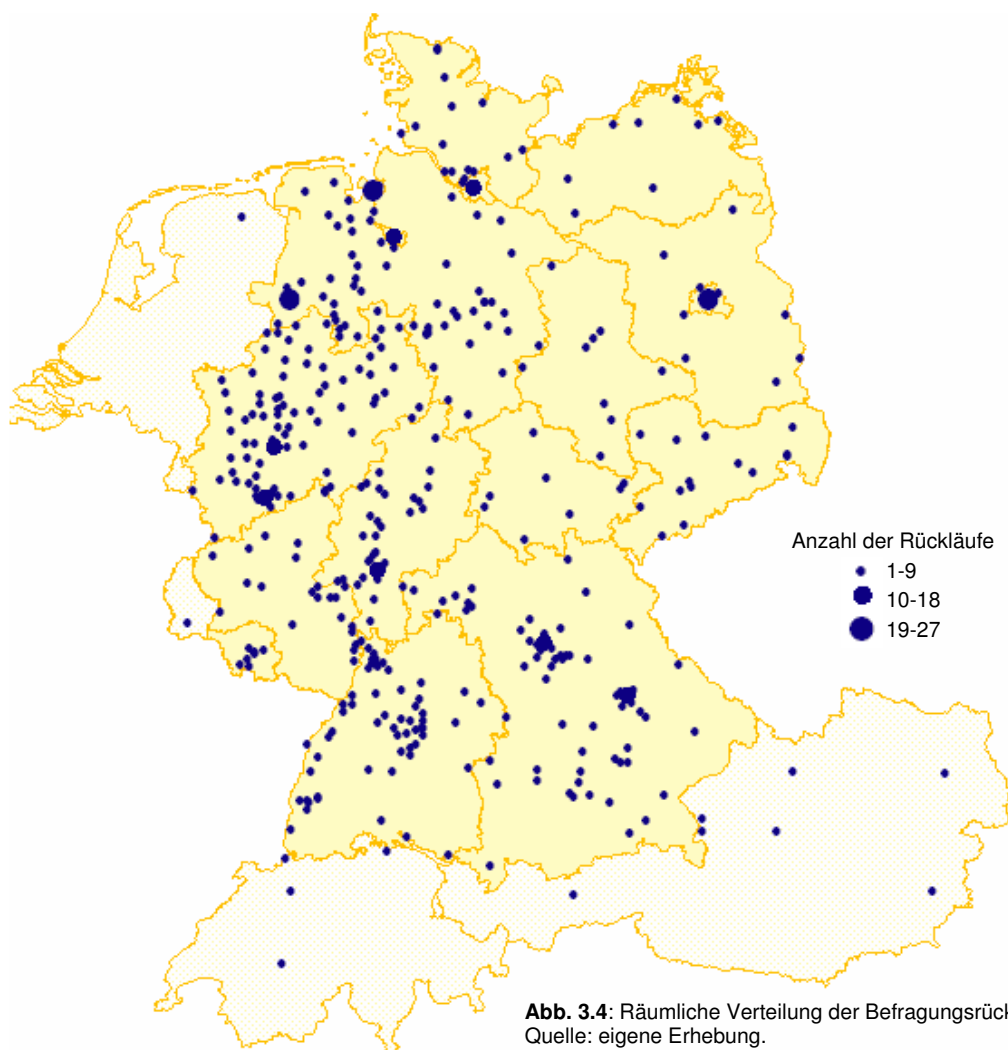
Um die Zahl der Rückläufe noch zu erhöhen, wurde in einem letzten Schritt parallel zu der Internetbefragung der Versuch gestartet, Personen per Interview zu befragen. Station war die Fahrradmesse „Fahrrad.Markt.Zukunft“, die vom 12. – 13. Februar im MesseCentrum Bremen stattfand. Es konnten ca. 12.000 Besucher auf der Messe, auf der alles rund um das Fahrrad präsentiert wird, verzeichnet werden (Quelle (Stand Juli 2005): <http://www.fahrrad-markt-zukunft.de>). Es stellte sich heraus, dass sich wenig Besucher kooperativ zeigten und die Fragen beantworteten. Aus diesem Grund wurde beschlossen, keine weiteren Interviews durchzuführen, sondern sich nur auf die Online-Befragung zu konzentrieren.

Nach dem Anschreiben der Zielpersonen stellte sich noch die Frage der zeitlichen Beschränkung der Befragungsdurchführung. „Die Feldzeit von Online-Befragungen sollte, falls keine methodischen Gründe dem entgegen stehen, untersuchungsspezifisch so ausreichend bemessen werden, dass alle zur Zielgruppe gehörenden Personen eine Chance haben, an der Befragung teilzunehmen. Zu kurze Feldzeiten führen in der Regel zu verzerrten Stichproben. Personen, die nur unregelmäßig das Internet nutzen, haben in diesem Fall eine geringere Auswahlwahrscheinlichkeit“ (ADM 2001, S. 5). So wurde eine Befragungsdauer von 12 Monaten als angemessen erachtet.

3.5 Ergebnisse der Befragung

Die Befragung wurde von Anfang Februar 2005 bis Mitte Februar 2006 durchgeführt. Insgesamt haben sich 806 Personen an der Befragung beteiligt (Stand 16. Februar 2006). Von diesen 806 ausgefüllten Fragebögen sind 785 als gültig zu betrachten. 14 Bögen mussten verworfen werden, weil sie nicht vollständig ausgefüllt waren. 7 Bögen stellten sich als doppelt heraus und wurden daher auch verworfen. Da nicht genau gesagt werden kann, wie viele Personen angeschrieben wurden - der ADFC sowie einige Radclubs haben ihren eigenen Verteiler angeschrieben -, können keine Aussagen zu der Rücklaufquote der Befragung gemacht werden. Die Rücklaufquote, d.h. der Anteil der an der Befragung tatsächlich teilnehmenden Personen an den um die Teilnahme gebetenen Personen, ist ein relevantes Qualitätsmerkmal, das im Untersuchungsbericht normalerweise zu dokumentieren ist (ADM 2001, S. 3). Diese lässt sich allerdings nur bei einer aktiven Auswahl ermitteln.

Wichtig erschien unter anderem eine große räumliche Verteilung der Rückläufe. Durch die Abfrage des Wohnortes mit Postleitzahl konnte eine Übersicht über die räumliche Verteilung der Befragten erarbeitet werden (s. Abb. 3.4). Es ist festzuhalten, dass aus jedem Bundesland Rückläufe zu verzeichnen sind.



Für die weiteren Untersuchungen wurden nur die Bögen aus Deutschland berücksichtigt, da die Rückläufe in den anliegenden Staaten zu gering waren. Somit wurden weitere 14 Bögen aus Österreich, den Niederlanden, der Schweiz und Luxemburg verworfen, so dass sich die Zahl der zu untersuchenden Bögen auf 771 beläuft. Um analysieren zu können, ob Zusammenhänge zwischen der räumlichen Verteilung und den Angaben in der Befragung bestehen, müssen diese Orte in Klassen eingeteilt werden. Hier bot es sich an, die 10 Postleitzahlenbereiche zu wählen. In Abbildung 3.5 sind die Postleitzahlenbereiche mit ihren Rückläufen in Prozent dargestellt.

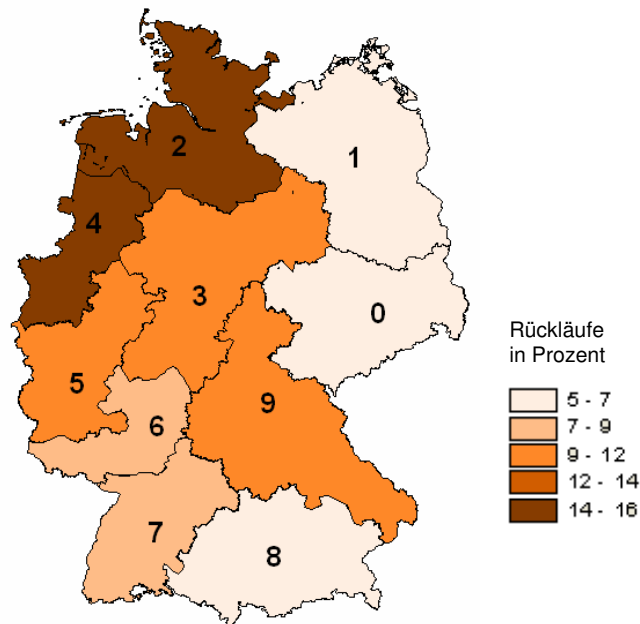


Abb. 3.5: Prozentuale Verteilung der Befragungsrückläufe aus den deutschen Postleitzahlenbereichen 0-9.
Quelle: eigene Erhebung.

Es wird deutlich, dass vor allem der Nordwesten, die Mitte Deutschlands und der Südosten sich an der Befragung beteiligt haben. Wenige Rückläufe sind dagegen aus dem Nordosten, Osten und Süden zu verzeichnen. Die geringe Rücklaufquote aus dem Nordosten und Osten kann unter Umständen durch die geringe Zahl der Onliner (siehe auch Abschnitt *Rahmenbedingungen der Befragung*) zurückgeführt werden.

Nachdem ein Überblick über die räumliche Verteilung der Befragten gegeben wurde, soll nun genauer auf die Inhalte der Befragungsrückläufe eingegangen werden. Die ermittelten Daten der Befragung setzen sich überwiegend aus nominal- und ordinalskalierten Daten zusammen. Nominalskalen stellen einfache Klassifizierungen dar. Mit nominalskalierten Daten können keine Rechenoperationen durchgeführt sondern lediglich Häufigkeiten bestimmt werden. Ordinalskalen hingegen erlauben wenigstens die Aufstellung einer Rangfolge mit Hilfe von Rangwerten. Für ordinalskalierte Daten kann neben Häufigkeiten auch der Median-Wert, also der Wert der von der Hälfte der Angaben übertroffen wird, ermittelt werden (WOSNITZA und JÄGER 1999, S. 99 ff). Weitere Skalen und ihre Messniveaus können Tabelle 3.4 entnommen werden.

Skala	Merkmale	Erlaubte Rechenoperationen
Nominalskala	Klassifizierung qualitativer Eigenschaftsausprägungen	Bildung von Häufigkeiten
Ordinalskala	Rangwert mit Ermittlung des Median	Ordinalzahlen
Intervallskala	Skala mit gleich großen Abschnitten ohne natürlichen Nullpunkt	Addition, Subtraktion
Ratioskala	Skala mit gleich großen Abschnitten und natürlichem Nullpunkt	Addition, Subtraktion, Division, Multiplikation

Tab. 3.4: Skalen und ihre Messniveaus.
Quelle: WOSNITZA und JÄGER 1999, S. 101.

Die gewonnen Daten wurden durch deskriptive statistische Verfahren ausgewertet. Insbesondere wurden Methoden der univariaten und multivariaten Deskription wie die Ermittlung von Häufigkeitsverteilungen und die Erstellung von Kreuztabellen genutzt.

Gerade für nominalskalierte Daten bietet sich die Auszählung von Häufigkeiten an. Dabei werden die Daten nach vorkommenden Zahlenwerten oder Ausprägungen untersucht. Als absolute bzw. relative Häufigkeit einer Ausprägung a_j , $j = 1, \dots, k$, bezeichnet man die Anzahl bzw. den Anteil von Werten der Urliste, die mit a_j übereinstimmen (FAHRMEIR et al. 2004, S. 32). Ein sehr häufiger Anwendungsfall ist zudem der Vergleich verschiedener Gruppen von Fällen bzgl. der Ausprägungen einer nominalskalierten Variablen. Diese Art von Vergleich zur Ermittlung von Zusammenhängen zwischen Variablen wird durch Kreuztabellen realisiert. Im Folgenden werden die Ergebnisse der Befragung, die durch oben genannte Methoden ermittelt wurden, zusammenfassend dargestellt.

Wie in Abbildung 3.6 deutlich wird, dominiert bei der Frage nach dem Aspekt, der bei der Planung einer Radtour eine Rolle spielt, der sportliche Aspekt mit 64,6% (498 Nennungen). Es wird davon ausgegangen, dass das Anschreiben zahlreicher Fahrradclubs hierfür ausschlaggebend ist. Da die Fahrradclubs allerdings auch Freizeitaktivitäten per Rad anbieten, schien es die richtige Wahl für eine Ansprache. Bestärkt wird diese Annahme durch den Aspekt der Erholung, der mit 50,6% (390 Nennungen) auch stark vertreten ist. Einen Fahrradurlaub machen 51,2% (395 Nennungen) der Befragten. Einen touristischen Aspekt für die Planung ihrer Fahrradrouten geben nur noch 32,9% (254 Nennungen) der Befragten an. Mit 17,8% (137 Nennungen) wird die Familie als Aspekt für eine Fahrradtour genannt.

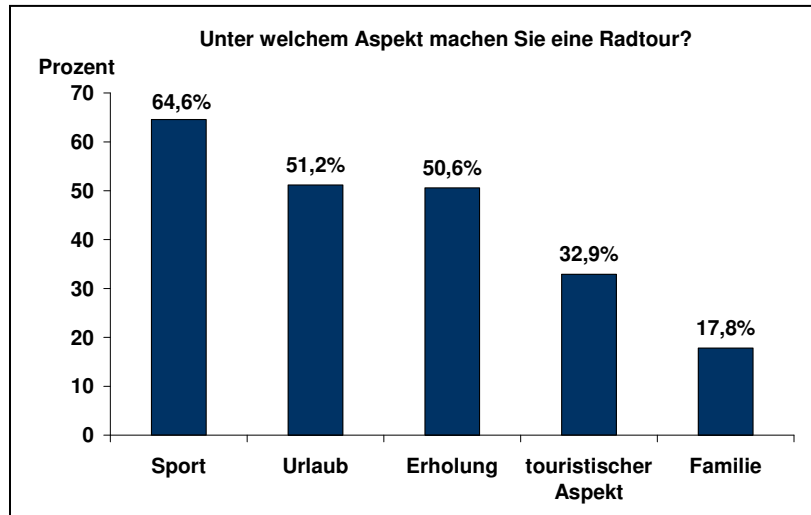


Abb. 3.6: Aspekt bei der Planung einer Fahrradtour. Angaben in Prozent (Mehrfachantworten möglich). Quelle: eigene Erhebung.

Abbildung 3.7 gibt einen Überblick über den vorherrschenden Aspekt in den einzelnen Postleitzahlen-Bereichen. Dem gegenüber steht die räumliche Verteilung der angeschriebenen Fahrradclubs, die in Abbildung 3.8 dargestellt wird. Es wird deutlich, dass die Mitglieder der Fahrradclubs nicht ausschließlich unter sportlichem Aspekt eine Fahrradtour machen. Besonders im Postleitzahlenbereich 4 ist eine starke Konzentration von angeschriebenen Fahrradclubs auszumachen, wobei in diesem Postleitzahlenbereich die Erholung als Aspekt vorherrschend ist.



Abb. 3.7: Vorherrschender Aspekt in den deutschen Postleitzahlengebieten 0-9. Quelle: eigene Erhebung.

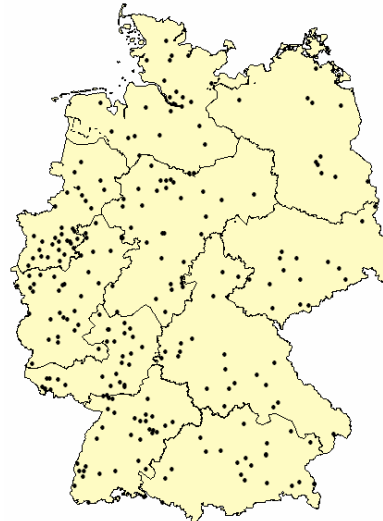


Abb. 3.8: Räumliche Verteilung der angeschriebenen Fahrradclubs- und Vereine. Quelle: eigene Erhebung.

Annähernd die Hälfte der Befragten (42,5% = 328 Nennungen) nutzt für die Planung einer Route weiterhin die herkömmliche analoge Fahrradkarte (s. Abb. 3.9). Nur 10,1% (78 Nennungen) planen ihre Route ausschließlich digital. Dabei nutzen nur 39,8% (35 Nennungen) der digitalen Planer das Internet, 60,2% (53 Nennungen) bevorzugen die CD ROM als Medium. 29,8% aller Befragten (230 Nennungen) nehmen sowohl die analoge Karte als auch digitale Medien für die

Planung einer Route zur Hilfe. 17,5% (135 Nennungen) planen die Route im Vorfeld überhaupt nicht.

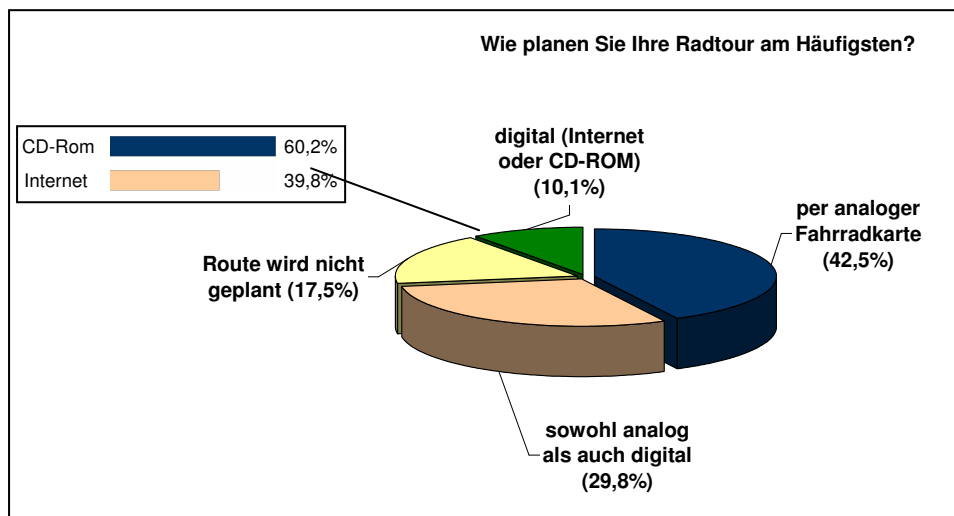


Abb. 3.9: Häufigste Planungsart der Befragten. Quelle: eigene Erhebung.

Dieses Ergebnis ist für die Konzeption eines Fahrradroutenplaners, der in Form einer Internetanwendung konzipiert werden soll, zunächst ernüchternd. So soll doch das Internet das Medium zur Planung für den neuen Routenplaner werden. In einer Befragung von 2004 durchgeführt an der Universität Potsdam (s. HUFF 2004) wurden ähnliche Aspekte wie die dieser Befragung aufgenommen. Auf die Frage, auf welche Art und Weise sich die Befragten für die Planung ihrer Route im Vorfeld informieren, war auch hier die Fahrradkarte das wichtigste Informationsmedium gefolgt vom Internet und Reiseführern.

Besonders interessant gestaltet sich die Antwort auf die Frage, ob die Befragten bereits einen Fahrradroutenplaner im Internet genutzt haben. Das Ergebnis dieser Frage fällt eher negativ aus, wie in Abbildung 3.10 zu erkennen ist.

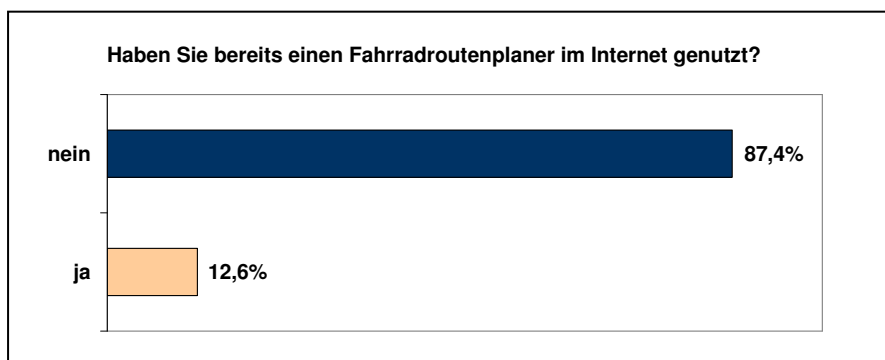


Abb. 3.10: Nutzung von Fahrradroutenplanern im Internet. Quelle: eigene Erhebung.

87,4% (674 Nennungen) haben noch keinen Fahrradroutenplaner im Internet genutzt. Nur 12,6% (97 Nennungen) geben an, bereits Erfahrungen mit Fahrradroutenplanern im Internet gemacht zu haben. Dabei steht an erster Stelle der *Radroutenplaner NRW* (s. auch Kap. 2.3.5)

mit 37 Nennungen. Ein Grund dafür ist eventuell das große Gebiet, welches dieser Planer abdeckt. So sind 33 der 37 Nennungen aus Nordrhein-Westfalen zu verzeichnen. 8 der Befragten geben an, *Map24* als Routenplaner für eine Fahrradtour zu nutzen. Allerdings muss an dieser Stelle gesagt werden, dass es sich bei *Map24* ausschließlich um einen Planer für den motorisierten Individualverkehr handelt. Von daher ist nicht davon auszugehen, dass es sinnvoll ist, diesen Planer für Fahrradtouren zu nutzen, da Fahrradwege oder kleinere Nebenstraßen nicht im System vorhanden sind und berücksichtigt werden. Es ist auffällig, dass *Map24* vor allem in Bereichen genutzt wird, in denen keine weiteren interaktiven Fahrradrouutenplaner existieren. Immerhin noch 6 der 97 Personen haben bereits das *Fahrradies* (s. auch Kap. 2.3.6) getestet. Das Portal *Geolife* der LGN nutzten 5 Befragte. Dabei muss angemerkt werden, dass mit *Geolife* keine individuelle Touren geplant, sondern lediglich feste Routenvorschläge genutzt werden können. Auch das Portal *radweit.de*, welches 4 Befragte angeben, stellt dem Anwender fertige Tourenvorschläge zur Verfügung. Beim *RadRoutenplaner 2.0*, der von 3 Befragten bereits genutzt wurde, handelt es sich um ein Produkt, welches nur auf CD-Rom verfügbar ist und daher gar nicht weiter in Betracht gezogen wird. Der Planer *Ruhrtal a la Karte* (s. Kap. 2.3.3) sowie die Portale *bayerninfo.de* und *quaeldich.de* werden jeweils von 2 der Befragten angegeben. Auch bei diesen Portalen handelt es sich nicht um interaktive Fahrradrouutenplaner sondern Informationsplattformen zu Rennradstrecken und Radfernwegen. Lediglich eine Stimme bekommen die Planer *bbbike* und der Planer des *ADAC Baden-Württemberg*, welche in Kapitel 2.2 und Kapitel 2.3.1 beschrieben sind. Weitere Planer, die in dieser Arbeit nicht näher erläutert werden sollen, sind unter Diverse (21 Nennungen) zusammengefasst. Keine Angabe machten 7 der Befragten.

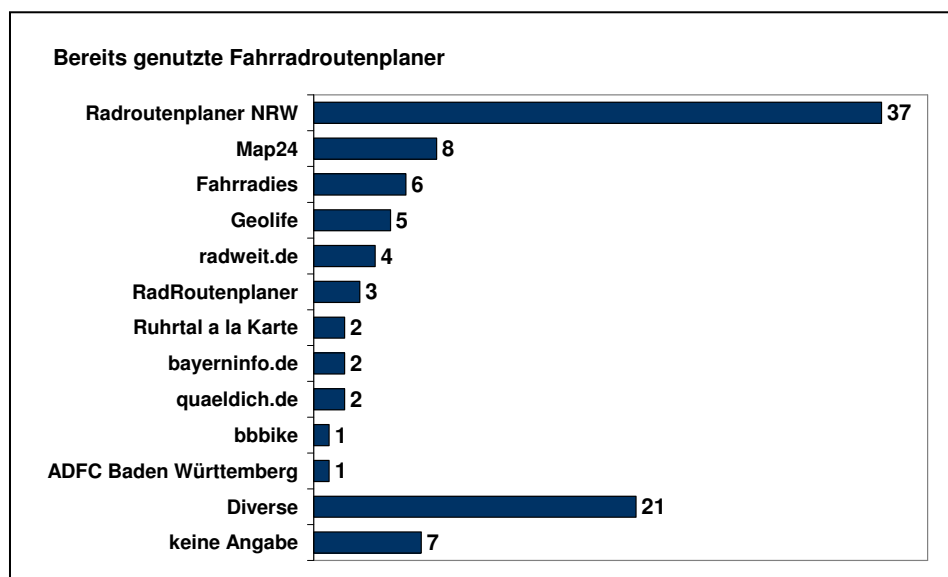


Abb. 3.11: Nennungen bereits genutzter Fahrradrouutenplaner.
Quelle: eigene Erhebung.

Die geringe Nutzung der Internetrouutenplaner ist unter Umständen auf mehrere Gründe zurückzuführen. Zum einen sind die Routenplaner den Fahrradfahrern nicht bekannt. Es wird nicht genügend für sie geworben und dadurch können sie im Internet nicht gefunden werden. Zum anderen gibt es zurzeit nur Routenplaner für bestimmte Regionen (vgl. Kap. 2). Eine bundesweite Lösung ließ allerdings bisher auf sich warten. Dies ist für viele Fahrradfahrer ein großer

Nachteil, da Radwege an administrativen Grenzen keinen Halt machen. Ein weiterer Aspekt für die geringe Nutzung von Internetfahrradroutenplanern ist unter Umständen die geringe Kenntnis in Bezug auf den Umgang mit einem Fahrradroutenplaner im Internet. Die Nutzer empfinden es möglicherweise als schwierig, sich in die Benutzeroberfläche einzuarbeiten, so dass sie bei der altbewährten Fahrradkarte bleiben und das neue Medium nicht nutzen.

Soll im Vorfeld einer Fahrradroute diese im Internet geplant werden, so würden 76,3% (588 Nennungen) die Planung einer individuellen Route bevorzugen. Nur 23,7% (183 Nennungen) würden einen fertigen Routenvorschlag nutzen.

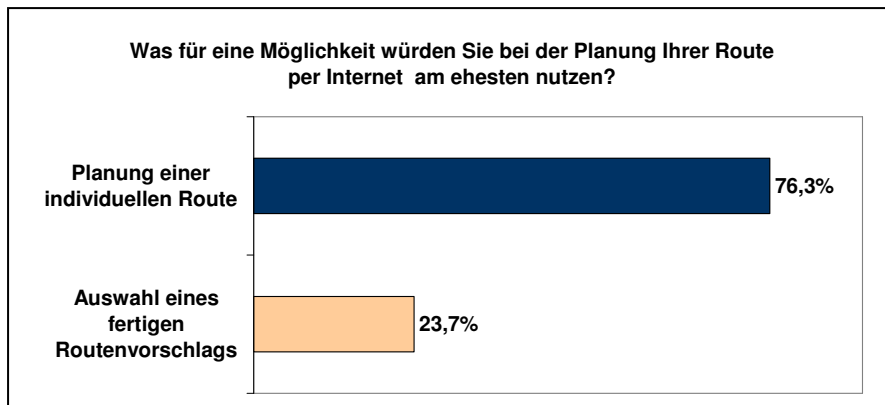


Abb. 3.12: Bevorzugte Planungsmethode. Quelle: eigene Erhebung.

Dieses Ergebnis dargestellt in Abbildung 3.12 bestärkt die Konzeption eines internetbasierten Fahrradroutenplaners zur Berechnung individueller Touren. In dieser Arbeit soll es aber vor allem darum gehen, die Wünsche und Anforderungen, die die potentiellen Anwender an dieses System stellen, in die Konzeption mit einzubeziehen.

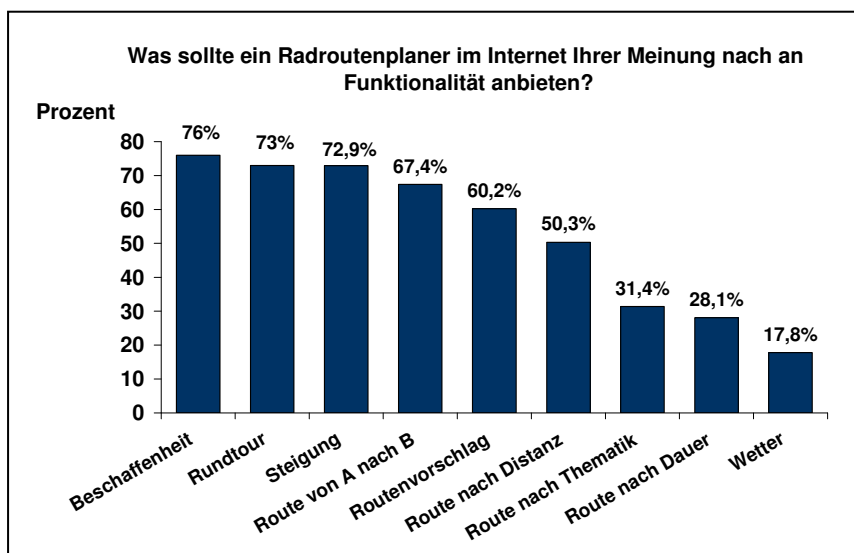


Abb. 3.13: Gewünschte Funktionalität für einen Fahrradroutenplaner im Internet (Mehrfachnennungen möglich). Quelle: eigene Erhebung.

Diese Anforderungen müssen daher im Vorfeld ermittelt werden. Um die Übersichtlichkeit zu gewährleisten, wurden nur die Kriterien zur Auswahl angeboten, die sich durch die langjährige

Erfahrung im Bereich des Fahrrad routings sowie durch zahlreiche Anregungen von Nutzern und die Recherche des vorhandenen Angebots im Internet herauskristallisiert haben. Die Befragten konnten also in der Frage fünf neun verschiedene Aspekte bzw. Anforderungen auswählen, die ihnen für einen Fahrrad routenplaner im Internet als sinnvoll erscheinen (s. Abb. 3.13). Mehrfachnennungen waren möglich.

Dabei stellte sich heraus, dass 76% aller Befragten (586) der Beschaffenheit der Radwege eine große Bedeutung beimessen. Dies ist vor allem für Rennradfahrer von Interesse. Sicherlich ist auch hier die große Rücklaufquote aus Fahrradclubs ausschlaggebend. Allerdings wird von einem der Befragten angemerkt, dass unbefestigte Wege nicht nur mit dem Rennrad unbefahrbar sind. Bei schlechtem Wetter sind sie auch für alle anderen außer Mountainbiker ungeeignet. Ca. 73% aller Befragten (563 Nennungen) finden es wichtig, dass mit dem Fahrrad routenplaner eine Rundtour berechnet werden kann, bei der Start- und Endpunkt identisch sind, und dass die Steigung mit in die Routenberechnung einbezogen wird. Interessant ist, ob der Wunsch nach der Einbeziehung der Steigung vor allem aus bergigen Teilen Deutschlands erfolgt ist. Dies wird in einer Gegenüberstellung der räumlichen Erfassung der Befragten mit den gewünschten Anforderungen an späterer Stelle dargestellt. 67,4% aller Befragten (520 Nennungen) würden sich eine Route von A nach B berechnen lassen. Dass weiterhin feste Tourenvorschläge angeboten werden, wünschen sich 60,2% aller Befragten (464 Nennungen). Dies ist vor allem dann sinnvoll, wenn diese Tourenvorschläge im Gelände beschildert sind.

Eine Route, die nach einer bestimmten Distanz (z.B. 30 km) berechnet wird, würden sich 50,3% aller Befragten (388 Nennungen) erstellen. Es scheint, dass hier wieder ein Zusammenhang zu den angeschriebenen Fahrradclubs besteht, die zu Trainingszwecken bestimmte Distanzen zurücklegen müssen. Wie lange für diese Strecke gefahren wird, hängt dann ganz von der Verfassung des jeweiligen Fahrers ab. Im Gegensatz dazu ist eine Routenberechnung auf Grundlage einer bestimmten Dauer (z.B. eine Stunde) nur noch von 28,1% aller Befragten (217 Nennungen) gewünscht.

Überraschend ist, dass nur 31,4% aller Befragten (242 Nennungen) sich vorstellen könnten, eine Route auf Basis von thematischen Vorgaben (z.B. an einem Wald, einem Cafe und einem Schwimmbad vorbei) zu planen. Denn gerade diese Funktionalität erscheint vor allem für Radfahrer, die eine Radtour unter touristischen oder urlaubstechnischen Aspekten unternehmen, als sinnvoll. Um einen möglichen Zusammenhang zu erkennen, wurde der Aspekt, unter dem eine Tour geplant wird, den gewünschten Funktionalitäten gegenübergestellt. Tabelle 3.5 zeigt die Ergebnisse dieser Gegenüberstellung.

Funktionalität	Aspekt				
	Sport (100%= 498 Nennungen)	touristischer Aspekt 100%=254 Nennungen)	Erholung (100%= 390 Nennungen)	Familie (100%= 137 Nennungen)	Urlaub (100%= 395 Nennungen)
Routenvorschlag	60%	59,8%	62,8%	62%	58,7%
Rundtour	76,9%	74,4%	77,2%	75,9%	73,7%
von A nach B	66,7%	76%	73,8%	67,9%	74,7%
Route nach Dauer	30,3%	23,2%	26,2%	29,2%	18%
Route nach Distanz	55,4%	47,6%	49,2%	51,1%	44,8%
Route nach Semantik	25,7%	40,6%	41,3%	46,7%	32,7%
Steigung	78,7%	70,9%	70,3%	65,7%	74,9%
Beschaffenheit	78,1%	78,3%	78,7%	75,9%	80,3%
Wetter	19,5%	16,1%	16,7%	19%	14,2%

	= höchster Wert
	= zweithöchster Wert
	= dritthöchster Wert

Tab. 3.5: Beziehung zwischen Aspekt der Route und gewünschter Funktionalität eines Routenplaners. Angaben in Prozent in Bezug auf den Aspekt. Mehrfachnennungen möglich. Quelle: eigene Erhebung.

Es wird deutlich, dass besonders die Beschaffenheit und die Planung einer Rundtour sowie die Planung einer Route von A nach B für fast alle Aspekte eine wichtige Rolle spielt. Für Befragte, die besonders unter dem Aspekt des Sports radeln gehen, ist zusätzlich die Steigung von großem Interesse. So möchten 78,7% aller Sportradler die Einbeziehung der Steigung in einem Fahrradrouutenplaner. Aber auch die Radler, die unter familiären oder Urlaubsaspekten unterwegs sind, finden die Berücksichtigung der Steigung wichtig.

Am wenigsten Bedeutung wird der Einbeziehung von Wetterinformationen zuteil. Dies ist zusätzlich auch unabhängig von dem der Radtour zugrunde liegenden Aspekt. Nur 17,8% aller Befragten (137 Nennungen) halten es für sinnvoll, Wettervorhersagen in einen Fahrradrouutenplaner zu integrieren.

Wie bereits erwähnt, ist die Frage interessant, ob die Wünsche nach den Funktionalitäten regionale Bezüge aufweisen, z.B. Steigungen nur in bergigen Teilen Deutschlands gewünscht sind. Eine Übersicht über die vorherrschende gewünschte Funktionalität in den Postleitzahlenbereichen 0 bis 9 zeigt die Abbildung 3.14.

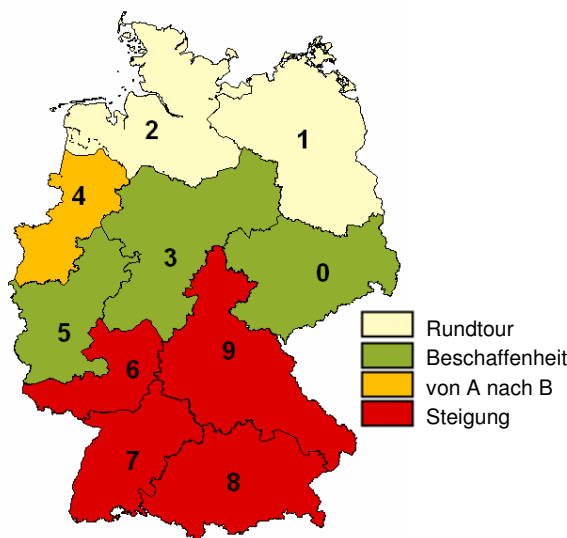


Abb. 3.14: Vorherrschende gewünschte Funktionalität in den Postleitzahlenbereichen 0-9. Quelle: Eigene Erhebung.

Im nördlichen Teil der Bundesrepublik (Postleitzahlenbereiche 1 und 2) ist die Berechnung einer Rundtour vorherrschend. Wie bereits angenommen spielt die Steigung im gesamten Süden Deutschlands eine besondere Rolle. Sie dominiert die Postleitzahlenbereichen 6 bis 9. In der Mitte Deutschlands ist dagegen die Einbeziehung der Beschaffenheit in die Routenberechnung vorherrschend. Dies ist mit dem Anschreiben zahlreicher Fahrradclubs vor allem in den Postleitzahlenbereichen 3 und 5 zu begründen. Eine Route von A nach B dominiert im Nordwesten Deutschlands (Postleitzahlenbereich 4). Ein Grund hierfür ist möglicherweise der vorherrschende Erholungsaspekt in diesem Bereich.

Die oben beschriebene Karte sagt nichts darüber aus, wie die einzelnen Funktionalitäten in den Postleitzahlenbereichen vertreten sind. Um die Verteilung der Funktionalitäten in den Postleitzahlenbereichen zu dokumentieren, ist für jede mögliche Funktionalität, die von den Befragten ausgewählt wurde, eine kleine Übersichtskarte erstellt worden. So wird in Abbildung 3.15 die räumliche Verteilung jeder einzelnen Funktionalität in den Postleitzahlenbereichen dargestellt. Die Einteilung ist in jeder der Karten identisch - die 100 % der möglichen Rückläufe sind für jede Funktionalität in 4 Kategorien aufgeteilt -, damit die Karten miteinander verglichen werden können. Die Prozentwerte der dargestellten Funktionalitäten beziehen sich auf die Rückläufe im jeweiligen Postleitzahlenbereich.

Auf den ersten Blick fällt auf, dass besonders die Einbeziehung der Steigung und der Beschaffenheit in fast allen Postleitzahlengebieten von über 76% der Befragten gewünscht ist (Abb. 3.15g/h). Die Steigung kann lediglich im flachen Norden etwas vernachlässigt werden, was nicht verwundert. Ebenfalls die Kategorien *Routenberechnung von A nach B* und die *Berechnung einer Rundtour* sind in allen Teilen Deutschland mit über 50% vertreten (s. Abb. 3.15b/c). Auch die *Auswahl eines Routenvorschlags* wird in fast allen Postleitzahlenbereichen mit über 50% gewünscht. Die Ausnahme macht hier der Süden Deutschlands mit dem Postleitzahlenbereich 8 (s. Abb. 3.15a).

Die *Routenberechnung nach einer bestimmten Distanz* erhält immerhin noch über 26% der Stimmen im ganzen Land. Lediglich Nordosten, Osten und Westen steigt sie auf über 50% an (s. Abb. 3.15e). Eine *Route nach einer bestimmten Dauer* möchten vor allem die Befragten aus südlichen Bereichen (Postleitzahlengebiet 6 und 8) nicht planen. In allen anderen Bereichen ist diese Funktionalität zwischen 26% und 50% vertreten (s. Abb. 3.15d). Die *Routenberechnung nach Semantik* sowie die *Einbeziehung von Wetterinformationen* spielen eine geringe Rolle. Erstere ist vor allem in den nördlichen Bereichen, in denen der Erholungsaspekt beim Planen einer Radtour die größte Rolle spielt, aber auch in den mittleren Bereichen Deutschlands vertreten (s. Abb. 3.15f). Das Wetter ist nur ganz im Norden für die Befragten von Bedeutung. Nur hier steigt das Interesse auf über 26% (s. Abb. 3.15i).

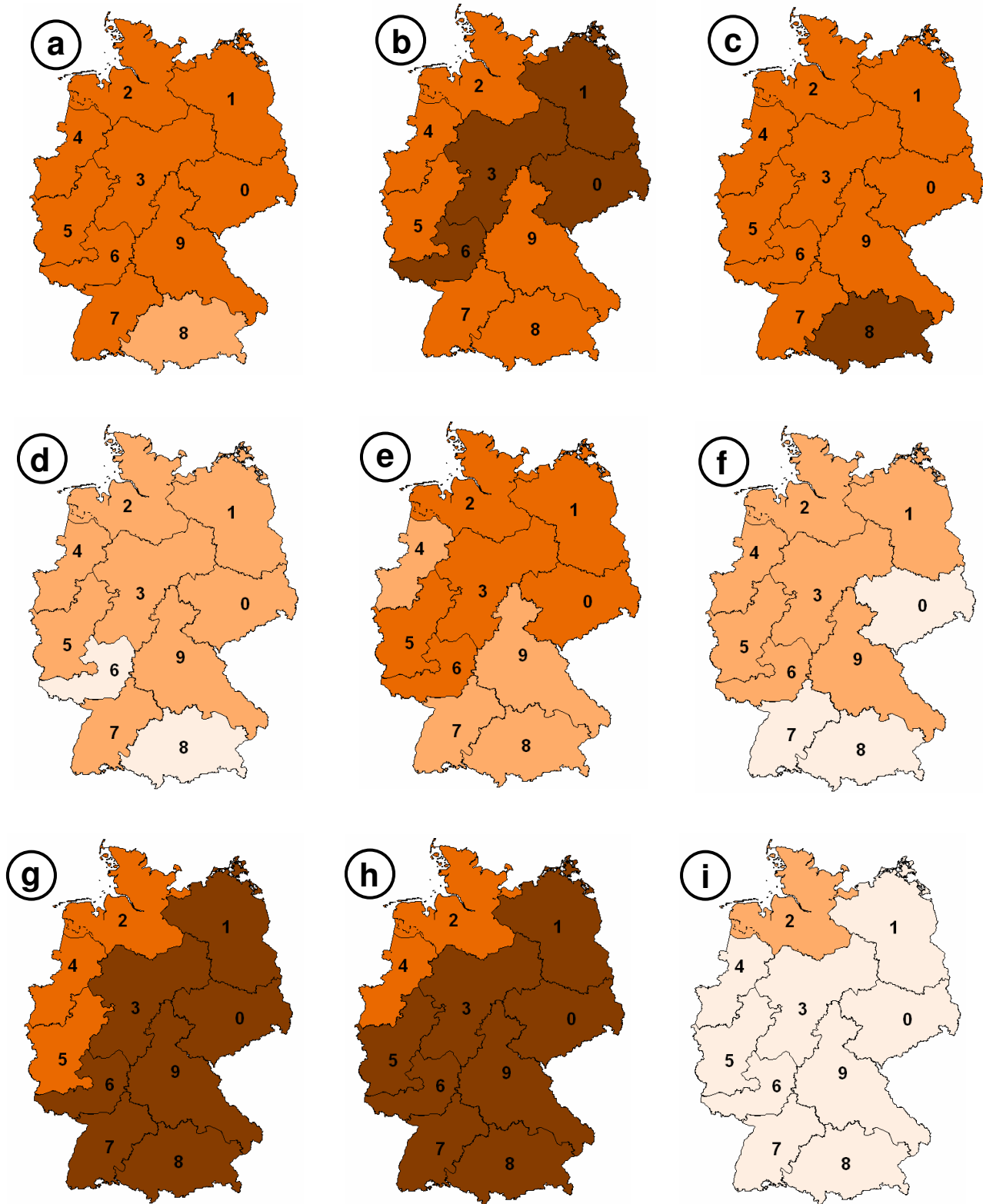


Abb. 3.15: Darstellung der Funktionalitäten nach Postleitzahlenbereichen 0 - 9.
a: Routenvorschlag
b: Rundtour
c: Route von A nach B
d: Route nach Dauer
e: Route nach Distanz
f: Route nach Semantik
g: Einbeziehung der Steigung
h: Einbeziehung der Beschaffenheit
i: Einbeziehung des Wetters
 Angaben in Prozent. Quelle: eigene Erhebung.

Legende

	0 - 25%
	26 - 50%
	51 - 75%
	76 - 100%

Mit den vorangegangenen Fragen wurde die Vorgehensweise der Befragten bei der Planung einer Fahrradrouten sowie die Funktionalitäten, die der Meinung der Befragten nach für die Planung einer Fahrradrouten berücksichtigt werden sollten, ermittelt. Stellt sich nun die Frage nach einer geeigneten Ausgabe bzw. einem geeigneten Ausgabemedium für die Fahrradrouten zur Mitnahme ins Gelände. 73,7% aller Befragten (568 Nennungen) könnten sich vorstellen, einen Computerausdruck mit auf die Tour zu nehmen. Dieses Ergebnis zeigt, dass Akzeptanz für die Planung einer Fahrradrouten am PC vorhanden ist. Allerdings schwören 53,2% aller Befragten (410 Nennungen) weiterhin auf die Mitnahme der analogen Fahrradkarte. Lediglich 19,6% (151 Nennungen) könnten es sich vorstellen, eine Tracklist aus dem Internet auf ein GPS-Gerät zu laden, 15,2% (117 Nennungen) würden ein PDA im Gelände nutzen. Dieses Ergebnis macht deutlich, dass die digitalen Medien im Fahrradtourismus noch unterrepräsentiert sind. Die Entwicklung befindet sich noch in der Anfangsphase. Es gibt allerdings schon viele Portale, auf denen Tracks heruntergeladen werden können (s. Kap. 2.2).

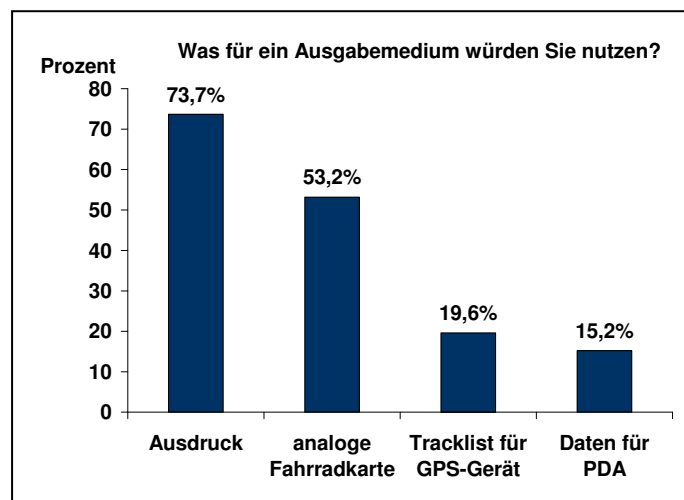


Abb. 3.16: Bevorzugtes Ausgabemedium der Befragten. Mehrfachnennungen möglich. Quelle: eigene Erhebung.

Die Ergebnisse der Potsdamer Studie von 2004 (s. HUFF 2004, S. 65) zeigen ein etwas anderes Bild. Hier ist die Fahrradkarte als mitgeführtes Orientierungsmittel immer noch an erster Stelle, gefolgt von dem Fahrradcomputer/Tachometer. Internetausdrucke haben aber auch immerhin schon Anteile zwischen 40% und 50%. Der Anteil an elektronischen Navigationshilfen ist auch hier eher gering. Dies wird begründet durch das geringe Kaufinteresse von neuen Wegfindungstechnologien. Hauptgründe hierfür werden vor allem darin gesehen, dass der Preis zu hoch ist, Papierkarten für die Ansprüche einer Radtour ausreichen, Abhängigkeiten entstehen (z.B. durch die Notwendigkeit von Strom) und dass zu wenig Radtouren unternommen werden, als das sich die Anschaffung rentieren würde.

Der Zusammenhang zwischen der räumlichen Herkunft der Befragten und dem Ausgabemedium wird in Abbildung 3.17 deutlich. In fast allen Postleitzahlenbereichen ist der PC-Ausdruck am stärksten vertreten. Nur in den Bereichen 2, 4 und 5 nähern sich Ausdruck und analoge Karte an. Mobile Endgeräte in Form eines PDAs sind vor allem in der Region 6 stärker nachgefragt. GPS-Geräte werden häufiger in den Bereichen 0, 1 und 8 angegeben. Die genauen Zah-

len der Rückläufe für die Ausgabemedien in den einzelnen Postleitzahlenbereichen finden sich in Tabelle 10.6 in Anhang 1.

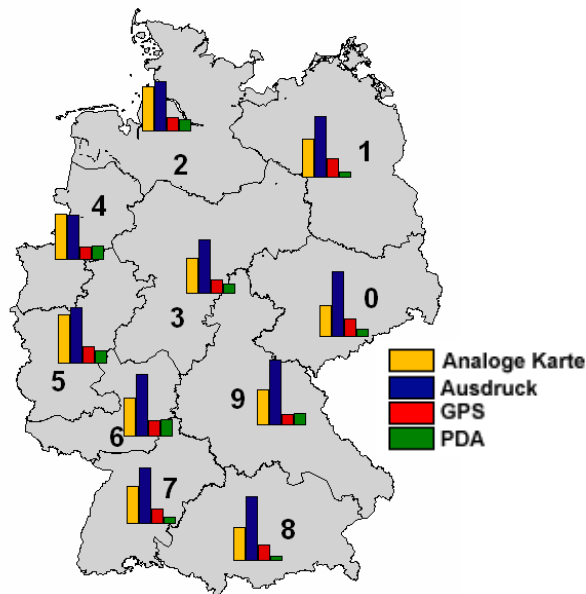


Abb. 3.17: Übersicht über die Verteilung der Ausgabemedien in den deutschen Postleitzahlen 0-9. Quelle: eigene Erhebung.

Aufgrund der vorangegangenen Erläuterungen verwundert das Ergebnis auf die Frage nicht, ob bereits ein mobiles Gerät für eine Fahrradtour verwendet worden ist. 86,3% (665 Nennungen) der Befragten haben noch kein mobiles Gerät genutzt. Lediglich 13,7% (106 Nennungen) geben an, bereits Erfahrungen im Umgang mit mobilen Endgeräten gemacht zu haben. Davon haben 37 Personen bereits eine Trackdatenbank im Internet genutzt.

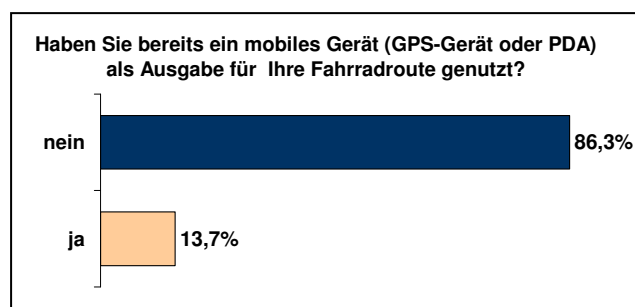


Abb. 3.18: Nutzung von GPS-Geräten oder PDA für die Ausgabe der Fahrradrouten. Quelle: eigene Erhebung.

Die Erfahrungen der Anwender von mobilen Geräten variiert leicht. Die meisten der Nutzer von mobilen Endgeräten sind sehr zufrieden und haben gute Erfahrungen bei der Nutzung gesammelt („...unverfahrbar..“, „...praktisch...“, „...gute Hilfe...“, „...sehr handlich...“, „genial“...). Vor allem bei der Orientierung in einer unbekanntem Umgebung wird ein GPS-Gerät als gute Hilfe angesehen. Es hilft, das Abkommen vom geplanten Weg zu minimieren, wobei kein umständli-

ches Kartenblättern notwendig ist und die Touren daher flüssiger gefahren werden können. Einige der Befragten sind sogar der Meinung, dass ein solches Gerät Karten nahezu ersetzen kann. Zusätzlich können Tourdaten aber auch wichtige Rufnummern und Adressen verwaltet werden. Außerdem können gefahrene Touren aufgezeichnet und zu einem späteren Zeitpunkt wiederholt werden, was gerade bei Trainingsfahrten hilfreich sein kann.

Bemängelt wird von einigen die fehlende Kartenkomponente bei einem GPS-Gerät. Besser für eine Freizeittour eignet sich ein PDA mit integriertem Kartenmaterial. Als schlecht wird zudem von den meisten der Nutzer die geringe Akkulaufzeit der Geräte empfunden. Es wird empfohlen, immer ein Ersatzakkus dabei zu haben. Außerdem kann es im Wald, in Häuserschluchten oder bei bedecktem Himmel zu einer Abschattung des GPS-Signals kommen. Weitere Nachteile werden darin gesehen, dass die Informationen auf einem mobilen Gerät während der Fahrt aufgrund des kleinen Displays oder durch Sonneneinstrahlung schwer abgelesen werden können, und dass die Tour mit GPS den Spaß der eigenen Wegsuche verhindert, so dass die Umgebung weniger wahrgenommen wird. Zusätzlich wird die Übertragung von Trackdaten von Internet auf das Gerät immer noch als sehr umständlich empfunden. Außerdem wird von einigen bemängelt, dass größtenteils zu wenige, eingeschränkte Möglichkeiten der individuellen Planung einer Tour, bzw. deren Nachbearbeitung bestehen. Regnerisches Wetter liefert das Problem des richtigen Schutzes für das Gerät. Folgende Geräte wurden von den Befragten bereits genutzt: *Garmin Emap, Garmin Foretrex 101, Garmin GPSMAP 60C, Garmin 76CS, Garmin eTrex Vista C, Acer n35, Geko 201, Garmin Streetpilot III, Medion.*

Die Anschaffung eines solchen Gerätes scheint nur dann sinnvoll, wenn es häufig genug zum Einsatz kommt. Ob die Befragten häufig genug eine Fahrradtour durchführen, wird durch Frage acht ermittelt. Abbildung 3.19 macht deutlich, dass der überwiegende Teil der Befragten als Vielfahrer bezeichnen werden kann. Denn 67,8% aller Befragten (523 Nennungen) unternehmen häufiger als 1x im Monat eine Fahrradtour. Nur noch 1x im Monat steigen 13,7% der Befragten (106 Nennungen) auf das Fahrrad.

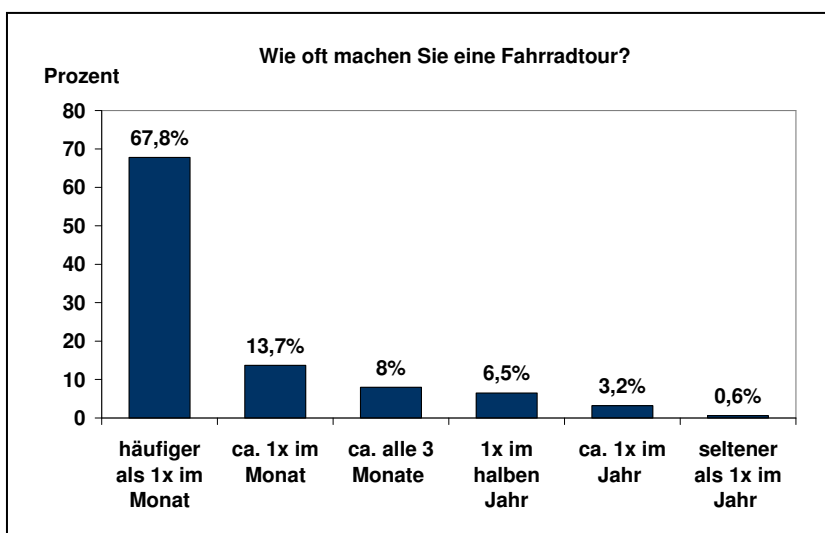


Abb. 3.19: Häufigkeit der Durchführung einer Fahrradrouten. Quelle: eigene Erhebung.

Dieses Ergebnis muss natürlich im Hinblick darauf betrachtet werden, dass zahlreiche Fahrradclubs angeschrieben wurden, die zu Trainingszwecken häufig Fahrradtouren durchführen müs-

sen. Daher ist es interessant zu schauen, ob sich Zusammenhänge zwischen der Häufigkeit und dem Aspekt, unter dem eine Radtour durchgeführt wird, ergeben. In Tabelle 3.6 ist deutlich zu erkennen, dass die meisten der Befragten (400 Nennungen) angeben, eine Route aus sportlichen Aspekten zu planen und gleichzeitig mehr als 1x im Monat mit dem Fahrrad unterwegs zu sein. Bei allen anderen steht die Erholung oder der Urlaub an erster Stelle. Somit bestätigt sich die Aussage, dass der hohe Anteil an Vielfahrern (Durchführung von Fahrradtouren häufiger als 1x im Monat) durch die angeschriebenen Fahrradclubs bedingt ist, deren Mitglieder eher sportlich unterwegs sind.

Aspekt bei der Planung einer Route

Häufigkeit	Sport	touristischer Aspekt	Erholung	Familie	Urlaub
seltener als 1x im Jahr (100% = 5 Nennungen)	20%	20%	20%	20%	40%
1x im Jahr (100% = 25 Nennungen)	40%	36%	60%	28%	52%
1x im halben Jahr (100% = 50 Nennungen)	42%	38%	64%	22%	66%
alle 3 Monate (100% = 62 Nennungen)	38,7%	40,3%	59,7%	22,6%	64,5%
1x im Monat (100% = 106 Nennungen)	39,6%	48,1%	69,8%	25,5%	60,4%
häufiger als 1x im Monat (100% = 523 Nennungen)	76,5%	28,5%	44,2%	14,7%	46,5%

Tab. 3.6: Zusammenhang zwischen der Häufigkeit der Durchführung einer Fahrradrouten und dem Aspekt, unter dem eine Route durchgeführt wird. Angaben in Prozent in Bezug auf die Häufigkeit. Quelle: eigene Erhebung.

Zusätzlich ergeben sich Zusammenhänge hinsichtlich der Häufigkeit bei der Durchführung einer Fahrradrouten und der Art der Planung (s. Tab. 3.7). Während bei den Freizeitradlern, die seltener als 1x im Jahr bis zu 1x im Jahr unterwegs sind, die Route im Vorfeld nicht geplant wird, nutzen die Vielfahrer, die mindestens alle drei Monate bis hin zu häufiger als 1x im Monat unterwegs sind, die analoge Karte zur Planung ihrer Fahrradrouten.

Art der Planung einer Fahrradrouten

Häufigkeit	analoge Karte	digital	sowohl analog als auch digital	die Route wird im Vorfeld nicht geplant
seltener als 1x im Jahr (100% = 5 Nennungen)	0%	20%	0%	80%
1x im Jahr (100% = 25 Nennungen)	32%	0%	32%	36%
1x im halben Jahr (100% = 50 Nennungen)	34%	4%	44%	18%
alle 3 Monate (100% = 62 Nennungen)	46,8%	8,1%	32,3%	12,9%
1x im Monat (100% = 106 Nennungen)	50,9%	7,5%	34%	7,5%
häufiger als 1x im Monat (100% = 523 Nennungen)	42,1%	11,9%	27,5%	18,5%

Tab. 3.7: Zusammenhang zwischen der Häufigkeit der Durchführung einer Fahrradrouten und der Art und Weise, wie die Route im Vorfeld geplant wird. Angaben in Prozent in Bezug auf die Häufigkeit. Quelle: eigene Erhebung.

Man kann also sagen, dass die Vielfahrer sich im Vorfeld intensiver mit der Informationsbeschaffung für eine Fahrradtour beschäftigen. Daher überrascht es, dass auch seltener Fahrer bereits einen Radroutenplaner im Internet ausprobiert haben, wie Tabelle 3.8 verdeutlicht.

Nutzung eines Fahrradroutenplaners im Internet

Häufigkeit	ja	nein
seltener als 1x im Jahr (100% = 5 Nennungen)	0%	100%
1x im Jahr (100% = 25 Nennungen)	16%	84%
1x im halben Jahr (100% = 50 Nennungen)	10%	90%
alle 3 Monate (100% = 62 Nennungen)	11,3%	88,7%
1x im Monat (100% = 106 Nennungen)	15,1%	84,9%
häufiger als 1x im Monat (100% = 523 Nennungen)	12,4%	87,6%

Tab. 3.8: Beziehung zwischen der Häufigkeit der Durchführung einer Fahrradtour und der Nutzung eines Fahrradroutenplaners im Internet. Angaben in Prozent in Bezug auf die Häufigkeit. Quelle: eigene Erhebung.

In der Gruppe der Vielfahrer ist zudem die Nutzung eines Ausdrucks als Ausgabemedium für die Route weit verbreitet. Über 70% der Vielfahrer (mindestens 1x im Monat) gaben die Verwendung eines Ausdrucks als Ausgabe an. Die restlichen Radler nutzen einen Ausdruck immerhin noch zu um die 60%, wobei in einigen Kategorien auch die analoge Karte mit bis zu 60% vertreten ist. Die komplette Übersicht über die Beziehung zwischen der Häufigkeit und dem Ausgabemedium findet sich in Tabelle 10.7 in Anhang 1.

Um einen Überblick zu erhalten, in welchen Altersstrukturen sich die Befragten bewegen, ist die Angabe des Alters am Ende der Befragung erforderlich. Da ansonsten keine weiteren persönlichen Informationen wie Name etc. abgefragt werden, die Befragung also anonym ist, wird davon ausgegangen, dass die Befragten eher bereit sind ihr Alter anzugeben. Um eine Struktur zu erhalten, wurden zunächst 7 Altersklassen gebildet, die jeweils ein Jahrzehnt beinhalten. Von 11 bis 80 Jahren sind alle Alterstufen, die geantwortet haben, abgedeckt. Nach Auszählung der Altersangaben aller Befragten ergab sich annähernd eine Normalverteilung wie Abbildung 3.20 deutlich macht. 27% (208 Nennungen) sind zwischen 41 und 50 Jahren alt. Das Durchschnittsalter der Befragten liegt bei 41 Jahren. Der jüngste Teilnehmer der Befragung ist 14, der älteste 75 Jahre.

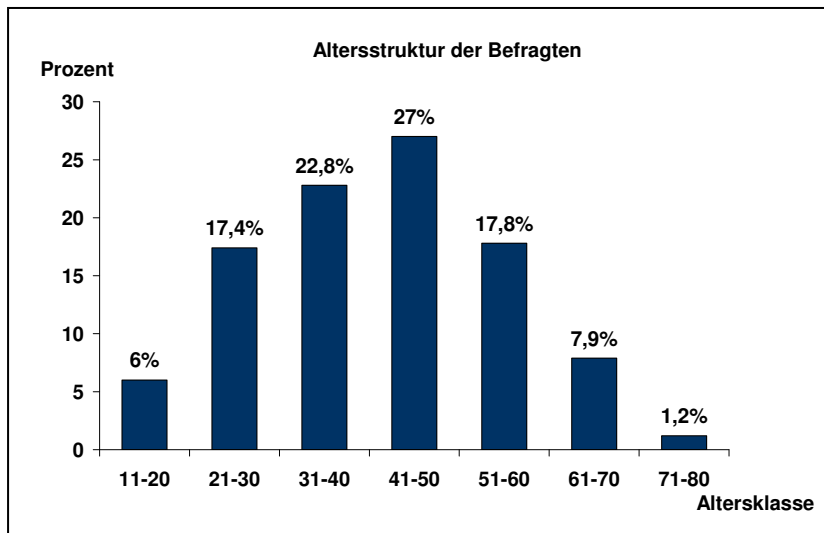


Abb. 3.20: Altersstruktur der Befragten. 100% = 771 Nennungen.
Quelle: eigene Erhebung.

Bei der Untersuchung einer möglichen Beziehung zwischen dem Alter und der Frage, ob bereits ein Fahrradroutenplaner im Internet genutzt worden ist, zeichnet sich ein sehr gleich verteiltes Ergebnis ab. Bis auf die Gruppe der 71-80-jährigen hat in allen Altersgruppen ein geringer Anteil bereits einen Internet-Fahrradroutenplaner verwendet (s. Tab. 10.1, Anhang 1). Ein ähnliches Bild zeichnet sich bei der Frage nach der Art der Planung in den einzelnen Altersgruppen ab. Während die 71-80-jährigen ihre Route überwiegend per analoger Karte planen, setzen die meisten der jüngeren Befragten zwischen 11 und 20 Jahren darauf, die Route im Vorfeld gar nicht zu planen (s. Abb. 3.21). Auch bei den 21-30-jährigen planen viele die Route vorher nicht, die analoge Karte wird aber noch häufiger als Planungsinstrument angegeben. In allen anderen Altersgruppen herrscht die analoge Karte teilweise auch in Verbindung mit digitalen Medien als Planungsinstrument vor.

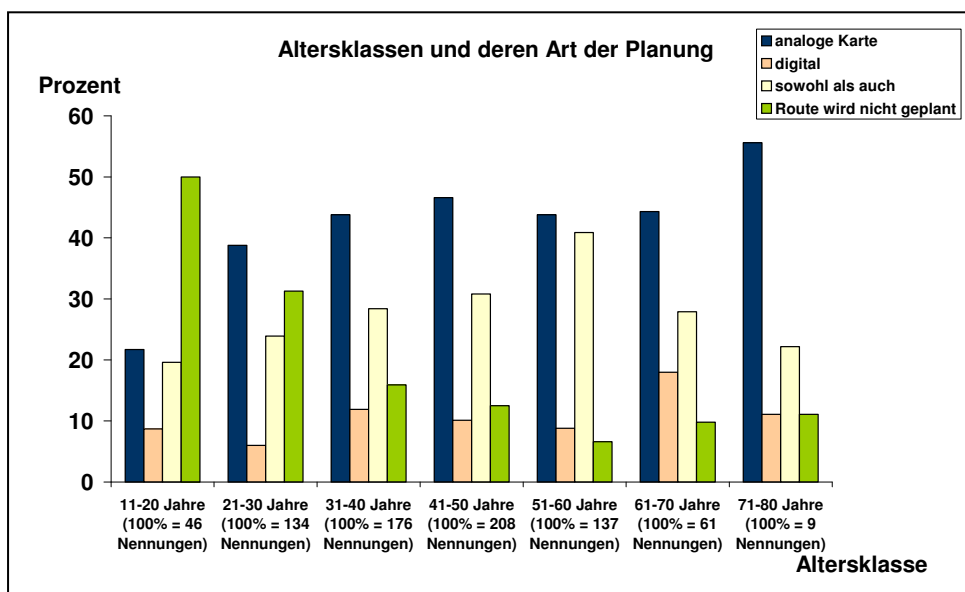


Abb. 3.21: Beziehung zwischen dem Alter der Befragten und ihrer Art der Planung einer Fahrradroute. Quelle: eigene Erhebung.

Interessant ist weiterhin die Frage, ob potentielle Anwender des zu konzipierenden Fahrradroutenplaners, d.h. Anwender, die eine individuelle Route planen möchten, nur bestimmte Altersgruppen widerspiegeln. Abbildung 3.22 zeigt jedoch deutlich, dass fast alle Altersgruppen klar und deutlich eine individuelle Route einem fertigen Routenvorschlag vorziehen. Lediglich die Gruppe der 71-80-jährigen bevorzugen die statische Variante. Ein Grund hierfür kann der Mehraufwand an Organisation bei einer individuellen Route sein, oder aber die Wahrscheinlichkeit, dass ein fester Tourenvorschlag im Gelände ausgeschildert ist. Interessant ist, dass mit zunehmendem Alter der Wunsch nach einem Routenvorschlag stetig steigt und die Bereitschaft zur Planung einer individuellen Route stetig sinkt.

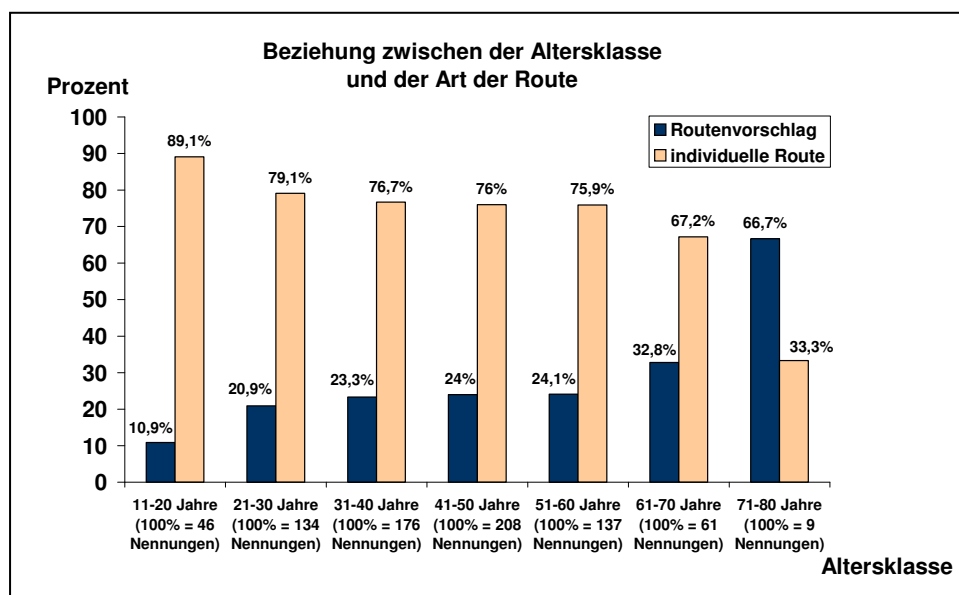


Abb. 3.22: Beziehung zwischen dem Alter der Befragten und der bevorzugten Routenart.
Quelle: eigene Erhebung.

Zwischen den verschiedenen Altersgruppen und den gewünschten Funktionalitäten der Befragten ist ein deutlicher Trend zu erkennen. Alle Befragten zwischen 20 und 60 Jahren wünschen sich eine Einbeziehung der Beschaffenheit in eine Routenberechnung. Die Gruppe der 70-80-jährigen hingegen bevorzugen sehr deutlich die Auswahlmöglichkeit eines Routenvorschlags. Die Beziehung zwischen den Altersgruppen und den gewünschten Funktionalitäten wird ausführlich in Tabelle 10.3 in Anhang 1 dargestellt.

Keine Überraschung liefert die Beziehung zwischen den Altersgruppen und der Art des Ausgabemediums einer Fahrradroute. In allen Altersklassen mit Ausnahme der 71-80-jährigen dominiert der Ausdruck vor der analogen Karte. GPS-Gerät und PDA sind zwar vertreten, allerdings eher geringfügig zwischen 10% und 25%. Die Altersgruppe 71-80 hingegen bevorzugt die analoge Karte klar und deutlich mit über 70% gefolgt von dem Ausdruck. Digitale Ausgabemedien in Form eines PDAs werden von den Befragten dieser Altersklasse nicht genutzt.

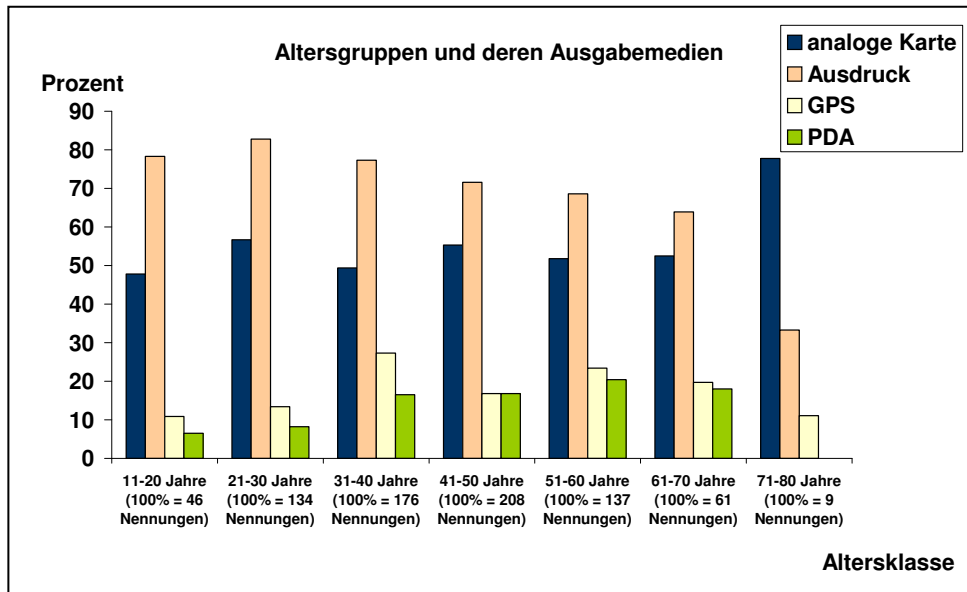


Abb. 3.23: Beziehung zwischen den Altersklassen und der Art des Ausgabemediums einer Fahrradroute. Mehrfachantworten möglich. Quelle: eigene Erhebung.

Zusätzlich zu den Befragungsergebnissen sind zahlreiche Informationen und Anregungen per Email eingegangen. Vor allem die Wichtigkeit der Einbeziehung des Belags der Radwege wurde deutlich. Zahlreiche Befragte formulierten dies durch eine persönliche Email und schlugen die Möglichkeit eines Ausschlusses unbefestigter Wege bei der Routenplanung vor. Zusätzlich merkten die Rennradfahrer unter den Befragten an, dass sie eine Befahrung von Radwegen nur in Ausnahmefällen vornehmen, da durch das hohe Tempo besser die Straße genutzt wird. Auch die Berücksichtigung verschiedener Geschwindigkeiten oder sogar die Angabe einer Durchschnittsgeschwindigkeit seitens des Rennradfahrers wurde als gut empfunden. Wenn Straßen für eine Fahrradrouutenplanung in Kombination mit den Radwegen genutzt werden, ist es auch sinnvoll, die Richtung von Einbahnstraßen, in denen die Durchfahrt auch für Radfahrer verboten ist, zu berücksichtigen. Auch die Einbeziehung von Höhen z.B. durch kleine Pfeile für Steigungsprozente wurde vorgeschlagen.

Den Mountainbikern unter den Befragten sind vor allem der technische Anspruch der Strecke wichtig sowie die Information, ob die gewählten Wege auch durch Wanderer genutzt werden. Sie merkten zudem an, dass auch die Rücksichtnahme auf die Natur wie z.B. Wildgehege oder Naturschutzgebiete berücksichtigt werden sollte. Für die Langstreckenfahrer unter den Befragten ist zudem die Möglichkeit einer Vorplanung von Etappen anhand der zu fahrenden Kilometer wichtig.

3.6 Interpretation der Ergebnisse

Auf Grundlage vorangegangener Ergebnisse ergeben sich für den zu konzipierenden Fahrradroutroutenplaner zahlreiche Funktionalitäten. Besonders die herausgearbeiteten Stärken der untersuchten interaktiven Fahrradroutroutenplaner im Internet sowie die Befragungsrückläufe der Befragung zur Planung einer Fahrradtour im Internet beeinflussen den Funktionsumfang. Einen geringen Anteil machen die Anmerkungen von Befragten aus Fahrradclubs und Hobbyradlern aus, die per Email eintrafen oder im Gästebuch der Befragungsseite eingetragen wurden. Zusätzlich spielen für die weitere Planung eigene Erfahrungen, die durch die Beschäftigung mit dem Thema Fahrradrouting im Internet seit 2002 gemacht worden sind, eine Rolle (s. Abb. 3.24). Auf Grundlage der ermittelten Faktoren wurde ein Funktionsumfang ausgearbeitet, der in Abbildung 3.25. dargestellt ist.

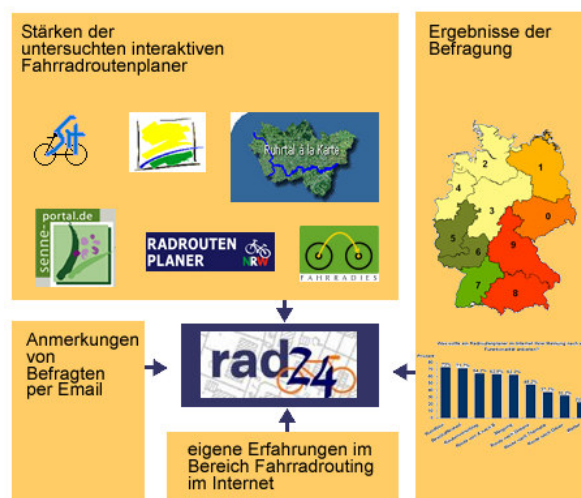


Abb. 3.24: Faktoren, die den Funktionsumfang des zu entwickelnden Fahrradroutroutenplaners beeinflussen.
Quelle: eigener Entwurf.

Neben den allgemeinen Abfrage- und Navigationsfunktionen sollen nützliche Funktionen wie z.B. eine Übersichtskarte oder eine Übersicht über alle Haltepunkte realisiert werden (s. Abb. 3.25, gelber Bereich). Eine ausführliche Darstellung der Implementation dieser Funktionen erfolgt in Kapitel 5. Für die Ausgabe werden neben der Möglichkeit des Druckens auch Downloadfunktionalitäten bereitstehen (Abb. 3.25, grüner Bereich) So soll der Anwender die Möglichkeit erhalten, sich seine Route in Form eines Tracks auf sein GPS-Gerät zu laden. Die Funktionen der Ausgabe werden in Kapitel 6 genauer dargestellt. Die Routenberechnung - das Herzstück des Fahrradroutroutenplaners - richtet sich nach den Ergebnissen der oben vorgestellten Befragungsergebnisse. So soll neben der Berechnung einer Rundtour sowie einer Route zwischen zwei Orten die Routenberechnung auf Basis einer Distanzeingabe möglich sein (Abb. 3.25, roter Bereich).

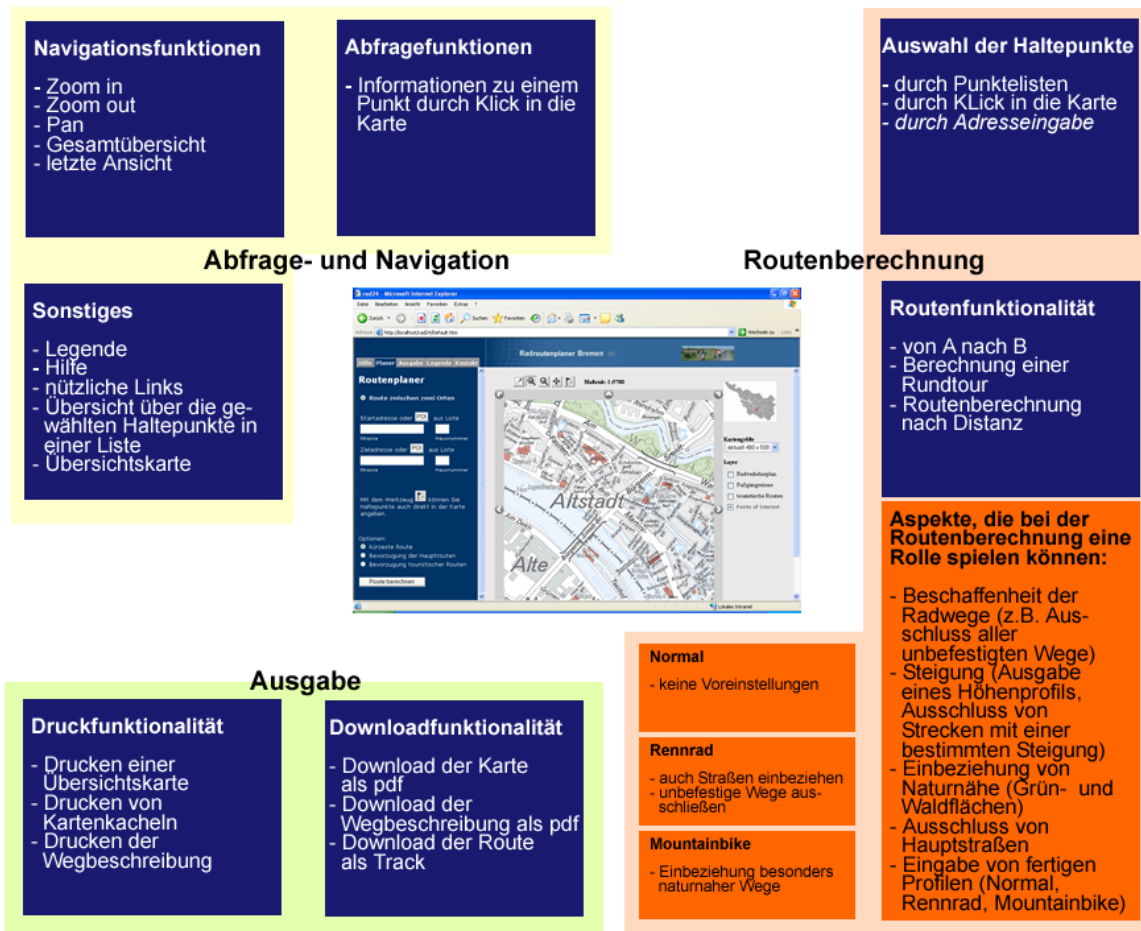


Abb. 3.25: Übersicht über die geplanten Funktionalitäten des Fahrradrounterplaners.
Quelle: eigener Entwurf.

Zusätzlich sollen folgende Optionen in die Routenberechnung einbezogen werden können:

- Steigung
- Beschaffenheit
- Bevorzugung/Vermeidung von Hauptstraßen
- Bevorzugung grüner Wege
- Bevorzugung landschaftlich schöner Wege.

Die beiden ersten Optionen Steigung und Beschaffenheit treten klar und deutlich aus den Befragungsergebnissen hervor und sollen daher Berücksichtigung finden. Die weiteren Optionen Bevorzugung/Vermeidung von Hauptstraßen und Bevorzugung von grünen Wegen sind bereits innerhalb von interaktiven Fahrradrounterplanern umgesetzt (s. Kap. 2) und werden als sinnvoll bzw. als Grundvoraussetzung erachtet. Die Bevorzugung landschaftlich attraktiver Wege stellt eine besonders interessante Option dar und soll aufgrund ihrer Schwierigkeit in der Bewertung näher untersucht werden.

Ein Konzept für die verschiedenen Arten der Routenberechnung unter Berücksichtigung der genannten Optionen erfolgt im nächsten Kapitel (Kap. 4). Die technische Umsetzung in Form einer Internetanwendung wird in Kapitel 5 beschrieben.

4 Konzept zur Nutzeradaption des Fahrradrouutenplanungsprozesses

Auf den folgenden Seiten sollen die in Kapitel 3 herausgearbeiteten Funktionalitäten technisch umgesetzt und den Anwendern in Form eines adaptiven Fahrradrouutenplaners zur Verfügung gestellt werden. Ziel des adaptiven Mensch-Maschine Dialogs ist es, Software-Systeme so zu konzipieren, dass sie sich an die individuellen Eigenschaften, Bedürfnisse und Kenntnisse des Benutzers anpassen. Dabei werden im Falle eines Fahrradrouutenplaners Strecken berechnet, die in Abhängigkeit individueller Angaben sehr unterschiedlich ausfallen. Es kann nicht garantiert werden, dass es die optimale Route ist. Aber durch die Adaption können Tourenvorschläge generiert werden, die näher an den Benutzerinteressen liegen, als Standardrouuten (ZIPF und STROBL 2002, S. 6ff). Die Grundlage dafür bildet ein Algorithmus, der anhand der spezifischen Eingaben des Nutzers eine Route berechnet.

Um in die Thematik einzuführen, soll zunächst ein kurzer Überblick über Algorithmen im Allgemeinen gegeben werden. Zusätzlich spielt die Graphentheorie in diesem Zusammenhang eine wichtige Rolle, da sie die Grundelemente eines Wegenetzes bereitstellt. Wichtige Grundbegriffe, die im weiteren Verlauf der Arbeit verwendet werden, sollen daher im Vorfeld definiert werden. Zur Suche innerhalb von Graphen werden häufig Baumstrukturen verwendet. Sie liefern die Grundstrukturen für Algorithmen zur Wegsuche. Daher werden Bäume und Baumdurchläufe zusätzlich kurz betrachtet. Ferner wird ein Überblick über vorhandene Algorithmen in dem Bereich der Wegeplanung gegeben, die auf den Strukturen der Baumdurchläufe basieren. Die genannten theoretischen Grundlagen bilden die Basis für das im weiteren Verlauf vorgestellte Konzept einer nutzerbedingten Adaption des Fahrradrouutenplanungsprozesses.

4.1 Algorithmen

Unter einem Algorithmus wird nach KÜCHLIN und WEBER (2003, S. 71) die Beschreibung einer Methode zur Lösung einer gegebenen Aufgabenstellung verstanden. Es handelt sich um eine Schritt-für-Schritt-Anleitung für einen bestimmten Vorgang, bzw. um eine Abfolge von Anweisungen für eine Random Access Machine (RAM) (PRÖMEL und STEGER 2002, S. 23). Algorithmen beschreiben Verfahren, um aus gewissen Eingabegrößen bestimmte Ausgabegrößen zu berechnen. Dabei müssen nach KÜCHLIN und WEBER (2003, S. 72ff) bestimmte Bedingungen erfüllt sein.

Spezifikation

Bei der Spezifikation unterscheidet man zwischen der Eingabe- und der Ausgabespezifikation. Die Eingabespezifikation beschreibt genau, welche Eingabegrößen notwendig sind und welche Anforderungen an diese Eingabegrößen gestellt werden, damit der Algorithmus funktionsfähig ist. Die Ausgabespezifikation definiert folglich, welche Resultate mit welchen Eigenschaften das Ergebnis des Algorithmus bilden.

Durchführbarkeit

Der Algorithmus muss von einer Maschine mechanisch ausgeführt werden können. Dabei müssen gleiche Eingaben auch immer zum gleichen Ablauf und Ergebnis führen.

Korrektheit

Ein Algorithmus wird als vollständig korrekt bezeichnet, wenn es eine partielle Korrektheit besitzt und terminiert. Eine partielle Korrektheit ist dann erfüllt, wenn bewiesen wurde, dass die Ausgaben die Ausgabespezifikation erfüllen, wenn die Eingaben die entsprechende Eingabespezifikation erfüllen. Die Terminierung hingegen sagt aus, dass der Algorithmus bei jeder legalen Eingabe bis zum Ende ausgeführt wird. Diese Anforderung ist vor allem dann sinnvoll, wenn mathematische Funktionen im Algorithmus berechnet werden müssen. Denn ein Rechenverfahren, das nicht terminiert, liefert für manche Eingaben kein Ergebnis.

4.1.1 Exakte und heuristische Verfahren

Grundsätzlich gibt es zwei verschiedene Verfahren, mit dem ein Algorithmus ein vorher definiertes Problem löst. Mit dem exakten Verfahren werden beweisbare, optimale Lösungen erzielt. Das Verfahren prüft jede mögliche Lösung, bis die beste globale Lösung gefunden ist (MICHALEWICZ und FOGEL 2000, S. 58). Allerdings sind diese Verfahren ungeeignet für die Lösung komplexer Probleme, da ein zu hoher Rechenaufwand notwendig ist. Daher werden sie hauptsächlich in der Forschung als Beweiskraft genutzt (BRUNS 2002).

Das Lösen von Problemen erfordert häufig die Suche in sehr großen Problemräumen, die nicht erschöpfend durchsucht werden können. Strategien, die das Auffinden von Lösungen beschleunigen können, bezeichnet man als heuristische Verfahren. Heuristische Verfahren sind durch zwei Eigenschaften charakterisiert: Sie führen in der Regel zu einer nicht erschöpfenden Suche, d.h. unter Umständen wird keine Lösung gefunden, obwohl sie existiert; Sie nutzen problemspezifische Information, um eine möglichst günstige Verbindung zwischen zwei Zuständen eines Problemraums zu finden. Man bezeichnet ein heuristisches Verfahren auch als Kunst des Findens von Problemlösungen durch systematisches Probieren bzw. durch ungerichtete Suche, auch Versuchs- und Irrtums-Methode (trial and error) genannt. Es sollen gute (nahezu optimale) Lösungen für ein Optimierungsproblem in möglichst kurzer Zeit gefunden werden. Allerdings kann die Optimalität nicht garantiert werden. In vielen Fällen wird nicht mal eine Aussage getroffen, wie nahe die gefundene Lösung am Optimum liegt (MERZ 2002). Heuristische Verfahren liefern also suboptimale Lösungen, deren Optimalitätsgrad nicht beweisbar ist. Dennoch machen sie es möglich, auch für komplexe Probleme eine Lösung mit vertretbarer Rechenzeit zu ermitteln. Daher werden sie in der Praxis bevorzugt.

4.1.2 Konstruktion eines Algorithmus

Wichtig für die Konstruktion eines funktionsfähigen Algorithmus ist die Problemspezifikation und der Korrektheitsbeweis. Um ein präzises Verfahren zur Lösung eines Problems angeben zu können, muss eine präzise Beschreibung des Problems selbst vorliegen. Man spricht hier von einer Eingabe- Ausgabespezifikation (input output specification). Es muss also definiert sein,

wie die Eingabewerte und die zugehörigen Ergebnisse aussehen müssen, um das Problem korrekt lösen zu können. Eine präzise Sprache zur Spezifikation ist die mathematische Logik. Besonders bei der Spezifikation muss präzise gearbeitet werden, denn die am schwersten zu behebenden Softwarefehler sind Entwurfsfehler, die durch eine falsch verstandene Problemspezifikation entstehen. Ein Idealfall liegt vor, wenn alle Bedingungen der Ausgangs- und Endsituation vollständig in mathematische Formeln gefasst werden können. Es wird dann von Vorbedingung und Nachbedingung gesprochen, die für Eingabe- und Ausgabegrößen erfüllt sein müssen. Unter der Vorbedingung versteht man eine Anforderung, welche von den Eingabegrößen erfüllt sein müssen, um die spezielle Problemsituation zu erhalten, die durch den Algorithmus gelöst werden soll. Die Nachbedingung hingegen ist eine Zusicherung an die Ausgabegrößen, die von dem Algorithmus abgegeben werden. Um diese Bedingungen zu definieren, stellt die mathematische Logik präzise und unzweideutige Formulierungen bereit (KÜCHLIN und WEBER 2003, S. 300ff).

Trotz der Erfüllung der Anforderungen kann es passieren, dass die Eingabe Fehler enthält. Eingabefehler sollten unbedingt eingeplant werden, da das Programm sich ansonsten unvorhersehbar verhält. „Praxistaugliche Software muss festlegen, wie sie auf Fehler reagiert“ (KÜCHLIN und WEBER 2003, S. 301). Hierfür werden von den jeweiligen Programmiersprachen verschiedene Möglichkeiten bereitgestellt. Für den Entwurf und die Konstruktion von Algorithmen existieren zahlreiche Methoden. Zu den wichtigsten zählen nach HROMKOVIC (2001, S. 128) folgende:

- divide-and-conquer
- dynamic programming
- backtracking
- local search
- greedy Algorithmen.

Die verschiedenen Entwurfsmethoden sollen im Folgenden kurz vorgestellt werden, da im späteren Verlauf dieser Arbeit auf sie Bezug genommen wird.

divide-and-conquer

Die divide-and-conquer-Methode unterteilt ein komplexes Eingabeproblem zunächst in mehrere einfache Teilprobleme. Auf diese Weise können die Teilprobleme gelöst und am Ende zu einer Gesamtlösung zusammengeführt werden, so dass sie zur Lösung des Hauptproblems beitragen. Dieses Verfahren ist jedoch nur effizient, wenn die Zeit und der Aufwand alle kleinen Probleme zu lösen und dadurch eine Gesamtlösung zu entwickeln geringer ausfällt, als das Hauptproblem in seiner Komplexität zu lösen. Die divide-and-conquer-Methode wird besonders bei Sortieralgorithmen verwendet (MICHALEWICZ und FOGEL 2000, S. 90).

dynamic programming

Das Verfahren des dynamic programming beinhaltet, dass zuerst die optimalen Lösungen der kleinsten Teilprobleme direkt berechnet und diese dann geeignet zu einer Lösung eines nächst größeren Teilproblems zusammengesetzt werden. Es gilt hier, bei der Lösung kostspielige Rekursionen durch Wiederverwendung schon berechneter Zwischenlösungen zu vermeiden. Einmal berechnete Teilergebnisse werden in einer Tabelle gespeichert, um später auf sie zurückgreifen zu können (AHO et al. 1983, S. 311). Das Verfahren kann erfolgreich eingesetzt

werden, wenn das Problem aus vielen gleichartigen Teilproblemen besteht, und eine optimale Lösung des Problems sich aus den optimalen Lösungen der Teilprobleme zusammensetzt. Mehr Informationen zu dynamic programming findet sich unter anderem bei MICHALEWICZ und FOGEL (2000, S. 93ff).

backtracking

Backtracking geht nach dem Versuch-und-Irrtum-Prinzip (*trial and error*) vor, d.h. es wird versucht, eine erreichte Teillösung schrittweise zu einer Gesamtlösung auszubauen. Wenn absehbar ist, dass eine Teillösung nicht zu einer endgültigen Lösung führen kann, wird der letzte Schritt bzw. die letzten Schritte zurückgenommen und stattdessen alternative Wege probiert. Auf diese Weise ist sichergestellt, dass alle in Frage kommenden Lösungswege ausprobiert werden können. Mit backtracking-Algorithmen wird eine vorhandene Lösung entweder gefunden (unter Umständen nach sehr langer Laufzeit) oder es kann definitiv ausgesagt werden, dass keine Lösung existiert (HROMKOVIC 2001, S. 134).

local search

Bei einem local search-Verfahren wird die Aufmerksamkeit auf die Nachbarschaft gerichtet. Man generiert zufällig eine Lösung für den Suchraum und verändert diese. Weiterhin muss eine Nachbarschaftsfunktion definiert sein, die für eine gegebene Lösung weitere nahe Lösungen festlegt. Hat die Veränderung die Lösung verbessert, wird sie mit der vorigen ausgetauscht und als aktuelle Lösung angesehen. Das local search-Verfahren wird durch die Art und Weise, wie der Nachbarschaftsbegriff definiert ist, wie eine Startlösung generiert wird und wie die Abbruchkriterien festgelegt sind, bestimmt (MICHALEWICZ und FOGEL 2000, S. 64ff).

Greedy Algorithmen

Greedy Algorithmen zeichnen sich dadurch aus, dass sie immer denjenigen Folgezustand auswählen, der zum Zeitpunkt der Wahl den größten Gewinn bzw. das beste Ergebnis mit sich bringt. Um unter den Folgezuständen eine Auswahl zu treffen, wird eine Bewertungsfunktion verwendet. Greedy Algorithmen sind meist sehr schnell, finden zu vielen Problemen eine gute, aber nicht immer die beste Lösung (MICHALEWICZ und FOGEL 2000, S. 87ff). Eine umfangreiche Beschreibung des greedy-Verfahrens findet sich bei HROMKOVIC (2001, S. 138).

4.1.3 Laufzeit eines Algorithmus

Algorithmen stellen eine Folge von einzelnen Bearbeitungsschritten dar, die wiederholt werden können, bis das gewünschte Ergebnis erzielt ist. Dabei kann ein Flussdiagramm den Steuerungsverlauf oder den Kontrollfluss eines Algorithmus in graphischer Form veranschaulichen (KÜCHLIN und WEBER 2003, S. 75). Die Zeit, die ein Algorithmus benötigt, um eine Aufgabe zu lösen, wird als Zeitkomplexität bezeichnet. Sie steht in Abhängigkeit zur Problemgröße. Die Zeitkomplexität spielt neben der Korrektheit eines Algorithmus die wichtigste Rolle (LANG 2003, S.1ff). Neben der Zeitkomplexität existiert die Speicherkomplexität als ein weiterer wichtiger Faktor eines Algorithmus. Die Gesamtkomplexität eines Algorithmus wird demnach als das Wirtschaften des Algorithmus mit den zur Verfügung stehenden Ressourcen Zeit und Speicherplatz verstanden (SOLYMOSI und GRUDE 2000, S. 4).

Zeit- oder Speicherkomplexität ist definiert als eine Funktion in der Eingabegröße n . Dabei wird standardmäßig von der maximalen Eingabegröße ausgegangen (worst-case-analysis) (PRÖMEL und STEGER 2002, S. 27). Zusätzlich kann die Zeitkomplexität oder auch Laufzeit eines Programms von weiteren Faktoren, wie der Qualität des vom Compiler erstellten Quellcodes oder der Leistungsfähigkeit der ausführenden Maschine abhängen (BUCHMANN 2001, S. 1). Bei der Ermittlung der Komplexität ist es wichtig, ein maschinenunabhängiges Maß für die Komplexität zu finden, damit verschiedene Algorithmen miteinander verglichen werden können. Um die Komplexität zu berechnen, wird die Anzahl aller benötigten Programmierschritte in Abhängigkeit von der Größe der Eingabe gezählt. Dadurch, dass die Anzahl der Schritte im direkten Zusammenhang mit der Zeit steht, erhält man die Zeitkomplexität oder auch Rechenzeit (KÜCHLIN und WEBER 2003, S. 309ff). Durch die sog. O-Notation kann die Abschätzung der Laufzeit von Programmen vereinfacht werden. Bei der O-Notation werden konstante Faktoren nicht berücksichtigt (AHO und ULLMAN 1996, S. 129ff). Es geht vor allem darum, eine Wachstumsrate des Algorithmus in Abhängigkeit von der Eingabegröße zu beschreiben. Tabelle 4.1 zeigt übliche O-Laufzeiten mit ihren informellen Namen. Diese Namen werden im weiteren Verlauf dieser Arbeit verwendet.

Groß-O	Informeller Name
$O(1)$	konstant
$O(\log n)$	logarithmisch
$O(n)$	linear
$O(n \log n)$	$n \log n$
$O(n^2)$	quadratisch
$O(n^3)$	kubisch
$O(2^n)$	exponentiell

Tab. 4.1: Informelle Namen für einige übliche O-Laufzeiten. Quelle: AHO und ULLMAN 1996, S. 146.

Wie bestimmte O-Laufzeiten auf verschiedene Eingabegrößen reagieren, zeigt Tabelle 4.2. Allgemein kann z.B. bei einer Zeitkomplexität von $O(n^2)$ folgende Aussage getroffen werden: Wenn die Problemgröße n um den Faktor a vergrößert wird, dann vergrößert sich die Laufzeit um den Faktor $(an)^2/n^2 = a^2$ (SOLYMOSI und GRUDE 2000, S. 7).

$f(n)$	10	50	100	300
$10n$	100	500	1.000	3.000
$2n^2$	200	5.000	20.000	180.000
n^3	1.000	125.000	1.000.000	27.000.000
2^n	1024	(16 digits)	(31 digits)	(91 digits)
$n!$	$\approx 3.6 \times 10^6$	(65 digits)	(161 digits)	(623 digits)

Tab. 4.2: Wachstum verschiedener Komplexitätsfunktionen für bestimmte Eingabegrößen. Quelle: HROMKOWIC 2001, S. 113.

Ausführliche Darstellungen zum Bereich der Zeitkomplexität findet sich bei AHO und ULLMAN (1996, S. 129ff), AHO et al. (1983, S. 16ff) und BUCHMANN (2001, S. 1ff). Besonders interessant gestaltet sich das Verhalten der $n!$ -Komplexitätsfunktion, deren Eigenschaften an späterer Stelle tiefer gehend erläutert wird und eine wichtige Rolle innerhalb dieser Arbeit spielt.

Algorithmen, ob exakt oder heuristisch, existieren für zahlreiche Anwendungsgebiete. So gibt es Algorithmen für die Bereiche der Geometrie und Grafik, der Datenkompression, der Kryptographie, Numerik, und Sortierung von Daten, außerdem Suchalgorithmen, zahlentheoretische Algorithmen und Graphenalgorithmen. Da die Graphenalgorithmen bei einer Routenberechnung die Basis bilden, wird auf diese Kategorie im weiteren Verlauf dieses Kapitels näher eingegangen. Um in die Thematik der Graphenalgorithmen einsteigen zu können, soll zunächst ein Überblick über die allgemeine Graphentheorie gegeben werden.

4.2 Graphentheorie

Ein Graph G besteht aus zwei endlichen Mengen $V(G)$ und $E(G)$, wobei V die Knotenmenge des Graphen darstellt und eine nichtleere Menge von Elementen ist, die Knoten oder auch Ecken genannt werden. E dagegen ist die Kantenmenge des Graphen (CLARK und HOLTON 1994, S. 2). Jedes Element der Knotenmenge V einer Kante E wird als Vertex dieser Kante bezeichnet (HROMKOVIC 2001, S. 39). Ein Knoten v heißt mit einer Kante e inzident, wenn $v \in e$. Die beiden mit einer Kante e inzidenten Knoten sind ihre Endknoten und e verbindet diese Knoten. Zwei Knoten x, y von G sind adjazent oder benachbart, wenn $xy \in E(G)$ ist. Zwei Kanten $e \neq f$ sind benachbart, wenn sie einen gemeinsamen Knoten aufweisen. Sind je zwei Knoten von G benachbart, so heißt G vollständig (DIESTEL 1996, S.2ff). Ein Knoten von G , der keinen Nachbarknoten besitzt, wird als isoliert bezeichnet. Ein gerichteter Graph ist ein Graph, der gerichtete Kanten enthält. Eine gerichtete Kante verbindet zwei Knoten eines Graphen unter Beachtung einer Reihenfolge. Als Schlinge wird in einem gerichteten Graph eine gerichtete Kante bezeichnet, die einen Knoten mit sich selbst verbindet, d.h. eine Kante der Form (v,v) (AHO und ULLMAN 1996, S. 606).

Der Grad eines Knoten v in einem Graphen G entspricht der Anzahl der mit v inzidenten Kanten von G , d.h. der Grad von v gibt an, wie oft v ein Endknoten einer Kante ist. Demnach wird ein Knoten von G als gerade oder ungerade bezeichnet, abhängig davon, ob sein Grad gerade oder ungerade ist. Zusätzlich wird G als bewertet bezeichnet, wenn jeder Kante e eine reelle Zahl $w(e)$ zugeordnet ist, die als Bewertung oder Länge von e bezeichnet wird (CLARK und HOLTON 1994, S. 8ff). Der Graph G wird als planar bezeichnet, wenn die Kanten des Graphen sich nicht kreuzen (HROMKOVIC 2001, S. 39). Ein Weg oder eine Kantenfolge ist in der Graphentheorie eine Liste von aufeinander folgenden Knoten, die jeweils durch eine Kante verbunden sind. Ein Weg W wird als Pfad bezeichnet, wenn W eine Folge von Knoten mit paarweise verschiedenen Knoten ist, d.h. alle Knoten voneinander verschieden sind. Ein Zyklus in einem Graphen ist ein Weg, der im selben Knoten beginnt und endet.

Ein Graph wird als zusammenhängend bezeichnet, wenn alle Knoten des Graphen durch Wege miteinander verbunden sind. D.h. es existiert ein Weg von jedem beliebigen Knoten zu allen anderen Knoten des Graphen. Eine Kantenfolge in G heißt Eulerscher Kantenzug, wenn jede Kante von G enthalten ist. Ist der Start- und Endknoten einer Kantenfolge identisch, so spricht man von einer geschlossenen Kantenfolge. Eine Tour von G ist eine geschlossene Kantenfolge, die jede Kante von G mindestens einmal enthält. Ist jede Kante genau einmal enthalten, so spricht man von einer Eulerschen Tour, benannt nach dem Schweizer Mathematiker Leonhard Euler. Dem Eulerschen Kantenzug und der Eulerschen Tour stehen die Hamiltonschen Graphen entgegen, die ihren Namen dem irischen Mathematiker William Hamilton zu verdanken haben (PRÖMEL und STEGER 2002, S. 7). Hamiltonsche Graphen beziehen sich auf die Knoten v in einem Graphen. So bezeichnet man einen Weg in einem Graphen G , der jeden Knoten von G genau einmal enthält, als einen Hamiltonschen Weg. Ein Hamiltonscher Kreis hingegen ist ein Zyklus in G , der genau jeden Knoten von G einmal enthält. Lediglich der Anfangsknoten wird zweimal genutzt, da dieser mit dem Endknoten identisch ist (CLARK und HOLTON 1994, S. 93ff).

Graphen können nicht nur in Form von Kanten und Knoten sondern auch durch eine Nachbarschaftsmatrix dargestellt werden. Dabei wird für jedes mögliche benachbarte Knotenpaar die Adjazenz ausgegeben. Abbildung 4.1 zeigt eine Nachbarschaftsmatrix für den links dargestellten Graphen G .

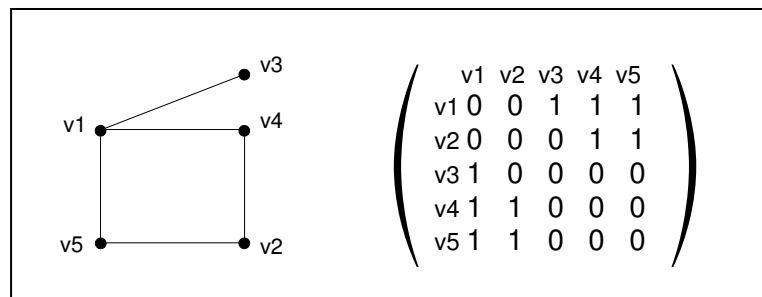


Abb. 4.1: Ein Graph G und seine Repräsentation in Form einer Nachbarschaftsmatrix. Quelle: HROMKOWIC 2001, S. 40.

Viele Probleme lassen sich mit Hilfe von Graphen modellieren und entsprechend mit geeigneten Graphenalgorithmien lösen (LANG 2003, S. 115). Oftmals werden die Graphen in Form von Bäumen behandelt. Bäume können als ein Spezialfall von Graphen definiert werden. Sie gehören zu den wichtigsten in der Informatik auftretenden Datenstrukturen. Das Konzept der Bäume wird im Folgenden erläutert.

4.2.1 Bäume

Ein Graph G heißt Baum, wenn er ein zusammenhängender Graph ohne Schlingen ist (CLARK und HOLTON 1994, S. 51). In einem Baum hat jeder Knoten eine Folge von Nachfolgern, wobei die Reihenfolge der Elemente von Bedeutung ist. Dabei sagt der Verzweigungsgrad etwas über die Anzahl der Nachfolger eines Knotens aus. Ein Binärbaum z.B. hat höchstens einen Verzweigungsgrad von 2, d.h. dass jeder Knoten in einem Binärbaum höchstens zwei Nachfolger

hat. Jeder Knoten wird also genau 1x referiert, d.h. jeder Knoten mit Ausnahme des Wurzelknotens hat genau einen Vorgänger. Als Blatt bezeichnet man Knoten, die keinen Nachfolger mehr besitzen. Alle anderen Knoten werden als innere Knoten bezeichnet. Ein Binärbaum gilt als voll, wenn alle Ebenen bis auf die letzte Ebene, in der sich die Blätter befinden, voll besetzt sind. Dabei beschreibt die Tiefe eines Baumes, wie weit die Blätter von der Wurzel entfernt sind. Als Gewicht wird die Anzahl aller Knoten im Baum bezeichnet (SOLYMOSI und GRUDE 2000, S. 118ff).

Bäume können auf verschiedene Arten durchlaufen werden, um ihre Knoten zu besuchen. Voraussetzung dafür, dass ein Problem durch Suchen gelöst werden kann, ist, dass der Ausgangspunkt für die Suche, nämlich der Start- und der Zielknoten bekannt sind. Ziel der Suche ist es also, eine Aktionsfolge zu finden, die vom Start zum Ziel führt (REIF 2000). Bei der Suche sind meistens Kosten zu berücksichtigen, die die Suche beeinflussen. Dies sind zum einen die Kosten, die für das Auffinden eines Lösungspfades aufgewendet werden müssen. Zum anderen sind die Kosten von Bedeutung, die durch das Benutzen eines gefundenen Pfades entstehen. Die offensichtlichste Methode, einen Weg vom Start zum Ziel zu finden, ist das Betrachten aller möglichen Wege. Im Folgenden sollen Suchverfahren vorgestellt werden, die in einem Baum angewendet werden können.

4.2.2 Baumdurchläufe

Es gibt zwei grundlegende Konzepte eine Suche in einem Baum durchzuführen, die blinde und die heuristische Suche. Während bei der blinden Suche lediglich aufgrund der Position im Baum vorgegangen wird, verwendet die heuristische Suche weitere Informationen für die Entscheidung, wo die Suche fortgesetzt werden soll (MARSHALL 1996).

Die Tiefensuche sowie die Breitensuche gehören zu der Klasse der blinden Suche. Bei der blinden Suche liegen zur Auffindung eines Lösungspfades keine zusätzlichen Informationen über das Suchproblem, die für eine effektive Suche herangezogen werden können, vor. Im Falle einer Tiefensuche (depth-first search) wird ausgehend vom Startknoten ein Nachbarknoten besucht. Der Nachbarknoten entspricht einem Nachfolgerknoten des Startknotens im Suchbaum. Ist dieser noch nicht das Ziel, so wird so lange weiter in die Tiefe gegangen, bis entweder der Zielknoten oder eine Sackgasse erreicht ist. Ist letzteres der Fall, geht der Algorithmus so viele Schritte zurück, bis er einen Knoten findet, dessen Nachbarn er noch nicht besucht hat, und setzt hier auf die gleiche Weise fort.

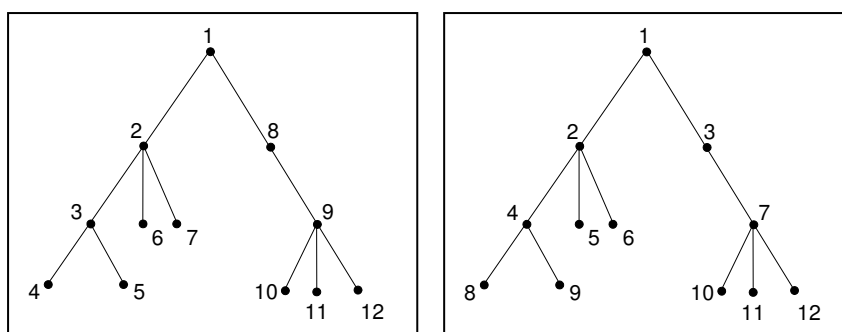


Abb. 4.2: Die Reihenfolge der besuchten Knoten bei der Tiefensuche (links) und Breitensuche (rechts). Quelle: AKTOLGA 2004, S. 17ff.

Die Tiefensuche eignet sich damit besonders für Bäume, die eine vertretbare Tiefe nicht überschreiten.

Im Gegensatz zur Tiefensuche werden bei der Breitensuche (breadth-first search) ausgehend vom Startknoten alle Nachbarknoten untersucht. Ist der Zielknoten dann noch nicht erreicht, werden alle Nachbarknoten der bisher untersuchten Nachbarn betrachtet. So arbeitet sich der Algorithmus Ebene für Ebene nach unten. Die Breitensuche eignet sich daher nur für Bäume, die nicht stark verzweigen. Allerdings können die Bäume eine große Tiefe aufweisen (REIF 2000). Abbildung 4.2 gibt einen Überblick über das Vorgehen beider Suchverfahren.

Bei vielen Problemen lassen sich die Suchkosten verringern, indem zusätzliche Informationen für die Auswahl eines Nachbarknotens herangezogen werden. Suchverfahren, die solche Informationen in ihre Suchentscheidung einfließen lassen, gehören zu der Kategorie der heuristisch informierten Suche. Hierunter fällt z.B. das Best-First Search Verfahren. Es verhält sich ähnlich wie die Tiefensuche, allerdings wird zuerst der Knoten betrachtet, der am kostengünstigsten erscheint. Bei den Kosten kann es sich z.B. um die räumliche Distanz zum Zielknoten handeln. Wird eine Sackgasse erreicht, betrachtet das Best-First Search Verfahren die Bewertungen aller Pfade, die es bereits gegangen ist, und setzt den besten, bereits gefundenen, noch nicht besuchten Pfad fort (REIF 2000).

Algorithmen zur Suche in einem Baum bzw. Graphen sollen in den nächsten beiden Abschnitten ausführlich vorgestellt werden. Sie sind in zwei Problembereiche eingeteilt, die in dieser Arbeit eine große Rolle spielen. Diese sind das Problem des kürzesten Weges und das Rundreisendenproblem.

4.3 Das Problem des kürzesten Weges

Voraussetzung für die Berechnung eines kürzesten Weges ist ein Graph, in dem die Orte als Knoten und die Verbindungsstrecken zwischen den Orten als Kanten modelliert werden. Die Kanten sind durch ihre Länge oder andere Kosten bewertet. Gesucht sind demzufolge die Längen der kürzesten Wege von einem Startknoten zu einem anderen Knoten im Graphen (Ziel). Das Problem des kürzesten Weges kann in verschiedenen Varianten auftreten. Wird ein Weg von einem Knoten v_1 zu einem anderen Knoten v_2 gesucht, so spricht man von einem 1:1-Kürzeste-Wege-Problem (single-pair shortest-path problem). Sind alle kürzesten Wege von einem Quellknoten v zu allen anderen Knoten zu ermitteln, handelt es sich um ein 1:n – Kürzeste-Wege-Problem (single source shortest-path problem). Weitere Möglichkeiten stellen die n:1-Variante, für die alle kürzesten Wege zu einem Zielknoten v von allen anderen Knoten gesucht wird (single destination shortest-path problem), und die n:n-Variante dar. Letztere ermittelt die kürzesten Wege zwischen allen Knoten des Graphen (all-pairs shortest-path problem) (BERNCHTEINE 2003, S. 3). Im Falle dieser Arbeit ist ausschließlich die Lösung eines single-pair shortest-path problems von Interesse. Um den kürzesten Weg in einem Graphen zu ermitteln, gibt es verschiedene Lösungsansätze. Eine Auswahl von Methoden soll an dieser Stelle vorgestellt werden.

4.3.1 Minimaler Spannbaum

Ein Untergraph H eines Graphen G heißt dann spannender Untergraph, wenn die Knotenmenge von H dieselbe ist wie von G . Ein Spannbaum eines Graphen G ist demzufolge ein spannender Untergraph von G , der ein Baum ist. Ein Baum wird dann als minimaler Spannbaum bezeichnet, wenn er den kostengünstigsten aller Spannbäume bzw. den Spannbaum mit der minimalsten Bewertung des Graphen G darstellt (s. Abb. 4.3). Dabei kann es sich bei der Bewertung z.B. um die Kantenlänge handeln.

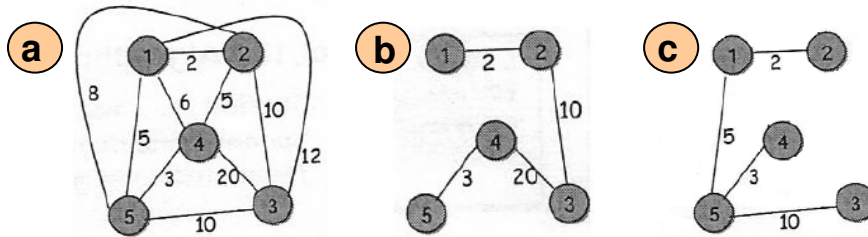


Abb. 4.3: A: ein Graph G . B: ein möglicher Spannbaum von G . C: der minimale Spannbaum von G .
Quelle: nach TSIROUPROU 2004.

Durch einen minimalen Spannbaum werden alle Knoten eines Graphen auf die kostengünstigste Weise miteinander verbunden. Für das Auffinden eines minimalen Spannbaums existieren unter anderem die Algorithmen von *Kruskal* und *Prim* (CLARK und HOLTON 1994, S. 62ff). Der Algorithmus nach *Kruskal* arbeitet mit einer nach der Bewertung sortierten Kantenliste. Diese setzt sich aus allen Kanten zusammen, die im Graphen enthalten sind (s. Abb. 4.4a). Für die Kante mit der geringsten Bewertung wird untersucht, ob die Knoten, die durch diese Kante verbunden werden, sich in unterschiedlichen Komponenten befinden bzw. ob kein Zyklus entsteht, wenn diese Kante in den minimalen Spannbaum aufgenommen wird. Ist dies der Fall, wird die Kante aufgenommen und aus der sortierten Kantenliste gelöscht (s. Abb. 4.4b). Anderenfalls wird sie verworfen und zusätzlich aus der Kantenliste entfernt. Es wird nun wieder die Kante mit der geringsten Bewertung gesucht und mit dieser Kante vorgegangen wie gerade beschrieben. Dies wird solange durchgeführt, bis alle Punkte durch Kanten zu einem Baum verbunden sind (s. Abb. 4.4c-f).

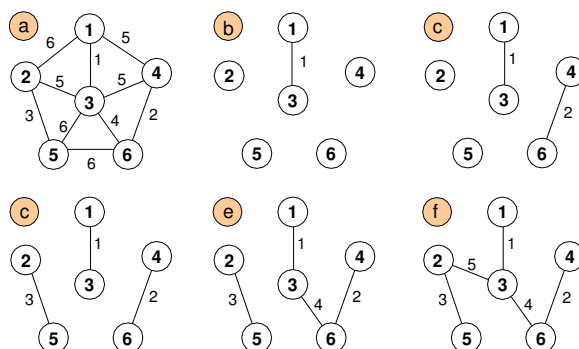


Abb. 4.4: Erstellung eines Minimalen Spannbaums mit dem Algorithmus nach *Kruskal*.
Quelle: AHO et. al 1983, S. 239.

So erhält man einen minimalen Spannbaum des Graphen. Der Nachteil dieses relativ einfachen Algorithmus ist die Laufzeit bei der Sortierung aller Kanten nach der Bewertung (TSIROUPROU 2004, S. 6ff).

Im Algorithmus nach *Prim* wird zunächst aus dem Ausgangsgraphen (s. Abb. 4.5a) eine beliebige Kante e ausgewählt (s. Abb. 4.5b). Im nächsten Schritt wird eine Kante e_2 mit der kleinsten Bewertung gewählt, die keine Schlinge und mit e verbunden ist (s. Abb. 4.5c). Im weiteren Verlauf wird erneut eine günstigste Kante e_3 gesucht, die entweder mit e oder e_2 verbunden ist, die aber einen anderen Endpunkt aufweist. Auf diese Weise werden so lange Kanten hinzugefügt, bis $n-1$ Kanten ausgewählt worden sind, wenn der Graph n Knoten besitzt (s. Abb. 4.5d-f). Für beide vorgestellten Algorithmen zur Berechnung eines minimalen Spannbaums gilt, dass die Bewertungen der Kanten nicht negativ sein dürfen (CLARK und HOLTON 1994, S. 70).

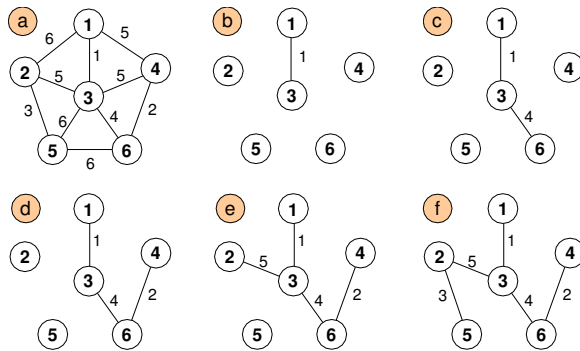


Abb. 4.5: Erstellung eines Minimalen Spannbaums mit dem Algorithmus nach *Prim*.
Quelle: AHO et al. 1983, S. 236.

4.3.2 Dijkstra-Algorithmus

Auch der Dijkstra-Algorithmus, der zu der Klasse der Greedy-Algorithmen (vgl. Kap. 4.1.2) zählt, dient zur Wegfindung zwischen einem Start- und einem Zielknoten in einem gegebenen zusammenhängenden Graphen. Die Kanten in diesem Graphen repräsentieren mögliche Verbindungen und sind nach der Weglänge bewertet. Es wird vom Startknoten ausgehend der gesamte Graph erforscht und der kürzeste Weg zum Zielknoten in einer vollständigen Breitensuche ermittelt. Das Ergebnis ist garantiert der kürzeste Weg (SCHLETTE 2004a). Im Algorithmus wird so vorgegangen, dass analog zur Breiten- und Tiefensuche die Nachbarn des Startknotens und deren Nachbarn sukzessive aufgesucht werden. Dabei wird jeweils die Distanz berechnet, indem die Kantenlänge zur Distanz des Vorgängers addiert wird. Ist die berechnete Distanz kleiner als eine bereits ermittelte, wird diese überschrieben. Die Knoten werden durch die Distanz mit einer Priorität versehen und Knoten mit kleiner Distanz vor Knoten mit großer Distanz abgerufen und aus der Menge aller noch zu bearbeitenden Knoten entfernt. Daraus folgt, dass die kürzesten Wege bevorzugt weiterverfolgt werden (BERNREUTHER 2001, S. 6). Der Algorithmus nach Dijkstra eignet sich vor allem für Graphen mit wenigen Kanten (lichte Graphen). Die Kanten dürfen keine negative Bewertung aufweisen (HORMANN 2005). Eine ausführliche Erläuterung zum Dijkstra-Algorithmus findet sich bei AHO und ULLMAN (1996, S. 670ff) und KORTE und VYGEN (2006, S. 145ff).

4.3.3 A-Stern-Algorithmus

Der 1968 entwickelte A-Stern-Algorithmus ist ein Derivat des Dijkstra-Algorithmus sowie eine Weiterentwicklung des Best-First-Search Suchverfahrens (vgl. Kap. 4.2.2) (MICHALEWICZ und FOGEL 2000, S. 105). Er ermittelt den kostengünstigsten Pfad zwischen einem Start- und ei-

nem Zielknoten innerhalb eines Suchbaums, wobei während der Suche eine Schätzfunktion verwendet wird, die für jeden Knoten v eine untere Schranke für den noch zu erwartenden Abstand von v zum Zielknoten also die noch zu erwartende Pfadlänge liefert. Dadurch ergibt sich eine zielgerichtete Suche auf den Endknoten. Wichtig hierbei ist, dass die Schätzfunktion die theoretisch minimalen Kosten zur Erreichung des Zielknotens verwendet (GEOSIMULATION 2004). Wird die Entfernung überschätzt, wird die Wegsuche beschleunigt, es findet sich aber nicht garantiert der kürzeste Weg. Wird die Weglänge vom aktuellen zum Zielknoten hingegen unterschätzt, dauert die Suche zunehmend länger, es wird aber auch garantiert der kürzeste Weg gefunden. Mit der Genauigkeit dieser Heuristik kann also die Genauigkeit des Ergebnisses beeinflusst werden (SCHLETTE 2004b). Ist die Entfernung z.B. 0, so werden nur die Kosten der Kanten in die Berechnung mit einbezogen, und der A-Stern-Algorithmus entwickelt sich zu einem Dijkstra-Algorithmus. Wird die Entfernung jedoch sehr stark überbewertet, so dass sie die entscheidende Rolle bei der Berechnung spielt, entwickelt sich der A-Stern-Algorithmus zu einem Best-First-Search-Suchverfahren, bei dem immer der Punkt, der sich am nächsten zum Zielpunkt befindet, ausgewählt wird. So kann es passieren, dass gerade im Zusammenhang mit Barrieren im Untersuchungsgebiet eine suboptimale Route gefunden wird (PATEL 2006).

Die Voraussetzung der geringsten Schätzfunktion wird z.B. in einer Landkarte oder bei Routenplanern durch die Luftliniendistanz erfüllt. Zusätzlich werden bei der Suche mit A-Stern längere redundante Doppelwege verworfen und nicht weiter berücksichtigt (REIF 2000). Im Vergleich zum leichter verständlichen Dijkstra-Algorithmus wird hier die Suche durch die Abschätzung auf einen Teil der Gesamtmenge aller Knoten fokussiert. Während bei Dijkstra zunächst alle Knoten des Graphen zur Überprüfung in eine Liste eingetragen werden, berücksichtigt der A-Stern-Algorithmus nur viel versprechende Knoten des Graphen und untersucht dafür zunächst die Knoten mit der geringsten geschätzten Distanz zum Zielknoten (SCHLETTE 2004b). Der A-Stern-Algorithmus kombiniert die exakte Suche mit einer heuristischen Funktion und findet so die kostengünstigste Verbindung in kürzester Zeit (AKTOLGA 2004, S. 21).

Neben der Suche eines kürzesten Weges innerhalb eines Graphen existiert die Suche nach der besten Rundreise in einem Graph. Dieses Optimierungsproblem, welches unter dem Begriff Traveling Salesman Problem bekannt ist, soll im Folgenden vorgestellt werden.

4.4 Das Rundreisenden-Problem

Eines der bekanntesten Optimierungsprobleme ist das Rundreisenden (Traveling Salesman) – Problem (TSP). Es fällt unter den Problemtyp „Kombinatorische Optimierungsprobleme“ des Operations Research (DIETRICH 2004). Operations Research (kurz OR) ist ein Teilgebiet der angewandten Mathematik, welches sich mit dem Optimieren bestimmter Prozesse und Verfahren beschäftigt. OR besitzt drei Hauptmerkmale: die Entscheidungsvorbereitung, die optimale Entscheidung und die Anwendung mathematischer Methoden für die Lösung. Ein zu lösendes Problem muss also in ein mathematisches Problem übertragen werden. Im Falle des TSP soll ein Außendienstler seine Kunden an unterschiedlichen Standorten besuchen und zu guter Letzt an seinen Ausgangspunkt zurückkehren. Jeder Kunde soll genau einmal besucht werden, wo-

bei die zurückgelegte Strecke so kurz wie möglich sein soll. Hierbei handelt es sich auf den ersten Blick um ein einfaches Problem, allerdings ist es aufgrund der Vielfalt an Lösungsmöglichkeiten in angemessener Zeit schwer lösbar. Bei n Orten, die zu besuchen sind, beträgt die Anzahl aller möglichen Lösungen $n! = 1 \times 2 \times 3 \times \dots \times n$ (n Fakultät). So umfassen z.B. die möglichen Wege für eine Rundreise zwischen 20 verschiedenen Orten ($20!$) eine 19stellige Zahl. „Mit einem Computer, der eine Million Rundreisen pro Sekunde berechnen kann, könnte sich der Vertreter erst nach etwa 77147 Jahren auf die dann aber erwiesenermaßen kürzeste Reise machen“ (BOYSEN 2005, S. 204). Das Beispiel macht deutlich, dass für das Rundreisenden-Problem andere Möglichkeiten zur Lösung angewendet werden müssen. Eine Auswahl dieser möglichen Verfahren soll im Folgenden aufgezeigt und deren Herangehensweise erläutert werden.

4.4.1 Nearest Neighbour Verfahren

Das Nearest Neighbour-Verfahren arbeitet nach dem Prinzip der greedy Algorithmen (vgl. Kap. 4.1.2). Von einem Knoten als Startpunkt ausgehend wird die minimal bewertete benachbarte Kante zum nächsten Knoten gewählt. Dieses wird sukzessive fortgesetzt, bis alle Knoten zu einem Hamiltonschen Kreis zusammengefasst wurden. Im Allgemeinen liefert dieses Verfahren meistens nicht die beste Lösung. Das Nearest Neighbour Verfahren erzeugt zunächst zwar gute Ergebnisse mit kurzen Verbindungen zwischen den Knoten. Allerdings müssen am Ende einige Orte mit hohem Kostenaufwand in die Route eingebunden werden (REINELT 1994, S. 75).

4.4.2 Tabu Search

Die grundlegende Idee des Tabu-Search-Verfahrens besteht darin, die Effizienz der Suche zu steigern, indem nicht nur die aktuelle Nachbarschaft einer Lösung betrachtet wird, sondern auch der bisherige Verlauf der Suche. In einem oder mehreren Speichern oder Tabulisten werden Informationen über den bisherigen Suchverlauf gespeichert. Diese Informationen werden später eingesetzt, um die Nachbarschaft einer Lösung einzugrenzen (HEPPNER 2005, S. 1). Ausgehend von einer Anfangslösung entfernt man einen Teil, erklärt diesen Zug tabu, fügt einen Teil hinzu und verfährt analog. Die tabugesetzten Züge verwaltet man in einer Tabuliste. Jeder Eintrag der Tabuliste wird nach Ablauf einer bestimmten Tabudauer wieder gelöscht. Das Verfahren terminiert bei einer zu wählenden Abbruchbedingung, wie z.B. einer maximalen Schrittzahl oder einer begrenzten Rechenzeit. Auf diese Weise werden nur Züge verboten, von denen bekannt ist, dass sie zu einer bereits gefundenen Lösung führen. Nach jedem Zug wird das Ergebnis des letzten Zuges für eine bestimmte Dauer verboten. Diese Tabudauer ist ein wichtiger Parameter, um das Verfahren zu steuern. Dabei muss beachtet werden, dass kurze Tabudauern des Öfteren in Schleifen führen, zu lange Tabudauern hingegen dazu führen, dass mögliche Lösungen nie betrachtet werden. Daher ist die Tabudauer mit Vorsicht auszuwählen (BEHRENDT et al. 1998b). Durch die Tabuisierung von Zügen kann die Suche nicht im Kreis laufen oder in einem lokalen Optimum hängen bleiben, da irgendwann der gesamte Bereich des Optimums tabu ist und die Suche neue Bereiche des Lösungsraumes erkunden muss. Tabu-Search verfügt damit über eine einfache Methode, um aus lokalen Optima zu entkommen (HEPPNER 2005, S. 1). Tabu Search ist eine Heuristik nach dem local search-Verfahren (vgl.

Kap. 4.1.2). Ausführlich beschrieben wird TabuSearch bei HROMKOVIC (2001, S. 397ff) und MICHALEWICZ und FOGEL (2000, S. 124ff).

4.4.3 Branch and Bound Algorithmus

Branch and Bound ist ebenso ein mathematisches Verfahren aus dem Bereich Operations Research, dessen Ziel es ist, für ein gegebenes ganzzahliges Optimierungsproblem eine beste Lösung zu finden. Der Algorithmus erzeugt von einem Startknoten aus einen Pfad zu all seinen Nachbarn und berechnet die Kosten, die die Benutzung der jeweiligen Pfade verursachen. Von Endpunkt des Pfades mit den geringsten Kosten aus werden erneut Pfade zu allen Nachbar-knoten erzeugt und wieder die Kosten berechnet. Auch hier wird wieder der aktuell günstigste Pfad ausgewählt und von diesem Endpunkt aus Pfade zu den Nachbarn berechnet. Dieses Vorgehen wird solange durchgeführt, bis der Zielpunkt erreicht ist. Um zu testen, ob der gefundene Pfad auch tatsächlich der optimale Pfad ist, müssen alle anderen Pfade solange weiterverfolgt werden, bis ihre Kosten die des scheinbar optimalen Pfades überschreiten oder mit niedrigeren Kosten zum Ziel führen. Überschreiten alle Pfade die Kosten des scheinbar optimalen Pfades, ist sichergestellt, dass es sich tatsächlich um den optimalen Weg handelt. Anderenfalls ist ein neuer Pfad, der die Kosten des scheinbar optimalen Pfades unterschreitet, der tatsächliche optimale Pfad. Auf diese Weise kann ein Großteil der Zweige, die nicht mehr von Interesse sind, abgeschnitten werden. Der Branch and Bound Algorithmus arbeitet besonders effektiv, wenn falsche Pfade schnell hohe Kosten verursachen und sie somit nicht weiter berücksichtigt werden müssen (REIF 2000). Das sollte allerdings nicht darüber hinwegtäuschen, dass die Zeitkomplexität noch immer exponentiell von der Problemgröße abhängt (HOFFMANN 1996). Der Branch and Bound Algorithmus basiert auf dem Prinzip des backtracking (vgl. Kap. 4.1.2). Eine ausführliche Darstellung des Branch and Bound Algorithmus findet sich unter anderem bei HROMKOVIC (2001, S. 159), AHO et al. (1983, S. 330) und KORTE und VYGEN (2006, S. 527).

4.4.4 Abkühlungsprozess (Simulated Annealing)

Das Simulated Annealing-Verfahren ist an den Abkühlungsprozess aus der Metallurgie angelehnt. Ein erhitztes Metall wird langsam abgekühlt, so dass auf atomarer Ebene ein energieidealer Zustand eintritt. Von den Elementarteilchen eines Stoffes wird prinzipiell ein Zustand möglichst niedriger Energie angestrebt. Ist ein Stoff heiß, findet eine starke Bewegung der einzelnen Teilchen statt. Dadurch ist die Wahrscheinlichkeit, dass ein bestimmtes Teilchen eine Position vergleichsweise niedriger Energie wieder verlässt und eine solche höherer Energie einnimmt, relativ hoch; es findet eine grobe Anordnung der Teilchen statt, die später einen besseren Zustand ermöglicht. Kühlt der Stoff ab, verringern sich die Möglichkeiten eines Teilchens, aus einer Position vergleichsweise niedriger Energie wieder zu entfliehen immer mehr, bis zu guter Letzt jedes Teilchen eine feste Position hat, der zum Festkörper erstarrt ist (IFM 2005b). Im Falle des Algorithmus zur Lösung des Traveling Salesman Problems wird durch dieses Vorgehen versucht, nicht in einem lokalen Optimum zu landen, sondern durch vorübergehende Verschlechterung des Ergebnisses das globale Optimum zu erreichen. Die Temperatur entspricht dabei einer Distanzangabe bzw. einer anderen Bewertung.

Der simulierte Abkühlungsprozess für die Lösung eines Traveling Salesman Problems wird mit einer Rundreise gestartet, die n Städte in einer völlig zufälligen Reihenfolge durchläuft. Im Folgenden wird versucht, diese Lösung zu verbessern. Z.B. werden zwei Städte der Rundtour zufällig ausgewählt und in umgekehrter Richtung durchlaufen, wie in Abbildung 4.6 dargestellt.

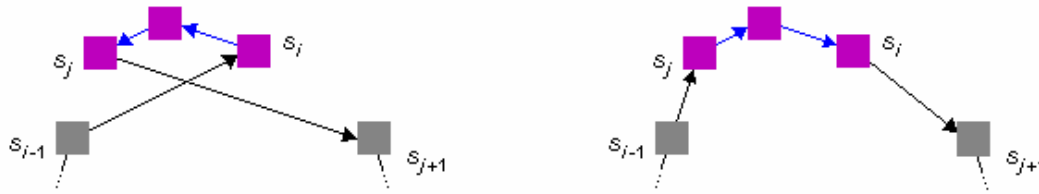


Abb. 4.6: Ursprüngliche und verbesserte Lösung mit Simulated Annealing.
Quelle: LANG 2001.

Wenn die neue Rundreise kürzer ist als die vorherige, wird mit der verbesserten Lösung fortgefahren. Ist sie länger, wird sie nur dann akzeptiert, wenn sie höchstens um die festgelegte Distanz länger ist als die alte Rundreise. Anderenfalls wird sie verworfen, mit der alten Lösung fortgefahren und weitere Änderungen vorgenommen. Die festgelegte Distanz wird verringert, und es werden mit der neuen Distanz wieder einige Versuche unternommen, eine bessere Rundreise zu erzeugen. Dieser Vorgang wiederholt sich bis die Distanz unter 0.01 sinkt. Dann ist der Algorithmus beendet und eine bestmögliche Tour gefunden (IFM 2005b). Das Simulated Annealing ist eine Heuristik nach dem local search-Verfahren (vgl. Kap. 4.1.2). Eine ausführliche Erläuterung zu dem Prozess findet sich z.B. bei HROMKOVIC (2001, S. 389ff).

4.4.5 Ameisenalgorithmus (Ant Colonization Optimization)

Der Ameisenalgorithmus bezieht sowohl seinen Namen als auch die sich dahinter verbergende Idee der Lösungssuche aus seiner Analogie zur Natur. Ameisen orientieren sich auf ihrer Futtersuche mit Hilfe eines Sekrets, welches sie während ihrer Fortbewegung aus einer Drüse am hinteren Teil ihres Körpers absondern. Dieses Sekret ist ein chemischer Duftstoff und wird als Pheromon bezeichnet. Ameisen werden bei ihrer Futtersuche zudem vor die Entscheidung gestellt, in welche Richtung sie ihren Weg fortsetzen wollen (s. Abb. 4.7).

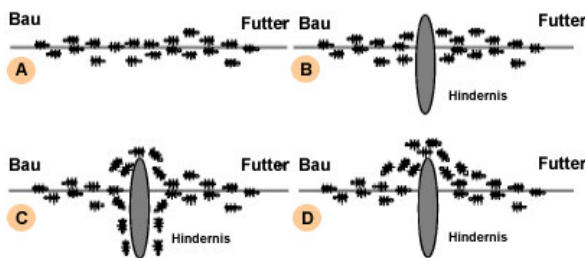


Abb. 4.7: A: Ameisen bewegen sich zwischen ihrem Bau und einer Futterquelle.
B: Ein Hindernis taucht auf, mit gleicher Wahrscheinlichkeit kann jede einzelne Ameise den linken oder rechten Weg wählen.
C: Auf dem kürzesten Weg hinterlassen die Ameisen mehr Duftstoffe.
D: Alle Ameisen wählen den kürzeren Weg.
Quelle: KLEIN 2001, S. 1.

Wird ein Weg gewählt, so wird dieser automatisch mit Pheromon gekennzeichnet. Nachfolgende Ameisen orientieren sich an der Duftspur ihrer Vorgänger und schlagen mit höherer Wahrscheinlichkeit einen Weg ein, der am stärksten mit Pheromon markiert ist. „Das Pheromon nimmt damit die Rolle einer Art kollektiven Gedächtnisses der Kolonie ein, welches die vergangenen Wegentscheidungen speichert“ (BOYSEN 2004a, S. 1). Die Verhaltensmuster des Markierens und der Auswahl stärker markierter Wege machen es den Ameisen möglich, kurze We-

ge zwischen Nest und Futterquelle zu finden. Wenn nämlich z.B. zwei oder mehr Wege zu einer Futterquelle existieren, können innerhalb eines bestimmten Zeitraumes mehr Ameisen den kürzeren Weg durchlaufen und mit Pheromon markieren als den längeren (s. Abb. 4.8). Dadurch erhält der kürzere Weg auf immer mehr Ameisen eine stärkere Anziehungskraft, so dass sich dieser Weg als Ameisenstraße ausbildet (BOYSEN 2005, S. 204). Letztendlich erreicht eine Ameisenkolonie, wozu eine einzelne Ameise niemals in der Lage wäre. Dieses Phänomen wird auch als Schwarm-Intelligenz bezeichnet (BOYSEN 2004b, S. 3).

Der italienische Mathematiker Marco Dorigo war der erste, der die Futtersuche der Ameisen und ihre Fähigkeit, dabei einen sehr kurzen Weg zu finden, auf einen Computeralgorithmus übertrug (BOYSEN 2005, S. 204). Dabei bilden die künstlichen Ameisen das Verhalten ihrer natürlichen Vorbilder nach. Allerdings orientieren sich die künstlichen Ameisen nicht allein am Pheromon, sondern bevorzugen aufgrund ihrer begrenzten Sehkraft weniger weit entfernte Städte.

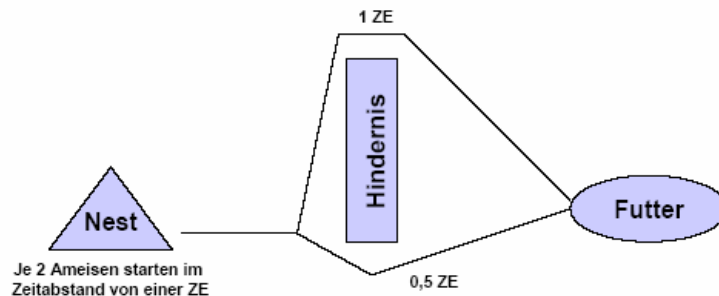


Abb. 4.8: Schematischer Ablauf der Futtersuche von Ameisen.
Quelle: BOYSEN 2004a, S. 2.

Pheromon und Sehkraft bzw. Distanz zum nächsten Ort beeinflussen die Wahrscheinlichkeit der Auswahl des nächsten Ortes. Die Besonderheit dieses Verfahrens ist die Dynamik des Optimierungsprozesses. So wird der Prozess aufgrund der gewonnenen Erfahrungswerte ständig angepasst (KLEIN 2001, S. 1). Der Ameisenalgorithmus läuft folgendermaßen ab:

Die Ameise startet in einer der n Städte und erzeugt ihre Route, indem sie von Ort zu Ort läuft, bis sie an ihren Ausgangspunkt zurückkehrt. Dabei ermittelt sie an dem aktuellen Standort jeweils die möglichen nachfolgenden Städte. Alle noch nicht besuchten Städte stellen erlaubte Zwischenziele dar, bereits besuchte Städte stehen nicht mehr zur Auswahl. Für die noch zu besuchenden Städte ermittelt die Ameise eine Auswahlwahrscheinlichkeit, die sich aus dem Pheromonwert und der Entfernung zwischen Ausgangs- und Zielort ergibt. Dabei werden näher gelegene Städte bevorzugt (BOYSEN 2005, S. 205ff). Hat die Ameise ihr Ziel erreicht, wird je nach Kosten der Tour Pheromon abgelegt. Pro Iteration wird der kürzeste Weg, den eine Ameise erreicht hat, ermittelt und als Optimierungsergebnis zwischengespeichert. Der Algorithmus endet nach einer vorher festgelegten Anzahl von Iterationen. Am Ende wird die beste bisher gefundene Rundreise als Ergebnis ausgegeben.

Zwar können Ameisen als Heuristik im Gegensatz zu exakten Verfahren wie z.B. *Branch and Bound* nicht garantieren, dass ihr Ergebnis eine optimale Lösung für das Problem ermittelt. Trotzdem erzielt dieser Algorithmus bei einer Tour-Berechnung für viele Städte, die exakte Verfahren nicht in angemessener Zeit lösen können, einen guten Kompromiss zwischen Lösungs-

güte und Laufzeit. Eine Tour mit 20 Städten z.B. löst der Ameisenalgorithmus mit einer Laufzeit von unter einer Sekunde. Damit können Ameisenalgorithmen auch mit anderen Heuristiken wie dem Simulated Annealing oder dem Tabu Search mithalten (BOYSEN 2005, S. 205ff).

Im Falle dieser Arbeit soll auf Grundlage der Befragungsergebnisse in einem ersten Schritt ein Algorithmus zur Berechnung einer Route zwischen zwei Orten sowie einer Rundtour realisiert werden. Im weiteren Verlauf wird das Routing durch die Anforderungen erweitert, welche die Befragungsergebnisse (vgl. Kap. 3) geliefert haben. So werden weitere Optionen wie z.B. die Steigung in die Routenberechnung eingebunden und ein Konzept entwickelt, wie eine adaptierte Routenberechnung auf Grundlage einer Distanzangabe mit zusätzlicher Einbindung von weiteren Optionen realisiert werden kann. Das Konzept wird beispielhaft mit der Programmiersprache Java implementiert.

4.5 Berechnung einer Route zwischen zwei Orten

Für die Berechnung einer Route zwischen zwei Orten ist ein Algorithmus notwendig, der einen kürzesten Weg in einem Graphen zwischen zwei Knoten ermittelt. Beispiele von Algorithmen zur Lösung dieses Problems sind in Abschnitt 4.1.1 beschrieben worden. Im Rahmen dieser Arbeit wurde sich zur Lösung des Problems des kürzesten Weges für einen A-Stern-Algorithmus entschieden. Zum einen ist der A-Stern-Algorithmus zielgerichteter als z.B. der Dijkstra-Algorithmus (PATEL 2006). Tests an der Universität Bonn, die auf dem Wegnetzgraphen von Bonn (ca. 30.000 Knoten und 60.000 Kanten) durchgeführt wurden, wiesen dem A-Stern- gegenüber dem Dijkstra-Algorithmus eine fünf- bis sechsfach bessere Performanz nach (PLÜMER et al. 2004, S. 9). Zum anderen kann durch die Anpassung der heuristischen Funktion stark auf den Algorithmus und seine Arbeitsweise zugunsten der Zeitkomplexität oder des Suchergebnisses eingewirkt werden, was den Algorithmus sehr flexibel gestaltet.

Da keine geeigneten Quelltextbeispiele im Internet gefunden wurden, wurde der Algorithmus eigenständig implementiert. Hierfür dienten textliche Beschreibungen von NILSSON (1998, S. 144ff), PATEL (2006) und LESTER (2005), welche die Vorgehensweise des A-Stern-Algorithmus ausführlich darstellen. Der Algorithmus wurde durch Java Servlets umgesetzt.

Java ist eine Programmiersprache, die plattformunabhängig, objektorientiert und an die Programmiersprache C++ angelehnt ist. Mit Java werden eigenständige Programme und Applets geschrieben, die sowohl in vielen Betriebssystemen als auch im Internet Verwendung finden (LOUIS und MÜLLER 2000, S. 18). Das Äquivalent zu den erwähnten Applets bilden die Servlets, eine Technologie die speziell auf die Verwendung des WWW als Basistechnik ausgerichtet ist. Während Applets auf dem Clientrechner ablaufen, werden Servlets vergleichbar mit CGI-Skripten (Common Gateway Interface) nach dem Aufruf von einem Browser auf dem Server ausgeführt. Im Gegensatz zu CGI startet der Web-Server jedoch keinen eigenen Prozess, sondern ruft lediglich das Servlet auf. So dienen Servlets wie das CGI dazu, eine Schnittstelle zwischen WWW und existierenden nicht webbasierten Anwendungen zu schaffen (EBERHART und FISCHER 2000, S. 108). Im Folgenden soll die Vorgehensweise des in Java implementier-

ten A-Stern-Algorithmus dargestellt werden. Dabei wird davon ausgegangen, dass es sich bei Knoten um die Endknoten eines Linienabschnittes handelt. Ein Vertex bezeichnet einen Zwischenpunkt innerhalb eines Linienabschnitts und weist immer einen Grad von 2 auf.

Bevor die Routenberechnung beginnt, wird zunächst geprüft, ob sich die vom Nutzer eingegebene Start- und Zielkoordinate auf dem Netzwerk befinden. Ist dies der Fall, wird ermittelt, ob es sich um einen Knotenpunkt handelt (s. Abb. 4.9a), oder ob die entsprechende Koordinate sich auf einer einzelnen Linie befindet. Trifft Letzteres zu, muss weiter geprüft werden, ob es sich um einen Vertex der Linie handelt. In diesem Fall können aus der Linie anhand des Vertex zwei Linienabschnitte gebildet werden (s. Abb. 4.9b). Ist die Koordinate kein Vertex der Linie, muss mit einer Koordinatenabfrage die Start- oder Zielkoordinate so in die Linienabfolge einsortiert werden, dass an dieser Stelle zwei Linienabschnitte gebildet werden können (s. Abb. 4.9c). Handelt es sich bei der übergebenen Koordinate um die Zielkoordinate, werden die beiden ermittelten Linienabschnitte in eine Liste *zielabschnitte* gespeichert.

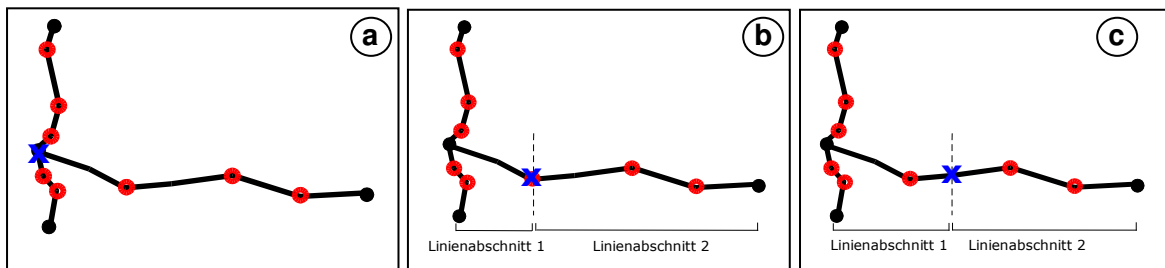


Abb. 4.9: Die Eingabekoordinate des Nutzers im Straßennetz. a: der Startpunkt ist ein Knotenpunkt. b: der Startpunkt ist ein Vertex. c: der Startpunkt liegt zwischen zwei Vertices. Quelle: eigener Entwurf.

Befindet sich die vom Nutzer eingegebene Koordinate nicht auf dem Liniennetz, wird der nächstmögliche Schnittpunkt auf dem Liniennetz berechnet. (s. Abb. 4.10). Hierfür werden zunächst alle Linien selektiert, die sich mit dem umgebenden Rechteck der Koordinate schneiden. Als Verschneidungsergebnis liegen die Liniensegmente vor, die sich genau innerhalb des Rechtecks befinden. Alle gefundenen Liniensegmente werden in ihre Vertices zerlegt. Aus allen Vertices wird derjenige ausgewählt, der der Eingabekoordinate räumlich gesehen am nächsten ist. Die Eingabekoordinate wird daraufhin auf diesen Vertex gesnappt, so dass ihre Koordinaten identisch sind. Auf diese Weise liegt die Eingabekoordinate folglich auf dem Liniennetz, und es kann analog wie oben beschrieben weiter vorgegangen werden.

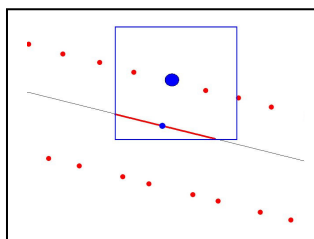


Abb. 4.10: Snappen des Adresspunktes auf eine Straße. Die BoundingBox der Adresskoordinate (großer blauer Punkt) wird mit dem Straßennetz überlagert. Im Überlappungsbereich wird die Adresskoordinate auf den nächstliegenden Vertex des Straßenabschnittes gesnappt. Quelle: eigener Entwurf.

Dem A-Stern-Algorithmus werden im Folgenden die auf dem Liniennetz ermittelte Start- und Zielkoordinate bzw. die entsprechenden Linienabschnitte übergeben. Zunächst werden zwei Listen, die geschlossene Linienliste und die offene Linienliste erzeugt. Der Zugriff auf die Datenbank, die die notwendigen Netzdaten zur Verfügung stellt, wird durchgeführt.

Dann wird geprüft, welche der beiden Linienabschnitte, sofern es sich beim Startpunkt nicht um einen Knotenpunkt handelt, die günstigere ist und weiter verfolgt werden soll. Hierfür wird die euklidische Distanz der Endknoten der beiden Linienabschnitte zur eingegebenen Zielkoordinate berechnet. Addiert mit der eigenen Länge ergibt sich die Bewertung jedes Linienabschnittes. Die Linie mit der geringeren Bewertung wird in die geschlossene Linienliste geschrieben und aus der offenen Linienliste entfernt. Eine Variable *aktueller Knoten* speichert die Endkoordinate des günstigeren Linienabschnitts. Für diesen *aktuellen Knoten* werden alle Linien ermittelt, die von ihm abgehen und in die offene Linienliste gespeichert (s. Abb. 4.12a).

Im weiteren Verlauf wird für jede Linie in der offenen Linienliste der Endknoten ermittelt, der nicht dem *aktuellen Knoten* entspricht. Von dem Endknoten aus wird die euklidische Distanz zur Zielkoordinate berechnet. Dann werden für jede Linie die sog. F-Kosten berechnet. Die F-Kosten setzen sich aus der euklidischen Distanz zum Zielknoten und den linienspezifischen Kosten sowie bisher aufgewendeten Kosten zusammen. Die linienspezifischen Kosten können lediglich durch die Distanz aber auch durch andere Optionen wie Steigung oder Beschaffenheit geprägt sein. Akkumuliert mit den bisher aufgewendeten Kosten werden sie als die G-Kosten einer Linie bezeichnet. Abbildung 4.11 zeigt die Kostenverteilung im A-Stern Algorithmus.

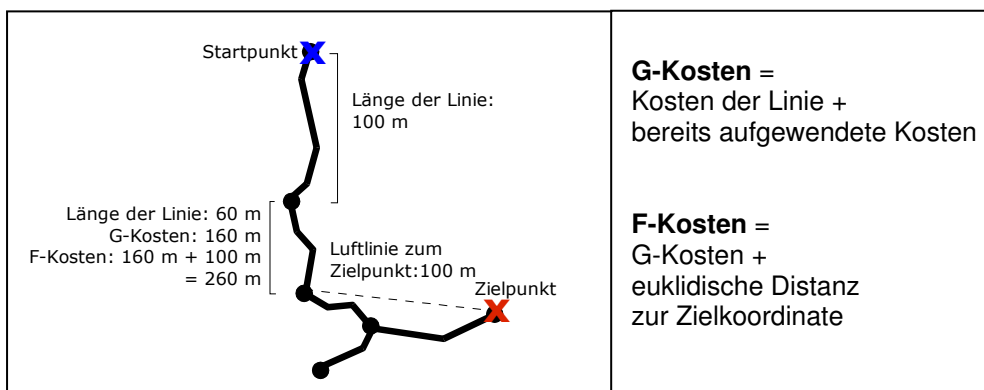


Abb. 4.11: Kostenverteilung im A-Stern-Algorithmus. Links: graphische Darstellung der Kostenverteilung. Rechts: Berechnung der Kosten. Quelle: eigener Entwurf.

Die Linie mit den geringsten F-Kosten wird mit der Information zur Vorgängerlinie in die geschlossene Linienliste geschrieben und aus der offenen Linienliste gelöscht (s. Abb. 4.12b). Der Endknoten dieser Linie wird als *aktueller Knoten* abgespeichert. Für den *aktuellen Knoten* wird nun geprüft, ob er der Zielkoordinate entspricht. Ist dies der Fall, ist die Route vollständig berechnet. Entspricht der *aktuelle Knoten* nicht der Zielkoordinate, muss im Falle, dass die Zielkoordinate kein Knotenpunkt ist, zusätzlich geprüft werden, ob der *aktuelle Knoten* den Endpunkten der *zielabschnitte* entspricht. Auch in diesem Fall ist die Routenberechnung beendet. Lediglich der noch fehlende Zielabschnitt wird in die geschlossene Linienliste geschrieben. Treffen diese Fälle nicht zu, wird mit dem Algorithmus weiter fortgefahren.

Für den neuen *aktuellen Knoten* werden wiederum die Linien ermittelt, die an von ihm abgehen (s. Abb. 4.12c). Die ermittelten Linien werden daraufhin geprüft, ob sie bereits in der geschlossenen oder offenen Liste vorhanden sind. Ist dies nicht der Fall, werden Sie in der offenen Liste gespeichert und das oben beschriebene Verfahren wiederholt sich. Befindet sich eine gefundene Linie bereits in der offenen Liste, werden die G-Kosten der bereits vorhandenen und der neu

gefundenen Linie verglichen. Im Falle, dass die neue Linie geringere Kosten aufweist, wird die alte Linie mit den Informationen der neuen Linie (Vorgänger, G-Kosten) überschrieben und somit aktualisiert. Die Anwendung läuft solange, bis der *aktuelle Knoten* der Zielcoordinate oder dem Endknoten eines *zielabschnittes* entspricht (s. Abb. 4.12e). Die Ergebnisroute kann anhand einer Rückverfolgung der Linien in der geschlossenen Liste mit Hilfe der Vorgängerinformationen ermittelt werden.

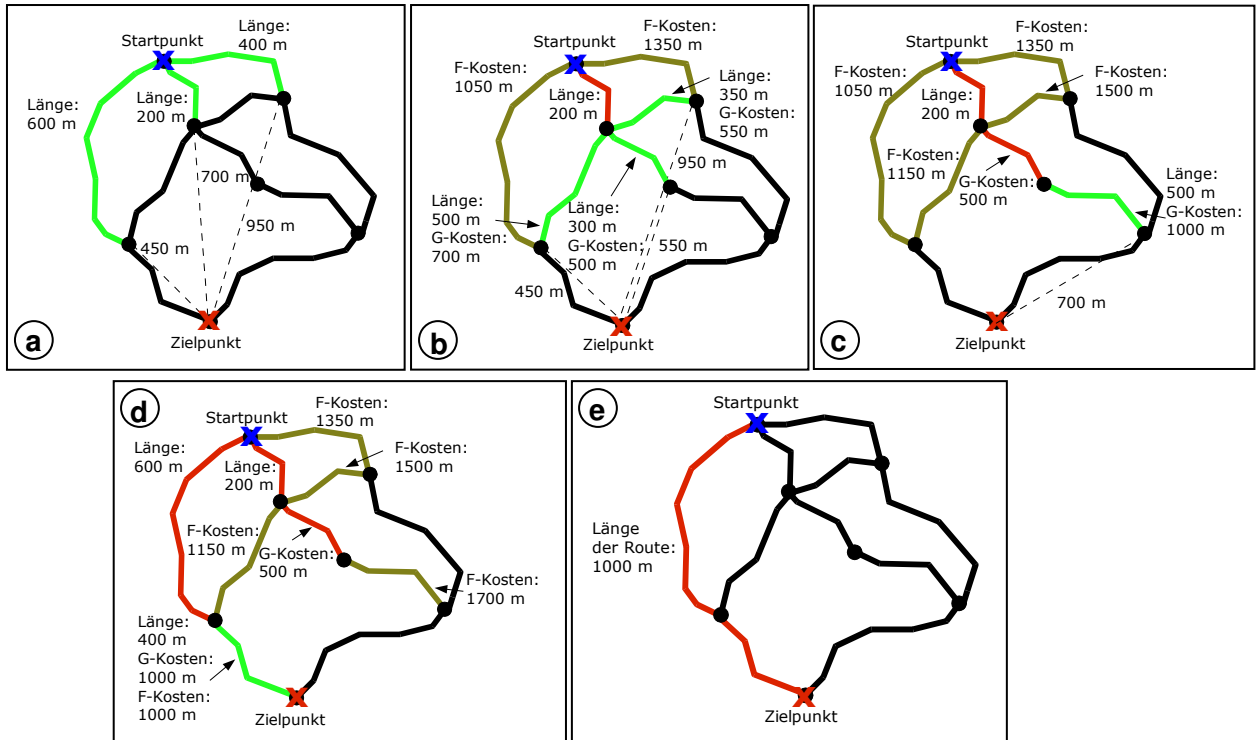
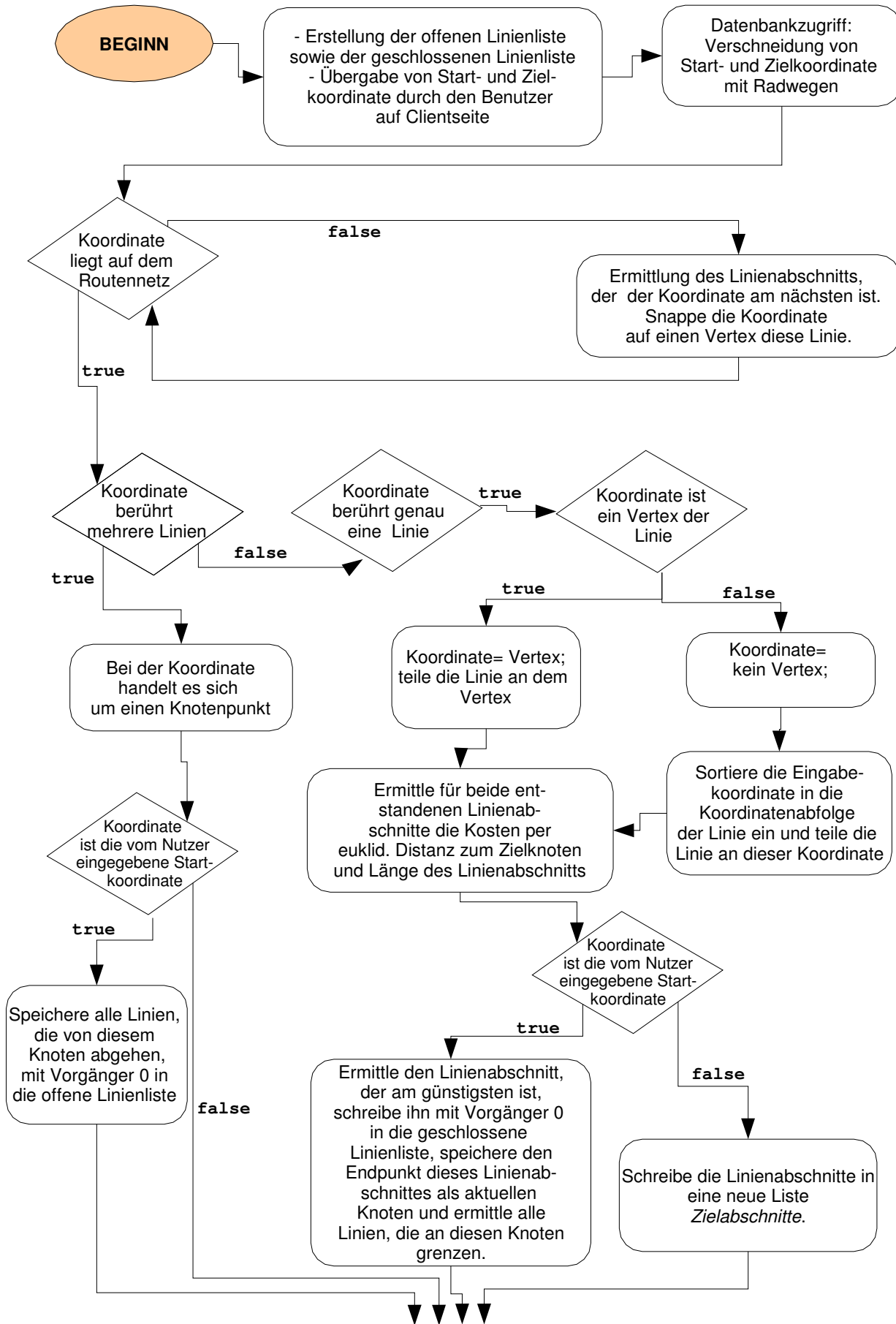


Abb. 4.12: Vorgehen des A-Stern Algorithmus.
Quelle: eigener Entwurf.

Abbildung 4.13 stellt den Ablauf des Algorithmus dar.



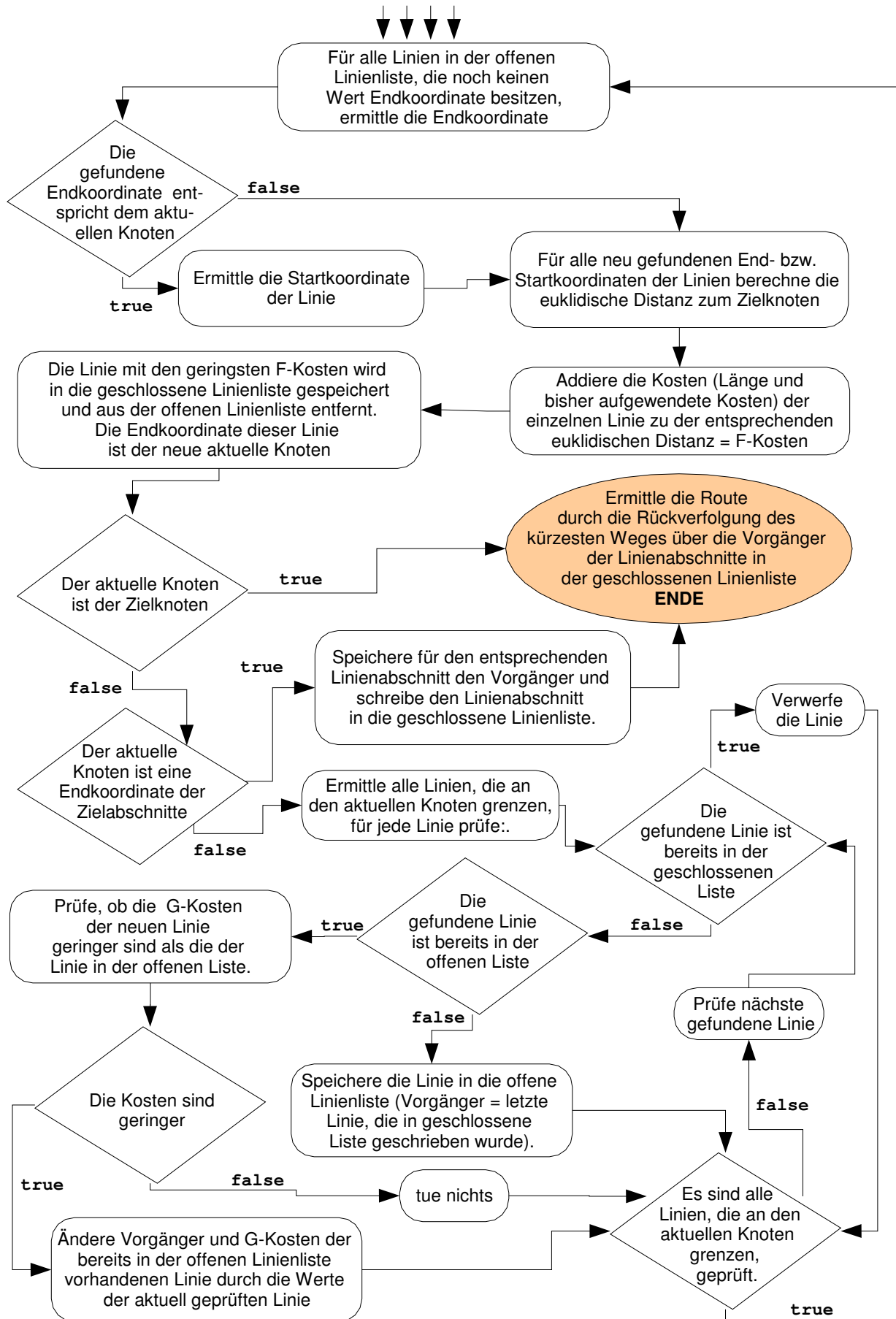


Abb. 4.13: Flussdiagramm des implementierten A-Stern-Algorithmus für die Routenberechnung zwischen zwei Orten. Quelle: eigener Entwurf.

4.6 Berechnung einer Rundtour

Für die Berechnung einer Rundtour wird ein Algorithmus verwendet, der für ausgewählte Haltepunkte eine bestmögliche Reihenfolge innerhalb eines Graphen ermittelt (vgl. das Rundreisenden-Problem Kap. 4.4). Die Auswahl der Implementation fiel auf den Ameisenalgorithmus, der durch die Nachahmung der Futtersuche der Ameisen sehr gute heuristische Ergebnisse erzielt und zusätzlich einen einfachen Aufbau vorweist. Außerdem wird dieser Algorithmus bereits erfolgreich für das sog. Vehicle Routing Problem eingesetzt, bei dem nicht nur die Reisezeit sondern auch die Anzahl der Fahrten minimiert werden soll. Eine ausführliche Darstellung des Vehicle Routing Problems findet sich unter anderem bei GAMBARDELLA et al. (1999).

Als Grundlage wurde die Implementierung des Ameisenalgorithmus von OETZEL aus dem Jahr 2003 verwendet, der diesen im Rahmen seiner Diplomarbeit in Form eines Java-Applets entwickelt hat. Dieses Applet wurde in ein Servlet umgearbeitet, so dass es von einer Webseite aus angesprochen werden und Berechnungen auf dem Server ausführen kann. Da der Ameisenalgorithmus nach OETZEL die Kosten der Entfernung bzw. Kosten zwischen den Städten auf Grundlage der euklidischen Distanz berechnet nicht aber nach der Entfernung auf dem Graphen, muss der Algorithmus angepasst werden (s. Abb. 4.14). Für die Berechnung der Kosten zwischen zwei Städten innerhalb des Radwegenetzes wird der entwickelte A-Stern-Algorithmus verwendet. Der A-Stern- sowie der Ameisenalgorithmus werden demnach so kombiniert, dass die Rundreise auf Basis der Kantenbewertung des Liniennetzes ermittelt wird.

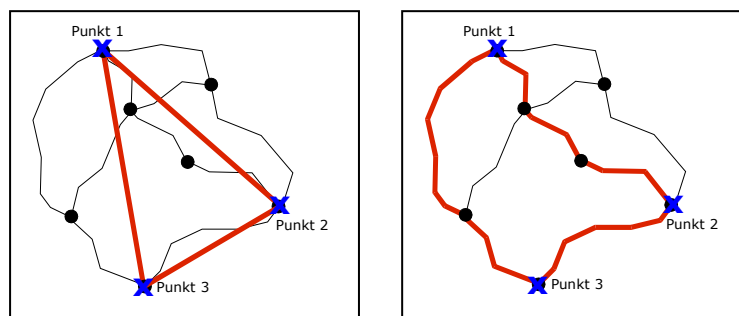


Abb. 4.14: Berechnung der Kosten zwischen einzelnen Städten.
Links: Kosten basieren auf euklidischer Distanz. Rechts: Kosten basieren auf Länge der einzelnen Linienabschnitte. Quelle: eigener Entwurf.

Bevor die virtuellen Ameisen anfangen, sich ihren Weg zu suchen, wird eine maximale Anzahl an Iterationen festgelegt. Die Anzahl der Iterationen bestimmt die Anzahl der Durchläufe des Algorithmus, bis er beendet wird. Zusätzlich werden folgende Faktoren bestimmt:

- Bewertungsfaktor der Pheromone α ,
- Bewertungsfaktor der Entfernung β ,
- Verwitterungsfaktor ν ,
- abzulegende Pheromonmenge Q .

Zu Beginn der Routenberechnung erhält jede Kante einen vorgegebenen Pheromon-Wert τ_{ij} . Zusätzlich wird eine Liste *BestConfig* erzeugt, die die beste Reihenfolge der besuchten Städte speichert und eine weitere Variable *BestDistance* initialisiert, die die Länge der bestmöglichen

Route beinhaltet. Dann werden die Ameisen zufällig auf die Städte verteilt. In jeder Stadt, die auf der Rundreise besucht werden soll, startet eine Ameise. Jede Ameise bekommt zwei Listen zugewiesen, in denen zum einen alle noch zu besuchenden Punkte (*AllowedCities*) und alle bereits besuchten Städte (*Tabuliste*) verwaltet werden. Zunächst wird die Startstadt in die *Tabuliste* geschrieben und aus der anderen Liste entfernt. Solange die Tabulisten der Ameisen nicht voll sind, wird für jede Ameise eine neue Stadt ermittelt. Die Entscheidung, welche Stadt eine Ameise als nächstes besucht, wird mit folgender Wahrscheinlichkeit (s. BONABEAU et al. 1999, S. 42) berechnet:

$$p_{ij}^k(t) = \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha \times [\eta_{ij}]^\beta}{\sum [\tau_{ij}(t)]^\alpha \times [\eta_{ij}]^\beta}$$

$p_{ij}^k(t)$ beschreibt die Wahrscheinlichkeit einer Ameise k von Stadt i zu Stadt j zu gehen. Dabei wird die Pheromonkonzentration $\tau_{ij}(t)$ zwischen der zuletzt besuchten Stadt der Ameise und einer noch zu besuchenden Stadt durch den Bewertungsfaktor α gewichtet. Die Entfernung η_{ij} zwischen diesen beiden Städten wird mit durch den Bewertungsfaktor β gewichtet. Das Produkt der beiden Werte wird in Beziehung gesetzt zu der Summe der Pheromonkonzentration und Entfernungen aller noch möglichen Verbindungen zwischen der zuletzt besuchten Stadt und den noch zu besuchenden Städten. Je mehr Ameisen also eine Kante durchlaufen, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit, dass die Ameisen diese Kante bei der nächsten Wahl einer Stadt berücksichtigen (OETZEL 2003, S. 11).

Bei der Suche nach optimalen Werten für die Parameter α und β , d.h. die Gewichtung der Pheromone und Gewichtung der Entfernung bei der Wahl der nächsten zu besuchenden Stadt, und der Verdunstung v , hat man festgestellt, dass eine Gewichtung von $\alpha=1$ und $\beta=5$ und die Wahl von $p=0,5$ die besten Ergebnisse liefert (Klein 2001, S. 6).

Sind die Touren aller Ameisen berechnet, werden für jede Tour die benötigten Kosten ermittelt. Die Tour mit den geringsten Kosten ist die beste dieses Durchlaufs. Sind ihre Kosten geringer als die in der Variable *BestDistance* gespeicherten, wird Ihre Reihenfolge sowie die Kosten in die dafür vorgesehene Liste *BestConfig* und die Variable *BestDistance* geschrieben. In einem nächsten Schritt wird der Pheromonzuwachs für jede Tour einer Ameise ermittelt. Der Pheromonzuwachs berechnet sich nach:

$$\tau_{ij}^k = Q/L_k$$

wobei L_k die Länge der Tour der aktuellen Konfiguration von Ameise k ist. Je höher also die Länge einer Tour ist, desto geringer ist der Pheromonzuwachs einer Kante. Der aktuelle Pheromonwert τ_{ij} jeder Kante wird aktualisiert durch:

$$\tau_{ij}(t) = v * \tau_{ij}(t) + \tau_{ij}^k$$

Zu guter Letzt wird die Startstadt einer jeden Ameise erneut in eine leere *Tabuliste*, alle neu zu besuchenden Städte in die Liste *AllowedCities* geschrieben. Dann wird ein neuer Durchlauf auf die oben beschriebene Weise durchgeführt. Ist die maximale Anzahl an Iterationen erreicht,

befindet sich die Reihenfolge der bestmöglichen Tour in der Liste *BestConfig*, die Länge bzw. die Kosten dieser Tour werden durch die Variable *BestDistance* dargestellt. Das in Abbildung 4.15 dargestellte Flussdiagramm gibt einen Überblick über die Vorgehensweise des angepassten Ameisenalgorithmus.

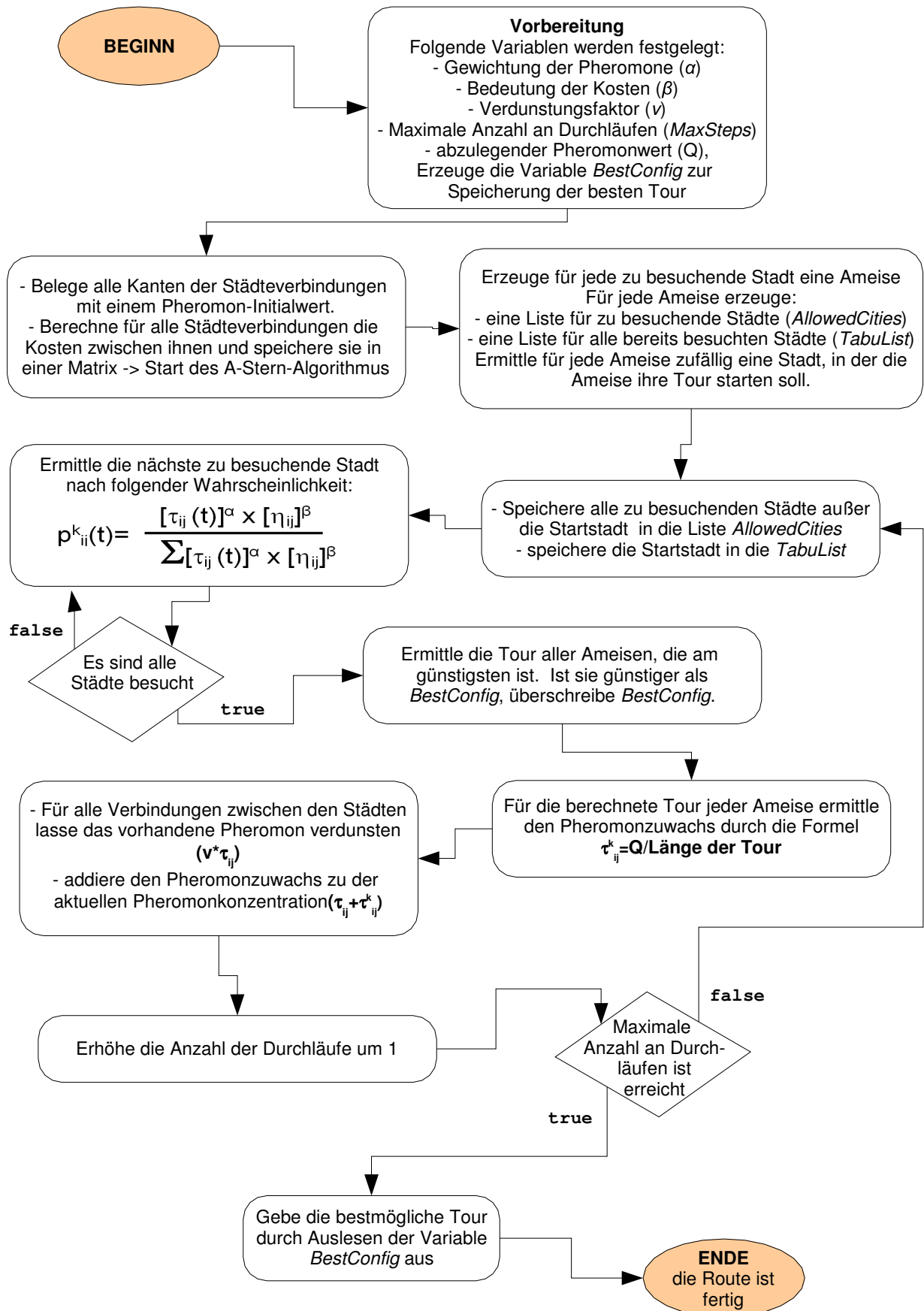


Abb. 4.15: Flussdiagramm des Ameisenalgorithmus nach OETZEL 2003. Quelle: eigener Entwurf.

4.7 Einbinden von Optionen in die Routenberechnung

Zur individuellen Gestaltung einer Routenberechnung ist es möglich, dem Anwender die Eingabe bestimmter Optionen anzubieten, die bei der Routenberechnung bevorzugt oder vermieden werden sollen. Die Routenberechnung wird also auf die Präferenzen des Nutzers adaptiert. Dies ist sicherlich sinnvoll, da die Gruppe der Radfahrer recht heterogen ist. Z.B. werden Rennradfahrer durch ihre leichten Räder keine Probleme bei Steigungen haben, während es sich für Fahrer schwerer Hollandräder durchaus lohnen kann, einen Umweg zu fahren, um dadurch Steigungen zu vermeiden. Einen Radfahrer mit einem gefederten Fahrrad wird Kopfsteinpflaster weniger stören als einen ohne Federung (REZIC 1999, S. 6). Die Adaption von Tourenplanung durch individuelle Gestaltung existiert bereits im Bereich der Fußgänger- und Rollstuhlnavigation (vgl. ZIPF und JÖST 2005 und FRASCH 2006). Hierfür ist ein zusätzlich attribuiertes Straßennetz erforderlich. Besonders die Steigung bzw. Gefälle von Strecken wurde sowohl von ZIPF als auch FRASCH bei der Routenplanung eingebunden.

ZIPF und MALAKA (1999, S. 3) untersucht bei der Navigation von Fußgängern die Einbindung von sog. harten Faktoren für die Berechnung einer Tour, wie die metrische Distanz, Zeit oder Kosten, den üblichen Abbiegevorschriften oder Verkehrsdaten, sowie leicht aus dem Geländemodell ableitbaren Parametern wie Steilheit und Exposition. Zusätzlich werden weitere weiche, stärker vom Individuum abhängende Faktoren wie thematische Interessen des Nutzers in den Prozess der Routenberechnung mit eingebunden. Dabei kann es sich z.B. um als relevant eingestufte Sehenswürdigkeiten handeln, die den Touristen besonders interessante Bauperioden oder Architekturstile liefern. Für eine sinnvolle Navigation von Rollstuhlfahrern sind hingegen vor allem die Parameter Längs- und Querneigung der Straße sowie die Art des Straßenbelages in Bezug auf den Rollwiderstand enorm wichtig. Aber auch Sicherheitsaspekte wie z.B. die Höhe der Bordsteinkante oder die Art des Fußweges anhand welcher Straßenkategorie spielen eine große Rolle (vgl. FRASCH 2006).

Da die Beschaffenheit und die Steigung neben der Berechnung einer Rundtour und einer Route zwischen zwei Orten bei der empirischen Untersuchung (s. Kap. 3) als gewünschte Funktionalitäten eines Fahrradrouutenplaners am meisten Zuspruch erhalten haben, werden sie im Falle dieser Arbeit weiter berücksichtigt. Weitere in Betracht gezogene Optionen sind besonders positiv bei bereits vorhandenen Fahrradrouutenplanern im Internet aufgefallen, so dass sie auch an dieser Stelle berücksichtigt werden sollen. So stellt der Fahrradrouutenplaner *BBBike* die Möglichkeit bereit, einen bevorzugten Straßentyp auszuwählen und grüne Wege zu bevorzugen (s. Kap. 2.3.1). Die Attraktivität von Wegen wird im *GrüngürtelFahrtFinder* und im Tourenplaner des Senneportals berücksichtigt (s. Kap. 2.3.2 und S. 2.3.4). Diese Option erscheint besonders im Hinblick auf die Subjektivität der Bewertung interessant für eine weitere Betrachtung. Zusätzlich können durch die Kombination verschiedener Optionen Profile gebildet werden, die für bestimmte Typen von Radfahrern typisch sind. Daher wird untersucht, ob es sinnvoll ist, dem Nutzer vordefinierte Profile auf der Benutzeroberfläche anzubieten. Folgende Liste fasst die Optionen, die im Rahmen dieser Arbeit tiefer gehend untersucht werden sollen, zusammen:

- Berücksichtigung der Beschaffenheit
- Berücksichtigung der Steigung
- Vermeidung und Bevorzugung von Hauptstraßen

- Bevorzugung von grünen Wegen
- Bevorzugung von landschaftlich schönen Wegen.

Um die Optionen in den oben beschriebenen Routingalgorithmus einzubinden, muss zunächst ein Kostenmodell erarbeitet werden, welches die verschiedenen Optionen bewertet und den einzelnen Linienabschnitten, für die diese Kosten berechnet werden, je nach Ausprägung einen Kostenanteil zuweist. Hierfür erhält jeder Linienabschnitt des Netzwerks ein weiteres Kostenfeld pro Option. Werden Optionen bei der Routenberechnung angegeben, so sind die Kosten, die für jede Linie gespeichert sind, ausschlaggebend für die Bewertung dieser Option. Sind mehrere Optionen angewählt, müssen diese während der Laufzeit des Algorithmus addiert werden. Zu beachten ist jedoch, dass die Kosten zu jeder Zeit auch in Beziehung zu der Länge eines jeden Linienabschnittes gesehen werden, da ansonsten ein verzerrtes Kostenbild entsteht. Das bedeutet, dass die akkumulierten Kosten, die durch die Optionen verursacht werden, als Koeffizient der Länge eines jeden Linienabschnittes dienen. Um den verschiedenen Optionen bestimmte Koeffizienten zuordnen zu können, müssen diese nach bestimmten Kriterien bewertet werden. Dies birgt besonders bei Optionen, die eher subjektiver Natur sind, Schwierigkeiten. Im Folgenden werden die einzelnen Optionen vorgestellt und ihre Wertebereiche dargelegt.

4.7.1 Berücksichtigung der Beschaffenheit

Da ein Fahrrad kaum gefedert ist, ist eine ebene Fahrbahnoberfläche eine Minimalvoraussetzung, um den Anforderungen der Fahrradfreundlichkeit gerecht zu werden. Die Stabilität des Fahrrads kann zudem durch Löcher oder unebene Anschlüsse bei Materialwechseln auf der Fahrbahn beeinträchtigt werden. Das Fahrrad wird durch die Muskelkraft des Fahrers angetrieben. Die Kraft, die ein Radfahrer leisten kann, ist begrenzt. Zusätzlicher Widerstand muss durch zusätzliche physische Leistung kompensiert werden. Der Rollwiderstand zwischen Reifen und Fahrbahn werden vor allem durch die Qualität der Fahrbahnoberfläche und deren Unebenheiten verursacht. Bereits 1975 wurde von dem Niederländern Tholenaar und Van der Valk festgestellt, dass Radfahrer eher einen Umweg und daher eine Verlängerung der Reisezeit in Kauf nehmen, wenn dadurch eine schlechte Fahrbahnoberfläche oder Verkehrssicherheitsprobleme umgangen werden können, obwohl die Reisezeit das für die Radfahrer wichtigste Kriterium bei einer Routenwahl darstellt (C.R.O.W. 1995, s. 47).

Aus verkehrspolitischer Sicht ist die Funktion der Fahrbahnoberfläche, ein komfortables und sicheres Radfahren zu ermöglichen. Die Oberfläche des Radweges kann aus verschiedenen Materialien bestehen, die die Qualität des Belags bestimmen. Die vier wichtigsten Befestigungsarten einer Radwege-Deckschicht sind Asphalt, Beton, Platten und Klinker. Asphalt ist ein ideales Befestigungsmaterial für Radverkehrsanlagen. Der Rollwiderstand ist gering und es treten weniger schnell Unebenheiten auf als bei einem Plattenweg. Es kommt vor, dass die Asphaltdecke mit einer Bitumschicht behandelt wird, die anschließend mit einer Splittschicht bestreut wird. Eine solche Schicht führt zu stärkerem Rollwiderstand. Lose liegende Steinchen können zudem eine Rutschgefahr verursachen. Unter dem Aspekt des Radfahrkomforts ist die Asphaltdecke daher ohne die Splittschicht vorzuziehen. Auch Beton ist ein gutes Befestigungsmaterial. Es ist unempfindlich gegen Baumwurzeln und benötigt wenig an Unterhaltungsaufwand. Allerdings ist Beton mit hohen Herstellungskosten verbunden. Ein Plattenweg bieten

Radfahrern weniger Komfort als Asphalt oder Beton. Absackungen und lose Platten sind die Regel. Auch der Komfort von Klinkern und Betonpflastersteinen ist vergleichbar mit dem von Platten. Dieses Material sollte nur in Ausnahmefällen für Radwege verwendet werden (C.R.O.W. 1995, S. 132ff). Empfohlene Bauweisen für Rad- und Gehwege enthalten die „Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen“ (RStO 86) (FSG 1995, S. 84).

Der ADFC (2006) schlägt folgende Oberflächendifferenzierung für Radwege vor:

- Asphalt, Beton, gut verlegte Pflasterung (Straße, Wirtschaftsweg). Hier können Radfahrer mit schmaler Bereifung mit mindestens 20 km/h entlangfahren.
- Unbefestigte, mäßige Oberfläche (Wald-, Wiesenweg), wassergebundene Decken und fester Sand. Diese Wege sind witterungsabhängig befahrbar.
- Schlechte Oberfläche (Sand- und Kopfsteinwege), grobes Kopfsteinpflaster, tiefgründiger Matsch, Betonschwellen. Diese Strecke kann nur im Sinne einer notwendigen Lückenergänzung eingetragen werden.

Auf Grundlage der vorgestellten Einteilungen von C.R.O.W. und dem ADFC werden die in Tabelle 4.3 dargestellten Kostenfaktoren den Oberflächentypen zugeordnet.

Oberflächentyp	Kostenfaktor
Asphalt	1
Beton	1,5
Platten	2
Unbefestigte Wege, fester Untergrund	4
Kopfsteinpflaster, Betonschwellen	6
Matschiger Untergrund	10

Tab. 4.3: Kostenfaktoren der verschiedenen Oberflächentypen.
Quelle: eigener Entwurf.

Die festgelegten Kategorien könnten wie bei FRASCH (2006, S. 24) jeweils nach der Art des Zustands weiter untergliedert und bewertet werden. Allerdings fehlen dafür die zur Bewertung notwendigen Daten, so dass sich auf die Art des Belages beschränkt wird.

4.7.2 Berücksichtigung der Steigung

Die Steigung ist als Verhältnis von Höhendifferenz zur horizontalen Entfernung definiert. Für einen Radfahrer besteht ein deutlicher Zusammenhang zwischen der zu überwindenden Höhe und dem Neigungsgrad, da er mehr Kraftaufwand leisten muss, je steiler die Neigung ist, um die Schwerkraft zu überwinden. Da der menschliche Körper darauf eingerichtet ist, über eine kurze Periode pro Zeiteinheit mehr Kraft aufzuwenden, kann eine kurze, steile Steigungsstrecke mit etwas zusätzlicher Kraftanstrengung mühelos überwunden werden. Muss derselbe Nei-

gungsgrad über eine längere Distanz überwunden werden, kann dies viel Anstrengung für den Radfahrer bedeuten. Von der niederländischen RONA-Kommission wird empfohlen, dass eine Steigung eine maximale Höhe von 5 m überwindet. Danach sollte zunächst ein horizontaler Abschnitt mit einer Länge von ca. 25 m folgenden, bevor ein weiterer Höhenunterschied überwunden werden muss. Für eine Gefällestrecke gelten die gleichen Neigungsgrade wie für Steigungen. Allerdings ist hier ein horizontaler Streckenabschnitt nicht erforderlich. Es muss jedoch darauf geachtet werden, dass die Geschwindigkeiten der abwärts fahrenden Radfahrer nicht zu groß werden (C.R.O.W. 1995, S. 119). Tabelle 4.4 zeigt vorgeschlagene Richtwerte für die Längsneigungen in Abhängigkeit der Steigungsstrecke.

Steigung [%]	Max. Länge der Steigungsstrecke [m]
10	20
6	65
5	120
4	250
3	>250

Tab. 4.4: Richtwerte für Längsneigungen eines Radweges in Abhängigkeit von der Länge der Steigungsstrecke. Quelle: FSG 1995, S. 71.

Zur Vereinfachung sollen die Steigungen allerdings nur nach den Steigungsprozenten und nicht im Bezug auf die Länge der Steigungsstrecke eingeteilt werden. Der ADFC (2006) schlägt hierzu die Verwendung von zwei Steigungsklassen vor:

- Beachtenswerte Steigung: Etwa 3%-7% Steigung, mindestens 30 m Höhendifferenz.
- Starke Steigung: Über 7%, mindestens 30 m Höhendifferenz.

Auf Grundlage dieser Informationen werden folgende Kostenfaktoren für die verschiedenen Steigungen zugeordnet:

Steigungsklasse	Kostenfaktor
unter 3%	1
3% - 7%	5
über 7%	10

Tab. 4.5: Kostenfaktoren der verschiedenen Steigungsklassen. Quelle: eigener Entwurf.

FRASCH (2006, S. 25) unterteilt die verschiedenen Längsneigungen weiterhin nach dem vorhandenen Quergefälle. Gerade im Bereich der Rollstuhlnavigation spielt das Quergefälle auch eine entscheidende Rolle. Bei der Fahrradnavigation wird allerdings davon ausgegangen, dass das Quergefälle der Strecken vernachlässigt werden kann und wird an dieser Stelle daher nicht weiter berücksichtigt.

Die Steigung kann z.B. durch die Berücksichtigung von vorhandenen Höhenpunkten des Einzugsgebiets in die Routenberechnung eingebunden werden, wie es bei dem Planer BBBike

(vgl. Kap. 2.3.1) der Fall ist. Die Höhenpunkte sind im Vorfeld aus topographischen Übersichtskarten von Berlin im Maßstab 1:5000 sowie topographischen Karten im Maßstab 1:1000 ermittelt worden. Die Steigungs- sowie Gefälleberechnung erfolgt durch Interpolation zwischen den ermittelten Höhenpunkten (vgl. REZIC 1999, S. 20 und S. 52). Trotz vorliegender Höhendaten ist diese Option aufgrund sehr geringer Höhenunterschiede im Testgebiet nicht realisiert worden.

4.7.3 Bevorzugung oder Vermeidung von Hauptstraßen

Radverkehrsnetze sollen den Radfahrern innerhalb eines Planungsraumes für alle Fahrten sichere, bequeme und möglichst direkte Wege mit kurzer Reisezeit anbieten. Sie setzen sich aus Hauptverbindungen sowie untergeordneten Verbindungen auf Stadtteil- oder Quartiersebene zusammen und werden durch Freizeitverbindungen ergänzt. Auf Hauptverkehrsstraßen ist die Trennung zwischen Radfahrern und Kraftfahrzeugen als Regelfall anzusehen. Dafür kommen Radfahrstreifen oder Radwege in Betracht. Ein Mischverkehr des Radverkehrs mit dem Kraftfahrzeugverkehr auf der Fahrbahn wird standardmäßig auf Straßen mit weniger Kraftfahrzeugverkehr (z.B. Erschließungsstraßen) durchgeführt. Neben Radwegen entlang von Hauptverkehrsstraßen und Mischverkehr existieren die selbständig geführten Radwege. Hierzu gehören alle Geh- und Radwege, die nicht im Zuge von Straßen verlaufen. Im innerörtlichen Bereich eignen sich hierfür insbesondere Wege entlang von Gewässern oder Bahntrassen, in Grünanlagen, Erholungs- und Wohngebieten. Selbständig geführte Radwege können den Radfahrern ein hohes Maß an Attraktivität und Verkehrssicherheit bieten. Sie eignen sich deshalb außer für den Freizeitverkehr auch für den Alltagsverkehr im Verlauf stark belasteter Hauptverbindungen. Zusätzlich können Wege für den land- und forstwirtschaftlichen Verkehr als Ersatz für straßenbegleitende Radwege dienen (FSG 1995, S. 9ff).

Laut C.R.O.W. (1995, S. 20) fühlt sich ein Radfahrer am wohlsten bei einer Geschwindigkeit zwischen 16 und 20 km/h auf einem ruhigen Radweg ohne Gegen- oder Querverkehr. Dabei spielt die Verkehrsbelastung der verwendeten Straße eine große Rolle. Der ADFC (2006) unterteilt die Verkehrsbelastung und die daraus resultierende Eignung der Straße für die Radfahrer in 3 Kategorien:

- autofreie bis ruhige Strecke. Nicht mehr als 1000 Kfz/Tag (d.h. maximal 1 Kfz pro Minute) befahren diesen Weg. Nebeneinanderradeln ist auf weiten Strecken möglich, die Route ist für Familien geeignet.
- mäßig befahrene Strecke (1000-3000 Kfz/Tag, d.h. 1-3 Kfz pro Minute). Nebeneinanderradeln ist nicht mehr möglich, der Autoverkehr ist jedoch noch erträglich und die Straße bietet genug Platz, so dass ungefährlich überholt werden kann.
- stark befahrene Straße (über 3000 Kfz/Tag). Kein Radweg vorhanden, Radfahren ist unangenehm. Diese Routen sind nur über kurze Distanzen als notwendige Lückenergänzung sinnvoll.

Auf Grundlage dieser Einteilung sind die Straßenkategorien der Datenbasis mit entsprechenden Kostenfaktoren belegt, was Tabelle 4.6 veranschaulicht.

Straßentyp	Kostenfaktor Hauptstrassen	
	Vermeidung	Bevorzugung
Bundesstraße/Landesstraße	10	1
Kreisstraße/Gemeindestraße	5	5
Sonstige Wege, selbstständig geführte Radwege	1	10

Tab. 4.6: Kostenfaktoren der verschiedenen Straßentypen.
Quelle: eigener Entwurf.

4.7.4 Bevorzugung grüner Wege

Eine Begrünung des Radweges kann nach C.R.O.W. (1995, S. 301ff) vor allem folgende Funktionen für einen Radfahrer erfüllen:

- Attraktivierung der Radverkehrsverbindung und der Aufenthaltsqualität
- Verringerung der Windbehinderung
- Reduzierung von Blendlicht von entgegenkommenden Autos, wenn der Radweg parallel zur Fahrbahn verläuft.

Eine Begrünung hat zusätzlich die Verstärkung und Erhaltung von landschaftlichen Umgebungsmerkmalen als Funktion. Dabei muss zwischen Radwegen bzw. Routen, die ausschließlich in der Freizeit genutzt werden und Alltagsrouten unterschieden werden. Letztere müssen jederzeit benutzbar sein, so dass die Begrünung die Sicht auf die Straße oder den Radweg nicht behindern darf. Bei Freizeitrouten ist vor allem die hohe Aufenthaltsqualität von Bedeutung. Tabelle 4.7 zeigt die Bedeutung von Begrünung für Alltags- und Freizeitrouten.

Funktionen oder negative Nebenwirkung von Begrünung	(teilweise) Alltagsroute	Ausschließlich als Freizeitroute genutzte Radverkehrsverbindung
gute Aufenthaltsqualität (Funktion)	ziemlich wichtig	sehr wichtig
Verminderung der Windbehinderung	sehr wichtig	weniger wichtig, außer in sehr offenen Gebieten
Blendern reduzieren	wichtig	unwichtig
schlechtere Sicht auf die Straße (Nebenwirkung)	sehr wichtig	nur von Bedeutung, wenn der Radfahrer den Raum mit Autos oder Mopedfahrern teilt oder wenn dort viele Radsportler fahren
Versteck für Personen mit bösen Absichten (Nebenwirkung)	sehr wichtig	weniger wichtig

Tab. 4.7: Bedeutung der Funktion und der Nebenwirkung von Begrünung.
Quelle: C.R.O.W. 1995, S. 302.

Um den Aspekt der Begrünung in einen Fahrradrountenplaner einbeziehen zu können, müssen zunächst Informationen über die Radwege in Bezug auf ihre Begrünung vorhanden sein. Dies kann durch eine Verschneidung zwischen Radwegen und vorhandenen Grün- und Waldflächen ermittelt werden. Allen Radwegeabschnitten kann auf diese Weise ihr prozentualer Grünanteil

nachgewiesen werden. Je mehr Grünflächen durchfahren werden, desto höher ist die Wertigkeit dieses Weges. Die Kosten, die für diese Option verwendet werden, richten sich also nach dem prozentualen Grünanteil eines jeden Streckenabschnitts. Die Zuweisung des Grünanteils kann on-the-fly oder im Vorfeld erfolgen. Aus Performancegründen ist letztere Methode vorzuziehen.

Für die Berechnung des Grünflächenanteils werden zunächst alle in Betracht kommenden Grünflächen (Wald, Wiese, etc.) zu einem Datensatz Grünflächen vereinigt. Danach kann die Verschneidung mit den Straßenabschnitten erfolgen. Je nach Anteil der Grün- oder Waldfläche erhält jeder Straßenabschnitt einen Wert zugeordnet, der dem Grünanteil entspricht. Anhang dieses Wertes wird der entsprechende Linienabschnitt in der Routenberechnung gewichtet.

4.7.5 Bevorzugung landschaftlich schöner Wege

Schwierig wird die Beurteilung von Kriterien, die einen starken subjektiven Aspekt beinhalten, wie z.B. landschaftliche schöne Wege. Denn nicht jede Person empfindet ein Landschaftsbild als gleichartig schön. Um den Anspruch der Begriffspräzisierung gerecht zu werden, muss man sich ins Bewusstsein rufen, dass im Gegensatz zum Allgemeinen Sprachgebrauch Ästhetik nicht dasselbe ist wie Schönheit und Landschaftsästhetik nicht dasselbe wie Landschaftsbild. Es geht um den Vorgang, mit dem unsere Sinnesorgane bestimmte Qualitäten unserer Umwelt und von ihr ausgehende, wichtige Informationen erlangen. Diese Informationen werden von uns verarbeitet, um nach einer Bewertung, die im Verlauf der Evolution einen immer individuelleren Charakter angenommen hat, darauf zu reagieren. Dabei wird die Landschaftsästhetik eines jeden Individuums durch die Sinne Sehen, Hören, Riechen, Tasten und Schmecken erfasst (SWO 2005). Mit den Fernsinnen, wie Sehen und Hören können Dinge über größere Distanzen wahrgenommen werden. Dabei spielt das Sehen die wichtigste Rolle. Über 80-90% der menschlichen Sinneswahrnehmung läuft über das Auge ab (DEMUTH 2000, S. 9). Das Wahrgenommene entspricht dabei nicht der Realität, sondern ist eine Mischung aus Realität, Erinnerung und Erwartung. „Die Wahrnehmung und das Erleben sowie die damit verbundene Bewertung sind also immer nur begrenzt präzisierbar und standardisierbar, da hierbei individuelle Erfahrungen eine entscheidende Rolle spielen“ (DEMUTH 2000, S. 9). Entscheidend für die individuelle Empfindung sind die Komponenten, die sich aus der Persönlichkeit des Betrachters ergeben. Diese werden als interne Faktoren bezeichnet.

Die Bestimmung des ästhetischen Wertes einer Landschaft hat zum Ziel, der Landschaft selber oder dem durch die sinnliche Wahrnehmung und Interpretation der Landschaft entstandenen Landschaftsbild mit Hilfe von ästhetischen Grundsätzen einen Wert zuzuordnen. Unter dem Landschaftsbild versteht man dabei das durch den Betrachter gefilterte Produkt des Landschaftserlebnisses, welches wiederum das sinnliche Erleben der Landschaft umfasst. Aus erkenntnistheoretischer Sicht gefällt eine Landschaft umso besser, wenn sie möglichst alle Sinnebenen anspricht und wenn sie möglichst viele der menschlichen Bedürfnisse wie z.B. Orientierung und Ordnung befriedigt (SCHÜPBACH 2000, S. 9ff).

Zur Bewertung von Landschaftsbildqualitäten gibt es eine Vielzahl unterschiedlicher Methoden. Für nahezu alle diese Verfahren fehlen bisher Untersuchungen zur Erfüllung wissenschaftlicher Anforderungen, insbesondere hinsichtlich der Validität (ROTH 2003, S. 1). Um eine Landschaft

zu bewerten, gibt es grundsätzlich zwei Vorgehensweisen. Zum einen kann eine expertenorientierte Bewertung durchgeführt werden. In diesem Fall bewertet ein Experte bzw. eine Person, die sich beruflich mit Landschaft beschäftigt, die Landschaft mit Hilfe eines Kriterienkatalogs. Zum anderen gibt es die benutzerorientierte Bewertung, bei der die Bewertung durch die potentieller Benutzer vollzogen wird. Dies kann z.B. durch empirische Untersuchungen geschehen (SCHÜPBACH 2000, S. 15). Bei der letzteren Bewertungsmethode wird unter anderem angenommen, dass bestimmte Charakteristika und Elemente der Landschaft im Sinne eines Reiz-Reaktions-Mechanismus zu einer bestimmten Bewertung führen. Die einmal abgeschlossene empirische Ergründung dieses Mechanismus soll es daher erlauben, die ästhetische Qualität der meisten Landschaften und die ästhetischen Konsequenzen von Veränderungen konsistent und verlässlich aufgrund ihrer physischen Ausprägung vorauszusagen (HUNZIKER 2000, S. 2).

Bei jedem Individuum können Faktoren, die für eine Routenwahl entscheidend sind, unterschiedliche Bedeutungen haben. Für die Attraktivität einer Strecke ist es also schwierig, Grenzwerte anzugeben, da das Fahrerlebnis eine sehr subjektive Angelegenheit ist (C.R.O.W. 1995, bis z, S. 28).

Es ist zu überlegen, ob z.B. Naturschutzgebiete oder Biosphärenreservate als landschaftlich schöne Gebiete klassifiziert werden können. Auf diese Weise würde die Differenzierung von Gebieten zunächst leichter fallen, wenn keine entsprechenden Daten zu den Gebieten vorliegen. Da keine Bewertung für das Testgebiet vorliegt und auch Daten zu möglichen Schutzgebieten fehlen, muss zunächst auf die Umsetzung dieser Option verzichtet werden.

4.7.6 Bildung von Profilen

Laut dem ADFC (2006) legen „Familien mit Kindern Wert auf möglichst autofreie Wege mit wenigen Steigungen. Sportliche Radler dagegen wollen Routen mit guter Oberfläche, nehmen aber Autoverkehr und Steigungen in Kauf. Mountainbiker wiederum sind dankbar für Strecken mit schlechter Oberfläche, sie suchen geradezu Steigerungserlebnisse“. Die Eingabe bzw. Kombination von Optionen kann also etwas über das Profil des Radfahrers aussagen. Im Gegenzug können im Vorfeld bestimmte Profile definiert und dem Anwender zur Auswahl gestellt werden. Gerade bei einer Fülle von auswählbaren Optionen behält der Anwender auf diese Weise einen besseren Überblick. Tabelle 4.8 zeigt eine Möglichkeit auf, wie Profile für die unterschiedlichen Fahrradtypen aussehen könnten.

	Rennrad	Mountainbike	Familie	Freizeit
Steigung	x	x	x	
Beschaffenheit	x	x		
grüne Wege		x	x	x
landschaftlich schöne Wege			x	x
Bevorzugung Hauptstraßen	x			
Vermeidung von Hauptstraßen		x	x	x

Tab. 4.8: Bildung von Radfahrer-Profilen. Quelle: eigener Entwurf.

So sind für die Rennradfahrer vor allem die Optionen Steigung und Beschaffenheit von Interesse. Das gleiche gilt für die Mountainbike-Fahrer. Allerdings werden sie grüne Wege im Gelände bevorzugen. Hauptstraßen hingegen sind nicht attraktiv für Mountainbike-Fahrer. Für den Familienausflug per Rad ist sowohl die Steigung als auch die Vermeidung von Hauptstraßen gerade für kleinere Familienmitglieder wichtig. Außerdem wird angenommen, dass sowohl beim Familienausflug als auch bei einer Freizeitfahrradtour grüne sowie landschaftlich schöne Wege bevorzugt werden.

Um eine Auswahl von Optionen durch unterschiedliche Profile korrekt realisieren zu können, müssten die oben vorgestellten möglichen Profile zunächst validiert werden. Zusätzlich gibt es gewiss weitere Profile, die in dieser Aufstellung fehlen. So soll die Überlegung der Profilbildung lediglich als Ansatz dienen, an dieser Stelle aber nicht weiter verfolgt werden.

4.8 Routenberechnung auf Grundlage einer Distanzangabe

Wie die Befragung in Kapitel 3 gezeigt hat, können sich die Freizeitradfahrer durchaus vorstellen, eine Fahrradrouten auf Grundlage einer Distanzangabe zu berechnen. 50,3% aller Befragten (388 Nennungen) gaben an, dass sie diese Funktion bei einem interaktiven Fahrradrouutenplaner im Internet nutzen würden. Aus diesem Grund soll im Folgenden untersucht werden, wie eine Fahrradrouten auf Grundlage einer Distanzeingabe berechnet werden kann. Dazu werden drei verschiedene Fälle betrachtet, die bei der Planung einer Tour in Frage kommen können. Tabelle 4.9 stellt diese Fälle dar.

Fall	Distanz	Startpunkt	weitere POI	anzufahrende Kategorien wie z.B. Café, Wald
1	X	X		
2	X	X	X	
3	X	X		X

Tab. 4.9: Übersicht über die zu betrachtenden Fälle bei der Routenberechnung auf Grundlage einer Distanzangabe. Quelle: eigener Entwurf.

Im Fall 1 wird dem Nutzer eine Route auf Grundlage einer Distanzeingabe und des Punktes, an dem die Route beginnen soll, berechnet. Fall 2 erweitert dieses Vorgehen auf das Einbinden weiterer POI, die auf der Strecke angefahren werden sollen. In Fall 3 werden die Vorgaben aus Fall 1 durch die Angabe anzufahrender Kategorien erweitert. Bei diesen Kategorien handelt es sich um eine unscharfe Angabe wie z.B. Cafés, Wald, Schwimmbad etc. Der Anwender gibt nicht einen konkreten Punkt an, sondern nur die Kategorie, die der anzufahrende Punkt angehören soll. Zur Lösung der Fälle wird zunächst ein Konzept ausgearbeitet, welches eine Routenberechnung auf Grundlage einer Distanzeingabe ermöglicht. Wichtig dabei ist, dass das Ergebnis der Routenberechnung eine Rundtour darstellt. Der Anwender beginnt und beendet seine Fahrradtour an dem von ihm angegebenen Startpunkt.

4.8.1 Bereits existierende Verfahren

Eine Routenberechnung auf Grundlage einer Distanzeingabe ist bereits in einigen Verfahren von ZIPF (1999), STROEMER (2002) und HAAS (2005) untersucht worden. Während STROEMER und HAAS sich auf den Bereich der Fahrradrouutenplanung konzentrierten, entwickelte ZIPF ein Verfahren für die mobile Fußgängernavigation. Bei allen Verfahren stand die Auswahl von Haltepunkten, die durch eine bestimmte Distanz angefahren werden können, im Fokus. ZIPF konzentrierte sich auf eine bestimmte Zeitspanne, die eingehalten werden soll. Allen gemein ist die Pufferung des eingegebenen Startpunkts mit einer bestimmten Distanz. Während HAAS den Puffer basierend auf der euklidischen Distanz zum Eingabepunkt erzeugt, berechnen sowohl ZIPF als auch STROEMER einen Einzugsbereich für den Startpunkt. Das bedeutet, dass alle Linienabschnitte, die in einer bestimmten Distanz oder Zeitspanne vom Startpunkt aus erreicht werden können, selektiert werden. Sowohl HAAS als auch ZIPF und STROEMER ermitteln alle POI, die sich innerhalb des berechneten Bereiches befinden. Während bei STROEMER alle POI auf der Route angefahren werden, wählt HAAS nur diejenigen aus, die der Anwender im Vorfeld in Form einer Kategorieeingabe (z.B. Cafes, Schwimmbad) selektiert hat und dünnt diese Punktemenge der anzufahrenden Haltepunkte aus. Bei ZIPF hingegen werden nur die auf das Benutzerprofil passenden POI für eine Route über eine räumliche Selektion ausgewählt und die Zahl der sinnvoll zu besuchenden POI in der gegebenen Zeitspanne abgeschätzt (ZIPF 2004).

Da es gerade in ländlichen Gebieten, die gerade im Bereich des Fahrradrouting bevorzugt werden vorkommen kann, dass nur wenige POI oder sogar keine POI im Untersuchungsgebiet vorhanden sind, soll im Rahmen dieser Arbeit ein Verfahren entwickelt werden, welches losgelöst von der Auswahl von Haltepunkten nur auf Basis der Linienabschnitte des zugrunde liegenden Straßennetzes eine Route berechnet. Das Vorgehen des Verfahrens wird auf den nächsten Seiten dokumentiert.

4.8.2 Entwickelte Vorgehensweise

Um zunächst den Bereich, der für die Routenberechnung in Frage kommt, zu ermitteln, wird der Startpunkt zu Beginn gepuffert. Dieses Vorgehen wurde bereits in anderen Verfahren (s. Kap. 4.8.1) erfolgreich angewendet. Um die Rechenzeit zu verkürzen, basiert die Pufferbildung in dieser Arbeit auf der euklidischen Distanz. Die Pufferdistanz muss so ausgewählt werden, dass die Länge der Route die vom Nutzer angegebene Distanz innerhalb des Pufferbereichs nicht überschreitet. Da der Puffer des Startpunkts geometrisch einem Kreis entspricht, soll der Kreisumfang Auskunft über die Puffergröße geben. Ein Kreis ist eine eckenlose Figur, wobei jeder Punkt, der auf dem Kreis liegt, die gleiche Distanz zum Mittelpunkt des Kreises hat. Der Radius ist die Hälfte des Durchmessers. Die Maße eines Kreises werden wesentlich durch die Zahl π (Pi) charakterisiert. π ist das Verhältnis des Umfangs zum Durchmesser eines Kreises ($\pi \approx 3,1415926536$) (BRÄUNLING 2001). Der Kreisumfang wird durch $U = 2\pi * r$ berechnet. Dabei stellt U den Kreisumfang und r den Radius des Kreises dar. Soll der Kreisumfang der Distanzeingabe d des Nutzers weitestgehend entsprechen, so muss der Radius des Puffers nach der Formel $r = d / 2\pi$ berechnet werden.

Ist der Puffer berechnet, muss nun innerhalb des Pufferbereichs eine Route gefunden werden, die den Vorgaben des Nutzers entspricht. Sowohl STROEMER (2002) als auch HAAS (2005) selektieren in dem Pufferbereich alle vorhandenen POI. STROEMER verbindet diese Punkte zu einer Rundtour, HAAS bildet zunächst die konvexe Hülle der Punkte, um die Punktemenge auszudünnen und um eine möglichst kreisförmige Route zu erhalten. Die konvexe Hülle einer Punktemenge M in der Ebene ist die kleinste konvexe Menge, in der M enthalten ist (LANG 2005). Bei der konvexen Hülle einer Punktemenge handelt es sich also um das Polygon mit dem kürzesten Rand, so dass alle Punkte im Inneren des Polygons liegen (RYHNER und ACKERMANN o.J.) (s. Abb. 4.16). Zur Berechnung der konvexen Hülle gibt es zahlreiche Algorithmen, die unter anderem bei NÄHER (2004) beschrieben sind.

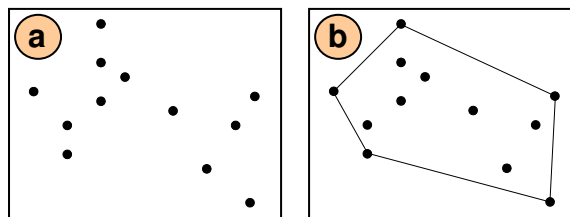


Abb. 4.16: Punktemenge (a) und deren konvexe Hülle (b): Quelle: LANG 2005.

HAAS geht weiterhin davon aus, dass bei der Wahl der POI nur Kategorien ausgewählt werden können, nicht aber konkrete POI. Lediglich der Startpunkt soll als ein konkreter Punkt angegeben werden. Die Angabe von konkreten POI wurde in der Arbeit von HAAS nicht berücksichtigt, um keine Einschränkungen bezüglich der Tour vornehmen zu müssen und dem Anwender die gesamte Bandbreite der Lösungen vorzustellen (HAAS 2005, S. 51). Diese Einschränkung soll in dieser Arbeit nicht vorgenommen werden, da sie die Flexibilität für den Anwender sehr einschränkt.

Erst nach der Selektion aller POI im Pufferbereich und der Bildung der konvexen Hülle prüft HAAS, ob alle gesuchten Kategorien in der übrig gebliebenen Punktemenge vorhanden sind. Dieses Vorgehen ist sicherlich sinnvoll und möglich, wenn im Testgebiet zahlreiche POI vorliegen. Eine große POI-Menge bedingt allerdings, dass der Anwender möglicherweise mehrere Punkte einer Kategorie, die er ausgewählt hat, anfahren muss. Bei wenigen POI im Testgebiet ist es unmöglich, eine sinnvolle Route auf diese Weise zu erzeugen, da es passieren kann, dass sich nur ein oder möglicherweise kein POI im Pufferbereich befindet.

Im Rahmen dieses hier vorzustellenden Konzepts werden nach der Pufferung des Startpunkts alle Linienabschnitte selektiert, die sich in dem Pufferbereich befinden. Für die selektierten Linienabschnitte sollen in einem nächsten Schritt Start- und Endkoordinaten ermittelt werden, so dass eine große Punktemenge entsteht. Um die Punktemenge zu verringern, wird wie bei HAAS die konvexe Hülle dieser Punktemenge gebildet. Die resultierenden Punkte werden mit Hilfe des Algorithmus zur Berechnung einer Rundtour, welcher in Kapitel 4.6 beschrieben ist, verbunden. Die Form der Route spielt im Gegensatz zu der von HAAS angestrebten kreisähnlichen Form zunächst keine Rolle. Es wird angenommen, dass eine kreisähnliche Route gegenüber einer länglichen Route keinerlei Vorteile aufweist, solange Wege nicht doppelt befahren werden.

Im Folgenden sollen die in Tabelle 4.9 dargestellten drei Fälle genauer betrachtet und ein Lösungsweg gefunden werden. Zur Lösung des Problems wird ein empirisches Vorgehen gewählt. Dies ist mit zahlreichen Unbekannten zu begründen, die in einem Straßennetz vorliegen. So kann das Straßennetz sehr dicht sein, kann starke Lücken aufweisen oder aber Barrieren enthalten. Daher reagiert das Straßennetz auf eine anzuwendende Methode je nach Beispielregion anders. Aus diesem Grund werden in verschiedenen Fallbeispielen und Tests Ergebnisse validiert und weiterentwickelt oder verworfen. Zunächst soll das Problem der Routenberechnung auf Basis eines Startpunkts und einer Distanzeingabe genauer betrachtet werden (s. Tab. 4.9, Fall 1).

Für den ersten zu untersuchenden Fall wird angenommen, dass der Anwender einen konkreten Startpunkt sowie eine Distanzeingabe als Grundlage für die Routenberechnung eingibt und eine Fahrradroute mit einer Länge von beispielhaft 10 km in Form einer Rundtour von seinem Startpunkt aus erhalten möchte. Wie oben beschrieben, wird der Startpunkt zunächst mit dem Radius $r = d / 2\pi$ gepuffert. So erhält man für eine gewünschte Länge von 10 km einen Radius von $r = 10 / 2\pi \approx 1,6$ km.

In einem nächsten Schritt werden alle Linienabschnitte, die in dem Pufferbereich liegen, selektiert. Dabei ist zu überlegen, ob alle Linien, die nur genau innerhalb des Puffers liegen (a), oder alle Linien, die sich mit dem Puffer schneiden (b), in die Selektion einbezogen werden. Eine dritte Variante kann erreicht werden, indem für alle Linien, die über den Pufferrand hinausgehen, Schnittpunkte mit dem Pufferrand gebildet werden. Die dann in dem Puffer liegenden Linien werden selektiert (Variante c). Abbildung 4.17 stellt die drei Varianten graphisch dar. Die selektierten Linienabschnitte sind in rot dargestellt.

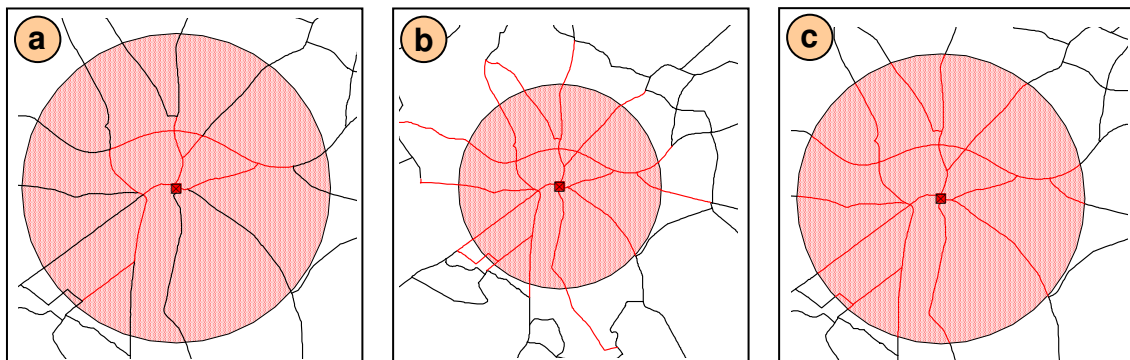


Abb. 4.17: Im Puffer selektierte Linienabschnitte.
 Variante a: alle Linien, die sich genau innerhalb des Puffers befinden, werden selektiert.
 Variante b: alle Linien, die sich mit dem Puffer schneiden, werden selektiert.
 Variante c: nach der Schnittpunktbildung zwischen Pufferrand und Linien werden alle Linien, die sich innerhalb des Puffers befinden, selektiert.

Für die gefundenen Linienabschnitte werden nun die Start- und Endknoten ermittelt. Diese Punktemenge wird ausgedünnt, indem die konvexe Hülle dieser Menge berechnet wird. Das Ergebnis für alle drei Varianten ist in Abbildung 4.18 dargestellt. Dabei stellt die blau gepunktete Linie die konvexe Hülle der gefundenen Punktemenge dar. In Variante a beträgt der Umfang der konvexen Hülle ca. 7 km, Variante b umfasst ca. 14 km, Variante c 9,9 km.

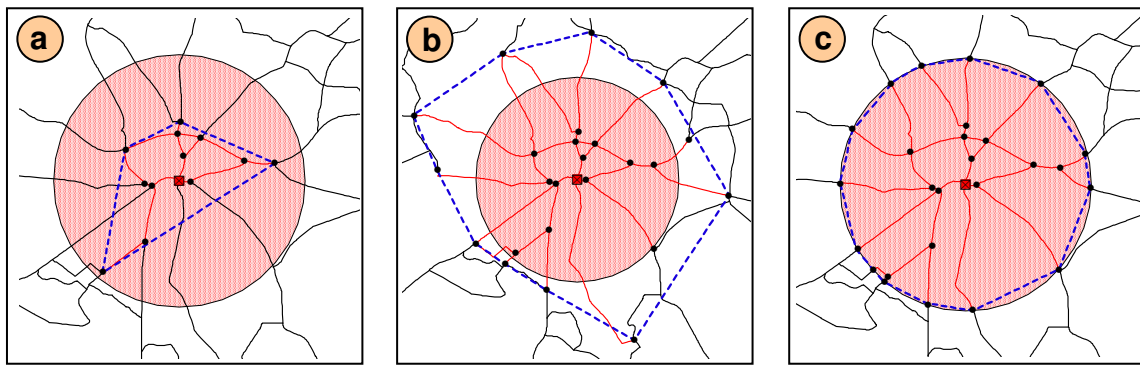


Abb. 4.18: Konvexe Hülle der Start- und Endpunkte aller Linien, die sich
a: innerhalb des Puffers befinden,
b: sich mit dem Puffer schneiden oder
c: auch innerhalb des Puffers liegen nach vorheriger Schnittpunktbildung.

Um eine Route für alle drei Varianten zu erhalten, wird für den Startpunkt und die Punktmenge, die die konvexe Hülle bildet, der Ameisenalgorithmus zur Lösung eines Traveling Salesman Problems angewendet. Mögliche Ergebnisse für die drei Varianten zeigen Abbildungen 4.19.

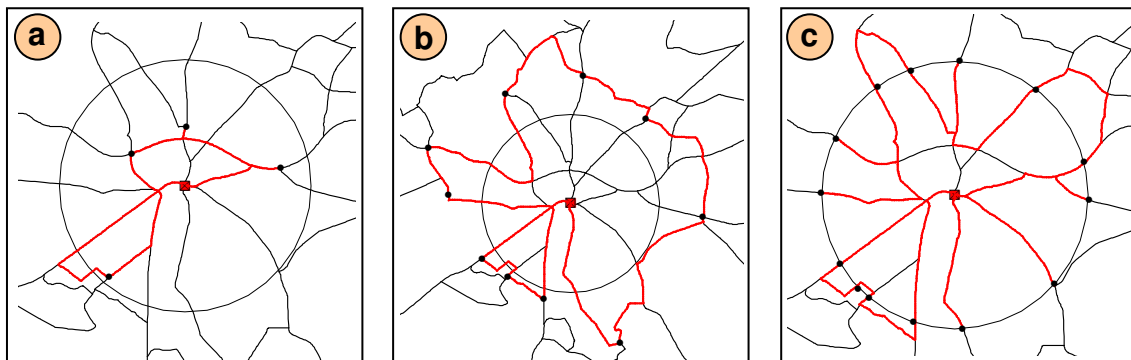


Abb. 4.19: Mögliche Rundtouren auf Basis der vorher erzeugten konvexen Hüllen.
Variante a: Länge ca. 8 km.
Variante b: Länge ca. 25 km.
Variante c: Länge ca. 28 km.

Nach Messung der Routenlängen wird für die Variante a ca. 8 km, für die Variante b ca. 25 km ermittelt. Dies Ergebnis zeigt, dass Variante a der eingegeben Distanz sehr viel näher kommt als Variante b. Ein Grund hierfür kann die Lage der einzelnen Linienabschnitte sein, so dass die Route in anderen Bereichen des Netzwerkes ganz anders aussehen kann. Die Routenlänge bei Variante c beträgt ca. 28 km. Dies ist vor allem durch zahlreiche doppelt befahrene Wege bedingt.

Auf den ersten Blick wird deutlich, dass alle Varianten keine homogene Route als Ergebnis zurückliefern, sondern sehr viele doppelt befahrene Wege beinhalten und daher ausgefranst wirken. Dies ist mit dem im Zentrum des Pufferbereichs liegenden Startpunkts zu begründen. Besser wäre es daher, wenn der Startpunkt auch am Rand des Puffers liegen würde, so dass eine wohlgeformte Route entsteht. So wird in einem nächsten Schritt der Puffer so berechnet, dass der Startpunkt sich auf dem Rand befindet. Hierbei stellt sich natürlich zwangsläufig die

Frage, in welche Richtung der Puffer gesetzt werden soll. Möglich wäre die Angabe einer Himmelsrichtung durch den Benutzer, wie in Abbildung 4.20 skizziert.

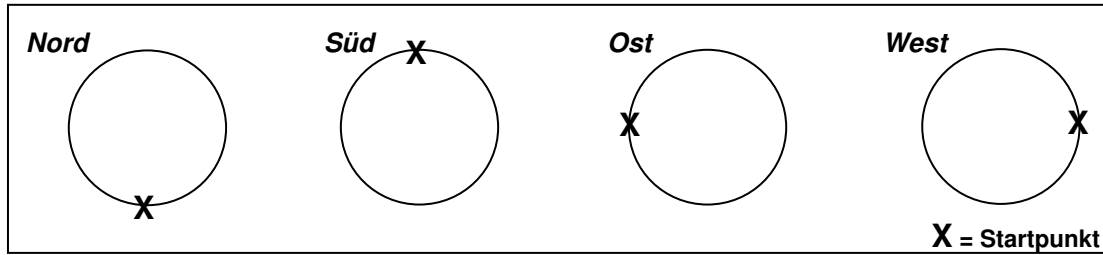


Abb. 4.20: Angabe einer Himmelsrichtung für die Pufferausrichtung.
Quelle: eigener Entwurf.

Diese Möglichkeit ist für in der Region unerfahrene Anwender nicht vorteilhaft, da sie nicht wissen, in welche Richtung sie fahren können bzw. sollten. Daher sollte diese Möglichkeit nur als optional in Betracht gezogen werden. Sinnvoller wäre da die Ausrichtung des Puffers nach einem vom Startpunkt abgehenden Linienabschnitt, wobei die Auswahl des Linienabschnittes zufällig erfolgt. Der Vorteil hierbei ist, dass der Startpunkt auf jeden Fall innerhalb des Pufferbereiches per Linienabschnitt angebunden ist und daher die Möglichkeit einer wohlgeformten Route wahrscheinlicher ist. Abbildung 4.21 zeigt, wie die Ergebnisse für die selektierten Linienabschnitte (rot) und die konvexe Hülle der Start- und Endpunkte der Linienabschnitte (blau) aussehen können, wenn der Startpunkt sich auf dem Pufferrand befindet und der Puffer in die Richtung des ersten vom Startpunkt abgehenden Linienabschnittes ausgerichtet ist. Variante a beschreibt hierbei wieder die Linien, die sich genau innerhalb des Pufferbereiches befinden, Variante b selektiert alle Linien, die sich mit dem Pufferbereich überschneiden, Variante c selektiert alle Linienabschnitte nach einer Schnittpunktberechnung zwischen den Linienabschnitten mit dem Pufferrand.

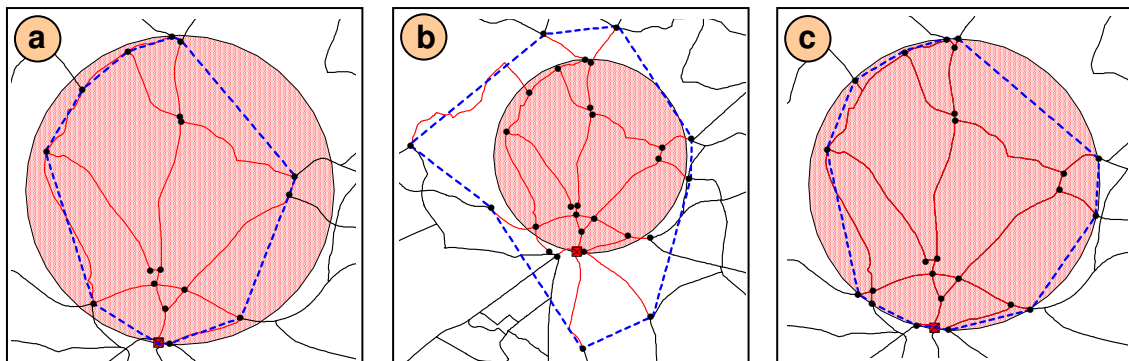


Abb. 4.21: Ergebnisse für Linienselektion und konvexe Hülle, wenn der Startpunkt sich am Pufferrand befindet.
Variante a: Linien, die genau innerhalb des Puffers liegen, werden selektiert. Umfang der konvexen Hülle: ca. 8,7 km.
Variante b: alle Linien, die Puffer schneiden, werden selektiert. Umfang der konvexen Hülle ca. 15 km.
Variante c: nach der Schnittpunktbildung zwischen Pufferrand und Linien werden alle Linien, die sich innerhalb des Puffers befinden, selektiert. Umfang der konvexen Hülle ca. 9,5 km.

Bei Variante a beträgt der Umfang der konvexen Hülle 8,7 km, Variante b bringt es auf 15 km, der Umfang der konvexen Hülle bei Variante c beträgt 9,5 km. Es wird deutlich, dass für eine Einhaltung der eingegebenen Distanz Variante a und c am besten geeignet sind. Trotzdem sollen für alle Varianten zunächst mögliche Ergebnisrouten präsentiert werden. Sie werden in Abbildung 4.22 dargestellt.

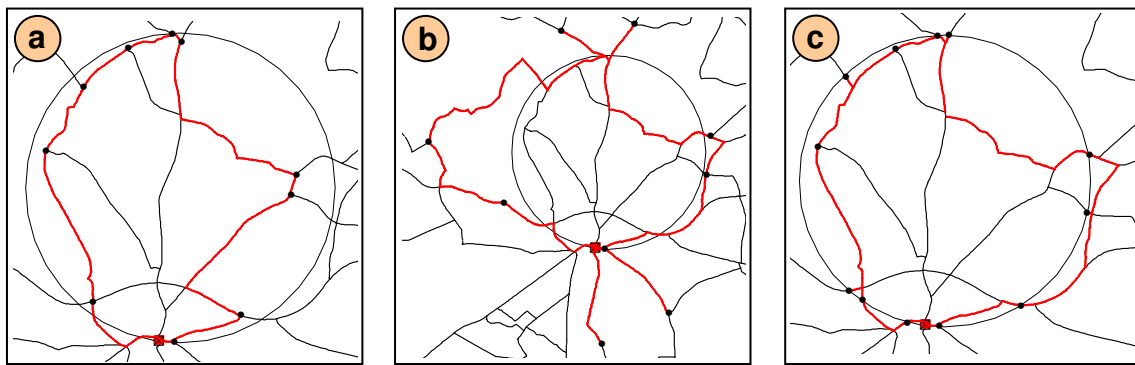


Abb. 4.22: Mögliche Rundtouren auf Basis der neuen erzeugten konvexen Hüllen.
 Variante a: Länge ca. 10 km.
 Variante b: Länge ca. 24 km.
 Variante c: Länge ca. 11,7 km.

Bei allen Varianten wird deutlich, dass die Routenform im Gegensatz zu Abbildung 4.19 eine homogenere Form aufweist. Variante b enthält allerdings weiterhin zahlreiche doppelt befahrende Wege. Die Länge der Route von Variante a beträgt ca. 10 km und entspricht so sehr gut der eingegebenen Distanz. Variante b weist eine Routenlänge von ca. 24 km aus. Bei Variante c beträgt die Routenlänge ca. 11,7 km. Auch dieser Wert ist noch geeignet als Ergebnis für die gewünschte 10 km lange Tour. Auf Grundlage dieser Ergebnisse wird Variante b nicht weiter verfolgt. Es ist nun zu prüfen, ob Variante a oder Variante c eine bessere Lösung für die Berechnung einer Rundtour auf Basis einer Distanzeingabe darstellt.

In einem nächsten Schritt sollen die Varianten a und c in mehreren Fallbeispielen getestet werden, so dass ermittelt werden kann, welche Variante am besten geeignet ist. Für die Entscheidung, ob Variante a oder c besser geeignet ist, spielen nicht nur die Ergebnisse sondern auch die Laufzeiten der Varianten eine entscheidende Rolle.

Für den Vergleich der Varianten soll eine Route mit einer Distanz von 15 km berechnet werden. Dabei wird zum einen ein Datensatz aus einem ländlichen Gebiet ausgewählt, zum anderen Straßendaten aus einem städtischen Bereich verwendet. Die Startpunkte sind für beide zu untersuchenden Varianten jeweils für die Ausprägung *ländlich* oder *städtisch* identisch. Während im ländlichen Bereich das Routennetz weite Maschen aufweist, liegt im städtischen Bereich ein eher dichtes Straßennetz vor. Tabelle 4.10 listet zusammenfassend die 4 durchzuführenden Fallbeispiele auf.

Fallbeispiel	Gewünschte zu fahrende Distanz	Räumliche Lage des Straßennetzes	Variante
1	15 km	ländlich	a
1	15 km	ländlich	c
2	30 km	ländlich	a
2	30 km	ländlich	c
3	15 km	städtisch	a
3	15 km	städtisch	c
4	30 km	städtisch	a
4	30 km	städtisch	c

Tab. 4.10: Übersicht der zu untersuchenden Fallbeispiele für Variante a und c.

4.8.2.1 Fallbeispiel 1: 15 km lange Route im ländlichen Bereich

Wie bereits oben beschrieben, wird für die Berechnung einer Route auf Basis einer Distanzeingabe zunächst der Radius berechnet, mit dem ein Puffer gebildet werden soll. Die Berechnung erfolgt nach $r = d / 2\pi$. Für eine 15 km lange Tour muss demnach ein Puffer mit einem Radius von ca. 2,4 km erzeugt werden. Die Ausrichtung des Puffers erfolgt zufällig nach einem Linienabschnitt, der vom definierten Startpunkt abgeht. Die Ermittlung der Route erfolgt wie in Kap. 4.8.2.1 beschrieben. Abb. 4.23 und 4.24 zeigen konvexe Hülle und mögliche Route der Variante a.

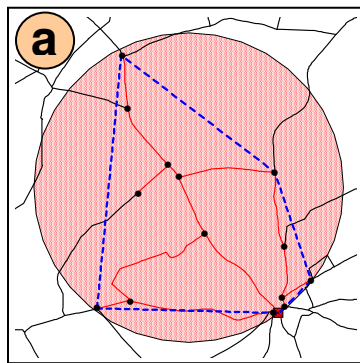


Abb. 4.23: Die konvexe Hülle der Variante a für die Berechnung einer 15 km langen Route im ländlichen Bereich. Der Umfang beträgt ca. 12,2 km.

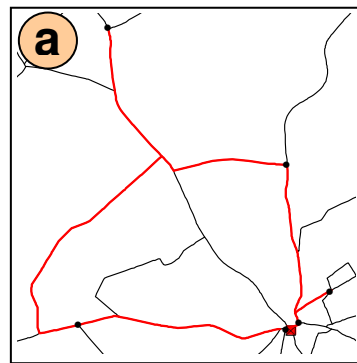


Abb. 4.24: Eine mögliche Route der Variante a für die Berechnung einer 15 km langen Route im ländlichen Bereich. Die Länge beträgt ca. 15,3 km.

Der Umfang der konvexen Hülle der Variante a für die Berechnung einer 15 km langen Route im ländlichen Bereich beträgt ca. 12,2 km. Die mögliche Route weist eine Länge von 15,3 km auf. Dies liegt auf jeden Fall im Rahmen eines möglichen Ergebnisses und kann von der Länge her als sehr gut betrachtet werden. Allerdings lässt die Routenform zu wünschen übrig. Im nördlichen Abschnitt der Route existiert eine lange doppelt befahrene Strecke. Man kann natürlich argumentieren, dass für den Fahrradfahrer eine gleiche Strecke aus verschiedenen Richtungen anders wirkt und daher doppelt befahrbare Strecken akzeptabel sind. Es ist aber nicht komfortabel, am Ende einer Strecke die Fahrt zu stoppen und umzudrehen. Dadurch wird die Dynamik

der Radtour unterbrochen. Es sollte daher angestrebt werden, Routen zu ermitteln, die keine doppelt befahrenen Strecken beinhalten.

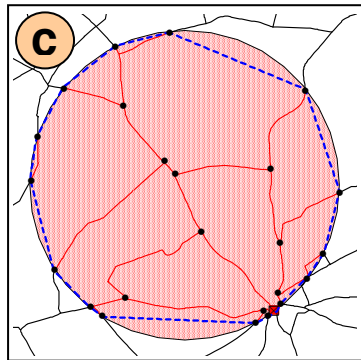


Abb. 4.25: Die konvexe Hülle der Variante c für die Berechnung einer 15 km langen Route im ländlichen Bereich. Der Umfang beträgt ca. 14,8 km.

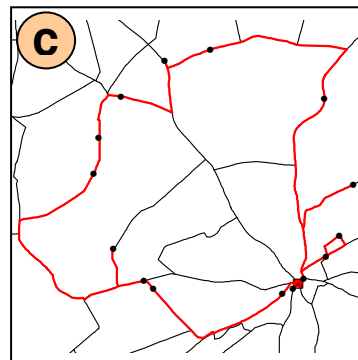


Abb. 4.26: Eine mögliche Route der Variante c für die Berechnung einer 15 km langen Route im ländlichen Bereich. Die Länge beträgt ca. 27 km.

Bei der Variante c wird deutlich, dass die konvexe Hülle sich sehr dem angelegten Pufferbereich anpasst. Der Umfang der Hülle beträgt ca. 14,8 km und erfüllt demnach schon fast die Anforderung von 15 km. Die Länge der möglichen Route von ca. 27 km von Variante c im ländlichen Raum überrascht daher nicht. Die Form der Route wirkt sehr kompakt, nur vereinzelt sind kleine Strecken doppelt befahren.

4.8.2.2 Fallbeispiel 2: 30 km lange Route im ländlichen Bereich

Im zweiten Fallbeispiel soll eine 30 km lange Route im ländlichen Bereich ermittelt werden. Hierzu wird zunächst ein Puffer mit einem Radius von $r = 30 / 2\pi = 4,8$ km ausgerichtet nach dem ersten vom Startpunkt abgehenden Linienabschnitt gebildet.

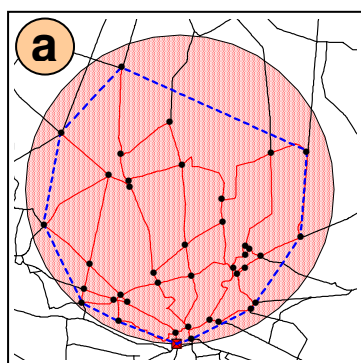


Abb. 4.27: Die konvexe Hülle der Variante a für die Berechnung einer 30 km langen Route im ländlichen Bereich. Der Umfang beträgt ca. 25,9 km.

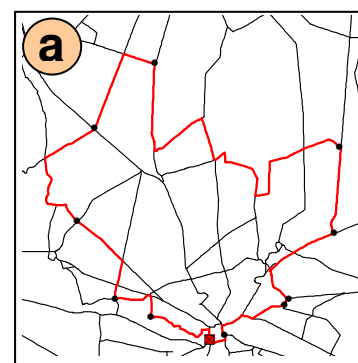


Abb. 4.28: Eine mögliche Route der Variante a für die Berechnung einer 30 km langen Route im ländlichen Bereich. Die Länge beträgt ca. 37 km.

Abbildung 4.27 zeigt, dass der Umfang der konvexen Hülle für Variante a 25,9 km beträgt. Die zugehörige Route misst bereits ca. 37 km und entspricht somit nicht den Vorgaben des Anwen-

ders. Festzustellen ist, dass sie keinerlei doppelt befahrene Wege sondern eine kompakte Form aufweist. Die Ergebnisse für Variante c fallen schlechter aus. Der Umfang der konvexen Hülle beträgt bereits fast 30 km (s. Abb. 4.29), so dass die Länge der Route mit ca. 51 km den gewünschten Rahmen sprengt (s. Abb. 4.30). Auch hier ist die Form der Route akzeptabel. Nur kurze Strecken werden doppelt befahren.

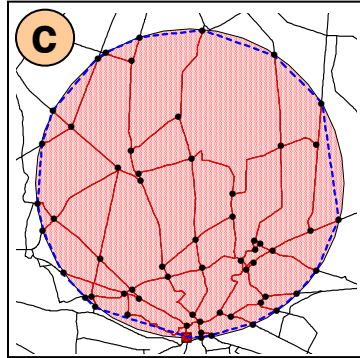


Abb. 4.29: Die konvexe Hülle der Variante c für die Berechnung einer 30 km langen Route im ländlichen Bereich. Der Umfang beträgt ca. 29,9 km.

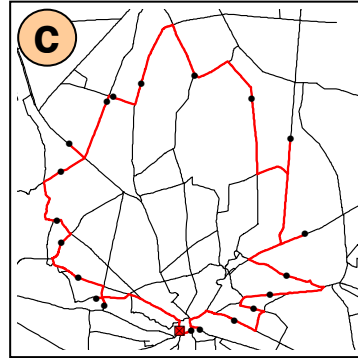


Abb. 4.30: Eine mögliche Route der Variante c für die Berechnung einer 30 km langen Route im ländlichen Bereich. Die Länge beträgt ca. 51 km.

Die beiden Versuche im ländlichen Gebiet deuten an, dass Variante a bessere Ergebnisse erzielt als Variante c, da Variante a jeweils näher an den Distanzanforderungen liegt. Im nächsten Schritt soll das Verhalten der beiden Varianten im städtischen Bereich, also einem engmaschigen Straßennetz getestet werden.

4.8.2.3 Fallbeispiel 3: 15 km lange Route im städtischen Bereich

Entsprechend dem Fallbeispiel 1 wird auch im städtischen Bereich für eine 15 km lange Tour ein Pufferradius von 2,4 km verwendet. Unterschiede zum ländlichen Bereich sind bereits bei der konvexen Hülle der Variante a zu erkennen. Während die Variante a im ländlichen Bereich meist erheblich kleinere konvexe Hüllen im Bezug zum Puffer zurückliefert, ist im städtischen Bereich eine Annäherung an den Pufferrand zu erkennen (s. Abb. 4.31). Dies ist mit dem engmaschigen Straßennetz und dadurch zahlreichen Kreuzungspunkten zu begründen. Der Umfang der konvexen Hülle ist demnach auch erheblich größer.

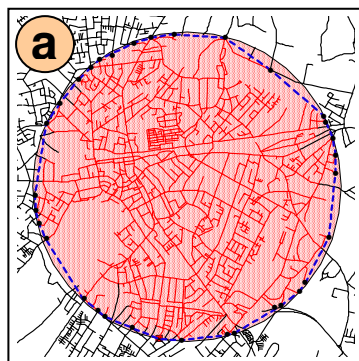


Abb. 4.31: Die konvexe Hülle der Variante a für die Berechnung einer 15 km langen Route im städtischen Bereich. Der Umfang beträgt ca. 14,8 km.

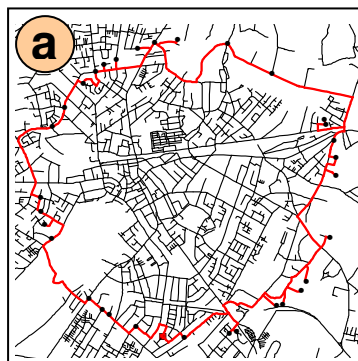


Abb. 4.32: Eine mögliche Route der Variante a für die Berechnung einer 15 km langen Route im städtischen Bereich. Die Länge beträgt ca. 27 km.

In diesem Fall beträgt der Umfang der konvexen Hülle ca. 14,8 km und entspricht beinahe den Distanzanforderungen der Route. Daher ist es nicht verwunderlich, dass die Länge der Route mit ca. 27 km die Distanzanforderung weit übersteigt (s. Abb. 4.32).

Für die Variante c sind ähnliche Aussagen zu treffen. Die konvexe Hülle ist mit einem Umfang von 15 km bereits mit der Distanzanforderung identisch (s. Abb. 4.33). Die Routenlänge von ca. 42,6 km ist daher noch höher als bei Variante a (s. Abb. 4.34). Zusätzlich lassen sich viele doppelt befahrene Streckenabschnitte ausmachen, was die Qualität der Route gerade im städtischen Bereich beeinträchtigt.

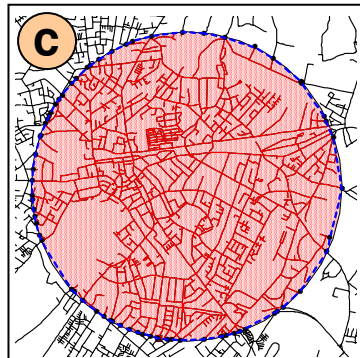


Abb. 4.33: Die konvexe Hülle der Variante c für die Berechnung einer 15 km langen Route im städtischen Bereich. Der Umfang beträgt ca. 15 km.

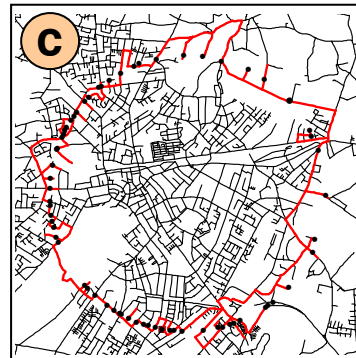


Abb. 4.34: Eine mögliche Route der Variante c für die Berechnung einer 15 km langen Route im städtischen Bereich. Die Länge beträgt ca. 42,6 km.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass die beiden Varianten im städtischen Bereich keine befriedigenden Ergebnisse erzielen. Die konvexe Hülle ist zwar sehr homogen, aufgrund des engmaschigen Straßennetzes existieren allerdings viele Verzweigungen, so dass die konvexe Hülle eine große Anzahl an Punkten beinhaltet. Dies führt zum einen dazu, dass die Route viele doppelt befahrene Wege aufweist. Zum anderen wird durch die hohe Anzahl an Punkten die Rechenzeit des Algorithmus zur Berechnung einer Rundtour unnötig in die Höhe getrieben.

Aufgrund der Ergebnisse wird das vierte und letzte Fallbeispiel an dieser Stelle nicht weiter untersucht, da davon auszugehen ist, dass die Routenlänge den Anforderungen des Nutzers aufgrund des feinmaschigen Netzes in keinsten Weise entspricht. Stattdessen sollen Möglichkeiten aufgezeigt werden, welche die Routenlänge verringern, um den Anforderungen besser zu entsprechen.

4.8.2.4 Entfernen von doppelt befahrenen Streckenabschnitten

Es wird angenommen, dass die doppelt befahrenen Streckenabschnitte die Länge der Route unnötig erhöhen. Daher sollen diese nach der Routenberechnung eliminiert werden, so dass die Route keine Streckenabschnitte, die doppelt befahren werden müssen, enthält. Dabei kann zwischen zwei Fällen unterschieden werden. Zum einen können alle Streckenabschnitte, die einen eigenständigen Routenast darstellen (s. Abb. 4.35a), entfernt werden. Dabei handelt es sich meistens um mehrere Linienabschnitte.

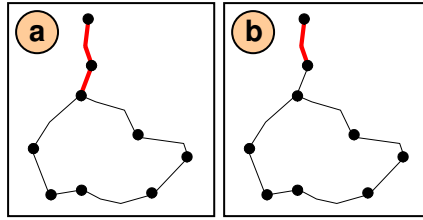


Abb. 4.35: Doppelt befahrene Wege in der Ergebnisroute.
 a: ein kompletter Routenast.
 b: ein direkt hintereinander doppelt befahrener Linienabschnitt.
 Quelle: eigener Entwurf.

Zum anderen können nur die Streckenabschnitte entfernt werden, die direkt hintereinander zweimal befahren werden (s. Abb. 4.35b). Dabei werden nur einzelne Linienabschnitte entfernt und es ist nicht sichergestellt, dass alle doppelt befahrenen Wege eliminiert sind.

Beide Fälle werden für die 4 berechneten Routen (Abb. 4.24, 4.26, 4.32, 4.34) nach der Vorgabe 15 km im ländlichen und städtischen Raum durchgeführt. Die Ergebnisse werden in den Abbildungen 4.36 - 4.39 präsentiert.

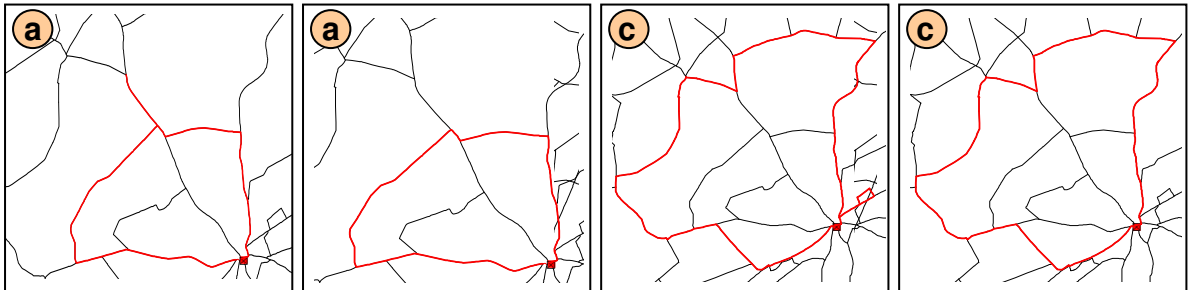


Abb. 4.36: Mögliche Route der Variante a mit einer Distanzvorgabe von 15 km im ländlichen Raum ohne das Befahren doppelter Streckenabschnitte. Links: nur direkt hintereinander doppelt befahrene Abschnitte werden entfernt. Länge: 11,5 km. Rechts: alle doppelt befahrenen Strecken werden entfernt. Länge: 10,5 km.

Abb. 4.37: Mögliche Route der Variante c mit einer Distanzvorgabe von 15 km im ländlichen Raum ohne das Befahren doppelter Streckenabschnitte. Links: nur direkt hintereinander doppelt befahrene Abschnitte werden entfernt. Länge: 22,1 km. Rechts: alle doppelt befahrenen Strecken werden entfernt. Länge: 20,5 km.

Wie in Abbildung 4.36 zu erkennen ist, verbessert sich die Route für Variante a im ländlichen Raum durch die Eliminierung doppelt befahrener Wege nicht, da die Route vorher bereits eine geeignete Länge aufgewiesen hat. In diesem Fall geht die Verbesserung der Routenform auch Kosten der Routenlänge und ist nicht zweckmäßig. Variante c hingegen verbessert das Ergebnis für die Routenberechnung im ländlichen Bereich (s. Abb. 4.37). So wird die Route von 27 km auf 20,5 km verkürzt. Dies reicht allerdings noch nicht aus, um die Nutzeranforderung von 15 km Routenlänge zu erfüllen. Das Verfahren des Entfernens doppelt befahrener Wege ist also auch hier nur bedingt effektiv.

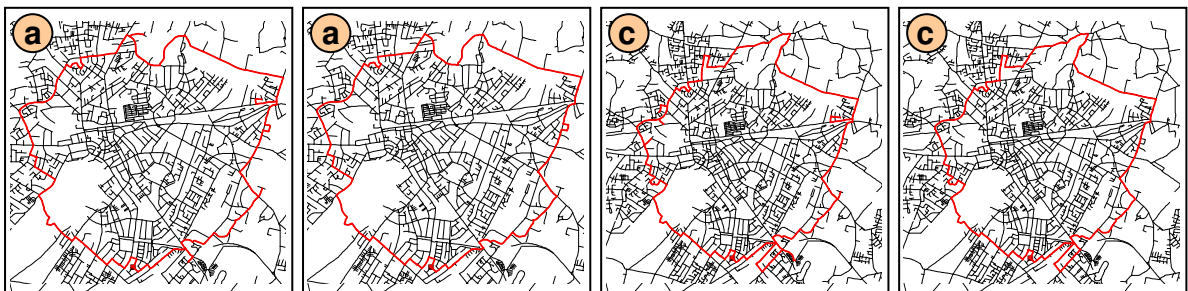


Abb. 4.38: Mögliche Route der Variante a mit einer Distanzvorgabe von 15 km im städtischen Raum ohne das Befahren doppelter Streckenabschnitte. Links: nur direkt hintereinander doppelt befahrene Abschnitte werden entfernt. Länge: 21 km. Rechts: alle doppelt befahrenen Strecken werden entfernt. Länge: 19,5 km.

Abb. 4.39: Mögliche Route der Variante c mit einer Distanzvorgabe von 15 km im städtischen Raum ohne das Befahren doppelter Streckenabschnitte. Links: nur direkt hintereinander doppelt befahrene Abschnitte werden entfernt. Länge: 25,3 km. Rechts: alle doppelt befahrenen Strecken werden entfernt. Länge: 23 km.

Ähnliche Ergebnisse werden auch im städtischen Bereich erzielt. Für die Variante a kann die Route von 27 km auf 19,5 km verkürzt werden und liegt schon deutlich näher an den Nutzervorgaben von 15 km (s. Abb. 4.38). Die Reduktion allein reicht aber nicht aus, um ein zufriedenstellendes Ergebnis zu erzielen. Auch die Variante c kann sich von 42,6 km lediglich 23 km an die Nutzeranforderungen annähern, wie Abbildung 4.39 deutlich macht. Zusammenfassend kann an dieser Stelle gesagt werden, dass es nicht ausreicht, die doppelt befahrenen Wege einer zu langen Route zu entfernen, um ein den Nutzeranforderungen passendes Ergebnis zu erzielen. Das Verfahren optimiert lediglich die Form in ausreichendem Maße und nicht die Länge. Um die Form der Route zu verbessern, sollte das Verfahren auf jeden Fall am Ende einer Routenberechnung durchgeführt werden. Zur Verringerung der Routenlänge muss jedoch eine andere Vorgehensweise gewählt werden.

4.8.2.5 Routenlängenabschätzung auf Basis der konvexen Hülle

Vergleiche der konvexen Hülle mit den zugehörigen möglichen Routen zeigen, dass ein Zusammenhang zwischen den Größen besteht. Ist die konvexe Hülle kleiner als die notwendige Routenlänge, ist die Wahrscheinlichkeit größer, dass die Routenlänge den Nutzeranforderungen entspricht. Nähert sich die konvexe Hülle jedoch den Nutzeranforderungen an, so übersteigt die Länge der Ergebnisroute ohne Ausnahme die Vorgaben. Es stellt sich nun die Frage nach dem Verhältnis zwischen konvexer Hülle und Routenlänge. Anhand der durchgeführten Fallbeispiele konnte eruiert werden, dass eine zufrieden stellende Route berechnet wird, wenn die konvexe Hülle ca. 70-80% der gewünschten Routenlänge entspricht (vgl. Abb. 4.21/4.22 und Abb. 4.23/4.24). Zur Verkleinerung der konvexen Hülle sind zwei Vorgehensweisen möglich. Zum einen ist es denkbar, die Größe des Pufferradius um 20% herabzusetzen, so dass davon ausgegangen werden muss, dass sich die konvexe Hülle auch verkleinert. Zum anderen kann die konvexe Hülle selbst durch entfernen von Punkten solange verkleinert werden, bis sie den 70-80% der gewünschten Routenlänge entspricht. Beide Vorgehensweisen sollen im Folgenden für Variante a und c jeweils im städtischen und ländlichen Bereich getestet werden.

Reduzierung des Pufferradius

Für die Variante a im ländlichen Bereich und einer Distanzanforderung von 15 km wurde ein Puffer mit einem Radius von 2,4 km erzeugt. Dieser Radius wird nun um 20% reduziert, so dass nur der Radius nur noch 1,9 km beträgt. Mit dem berechneten Puffer wird weiter verfahren wie in den bisherigen Beispielen. Folgende Abbildungen (4.40, 4.41) zeigen die Ergebnisse für den ländlichen Bereich.

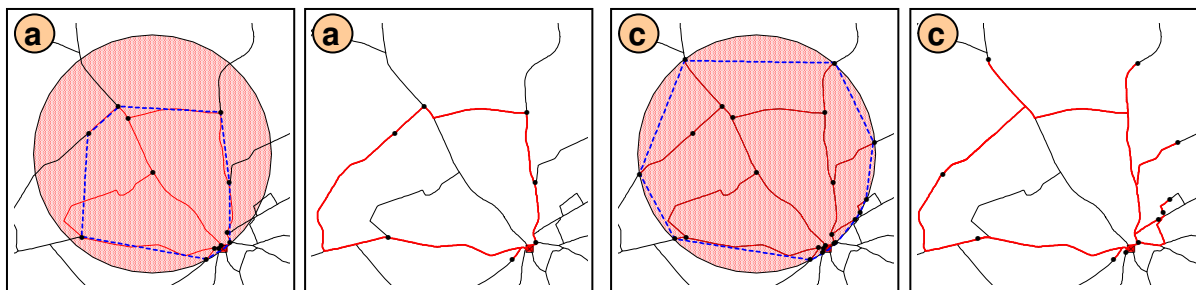


Abb. 4.40: Links: Konvexe Hülle der Variante a für eine 15 km lange Route im ländlichen Raum mit verkleinertem Pufferradius. Umfang der konvexen Hülle: 8,6 km. Rechts: dazugehörige Route, Länge: 10,8 km.

Abb. 4.41: Links: Konvexe Hülle der Variante c für eine 15 km lange Route im ländlichen Raum mit verkleinertem Pufferradius. Umfang der konvexen Hülle: 11,8 km. Rechts: dazugehörige Route, Länge: 19,8 km.

Der Umfang der konvexen Hülle von Variante a ist 8,6 km lang, was nur knapp 60% der geforderten Länge entspricht. Demnach ist auch die Länge der Route mit 10,8 km zu gering. Mit der Variante c wurde im ländlichen Bereich eine 19,8 km lange Route berechnet, die auf einer 11,8 km langen konvexen Hülle basiert. Allerdings kann das Ergebnis der Route durch die Entfernung hintereinander doppelt befahrener Wege auf 15,1 km optimiert werden. Im städtischen Bereich kann Variante a durch die Korrektur eine 16,9 km lange Route ermitteln. Dieses Ergebnis ist noch vertretbar. Die Route von Variante c hingegen weist auch nach der Korrektur eine Länge von 25,3 km auf und muss verworfen werden (s. Abb. 4.43).

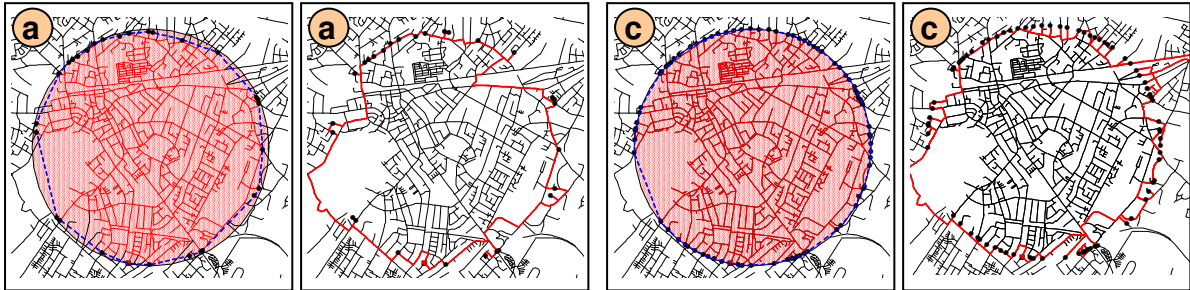


Abb. 4.42: Links: Konvexe Hülle der Variante a für eine 15 km lange Route im städtischen Raum mit verkleinertem Pufferradius. Umfang der konvexen Hülle: 11,7 km. Rechts: dazugehörige Route, Länge: 17,5 km.

Abb. 4.43: Links: Konvexe Hülle der Variante c für eine 15 km lange Route im städtischen Raum mit verkleinertem Pufferradius. Umfang der konvexen Hülle: 12 km. Rechts: dazugehörige Route, Länge: 32,7 km.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Reduzierung des Pufferradius nur bedingt Wirkung zeigt. Vor allem Variante a weist im ländlichen Bereich durch die Verkleinerung des Pufferradius eine zu kleine Route auf. Die Variante c zeigt im städtischen Bereich, dass die Reduzierung allein nicht ausreicht, um befriedigende Ergebnisse zu erzielen. Daher wird dieses Vorgehen nicht weiter verfolgt. Stattdessen soll der Pufferradius ohne Reduzierung verwendet werden, aber die Länge der konvexen Hülle auf mindestens 70-80% der geforderten Routenlänge reduziert werden. Erst dann wird die gewünschte Route berechnet.

Reduzierung des Umfangs der konvexen Hülle

Zur Reduzierung des Umfangs der konvexen Hülle wird erneut von einer Distanzeingabe von 15 km sowohl im ländlichen als auch städtischen Bereich für die Varianten a und c ausgegangen. Auf Basis eines 2,4 km großen Pufferradius werden alle Linien, die sich innerhalb des Pufferbereiches befindet selektiert und aus ihren Start- und Endpunkten die konvexe Hülle gebildet. In diesem Beispiel beträgt ihr Umfang für Variante a 14,6 km. Da sie aber nur 70-80% der gewünschten Routenlänge aufweisen darf, wird der Punkt aus der konvexen Hülle entfernt, dessen euklidische Distanz zum Startpunkt am größten ist. Dann wird die Länge der konvexen Hülle erneut geprüft. Ist sie weiterhin zu lang, wird wiederum ein Punkt entfernt, solange, bis die gewünschte Länge der konvexen Hülle erreicht ist. Erst dann wird die Route berechnet. Die Länge der Ergebnisroute beträgt 14,9 km und entspricht somit fast genau den Nutzervorgaben (s. Abb. 4.44). Abbildung 4.45 zeigt das gleiche Vorgehen für die Variante c.

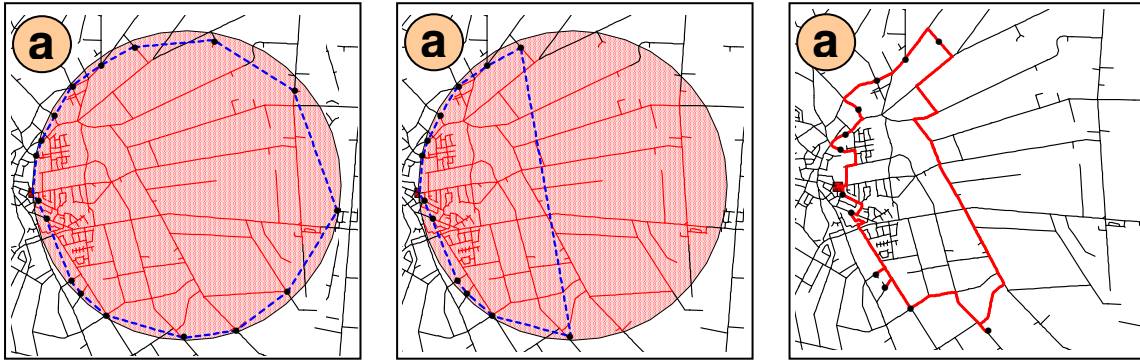


Abb. 4.44: Links: Konvexe Hülle der Variante a, Umfang 14,6 km.
Mitte: reduzierte konvexe Hülle, Länge 11 km. Resultierende Route, Länge 14,9 km.

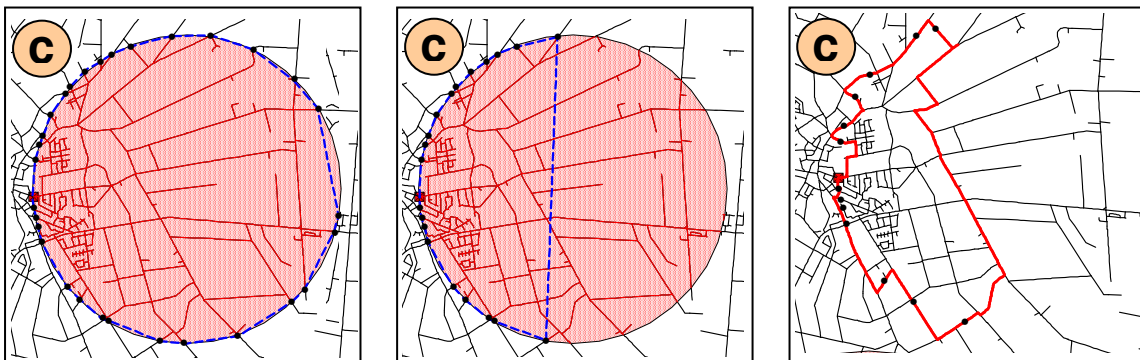


Abb. 4.45: Links: Konvexe Hülle der Variante c, Umfang ca. 14,9 km.
Mitte: reduzierte konvexe Hülle, Länge 11,6 km. Resultierende Route, Länge 14,6 km.

Im Gegensatz zu HAAS (2005, S. 44), der erst nach der Routenberechnung die Routenlänge prüft, wird also in diesem Fall bereits vorher anhand der konvexen Hülle getestet, ob die zu berechnende Route den Anforderungen entsprechen kann. Damit kann erheblicher Aufwand an Rechenzeit eingespart werden. Abbildung 4.46 zeigt das Ergebnis dieses Vorgehens im städtischen Bereich. Auch hier kann mit dieser Methode ein zufrieden stellendes Ergebnis erzielt werden. Beträgt der Umfang der konvexen Hülle für Variante a zunächst noch 14,8 km, was voraussichtlich eine zu lange Route zur Folge hätte, wird der Umfang auf 11,1 km reduziert. Die Länge der Ergebnisroute beträgt daher 15,2 km. Abbildung 4.47 zeigt das Vorgehen im städtischen Bereich für die Variante c.

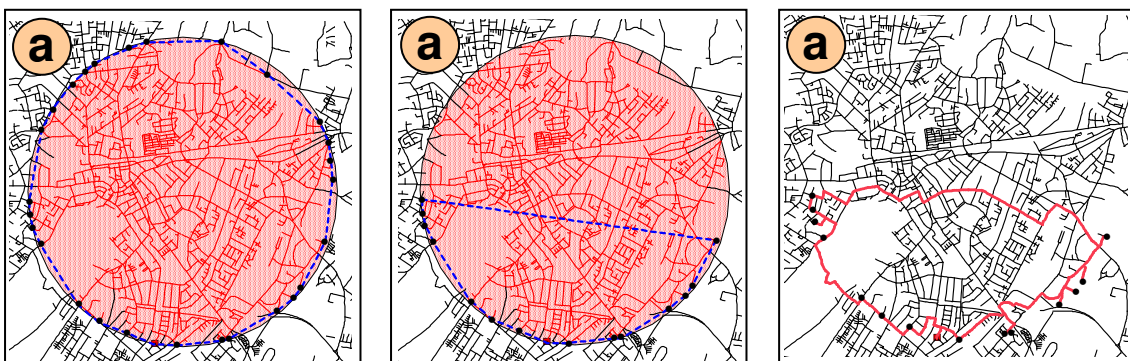


Abb. 4.46: Links: Konvexe Hülle der Variante a, Umfang 14,8 km.
Mitte: reduzierte konvexe Hülle, Umfang 11,1 km. Resultierende Route, Länge 15,2 km.

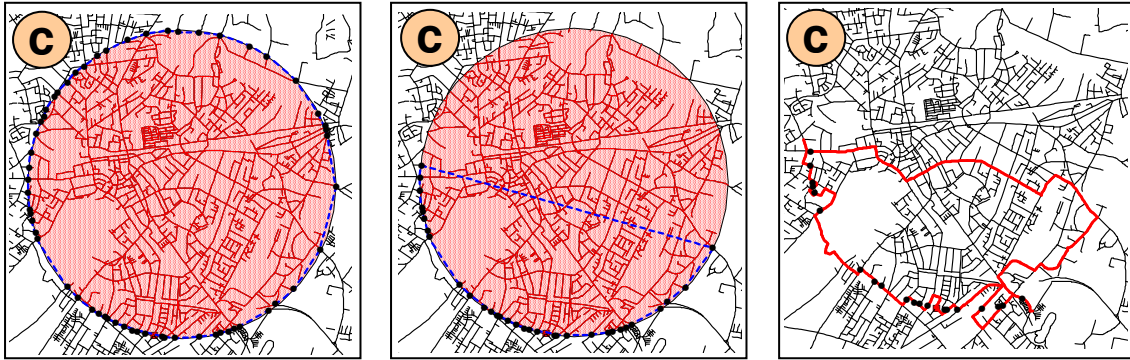


Abb. 4.47: Links: Konvexe Hülle der Variante a, Umfang 15 km.
Mitte: reduzierte konvexe Hülle, Umfang 11,4 km. Resultierende Route, Länge 16,7 km.

Sollte es trotz der Reduzierung des Umfangs der konvexen Hülle passieren, dass die Routenlänge zu gering oder zu groß ist, muss eine Verkürzung oder Verlängerung vorgenommen werden.

4.8.2.6 Routenverkürzung

Ist die berechnete Route länger als die gewünschte Distanzeingabe es vorsieht, und liegt sie auch nicht in einem Toleranzbereich, der mit $\pm 10\%$ der gewünschte Distanz vorgesehen ist, muss die Route verkürzt werden. Dies kann auf die gleiche Weise geschehen, wie die Reduzierung der konvexen Hülle. Der Punkt, der die größte räumliche Distanz zum Startpunkt aufweist, wird aus der Menge der anzufahrenden Punkte herausgenommen. Die Route wird daraufhin neu berechnet.

4.8.2.7 Routenverlängerung

Möglich ist es auch, dass die Routenlänge die eingegebene Distanz unterschreitet, so dass die Route verlängert werden muss. In diesem Fall müssen weitere Punkte gefunden werden, die zusätzlich zu den bereits in die Route integrierten Punkten angesteuert werden. Eine Möglichkeit wäre, den Punkt aus der Punktemenge aller selektierten Linienabschnitte zu wählen, der die größte Distanz zum Startpunkt aufweist. Dieser muss dann in die konvexe Hülle eingebunden werden. Erfahrungen und zahlreiche Tests haben allerdings gezeigt, dass die Route bei einem Umfang der konvexen Hülle von 70-80% der eingegebenen Distanz so gut wie nie die Distanzvorgaben in dem Maß unterschreitet, dass die Route durch eine Verlängerung korrigiert werden muss.

Entspricht die Routenlänge der gewünschten Distanz, wird dem Nutzer die angeforderte Route ausgegeben. Denkbar ist, dass er sich wahlweise auch weitere Möglichkeiten für die Distanzeingabe berechnen lässt, z.B. Routen, bei denen der Pufferbereich nach anderen Kriterien ausgerichtet wird.

Die durchgeführten Fallbeispiele haben gezeigt, dass Variante a bessere Ergebnisse erzielt als Variante c. Zusätzlich muss bedacht werden, dass Variante c einen erheblichen Rechenaufwand gerade im städtischen Bereich aufweist, da eine Vielzahl von Schnittpunkten berechnet werden muss. Zusätzlich fließen trotz Ausdünnung der Punktemenge durch das Bilden der konvexen Hülle sehr viele Punkte in die Routenberechnung des Traveling Salesman Algorithmus ein, was die Rechenzeit des Verfahrens unnötig vergrößert. Tabelle 4.11 gibt einen Überblick über die entstehenden Arbeitsschritte der beiden Varianten. Vor allem die Arbeitsschritte in den orange markierten Zeilen sind abhängig von der Größe der Eingabe. Da Variante c in all diesen Arbeitsschritten mehr Punkte oder Linienabschnitte aufweist, soll Variante c nicht weiter verfolgt, sondern alle weiteren Untersuchungen nur anhand von Variante a durchgeführt werden.

Arbeitsschritt	Variante a	Variante c
Pufferung des Startpunkts	X	X
Selektion aller Linienabschnitte innerhalb des Puffers	X	X
Bildung von Schnittpunkten aller gefundenen Linienabschnitte mit dem Puffer		X
Ermittlung der Start- und Endpunkte aller gefundenen Linienabschnitte	X	X
Bilden der konvexen Hülle	X	X
Ausdünnen der konvexen Hülle	X	X
Berechnung der Route anhand der konvexen Hülle auf Basis des Ameisenalgorithmus	X	X

Tab. 4.11: Übersicht über die notwendigen Arbeitsschritte der Varianten a und c. Orange markiert: Arbeitsschritte, deren Zeitkomplexität abhängig ist von der Eingabegröße. Quelle: eigener Entwurf.

In den letzten Abschnitten ist ein Verfahren vorgestellt worden, welches dem Benutzer eine Route lediglich auf Grundlage eines Startpunktes und einer Distanzangabe zurückliefert. Die Routenberechnung erfolgt losgelöst von der Eingabe von Haltepunkten. Trotzdem ist es denkbar, dass der Anwender auch konkrete POI in die Routenberechnung einbinden möchte, sei es eine Sehenswürdigkeit oder eine gastronomische Einrichtung. Aus diesem Grund soll in den folgenden Abschnitten das Verfahren durch die Möglichkeit einer Einbeziehung von konkreten POI oder zusätzlichen Kategorien erweitert werden.

4.9 Routenberechnung auf Basis einer Distanzeingabe sowie weiterer konkreter POI

4.9.1 Eingabe eines konkreten POI

Für den zweiten zu untersuchenden Fall (vgl. Tab. 4.9) - die Routenberechnung auf Basis eines Startpunktes, einer Distanzeingabe und weiterer POI - soll lediglich die vorgestellte Variante a verwendet werden. Bevor das Verfahren Anwendung finden kann, muss zunächst geprüft werden, ob der vom Anwender eingegebene POI sich in einer angemessenen Distanz zum Startpunkt befindet. Die euklidische Distanz zwischen Startpunkt und POI darf den doppelten Pufferradius $2r$ nicht übersteigen, damit der POI sich noch in dem zu erstellenden Puffer befindet (s. Abb. 4.48). Ist dies der Fall, kann der Puffer wie bereits in Fall 1 erzeugt werden. Die Richtung des Puffers bestimmt jedoch diesmal nicht ein vom Startpunkt abgehender Linienabschnitt sondern die Richtung des POI.

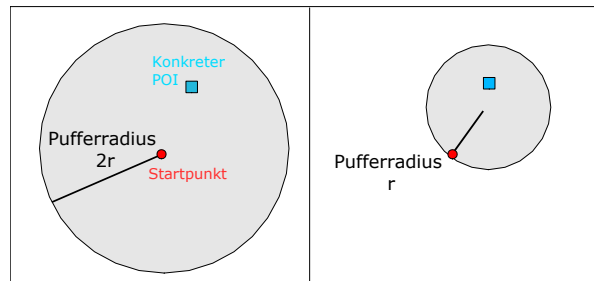


Abb. 4.48: Ausrichtung des Puffers nach dem gefundenen POI.
Quelle: eigener Entwurf.

Nach der Bildung der konvexen Hülle aller Start- und Endpunkte der im Pufferbereich selektierten Linienabschnitte wird der POI zu der Punktmenge der konvexen Hülle hinzugefügt. Jetzt kann die Längenprüfung gestartet werden. Ist der Umfang der konvexen Hülle zu groß, muss wie im Fall 1 der Punkt mit der größten euklidischen Distanz zum Startpunkt aus der Punktmenge gelöscht werden. Wichtig ist, dass der POI nicht entfernt wird. Entspricht der Umfang ca. 70-80% der gewünschten Distanzeingabe, kann die Route berechnet werden. Abbildung 4.49. zeigt ein mögliches Ergebnis bei einer Distanzeingabe von 15 km und einem POI (Dreieckssymbol) im ländlichen Raum. Auch hier zeigt sich, dass die Längenabschätzung über die konvexe Hülle sehr hilfreich ist.

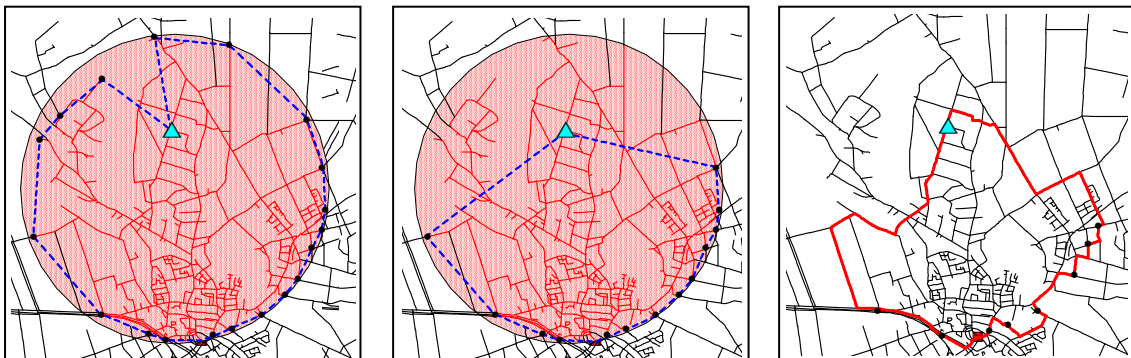


Abb. 4.49: Berechnung einer Route mit der zusätzlichen Eingabe eines konkreten POI. Links: konvexe Hülle der Ausgangspunktmenge mit POI (Dreieckssymbol), Umfang 16,2 km. Mitte: verkürzte konvexe Hülle, Umfang 12 km. Rechts: Ergebnisroute, Länge 14,4 km.

Während der Umfang der konvexen Hülle anfangs noch 16,2 km beträgt, kann durch die Verkürzung des Umfangs auf 12 km eine Route mit einer Länge von 14,4 km berechnet werden. Enthalten ist bereits eine Korrektur direkt doppelt befahrener Streckenabschnitte.

Denkbar ist auch, den POI erst für die Routenberechnung in die anzufahrende Punktemenge mit einzubinden. Allerdings geht dann die Genauigkeit der Längenabschätzung durch die konvexe Hülle verloren. Daher wird der POI bereits in die Punktemenge der konvexen Hülle integriert.

4.9.2 Eingabe mehrerer konkreter POI

Möchte der Anwender neben der Distanzeingabe nicht nur einen sondern mehrere POI auswählen, müssen zusätzliche Arbeitsschritte durchgeführt werden, um ein passendes Ergebnis zu erzielen. Zunächst muss für jeden der POI die euklidische Distanz zum Startpunkt geprüft werden. Diese darf nicht mehr als der doppelte Pufferradius $2r$, der im Vorfeld basierend auf der gewünschten Distanz generiert wird (vgl. Kap. 4.8.2) betragen. Ist dies nicht der Fall, so ist eine Route nach den gewünschten Vorgaben nicht möglich und der Anwender muss eine entsprechende Meldung erhalten. Ist die Vorgabe der euklidischen Distanz erfüllt, so wird zusätzlich die Distanz zwischen den einzelnen POI abgefragt. Auch sie darf nicht mehr als der doppelte Pufferradius betragen. Ist auch dies der Fall, kann wie bereits mehrfach beschrieben vorgegangen werden. Abbildung 4.50 und Abbildung 4.51 zeigen Beispiele für die Eingabe mehrerer POI zusätzlich zur Distanzeingabe. In Abbildung 4.50 kann den Anforderungen nicht entsprochen werden. Eine Routenberechnung nach den gewünschten Vorgaben ist nicht möglich. Die zwei türkis-farbenen POI könnten zwar eingebunden werden, allerdings nicht in Kombination sondern nur einzeln, da sie zu weit voneinander entfernt sind. Denkbar wäre es, dem Anwender eine Route mit einem der möglichen POI zurückzuliefern, oder ihm die Möglichkeit zu geben, seine Auswahl zu verändern.

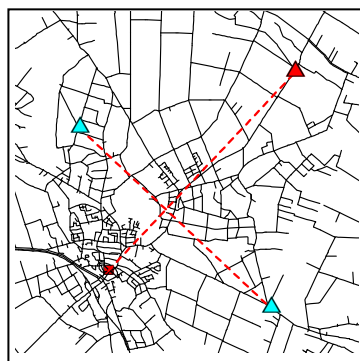


Abb. 4.50: Kein Ergebnis bei der Eingabe mehrerer konkreter POI. Rote Linien = Länge > $2r$.
Quelle: eigener Entwurf.

In Abbildung 4.51 ist ein positives Ergebnis zu betrachten. Nachdem die konvexe Hülle zunächst einen Umfang von 14,9 km aufweist, liefert sie mit einem reduzierten Umfang von 11,9 km eine zufrieden stellende Route mit 15,7 km.

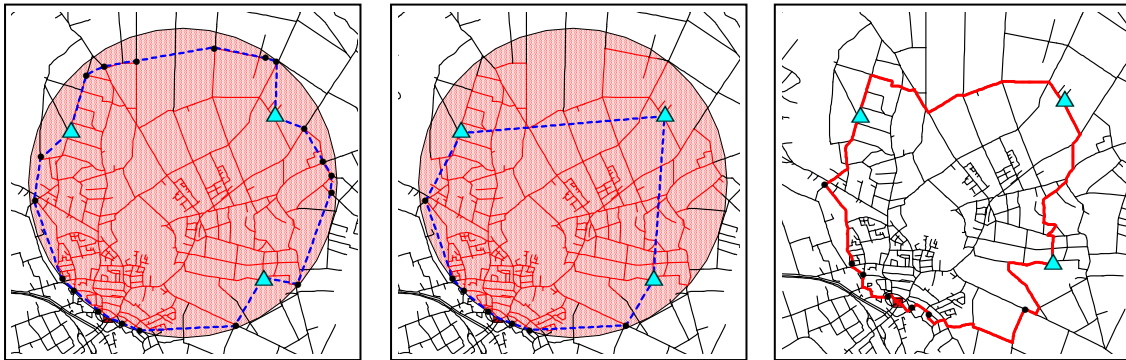


Abb. 4.51: Berechnung einer Route mit der zusätzlichen Eingabe mehrerer konkreter POI.
 Links: konvexe Hülle der Ausgangspunktemenge mit POI (Dreieckssymbol), Umfang 14,9 km.
 Mitte: verkürzte konvexe Hülle, Umfang 11,9 km. Rechts: Ergebnisroute, Länge 15,7 km.

Es ist anzunehmen, dass das Finden einer passenden Route sich schwieriger gestaltet, je mehr Vorgaben des Anwenders erfüllt werden müssen. Aus diesem Grund hat HAAS (2005) die Auswahl konkreter POI in seiner Routenberechnung nicht weiter berücksichtigt, sondern sich nur auf die Auswahl von Kategorien beschränkt. Die Auswahl von Kategorien soll im nächsten Abschnitt eingehender betrachtet werden.

4.10 Routenberechnung auf Basis einer Distanzeingabe sowie einer oder mehrerer Kategorien

Die Auswahl von Kategorien kann in zwei unterschiedliche Bereiche untergliedert werden: in die Auswahl POI- bzw. punktebasierter Kategorien und in die Auswahl von flächenhaften Kategorien. Für diese zwei Bereiche werden auf den folgenden Seiten Lösungsmöglichkeiten vorgestellt.

4.10.1 POI-basierte Kategorieauswahl

Bei der POI-basierten Kategorieauswahl, die auch bei bei HAAS und ZIPF zum Einsatz kommt, werden die vorhandenen POI bestimmten Kategorien zugeordnet, z.B. Schwimmbad, Café, Spielplatz, etc. Der Anwender hat dann die Möglichkeit, eine der vordefinierten Kategorien für die Routenberechnung auszuwählen. Zur Lösung geht der Algorithmus folgendermaßen vor: Der Startpunkt wird mit dem doppelten Pufferradius $2r$ (im Falle 15 km = $2,4 \cdot 2 = 4,8$ km) gepuffert.

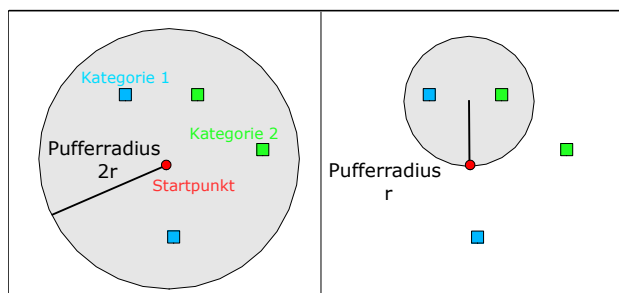


Abb. 4.52: Vorgehen bei der Suche nach möglichen POI-basierten Kategorien.
 Quelle: eigener Entwurf.

Auf diese Weise kann in alle Richtungen gesucht werden und zu einem späteren Zeitpunkt ein Puffer mit dem einfachen Pufferradius r nach den gefundenen Kategorien ausgerichtet werden (s. Abb. 4.52).

Es werden alle POI selektiert, die sich in dem großen Puffer befinden. Ist die gewünschte Kategorie nicht in der Selektionsmenge enthalten, muss dem Anwender ein Hinweis darauf gegeben werden. Allerdings kann ihm als Alternative die gefundenen Kategorien angeboten werden. Werden mehrere POI der gewünschten Kategorie gefunden, so wird die Kategorie, die sich räumlich gesehen am nächsten zum Startpunkt befindet, ausgewählt. Im Folgenden wird ein zweiter Puffer mit dem einfachen Pufferradius gebildet, und so ausgerichtet, dass der Startpunkt auf dem Rand liegt, und der gefundene POI sich darin befindet. Im weiteren Verlauf wird vorgegangen wie bei der Berechnung einer Route auf Basis einer Distanzeingabe und weiterer POI (vgl. Kap. 4.9). Abbildung 4.53 gibt einen Überblick über eine mögliche Lösung einer POI-basierten Kategorieauswahl. Die gefundenen POI, die zu der gewünschten Kategorie gehören, sind orange markiert. Der nördliche Punkt ist ca. 3,6 km vom Startpunkt entfernt, der südliche Punkt weist eine Entfernung von ca. 3,3 km zum Startpunkt aus. Somit wird der südliche Punkt als anzufahrender Punkt ausgewählt. Nach der Verkürzung des Umfangs der konvexen Hülle wird die Ergebnisroute der Berechnung dargestellt. Die Länge der Route beträgt 16,1 km.

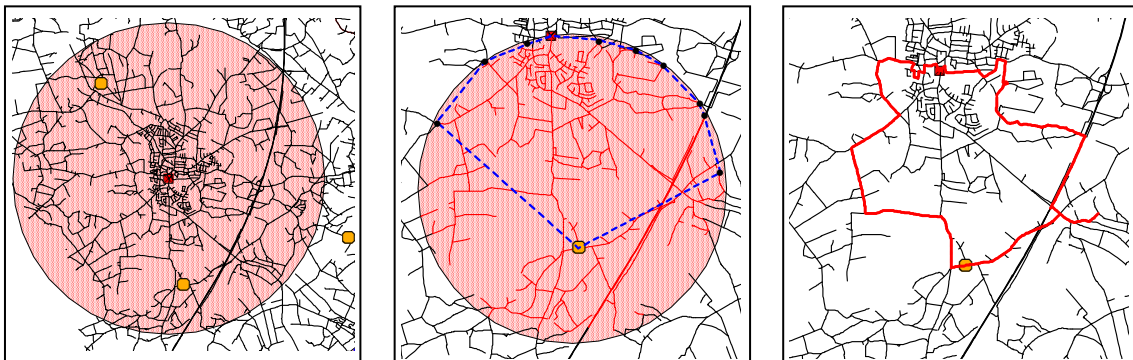


Abb. 4.53: Berechnung einer Route mit der zusätzlichen Eingabe einer POI-basierten Kategorie. Links: Selektion aller POI der gewünschten Kategorie im großen Puffer. Mitte: Bilden der konvexen Hülle und Integration des gefundenen POI. Rechts: Ergebnisroute: Länge: 16,1 km.

Möglich ist, dass der Anwender auch mehrere Kategorien auswählen möchte. In diesem Fall werden alle POI im Pufferbereich selektiert, die diesen Kategorien angehören. In einem nächsten Schritt wird geprüft, welche POI der beiden Kategorien für die Routenberechnung genutzt werden können. Vorausgesetzt wird hierbei, dass beide Kategorien im erzeugten Puffer selektiert worden sind. Zunächst wird für jede Kategorie derjenige POI ermittelt, dessen räumliche Distanz zum Startpunkt am geringsten ist. Dann wird geprüft, ob diese beiden POI weniger als $2r$ voneinander entfernt sind. Ist dies der Fall, kann weiter vorgegangen werden wie bei der Berechnung mit mehreren POI (s. Kap. 4.9.2). Trifft dies nicht zu, wird aus der zweiten Kategorie der nächstmögliche POI ausgewählt und erneut die Distanz zum POI der ersten Kategorie geprüft. Ist die Entfernung weiterhin zu groß und sind keine weiteren POI der Kategorie 2 vorhanden, werden die POI der Kategorie 1 durchlaufen, solange, bis eine passende Kombination gefunden ist. Kann keine Kombination gefunden werden, erhält der Anwender eine entsprechende Mitteilung.

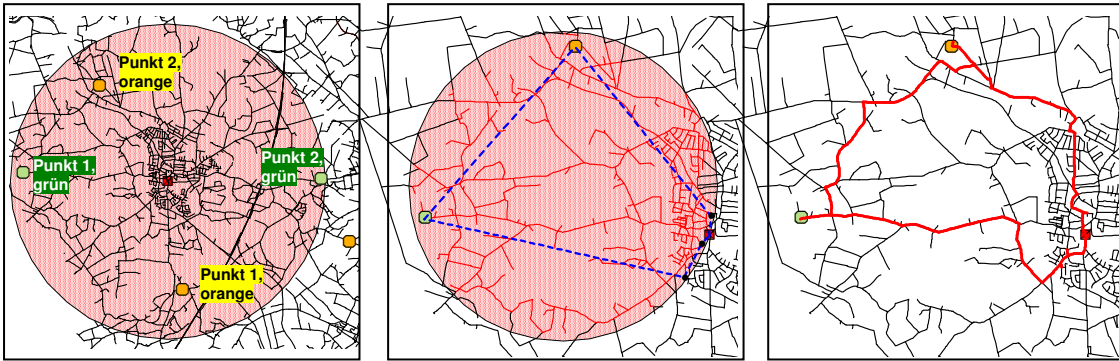


Abb. 4.54: Berechnung einer Route mit der zusätzlichen Eingabe mehrerer POI-basierter Kategorien. Links: Selektion aller POI der gewünschten Kategorien im großen Puffer. Mitte: Bilden der konvexen Hülle und Integration des gefundenen POI. Rechts: Ergebnisroute: Länge: 15,5 km.

Abbildung 4.54 zeigt das eben beschriebene Vorgehen. Als mögliche Punkte der Kategorien orange und grün sind jeweils zwei POI ausgewählt. Punkt 1 der orangenen Kategorie weist die geringste Entfernung zum Startpunkt auf, bei Kategorie grün ist es ebenfalls Punkt 1. Eigentlich müssten also diese beiden POI als Haltepunkte ausgewählt werden. Die Distanz zwischen diesen beiden Punkten beträgt allerdings 6 km und liegt damit über dem festgelegten Maximum von $2r$ ($r = 2,4 \text{ km} \times 2 = 4,8 \text{ km}$), also in diesem Fall 4,8 km. Nun wird geprüft, ob Punkt 1 der orangenen Kategorie zusammen mit dem Punkt 2 der grünen Kategorie angefahren werden kann. Auch hier ist die Distanz mit 5,4 km zu groß. In diesem Fall wird der nächste Punkt der orangenen Kategorie gewählt und seine Distanz zu den POI der Kategorie grün geprüft. Letztendlich zeigt sich, dass nur die Kombination von Punkt 1 der grünen Kategorie und Punkt 2 der orangenen Kategorie für eine Auswahl genutzt werden kann. Die resultierende Route besitzt eine Länge von 15,5 km.

4.10.2 Flächenbasierte Kategorieauswahl

Neben den oben dargestellten POI-basierten Kategorien existieren die flächenbasierten Kategorien (z.B. Wald, Wiese), die ein Anwender zusätzlich für die Routenberechnung auswählen kann. Um dem Anwender bei einer solchen Auswahl eine geeignete Lösung bieten zu können, gibt es zwei mögliche Vorgehensweisen bei der Auswahl. Zum einen kann der Anwender angeben, dass er an einem bestimmten Objekt vorbeifahren möchte, z.B. an einem See. Zum anderen ist es denkbar, dass der Anwender durch ein Flächenobjekt fahren möchte, z.B. einen Wald. Diese zwei Ansätze sollen bei der Realisierung berücksichtigt werden.

Beiden Ansätzen geht voraus, dass der Startpunkt mit dem doppelten Pufferradius gepuffert wird. Alle Flächenobjekte, die der gewünschten Kategorie entsprechen und sich in dem Pufferbereich befinden, werden selektiert und anhand ihres Flächeninhalts verglichen. Die größte aller gefundenen Flächen soll die anzufahrende Fläche sein. Möchte der Anwender an dieser Fläche vorbeifahren, wird der Vertex der Polygonhülle ermittelt, dessen Luftliniendistanz zum Startpunkt am geringsten ist. Anhand dieses Vertex wird der nächstliegende Straßenabschnitt ermittelt, der in die Routenberechnung miteinbezogen werden soll. Die Endknoten des gefundenen Linienabschnitts werden später in die Punktemenge der konvexen Hülle aufgenommen. So kann sichergestellt werden, dass dieser Linienabschnitt tatsächlich befahren wird.

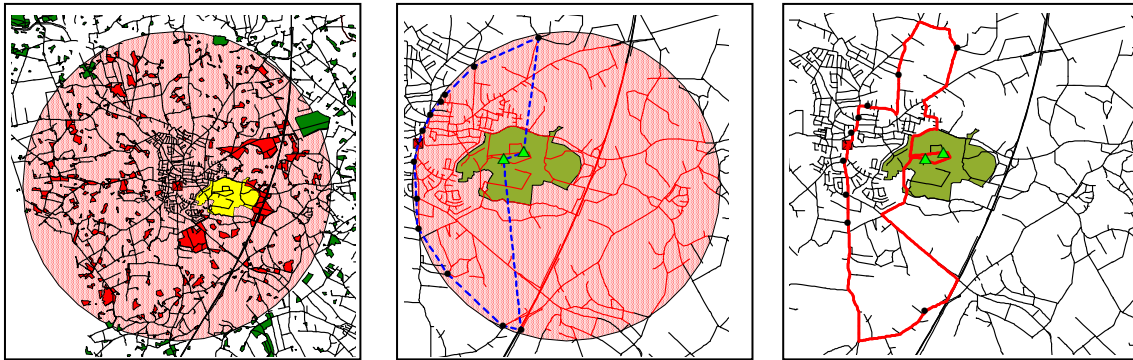


Abb. 4.55: Berechnung einer Route mit der zusätzlichen Eingabe einer flächenbasierten Kategorie (durchfahren). Links: Selektion aller Flächen im großen Puffer. Mitte: Bilden der konvexen Hülle und Integration der Endknoten des gefundenen, *in* der größten Fläche liegenden Straßenabschnittes.

Möchte der Anwender durch eine Fläche hindurch fahren, so wird der Mittelpunkt der Fläche berechnet. Auch hier wird anhand des Mittelpunkts der nächstliegende Straßenabschnitt ermittelt und dessen Endknoten später in die Punktmenge der konvexen Hülle aufgenommen.

Ist die anzufahrende Fläche ermittelt, wird zunächst der Puffer gebildet, der sich nach der anzufahrenden Fläche ausrichtet. Im Anschluss kann wie bei der Distanzeingabe und weiterer POI vorgegangen werden. Abbildung 4.56 zeigt ein Beispiel für die Auswahl einer flächenhaften Kategorie mit der Verwendung *vorbeifahren*, Abbildung 4.55 mit der Verwendung *durchfahren* für die Routenberechnung auf Basis einer Distanzeingabe.

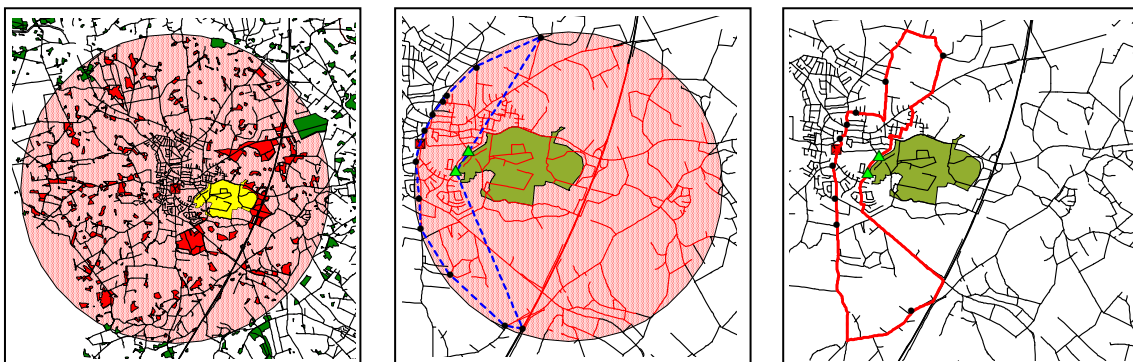
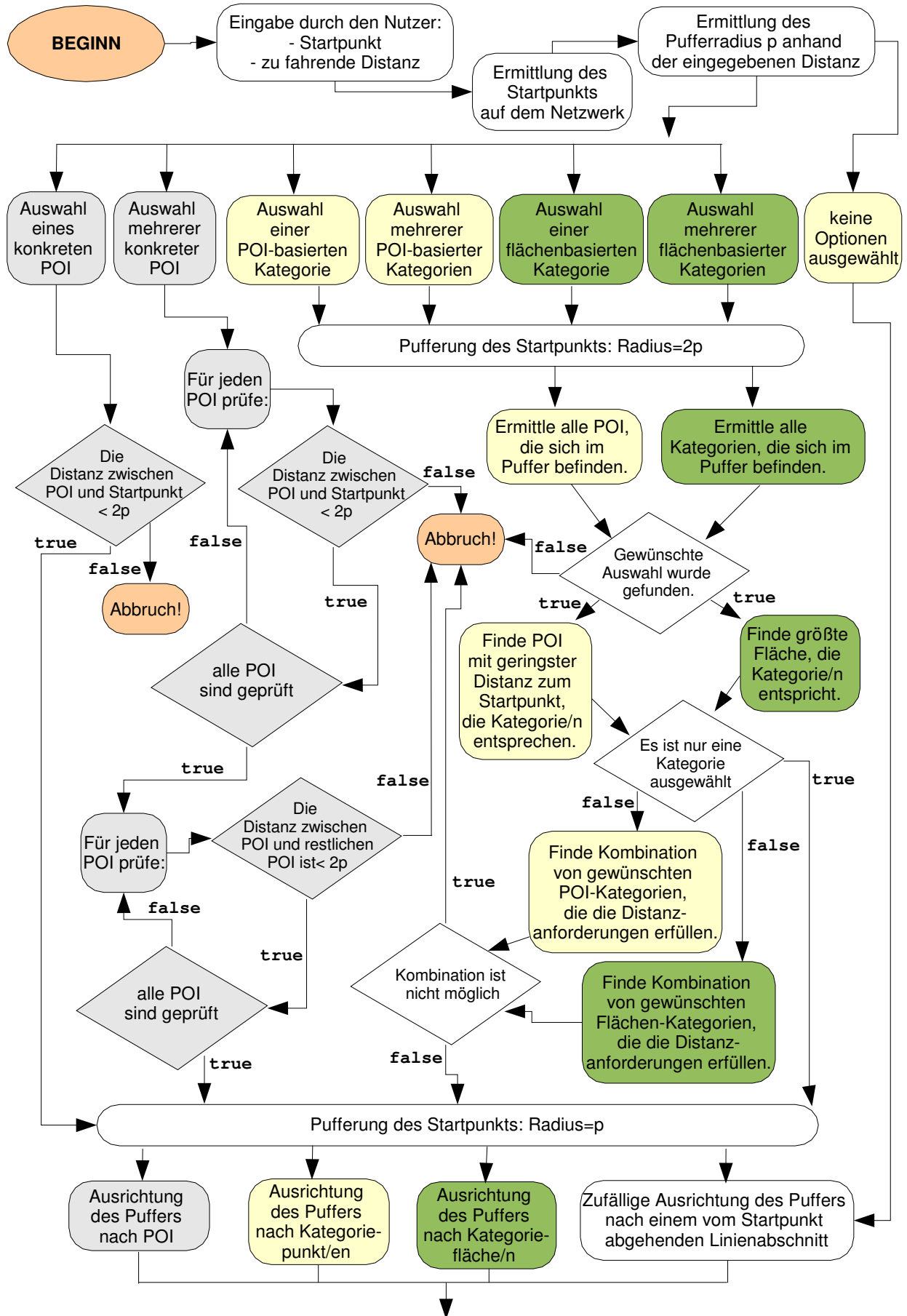


Abb. 4.56: Berechnung einer Route mit der zusätzlichen Eingabe einer flächenbasierten Kategorie (vorbeifahren). Links: Selektion aller Flächen im großen Puffer. Mitte: Bilden der konvexen Hülle und Integration der Endknoten des gefundenen, *an* der größten Fläche liegenden Straßenabschnittes. Rechts: Ergebnisroute: Länge: 15,2 km.

Zusätzlich zu den oben beschriebenen Varianten der flächenbezogenen Kategorieauswahl besteht auch die Möglichkeit, mehrere flächenhafte Kategorien gleichzeitig auszuwählen. Hierfür wird nach dem gleichen Prinzip vorgegangen wie bei der punktbezogenen Kategorieauswahl. Die gewählten Kategorien werden in einem ersten Puffer selektiert. Die größte Fläche einer jeweiligen Kategorie wird ermittelt und es geprüft, ob die ermittelten Flächen in Kombination genutzt werden können. Auch hier wird die Distanzmessung als Kriterium gewählt. Ist dies der Fall, kann die Routenberechnung wie mehrfach beschrieben durchgeführt werden. Trifft dies

nicht zu, muss eine Kombination gefunden werden, die den Anforderungen entspricht. Dies erfolgt auf die gleich Weise wie die Kombinationssuche bei punktbezogenen Kategorien.

Abbildung 4.57 gibt abschließend einen Überblick über das Vorgehen bei der Routenberechnung auf Basis einer Distanzeingabe. Die Auswahl weiterer konkreter POI oder Kategorien ist integriert. Zu beachten ist, dass eine Kombination von konkreten POI und Kategorien in diesem Ablauf nicht miteinbezogen ist. Ob diese Kombination eine weitere, sinnvolle Option darstellt, bleibt zu untersuchen.



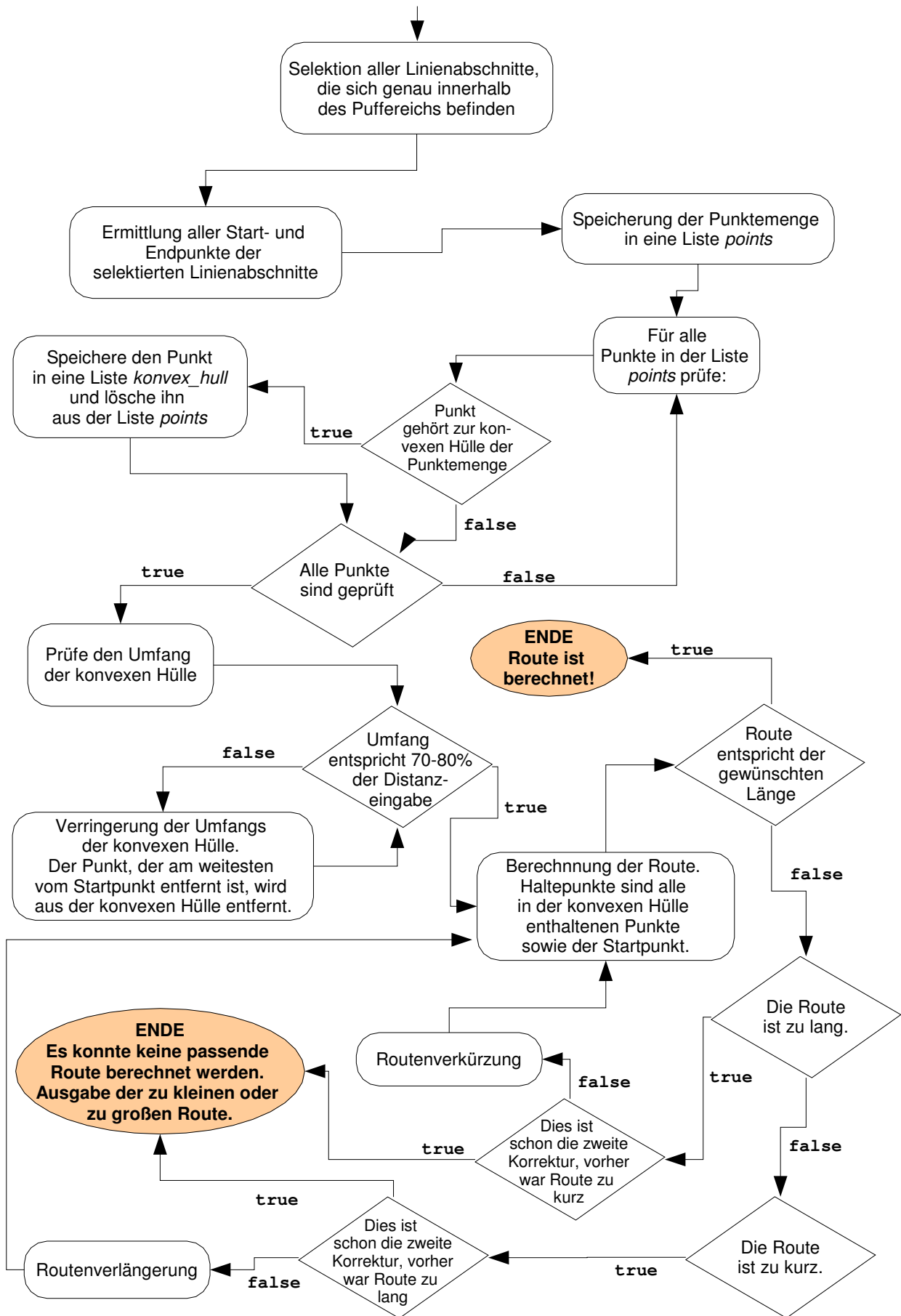


Abb. 4.57: Vorgehen bei der Berechnung einer Route auf Basis einer Distanzeingabe und weiterer konkreter POI oder Kategorien. Quelle: eigener Entwurf.

4.11 Bereitstellung einer Wegbeschreibung

In den folgenden Abschnitten ist ausführlich dargestellt worden, auf welche Weise die verschiedenen Arten der Routenberechnung implementiert worden sind. Der Vollständigkeit halber soll an dieser Stelle nun das Vorgehen bei der Ermittlung einer Wegbeschreibung für die berechnete Route erläutert werden. Eine Wegbeschreibung ist unmittelbar mit der berechneten Route verknüpft. Sie gibt eine textliche Darstellung des Routenverlaufes. Im Rahmen dieser Arbeit ist ein eigenes Verfahren entwickelt worden, um die Wegbeschreibung dynamisch zu generieren.

Ähnlich der Routenberechnung ist die Methode zur Ermittlung einer Wegbeschreibung in Form eines Java-Servlets realisiert. Mit Hilfe des Winkels der einzelnen Linienabschnitte zueinander werden die Fahrhinweise generiert. Die Straßennamen sowie die Länge der einzelnen Straßenabschnitte für die Wegbeschreibung erhält der Algorithmus aus der Tabelle, in der die Route nach der Routenberechnung gespeichert worden ist. Im Folgenden soll das Vorgehen ausführlicher dargestellt werden.

Die Route, welche von den in Kapitel 4.5 und 4.6 beschriebenen Algorithmen generiert worden ist, wird in einer Tabelle der verwendeten Datenbank abgelegt. Der Algorithmus zur Wegbeschreibung greift also zunächst auf die entsprechende Tabelle zu und ermittelt alle zur Route gehörenden Linienabschnitte. In einem ersten Schritt wird geprüft, ob der aktuelle Linienabschnitt den gleichen Straßennamen aufweist wie der darauf folgende Linienabschnitt. Ist dies der Fall, muss kein Winkel und somit keine Abbiegevorschrift für die beiden Linien berechnet werden, da sie zu einer Straße gehören und somit geradeaus gefahren werden muss. Unterscheiden sich die Straßennamen, wird die Winkelberechnung gestartet. Abbildung 4.58 gibt einen Überblick über die notwendigen Berechnungsschritte.

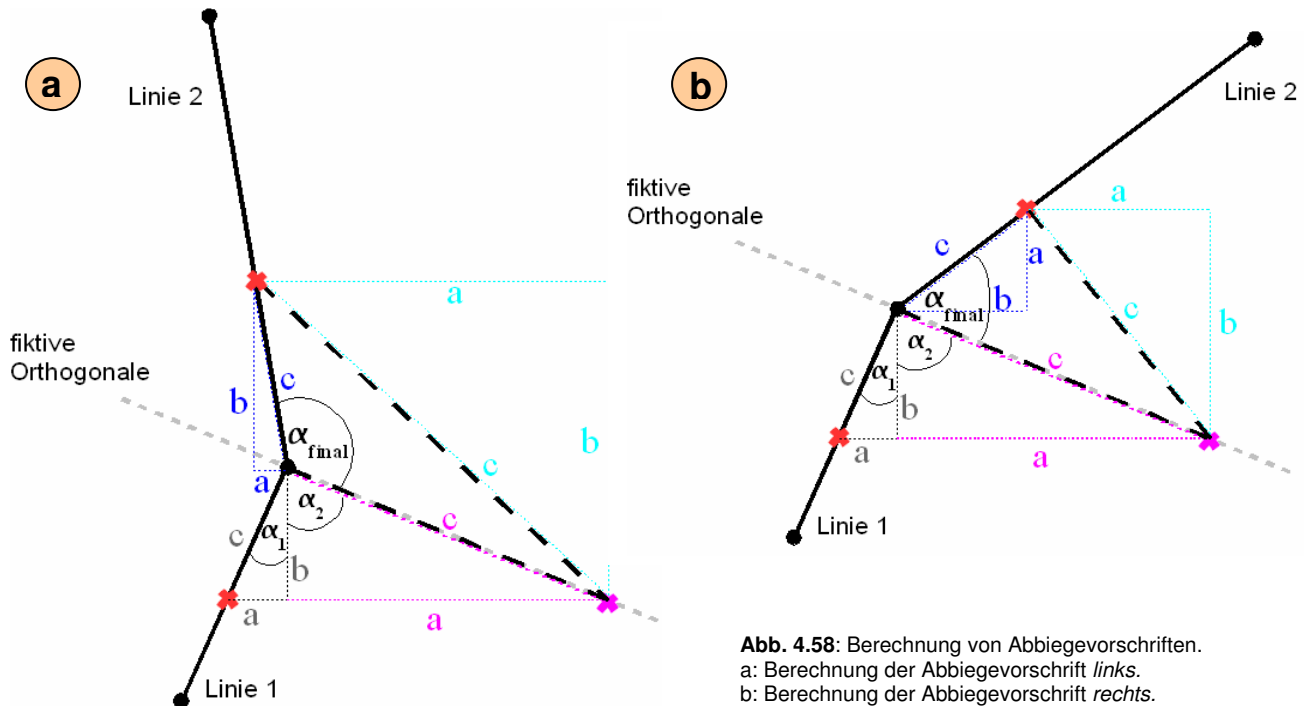


Abb. 4.58: Berechnung von Abbiegevorschriften.
a: Berechnung der Abbiegevorschrift links.
b: Berechnung der Abbiegevorschrift rechts.
Quelle: eigener Entwurf.

Für die Berechnung einer Abbiegevorschrift wird zunächst der gemeinsame Knoten der beiden Linienabschnitte ermittelt. Dabei besteht die Idee des Vorgehens darin, immer rechts von dem gemeinsamen Knoten einen weiteren temporären Knoten zu ermitteln, dessen Verlängerung mit dem ersten Linienabschnitt einen rechten Winkel bildet. Von diesem Knoten aus (pinkfarbener Knoten in Abb. 4.58) soll der Winkel zu Linienabschnitt 2 berechnet werden. Dadurch kann je nach Winkelgröße zwischen der Abbiegevorschrift *links* und *rechts* unterschieden werden. Um dies zu erreichen, wird zunächst ein rechtwinkliges Dreieck gebildet, dessen Hypotenuse die Verbindung zwischen dem letzten Vertex der Linie 1 und dem gemeinsame Knoten der beiden Linien darstellt. In diesem Dreieck kann durch trigonometrische Berechnungen der Winkel α_1 berechnet werden.

Um den Knoten, der sich auf der fiktiven Orthogonalen befindet und von dem aus der Winkel zu Linie 2 berechnet werden soll, zu ermitteln, muss ein weiteres rechtwinkliges Dreieck gebildet werden (pinkes Dreieck). Zu diesem Zweck wird Winkel α_1 von 90° abgezogen, so dass man α_2 erhält. c_{pink} kann durch die Berechnung von Ankathete ($=b_{\text{schwarz}}$) / α_2 ermittelt werden. c_{blau} und $c_{\text{türkis}}$ können wiederum durch das Bilden zweier rechtwinkliger Dreiecke gewonnen werden, so dass der gewünschte Winkel α_{final} mit Hilfe des Kosinussatzes

$$\alpha_{\text{final}} = \arccos\left(\frac{c_{\text{türkis}}^2 + c_{\text{türkis}} \cdot c_{\text{blau}} - c_{\text{blau}}^2 - c_{\text{pink}}^2}{-2 \cdot c_{\text{blau}} \cdot c_{\text{pink}}}\right)$$

berechnet werden kann.

Je nach Größe des Winkels kann dem Anwender die zu fahrende Richtung ausgegeben werden (vgl. Abb. 4.59).

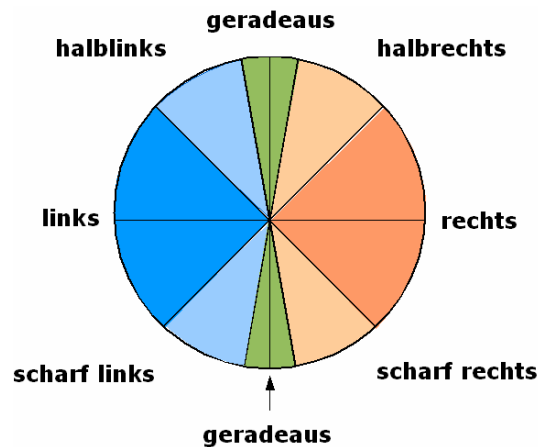


Abb. 4.59: Winkel und zugehörige Abbiegevorschrift. Quelle: eigener Entwurf.

Das Ergebnis des oben dargestellten Verfahrens zur Berechnung einer Wegbeschreibung ist eine Angabe von Streckenlänge und Abbiegevorschrift. Diese Routenanweisungen haben jedoch einen Nachteil: Sie sind für die menschlichen Bedürfnisse der Wegfindung nicht umfassend konzipiert. Untersuchungen haben gezeigt, dass Personen sich nicht nur auf grundlegende Elemente wie Richtungen beschränken, sondern vielfach auch weitere Orientierungshilfen

für eine Wegbeschreibung zur Hilfe nehmen. Diese Orientierungshilfen im Raum werden als Landmarken bezeichnet. Sie zeichnen sich durch eine spezielle visuelle Charakteristik, eine einzigartige Funktion oder Bedeutung sowie einer zentrale oder hervorstechende Lage aus (ELIAS und HAMPE 2003, S. 1). Projekte, die eine landmarkenbasierte Navigation implementiert und untersucht haben, existieren z.B. an der Universität Münster in Zusammenarbeit mit der Universität Wien (vgl. RAUBAL und WINTER 2002) und an der Universität Hannover (vgl. ELIAS und HAMPE 2003). Es bleibt zu untersuchen, inwiefern die vorliegenden Ergebnisse der Projekte auch im Rahmen dieser Arbeit eingebunden werden könnten, um eine landmarkenbasierte Wegbeschreibung zu generieren.

4.12 Zusammenfassung

Für die Bereitstellung von Routingfunktionalitäten für einen Fahrradrouutenplaner ist die Berechnung einer Route zwischen zwei Orten sowie die Berechnung einer Rundtour realisiert worden. Um die Berechnung an die Nutzerwünsche anzupassen, wurden zusätzliche Optionen zur Auswahl bereitgestellt, die zuvor einer Bewertung unterzogen wurden. Zu guter Letzt wurde die Routenberechnung in der Form adaptiert, dass der Anwender lediglich einen Startpunkt sowie eine zu fahrende Distanz eingeben muss, um ein Ergebnis zu erhalten. Zusätzlich konnten in diesem Verfahren weitere konkrete Punkte oder Kategorien ausgewählt werden. Eine Kombination von konkreten Punkten und Kategorien bei der Eingabe ist vorstellbar, allerdings stellt sich dabei die Frage der Praxistauglichkeit. Es ist zu bedenken, dass die Routenberechnung sehr stark an Flexibilität verliert, je mehr Vorgaben die berechnete Route erfüllen muss. HAAS (2005) bindet aus diesem Grund bereits konkrete POI in die Routenberechnung nicht ein, sondern beschränkt sich lediglich auf Kategoriepunkte. Technisch ist die Umsetzung der Kombination von Eingaben zwar möglich, soll an dieser Stelle aber nicht weiter verfolgt werden. Stattdessen wird im nächsten Kapitel dargestellt, welche Komponenten notwendig sind, um den Anwendern die vorgestellten Funktionalitäten in Form einer Internet-Anwendung zur Verfügung zu stellen.

5 Aufbau eines webbasierten Fahrradrouutenplaners

Ein webbasierter Fahrradrouutenplaner zeichnet sich dadurch aus, dass der Anwender nicht nur fertige Tourenvorschläge auswählen, sondern sich eine eigene Tour individuell und in Echtzeit zusammenstellen kann. Dies setzt voraus, dass die Internet-Applikation über Funktionalitäten verfügt, die über die Navigationsfunktionen in der Karte hinausgehen. Ein solches System, welches neben der kartographischen Darstellung und der Durchführung einfacher Ansichtsm Manipulationen wie Zoomen und Verschieben der Karte auch Zugriff auf Datenbanken erhält und auf dieser Grundlage GIS-Operationen selbstständig durchführen kann, wird nach DIECKMANN (2001, S. 18) als Web-GIS bezeichnet.

Wichtiger Bestandteil eines Web-GIS ist die Karte, welche z.B. die Fahrradroute im Gelände visualisiert. Webbasierte Karten oder auch Web-Karten lassen sich grob in zwei unterschiedliche Bereiche einteilen, die statischen und die dynamischen Web-Karten. Bei einer statischen Karte kann es sich z.B. um eine analoge Karte handeln, die für die Präsentation im Internet gescannt wurde. Statische Karten bilden heute die am weitesten verbreitete Form von Karten im Internet (KRAAK und BROWN 2001). Durch sensitive Bereiche innerhalb der statischen Karte können per Klick z.B. weitere Informationen zu der Karte oder Texte und Bilder aufgerufen und so eine Interaktion vorgetäuscht werden. Die dynamischen Karten zeichnen sich dadurch aus, dass der Anwender in Echtzeit in ihnen navigieren kann. Der Ausschnitt der Karte ist nicht festgelegt sondern individuell wählbar. Gerade im Bereich des Web-GIS sind dynamische Karten weit verbreitet (DIECKMANN 2001, S. 35).

Auch im Rahmen dieser Arbeit soll auf die Technik eines Web-GIS in Zusammenhang mit einer dynamischen, interaktiven Kartenkomponente zurückgegriffen werden. Die hierfür notwendigen Komponenten werden im Folgenden genannt und erläutert.

5.1 Einrichtung eines Servers

Ein Online-Fahrradrouutenplaner steht seinen Anwendern im Internet zur Verfügung, wobei das Internet eine Sammlung von vielen verschiedenen Netzwerken darstellt. Jedes einzelne Netzwerk ist eine Sammlung von verknüpften Informationsanbietern, die über das gleiche Übertragungsprotokoll miteinander kommunizieren. Das zugrunde liegende Prinzip basiert auf der Datenübertragung von einem Gerät zu einem anderen innerhalb eines Netzwerkes (KRAUß 1999, S. 14). Die potentiellen Nutzer eines Fahrradrouutenplaners greifen also von ihrem Rechner aus über dieses Netzwerk auf die Anwendung zu.

Fast alle Netzwerkprogramme folgen dem Client-Server-Prinzip, wobei ein Client/Server-System sich aus den Client- und Server-Rechnern, die über ein Netzwerk miteinander verbunden sind, zusammensetzt. Die Client-Rechner sind die Arbeitsstationen der einzelnen Anwender, während der Server-Rechner die Daten (Informationen, Dateien oder sogar Computerprogramme) steuert, die für diese Arbeit benötigt werden. Auf diese Weise können alle Daten

zentral auf dem Server-Rechner verwaltet werden (vgl. QUARK 2002). Um eine Client/Server-Architektur für ein Informationssystem einzurichten, sind mehrere Konfigurationen möglich. Diese beziehen sich auf die Beziehung von Datenhaltung, Anwendungsprogrammen und dem Server, der die Bereitstellung im Internet ermöglicht. Die Art der Konfiguration ist abhängig von der erwarteten Anzahl täglicher Nutzerzugriffe. So reicht z.B. ein Computer für alle Komponenten bei einem Zugriff von bis zu 1000 Anwendern aus. Liegt die Anzahl der Zugriffe darüber, sind die Daten und Anwendungsprogramme auf einem separaten Computer zu halten (vgl. MARSHALL 2001).

Im Vorfeld wurde entschlossen, dass serverseitig überwiegend freie Software für die Umsetzung des Routenplaners genutzt werden soll. Dies ist zum einen mit den mangelnden finanziellen Mitteln zu begründen, zum anderen allerdings auch mit der freien Verfügbarkeit der Quellen und damit der besseren Schnittstellenanbindung, Interoperabilität und Erweiterbarkeit der Anwendung.

Freie Software

Freie Software wird durch die folgenden vier Freiheiten definiert:

- Die Freiheit, ein Programm für jeden Zweck einsetzen zu dürfen
- Die Freiheit, untersuchen zu dürfen, wie ein Programm funktioniert, und es den eigenen Bedürfnissen anzupassen
- Die Freiheit, Kopien für andere machen zu dürfen
- Die Freiheit, das Programm verbessern zu dürfen und diese Verbesserungen zum allgemeinen Wohl zugänglich zu machen.

Freie Software muss nicht zwangsläufig kostenlos sein. Daher wurde ergänzend der Begriff „OpenSource“ Software geprägt. Der Begriff „OpenSource“ besagt, dass der Quellcode als frei verfügbare Ressource zur Verfügung steht. „OpenSource“ ist daher die Grundvoraussetzung für Freie Software. Häufig ist für den Nutzer einer Software der Aspekt "kostenlos" wichtiger als "frei", jedoch handelt es sich bei Freeware häufig nicht um freie Software im Sinne der Definition. Um die oben beschriebenen Freiheiten zu gewährleisten, existiert die General Public License (GPL) (vgl. <http://www.gnu.org/licenses/>). Sie ist eine von der Free Software Foundation herausgegebene Lizenz zur Lizenzierung Freier Software. Diese wie auch die meisten OpenSource Lizenzen verlangen, dass Folgeprodukte, die auf OpenSource aufbauen, wiederum der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt werden (KINBERGER und PUCHER 2005, S. 467).

5.1.1 Betriebssystem und WebServer

Trotz der Vorgabe einer Nutzung freier Software wurde entschieden, zur Einrichtung eines Servers das Betriebssystem Windows XP von Microsoft zu nutzen. Zum einen kann dieses in fehlenden Linux-Kenntnissen begründet werden. Zum anderen wir davon ausgegangen, dass potentielle Betreiber eines Fahrradrouutenplaners aus öffentlichen Gebietskörperschaften überwiegend Windows in Benutzung haben, so dass sich die Einarbeitung in das System einfacher gestalten wird. Alle weiteren Komponenten, die im Folgenden vorgestellt werden, basieren auf dem OpenSource Gedanken. Eine Portierung auf ein Linux-basiertes System ist daher ohne weiteres möglich.

Um Daten oder Webseiten für Anwender verfügbar zu machen, muss der Rechner mit einem WebServer ausgestattet werden, der die Kommunikation zwischen Internet und dem Rechner, auf dem die Anwendung liegt, herstellt. Ein WebServer ist im engeren Sinne ein Server-Dienst, der Informationen nach dem HTTP-Protokoll zur Verfügung stellt. Die Daten werden über HTTP-URLs adressiert. Im Falle dieser Arbeit wird der Apache 2.0, ein freier WebServer, eingesetzt.

5.1.2 Datenbank

Zur Datenhaltung der notwendigen Basisdaten, wie z.B. dem Radwegenetz, wird die freie Datenbank PostgreSQL 8.0 für Windows erweitert durch den Aufsatz PostGIS genutzt. PostgreSQL ist ein objektrelationales Datenbankmanagementsystem (ORDBMS), das als Open-Source-Programm im Internet (vgl. <http://www.postgresql.org>) frei verfügbar ist und ohne Lizenzierung heruntergeladen und benutzt werden darf. Ursprünglich wurde POSTGRES als universitäres Projekt an der University of California im Berkeley Computer Science Department entwickelt. Seither wurde von vielen Entwicklern auf der ganzen Welt an diesem Code weitergearbeitet und bekam 1996 den Namen PostgreSQL. Die Abfragen in PostgreSQL werden, wie es der Name vermuten lässt, in SQL, der Structured Query Language übergeben. SQL ist eine deklarative Datenbanksprache für Relationale Datenbanken. Sie stellt eine Reihe von Befehlen zur Manipulation von Datenbeständen und zur Abfrage von Daten zur Verfügung. Um räumliche Daten, die für eine Netzwerkberechnung notwendig sind, in PostgreSQL ablegen und abfragen zu können, wurde zusätzlich die Erweiterung PostGIS installiert. PostGIS ist somit eine Erweiterung von PostgreSQL um geografische Objekte. PostGIS beinhaltet folgende Funktionalitäten: Unterstützung von Simple Features gemäß der Spezifikation des Open Geospatial Consortiums (OGC) (vgl. Simple Feature Specification), Spatial-Feldformate in Well-Known-Text-Syntax (Geometrie), Import vieler GIS-Formate, räumliche Indizierung von GIS-Objekten, Unterstützung von gängigen GIS-Analysefunktionen (vgl. <http://postgis.refrations.net>).

5.1.3 Mapserver

Zur Visualisierung der in der Datenbank gehaltenen Geodaten wird ein MapServer benötigt. „Ein MapServer ist ein Programm, welches der interaktiven, individuellen und unmittelbaren Erstellung und Visualisierung von geographischen Informationen in Form von Karten über das Internet dient“ (FÜRPAß 2001, S. 36). Um die Interaktivität zu gewährleisten, muss der Benutzer die Möglichkeit haben, sich jeden beliebigen Kartenausschnitt in einem von ihm gewählten Maßstab zu betrachten. Individualität wird dadurch erreicht, dass der Benutzer z.B. angeben kann, welche Kartenebenen er betrachten will. Man kann einen MapServer auch als ein Bindeglied zwischen einem vorhandenen Geodatenbestand auf Serverseite und der Darstellung dieser Daten in Form einer Karte auf Clientseite beschreiben.

Am Beispiel des im Kapitel 2 präsentierten Fahrradrouenplaners *Fahrradies* sollen im Folgenden verschiedene MapServer vorgestellt werden. Das *Fahrradies* hat am Institut für Geoinformatik und Fernerkundung im Laufe der Jahre im Bereich der Basistechnologie eine weitreichende Entwicklung erfahren. Besonderes Augenmerk wurde dabei auf die verschiedenen dem

Fahrradies zugrunde liegenden Systeme bzw. MapServer gelegt. Dies soll nun dazu dienen, eine Auswahl eines MapServers für diese Arbeit zu treffen. Eine Übersicht über weitere kommerzielle MapServer, die allerdings an dieser Stelle nicht untersucht werden sollen, findet sich bei MCKEE (2001).

5.1.3.1 ArcView Internet MapServer (ArcView IMS)

Im Jahr 2001 wurde die erste Version des Fahrradrouenplaners *Fahrradies* entwickelt. Die Grundlage bildete das Geographische Informationssystem (GIS) *ArcView 3.2* der Firma ESRI. Mit Hilfe dieses GIS wurden die Daten kartographisch aufbereitet und bereitgestellt. Um die Daten, die in dem GIS vorlagen, im Internet veröffentlichen zu können, wurde der *ArcView Internet Map Server (ArcView IMS)*, eine Erweiterung für *ArcView 3.x* verwendet. Die Netzwerk-berechnungen wurden mit dem *Network Analyst 1.1*, eine weitere Erweiterung für *ArcView 3.x*, durchgeführt. Die Erweiterungen sind im Standardpaket von *ArcView 3.x* nicht enthalten. Sie müssen zusätzlich erworben werden.

Die Kommunikation (s. Abb. 5.1) zwischen dem Anwender auf Clientseite und *ArcView 3.x* auf Serverseite erfolgt durch HTML-Formulare, die in der graphischen Benutzeroberfläche des Anwenders eingebettet sind. Ausgewählte Haltepunkte und weitere Optionen werden in Form von Formulareinträgen über den *ArcView IMS* an *ArcView* gesendet. In *ArcView* wird ein entsprechendes Script aufgerufen, welche die gewünschte Funktionalität ausführt und das Ergebnis in Form von HTML an den Client zurückliefert (JUNG und SCHNEEWEISS 2001, S. 27).

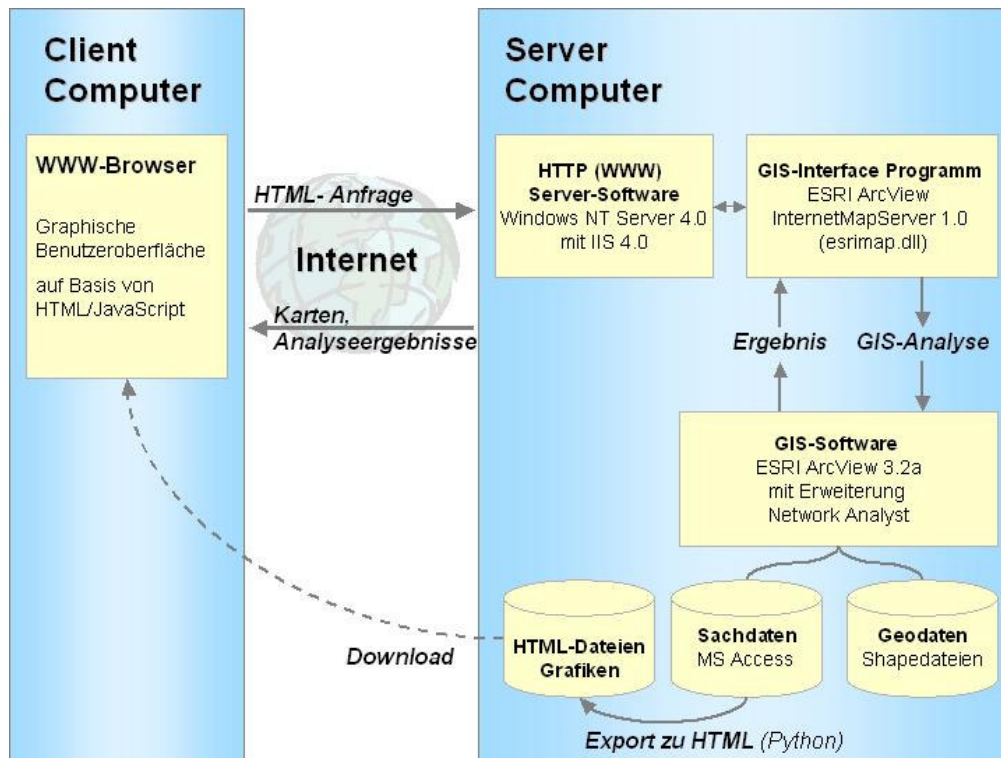


Abb. 5.1: Die Architektur des *Fahrradies*. Quelle: SCHNEEWEISS 2001, S. 38.

Besonders positiv hervorzuheben ist die Möglichkeit, durch die Skriptsprache *Avenue* alle Funktionalitäten in *ArcView* mit einfachen Mitteln ansprechen zu können. Dadurch erhält man eine gute Möglichkeit, angepasste Funktionalitäten im Internet bereitzustellen und eine schnelle Implementation erster Karten zu erzielen.

Softwarebedingt ist die Navigation im *Fahrradies* wenig komfortabel. Das Rein- und Rauszoomen ist nur punktuell möglich, so dass z.B. beim Hereinzoomen auf ein Objekt in mehreren Stufen gezoomt werden muss, um den gewünschten Maßstab zu erhalten. Außerdem ist die Software nicht in der Lage, sehr große Datenmengen zu bewältigen, was im Hinblick auf ein großes Projektgebiet negativ zu beurteilen ist. Zudem ist keine Mehrbenutzerfähigkeit vorhanden sondern lediglich ein Zugriff von einigen Anwendern gleichzeitig möglich, wenn entsprechend viele *ArcView*-Anwendung gleichzeitig laufen (STROEMER 2002, S. 12). Ein weiteres Defizit ist die mangelnde graphische Kartenausgabe, die gerade für den Ausdruck der Karte zur Mitnahme ins Gelände enorm wichtig ist (s. hierzu auch Kap. 2). Wie bei allen proprietären Systemen spielen weiterhin die Lizenzkosten, die im Rahmen einer Internetanwendung auf den Betreiber zukommen, eine Rolle. Hinzu kommt, dass *ESRI* den *ArcView IMS* nicht mehr weiterentwickelt. Aus diesem Grund wird der *ArcView IMS* für die Umsetzung eines webbasierten Fahrradrouenplaners nicht weiter in Betracht gezogen werden.

5.1.3.2 *Arc Internet MapServer (ArcIMS)*

Um die Defizite der ersten Version des *Fahrradies* auszuräumen und die Navigation des *Fahrradies* komfortabler zu gestalten, wurde im Jahr 2002 das *Fahrradies++* entwickelt, eine Weiterentwicklung des *Fahrradies* auf Basis des MapServers *Arc Internet Map Server (ArcIMS)* der Firma *ESRI*. Dieser MapServer stellt das Nachfolgeprodukt des *ArcView IMS* dar und eignet sich sehr gut für die Implementierung eines Kartendienstes im Internet. Aufgrund einer einfachen Menüführung ist es schnell möglich, eine Standardwebseite, die eine dynamische Karte beinhaltet, zu generieren. Der *ArcIMS* bietet standardmäßig einen großen Funktionsumfang, z.B. das Zoomen durch Aufziehen einer Box in der Karte. Zusätzlich wurde die Qualität des Ausgabekartenbildes verbessert.

Die Kommunikation zwischen den Komponenten auf Serverseite und den Anwendern auf Clientseite basiert auf Anfragen und Ergebnissen verfasst in ArcXML, welches eine spezielle Form der Extensible Markup Language (XML) darstellt. XML ist eine Methode, strukturierte Daten in eine Textdatei zu bringen. Der besondere Vorteil besteht darin, dass diese Meta-Sprache auf verschiedenen Betriebsplattformen und in verschiedenen Anwendungen eingesetzt werden kann. Den XML-Standard, herausgegeben von dem World Wide Web Consortium (W3C) gibt es seit 1998. Sowohl XML als auch HTML werden mit Hilfe von SGML (Standardised General Markup Language) definiert. SGML ist als ISO-Norm 8879 seit 1986 festgeschrieben. Der Anwender des *Fahrradies++* stellt eine Anfrage, z.B. die Anfrage eines bestimmten Kartenausschnitts, für die eine JavaScript-Funktion die dafür nötige ArcXML-Anfrage schreibt. Eine so verfasste Anfrage wird mit Hilfe eines sog. Connectors an den Server gesendet. Das Ergebnis in Form von ArcXML wird vom Server zurück an den Connector gesendet. Mit Hilfe einer entsprechenden JavaScript-Funktion wird das Ergebnis verarbeitet (EHLERS und STROEMER 2004, S.30).

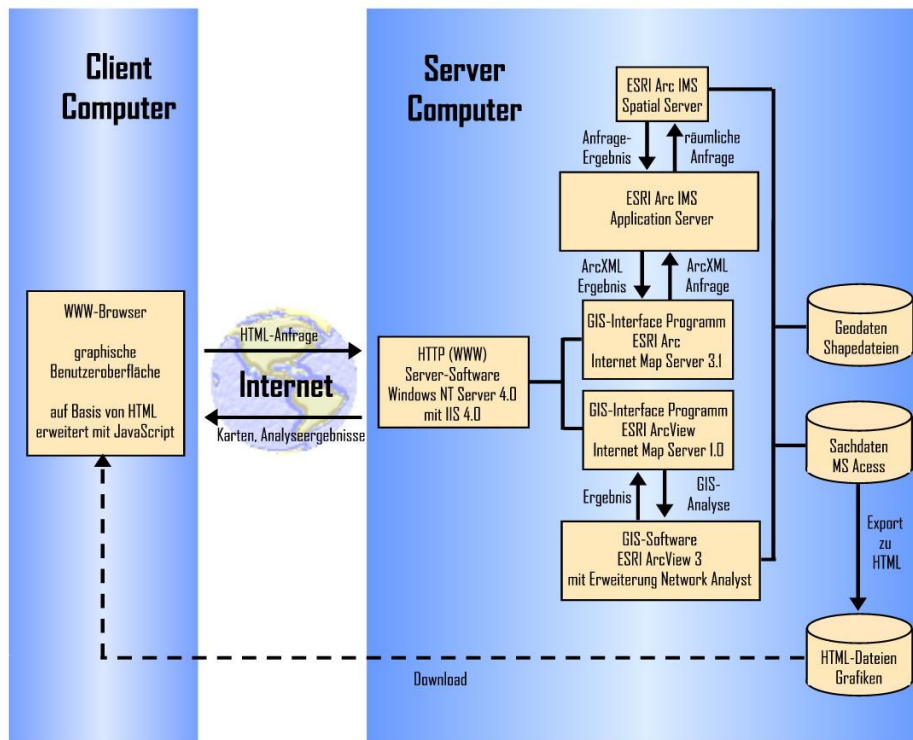


Abb. 5.2: Systemarchitektur des Fahrradroutenplaners *Fahrradies++*, implementiert mit dem *ArcIMS*. Quelle: STROEMER 2002, S. 36.

Leider besitzt der *ArcIMS* standardmäßig keine Routingfunktionalität. Es existiert zwar die Erweiterung „Route Server Extension“, ein weiterer Dienst für den *ArcIMS*, der seit Dezember 2001 in den USA auf dem Markt. Diese Erweiterung ist jedoch speziell auf die Straßendaten von *TeleAtlas* optimiert, da diese zur Verbesserung der Performanz in einem speziell komprimierten Format vorliegen (STROEMER 2002, S. 29). Daher wurde im Fall des *Fahrradies++* die Routenberechnung weiterhin mit *ArcView* durchgeführt. Um jedoch die Kommunikation mit *ArcView* zu gewährleisten, blieb auch der *ArcView IMS* weiterhin im Einsatz, so dass eine sehr umfangreiche Systemarchitektur für dieses Projekt entstand (s. auch Abb. 5.2). Die Schwierigkeit dieser Implementation bestand vor allem darin, zwei MapServer in die Anwendung einzubinden und deren jeweilige Kommunikation mit dem Client so zu koordinieren, dass keine Berührungspunkte ihrer Anfragen und Ergebnisse entstehen (STROEMER 2002, S. 84).

Wie bereits anfangs erwähnt, bietet der *ArcIMS* durch eine gute Menüführung eine schnelle Möglichkeit, Geodaten im Internet zu veröffentlichen. Im Gegensatz zum *ArcView IMS* konnte die Kartenqualität verbessert und der Funktionsumfang der Internetanwendung erweitert werden. Auch zu erwähnen ist die Mehrbenutzerfähigkeit, die standardmäßig zur Verfügung steht. Dem gegenüber steht die fehlende Routingkomponente des *ArcIMS*. Da er nicht fähig ist, selbstständig Routen zu berechnen, müssen weitere Komponenten wie in diesem Fall *ArcView* mit dem *ArcView IMS* hinzugezogen werden, was wiederum eine umfangreiche Architektur zur Folge hat. Zusätzlich leidet dadurch erneut die Mehrbenutzerfähigkeit (s. Kap. 5.1.3.1). Außerdem sind der Anschaffungspreis des *ArcIMS* sowie die Lizenzkosten ein weiterer Nachteil dieses MapServers.

Mittlerweile (Stand Juni 2006) gibt es für die RouteServer Extension die Möglichkeit, eigene Daten anzupassen und zu verwenden. Allerdings ist der Route Server ein vom *ArcIMS* gesondert zu lizenzierendes Produkt, was weitere Kosten zur Folge hätte. Zusätzlich existiert der Network Analyst seit Mitte 2005 auch für die Nachfolgesoftware von *ArcView*, der sog. *ArcGIS*-Familie. Diese neue Erweiterung bietet im Gegensatz zur Vorgängerversion zahlreiche neue Funktionalitäten und mehr Möglichkeiten der Anpassung (DÖRFFEL 2005, S. 32f). Allerdings ergeben auch die Komponenten *ArcGIS* mit dem Network Analyst für die Implementierung eines Fahrradrouutenplaners im Internet neben den hohen Lizenzkosten eine sehr wuchtige Architektur. Ein Beispiel dafür findet sich bei FÜLÖP und SCHAPKE (2004).

5.1.3.3 *GeoMedia WebMap Professional 5.1 (GMWM Pro)*

Aus den oben dargestellten Nachteilen des *ArcIMS* als MapServer für einen Fahrradrouutenplaner entstand im Jahr 2004 die Idee, in Zusammenarbeit mit der *Intergraph GmbH* eine Studie durchzuführen, die untersucht, inwiefern *Intergraph*-Software als Grundlage für das *Fahrradies* eine bessere Wahl darstellt. So entschied man sich für die Umsetzung des *Fahrradies* mit dem *GeoMedia WebMap Professional 5.01*, dem MapServer aus dem Hause *Intergraph*. Der *GeoMedia WebMap Professional* besitzt neben einem geregelten Mehrbenutzerzugriff Funktionalitäten zur Berechnung von Routen nach dem ‚Traveling Salesman Problem‘. Die Kommunikation zwischen Client und Server erfolgt auf der Basis von Active Server Pages (ASP). Durch die ASP-Skripte können die Objekte des *GeoMedia WebMap* durch die Nutzung der COM-Objekte direkt angesprochen werden.

In erster Linie ist die vorhandene Routingkomponente hervorzuheben, die eine kleine Architektur ermöglicht. Zusätzlich kann die Ausgabe der Karte standardmäßig in dem Vektorformat CGM (Computer Graphics Metafile) oder SVG (Scalable Vector Graphics) erfolgen. Dadurch wird eine Interaktion zwischen Karte und Anwender und eine sehr gute graphische Qualität der Karte ermöglicht. Dies ist vor allem im Hinblick auf die Akzeptanz der Anwender von Bedeutung. Die Nutzung einer Karte im Vektorformat bringt den Nachteil mit sich, dass der Nutzer im Vorfeld ein Plug-In installieren muss, um dieses Format laden zu können. Dies könnte den Nutzerkreis einschränken (STROEMER 2004, S. 21).

Durch die Verwendung von ASP mit dem *GeoMedia WebMap* erhält man eine gute Möglichkeit, die Funktionalitäten des WebMap direkt anzusprechen. Die Verwendung von ASP bringt allerdings den Nachteil mit sich, den WebServer *Internet Information Server (IIS)* der Firma *Microsoft* nutzen zu müssen. Dies verhindert den Einsatz eines OpenSource-Produktes wie z.B. dem *Apache WebServer*. Ein großer Vorteil ist, dass im Gegensatz zur Architektur des *Fahrradies++* nur eine GIS-Komponente für die Anwendung benötigt wird. Allerdings ist anzumerken, dass für die Datenaufbereitungen im Vorfeld das Vorhandensein von *GeoMedia*, dem Desktop-GIS der *Intergraph*-Produktfamilie notwendig ist (STROEMER 2004, S. 22). Zu guter Letzt sind auch bei der Lösung mit dem *GeoMedia WebMap* die Lizenzkosten des MapServers als ein Nachteil für die Nutzung eines Fahrradrouutenplaners zu nennen.

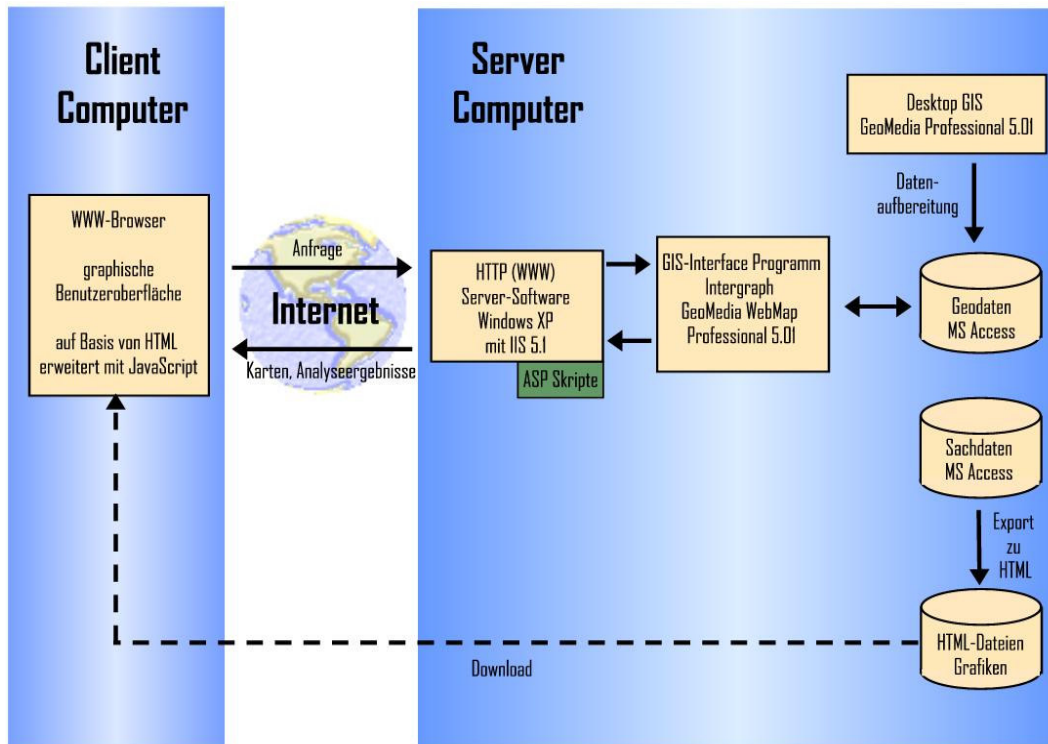


Abb. 5.3: Systemarchitektur des Fahrradroutenplaners *Fahrradies*, implementiert mit dem *GeoMedia WebMap Professional 5.1*.
Quelle: STROEMER 2004, S.6.

5.1.3.4 University of Minnesota (UMN) MapServer

Der *UMN MapServer* ist eine OpenSource Software Entwicklungsumgebung für die Darstellung räumlicher Daten im Inter- und Intranet. Der MapServer basiert auf anderen OpenSource und Freie Software Produkten wie zum Beispiel Shapelib, Proj4 oder GDAL/OGR. Durch die Programmierschnittstelle MapScript ist der MapServer in der Lage, die Funktionalitäten von verschiedenen Programmiersprachen wie z.B. PHP oder Perl zu nutzen. Standardmäßig besitzt der *UMN MapServer* einen eingeschränkten Funktionsumfang. Das Programm ist in der Lage, Geodaten zu visualisieren und diese zu verarbeiten. Durch die Verwendung weiterer Software kann man die Funktionalität des MapServers entscheidend erweitern, wobei es durch die Offenlegung des Quellcodes und die Programmierschnittstelle MapScript kaum Einschränkungen gibt.

Der MapServer arbeitet als CGI-Skript in der Schnittstelle des WebServers. Der Nutzer kommuniziert über das HTTP-Protokoll mit dem WebServer, der die Anfrage über die CGI-Schnittstelle an den *UMN MapServer* weiterleitet. Der MapServer verarbeitet die Anfrage und greift dabei auf die Geodaten zurück. Dabei wird ein Abbild der Anfrage generiert und das HTTP-Protokoll zurück an den Anwender gesendet. Der *UMN MapServer* ist im Gegensatz zu den *ESRI*- und *Intergraph*-Produkten eine reine Visualisierungssoftware von Geodaten und nicht in der Lage, WebGIS-Anwendungen zu verwalten (PFEIL 2005, S. 30).

5.1.3.5 Vergleich der MapServer

Ein großer Unterschied zwischen dem *UMN MapServer* und den proprietären MapServern besteht in dem technischen Aufbau. Der *ArcIMS* z.B. verwendet ein Servlet, welches bei einem Fehler neu gestartet werden muss. Dies hat wiederum zur Folge, dass auch der *WebService* neu gestartet werden muss. Der *UMN MapServer* hingegen läuft als Anwendung im CGI und ist immer einsatzfähig. Bei einem Fehler wird lediglich bei einer neuen Anfrage ein neuer Prozess gestartet. Alle MapServern ist die schnelle Beantwortung einer Anfrage sowie die unproblematische Installation gemein (PFEIL 2005, S. 32ff).

Weitere große Unterschiede gibt es bei den Lizenzkosten und dem Support. Während der *UMN MapServer* ohne Lizenzkosten auskommt, müssen sowohl für den *ArcIMS* als auch den *GeoMedia WebMap* hohe Lizenzgebühren bezahlt werden. Allerdings gleicht sich diese Tatsache bei der Dokumentation und dem Support wieder aus. Für die proprietären Systeme gibt es ausführliche Dokumentationen und Supportleistungen sowie Softwareupdates und Anwendertreffen. Für den *UMN MapServer* werden keine Supportleistungen bereitgestellt. Der Anwender muss sich durch Eigeninitiative in Internetforen oder Tutorials selbst helfen (HEIß 2003, S. 15).

Zum Schluss kann noch der Funktionsumfang als ein Unterschied zwischen den MapServern herausgearbeitet werden. Während der *ArcIMS* und der *GeoMedia WebMap* standardmäßig sehr viele Funktionen zur Verfügung stellen, besitzt der *UMN MapServer* nur wenig Funktionalitäten. Diese müssen bei Bedarf selbst entwickelt werden. Zu diesem Zweck stehen jedoch bereits zahlreiche Internetportale zur Verfügung, auf denen Quellcode für die Erweiterung des *UMN MapServers* von der Anwendergemeinde bereitgestellt wird.

Im Zuge dieser Arbeit wurde sich für die Umsetzung der Anwendung mit dem *UMN MapServer* entschieden. Gründe hierfür sind zum einen die fehlenden Lizenzkosten, was gerade im Hinblick auf eine Realisierung für eine Testregion entscheidend ist. Da das Routing flexibler gestaltet werden soll, muss zum anderen in die Algorithmen, die dieses Routing bedingen, eingegriffen werden. Dies ist bei den proprietären Systemen nicht möglich. So wurde das Routing wie im vorigen Kapitel ausführlich beschrieben in großen Teilen selbstständig entwickelt und die Kommunikation mit dem *UMN MapServer* aufgebaut.

5.1.4 Datengrundlage

Die wichtigste Komponente eines Informationssystems stellen die Daten dar, welche die Grundlagen aller Analysen und Abfragen bilden. An sie werden die Anforderungen der Genauigkeit, Vollständigkeit, Richtigkeit und Aktualität gestellt (KRAUß 1999, S. 6), wodurch auch die Qualität der auf ihnen basierenden Anwendung bestimmt wird. Die Daten werden in zwei Gruppen unterteilt, die räumlichen und die Sachdaten.

5.1.4.1 Räumliche Daten

Räumliche Daten stellen Objekte der realen Welt in einer 2-dimensionalen Ebene dar, wobei man zwischen Raster- und Vektordaten unterscheidet.

Rasterdaten

Das Grundelement bei den Rasterdaten ist das Pixel (Picture Element, Bildelement). Es wird zeilen- oder spaltenweise in einer Matrix gleichförmiger Elemente angeordnet, wodurch sich eine Art Raster bildet (BARTELME 1995, S. 95). Soll ein Punkt im Raster dargestellt werden, so kann dies nur durch ein einzelnes Pixel geschehen. Linien werden durch eine Abfolge von Pixeln, Flächen als Füllpixel einer Linienbegrenzung dargestellt (GÖPFERT 1991, S. 207). Rasterdaten enthalten lediglich Informationen über Grau- oder Farbwerte der Pixel, nicht aber über Beziehungen zwischen Punkt, Linie oder Fläche (BILL und FRITSCH 1991, S. 25).

Vektordaten

Vektordaten dagegen sind die auf Punkten basierende Beschreibung von räumlichen Objekten. Die Grundelemente der Vektordaten sind Punkt, Linie und Fläche. Dabei ist der Punkt der Träger der geometrischen Information. Seine Lage wird in Form eines Koordinatenpaares beschrieben. Linien und Flächen werden aus einer Abfolge an Punkten bzw. Koordinatenpaaren modelliert. Die Beziehung von Punkten und Kanten zueinander wird durch die Topologie beschrieben, wobei die geometrische Form der Beziehung dabei nicht berücksichtigt wird (BILL und FRITSCH 1991, S. 22ff).

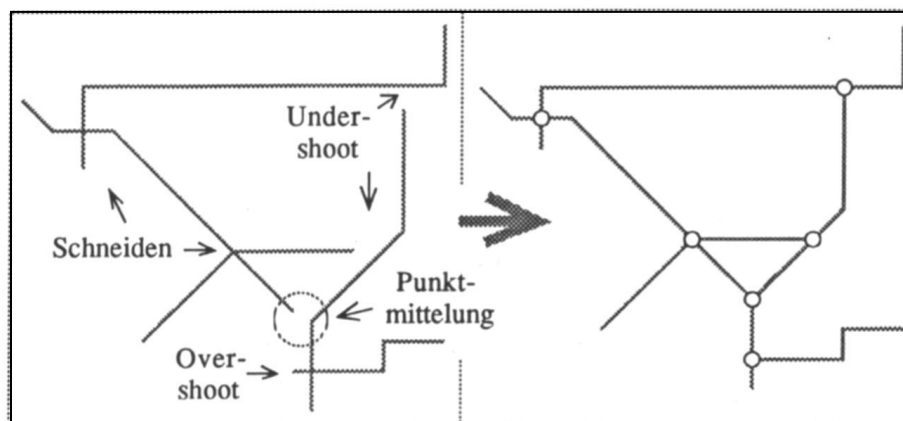


Abb. 5.4: Überführen von Spaghetti in topologische Struktur.
Quelle: BARTELME 1995, S. 67.

Während das sog. Spaghettimodell auf einer schlichten Reihung von Koordinatenpaaren für die Beschreibung der geometrischen Lage von Punkten und Linien basiert und topologische Beziehungen zwischen den Objekten völlig fehlen, werden im topologischen Modell neben den Koordinaten auch Informationen über mögliche Beziehungen zu angrenzenden Objekten miteinbezogen. So entstehen z.B. durch das Überschneiden von Linien neue Kreuzungspunkte, wie in Abbildung 5.4 deutlich wird (DICKMANN und ZEHNER 1999, S. 62ff).

Werden Linien durch mehrere Punkte modelliert, sind für Berechnungen in einem Netzwerk wie z.B. die Berechnung einer Route nur die Punkte von Interesse, die Kreuzungspunkte zwischen den einzelnen Linien darstellen. Zwischenpunkte können in diesem Fall vernachlässigt werden. Aufgrund der Semantik von Linien (z.B. Brücken oder Tunnel) kann es jedoch passieren, dass sich Kanten überkreuzen, ohne dass ein Knoten entsteht dürfte (BARTELME 1995, S. 63ff). Dieses Problem der nicht-vorhandenen dritten Dimension in einem GIS spielt auch bei einem Routenplaner eine entscheidende Rolle, da Kreuzungen im GIS entstehen können, die in der

Realität so nicht vorzufinden sind. Dies kann zu einem verfälschten Ergebnis bei einer Wegsuche zwischen zwei Punkten führen.

Wie bei der Herstellung einer thematischen Karte werden die Objekte der realen Welt in Form von Vektor- und Rasterdaten im sog. Schichtenprinzip in Layer aufgeteilt. Jeder Layer enthält sachlich zusammengehörende räumliche Informationen z.B. Gewässer, Waldflächen, Grünland etc. Die Layer können abschließend deckungsgleich übereinander gelegt werden (DICKMANN und ZEHNER 1999, S. 98).

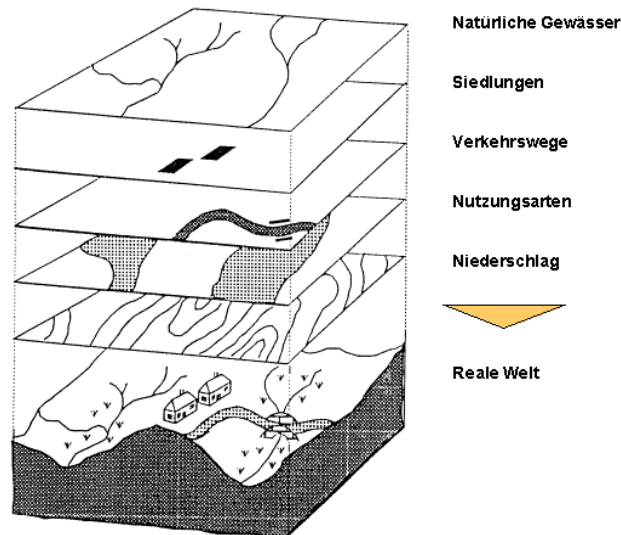


Abb. 5.5: Thematische Dimensionen.
Quelle: BILL und FRITSCH 1991, S. 17.

Als Basis für einen Fahrradrouutenplaner stellen Straßendaten, auf denen die Routenberechnung durchgeführt wird, eine tragende Rolle dar. Sie müssen im Vektorformat vorliegen, da Informationen zu benachbarten Kanten und Kreuzungspunkten notwendig sind. Um dem Nutzer zusätzlich die Möglichkeit zu geben, sich auf der Basis von individuell ausgewählten Haltepunkten eine Route berechnen zu lassen, muss ihm eine Auswahl an Punkten zur Verfügung stehen. Für diese Punkte ist das Vektorformat erforderlich, da ihre Koordinate und die Zusatzinformationen für die Routenberechnung bedeutend sind. Zur Einordnung der Straßen und Punkte in den Raum sind weiterhin allgemeine Daten wie Gewässer, Siedlungs-, Wald-, und Grünlandflächen notwendig. Diese können sowohl im Vektor- aber auch im Rasterformat vorliegen, da zusätzliche Informationen zu Geometrien hier nicht zwingend erforderlich sind.

5.1.4.2 Sachdaten

Neben den räumlichen Daten spielen ebenfalls die Sachdaten eine wichtige Rolle. Sie werden auch als Attributdaten bezeichnet und beinhalten nichtgeometrische Elemente wie Namen, Eigenschaften, Nummern etc. (BARTELME 1995, S. 143). Während diese Informationen bei Vektordaten an das jeweilige Objekt gehängt werden können, wird die qualitative Information in der Rasterform durch Vergabe bestimmter Grauwerte kodiert (GÖPFERT 1991, S. 195). Sachdaten können sowohl im GIS selbst, als auch in einer externen Datenbank vorliegen.

Im Rahmen dieser Arbeit konnte der Senator für Bau, Umwelt und Verkehr der Stadt Bremen sowie Geoinformation Bremen als Kooperationspartner zur Entwicklung eines prototypischen Fahrradrouutenplaners gewonnen werden. Im Oktober 2005 ist für das Stadtgebiet von Bremen ein Radverkehrsplan auf den Markt gebracht worden, der eine gute Grundlage für einen Fahrradrouutenplaner im Internet darstellt. Die Stadt Bremen hat folglich Interesse, einen Routenplaner auf Basis des ausgewiesenen Routennetzes anzubieten. Im Gegenzug konnte für diese Arbeit dadurch eine umfangreiche Datengrundlage beschafft werden, die von Geoinformation Bremen zur Verfügung gestellt wurde. Hierbei handelt es sich um folgende Daten:

- Straßendaten des Amtlich-Topographisch-Kartographischen-Informationssystems (ATKIS) im Vektorformat,
- Daten des Radverkehrsplans, der ausgewiesene Radwege in bestimmten Kategorien kennzeichnet, im Vektor- und Rasterformat,
- Alle Adressen der Stadt Bremen mit Hausnummerkoordinaten in Form einer ASCII-Datei,
- Points of Interest der Stadt Bremen: hierunter fallen nicht nur touristische Sehenswürdigkeiten sondern auch Behörden, Krankenhäuser und Einkaufszentren, Fahrradparkplätze, etc.,
- Topographische Karten und Stadtpläne zur Hintergrund-Visualisierung.

5.1.4.3 Datenaufbereitung

Die Bremer Straßendaten des ATKIS wurden zunächst in der Hinsicht bereinigt, dass alle Straßen und Wege, die mit dem Fahrrad nicht befahren werden dürfen, gelöscht wurden. Hierunter fallen Autobahnen, Zubringerstrecken, Fußwege und Privatwege. Den bereinigten Straßen wurden im Folgenden Attribute zugewiesen, die die Funktion des jeweiligen Linienabschnitts im Radwegenetz beschreiben. Zu diesen Kategorien zählen z.B. die selbstständig geführten Radwege, die in den meisten Fällen zur Kategorie *touristische Routen* gehören oder aber die *Haupt- und Ergänzungsrouten*, die die Hauptverbindungen im Radnetz darstellen. Anhand dieser Attribute kann das Routing differenziert erfolgen. Um eine Route auf Basis dieses Straßennetzes berechnen zu können, musste im Vorfeld die Topologie berechnet werden (s.o.). Dann erst wurden die Straßenabschnitte in die Datenbank eingebunden. Zusätzlich wurden die POI und die Hausnummerkoordinaten in der Datenbank gespeichert.

Die Rasterkarten wurden zur Verbesserung der Performance der Kartenkomponente des Fahrradrouutenplaners im Vorfeld in kleine Kacheln zerteilt. Diese Kacheln können in einem Bildkatalog zusammengeführt werden. Der Bildkatalog besteht aus einer Vektordatei, die für jede Kachel ein Polygon beinhaltet. Das Polygon besitzt als Attributinformation den Pfad zu der Stelle im Dateisystem, an der sich die entsprechende Kachel befindet. Auf diese Weise kann der *UMN MapServer* die Rasterdaten schneller für die Generierung eines Kartenbildes verarbeiten.

Um den Zugriff auf die Daten, die teilweise bis zu 140.000 Einträge beinhalten, zu beschleunigen, wurden für die entsprechenden Tabellen räumliche Indizes gesetzt. Indizes sind eigenständige Tabellen, die nach den Werten der betreffenden Spalte sortiert sind, für die der Index definiert wurde. Sie enthalten für jeden Spaltenwert eine Referenz auf den dazugehörigen Da-

tensatz in der Stammtabelle. Bei einer Suche in der Tabelle kann somit sehr schnell auf die sortierten Werte eines Index zugegriffen und über die Referenz der zugehörige Datensatz in der Stammtabelle gefunden werden, ohne die Tabelle sequenziell durchsuchen zu müssen (BOENIGK 2003, S. 248f). Dadurch kann wichtige Laufzeit beim Tabellenzugriff eingespart werden. Dieses ist vor allem bei Tabellen mit vielen Einträgen nicht unerheblich. Für die Tabellen wurde daher der von PostGIS verwendete Generalized Search Tree (GiST) Index benutzt (vgl. RAMSEY 2005, S. 20f).

PostgreSQL besitzt einen Mechanismus, nach dem aus der Datenbank gelöschte Datensätze nicht sofort physisch von der Festplatte entfernt werden, sondern zunächst nur als gelöscht gekennzeichnet werden. Um diese Datensätze tatsächlich zu löschen, und damit Speicherplatz wieder freizugeben, wird die Datenbank in Abständen durch die Funktion VACUUM ANALYZE bereinigt (HARTWIG 2001, S. 211). Es zeigte sich, dass nach Ausführen dieser Funktion auch die Routenberechnung beschleunigt werden konnte.

5.2 Aufbau einer graphischen Benutzeroberfläche

Zur Eingabe von Optionen für eine Routenberechnung sowie die Präsentation der Routingergebnisse ist eine graphische Benutzeroberfläche auf Clientseite notwendig. Diese Benutzeroberfläche ist in HTML implementiert, und durch JavaScript für eine Interaktion zwischen Anwender und Oberfläche erweitert. Somit ist der Aufruf der Anwendung in jedem gängigen WWW-Browser, wie z.B. *Internet Explorer*, *Netscape Navigator* oder *Firefox* möglich. Im Folgenden soll nun dargestellt werden, wie die Oberfläche technisch aufgebaut ist, welche Elemente sie beinhaltet, wie sie äußerlich gestaltet ist und wie die Oberfläche mit den Komponenten auf Serverseite, nämlich dem Routingalgorithmus und dem *UMN MapServer* kommuniziert.

5.2.1 Technischer und inhaltlicher Aufbau der Benutzeroberfläche

Der Anzeigebereich eines Browsers kann mit Hilfe von Frames in Zeilen und Spalten untergliedert werden (STEYER 1999, S. 389ff). Durch die Aufteilung der Benutzeroberfläche in Frames können mehrere HTML-Dateien gleichzeitig dargestellt und mit Hilfe von JavaScript-Funktionen die Kommunikation zwischen diesen geregelt werden.

Die Aufteilung der Oberfläche des Fahrradrouutenplaners in mehrere Frames ist insofern erforderlich, da die Anwendung zum einen mit dem Routingalgorithmus kommuniziert und ein versteckter Frame das Ergebnis zurückerhält und verarbeitet. Zum anderen ist es bei einer großen Kartenfläche von Vorteil, diese in einem eigenen Frame darzustellen, da die Ladezeit bei der Karte nicht unerheblich ist, die Navigation aber aufgrund ihrer Menüstruktur des öfteren ein neues Laden erfordert. Ohne die Aufteilung in Frames müsste die Karte jedes Mal erneut geladen werden, was zu wesentlich längeren Wartezeiten führen würde. Die Benutzeroberfläche des Fahrradrouutenplaners besteht insgesamt aus fünf Frames, welche sich in vier sichtbare, und einen für den Anwender nicht sichtbaren Frame untergliedern lassen (s. Abb. 5.6). Letzte-

rer dient der Kommunikation zwischen der clientseitigen Anwendung und dem Routingalgorithmus.

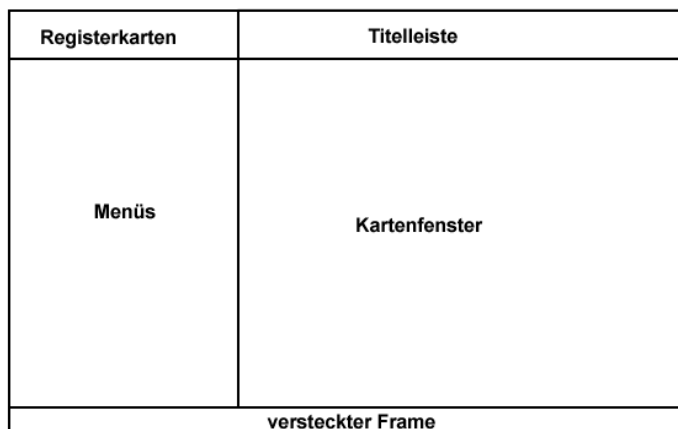


Abb. 5.6: Frameaufteilung der clientseitigen Anwendung.
Quelle: eigener Entwurf.

Wie man auf den ersten Blick sehen kann, ist die Anwendung horizontal in drei wesentliche Bereiche untergliedert, die Kopfzeile, den inhaltlichen Bereich und eine versteckte Fußzeile. Im oberen Frameteil befindet sich zum einen die Titelleiste mit Überschrift und Logo der Anwendung. Links davon befinden sich die Registerkarten, die dem Anwender zahlreiche Menüs zur Verfügung stellen und somit die Navigation in der Anwendung darstellen. Ist eine bestimmte Registerkarte ausgewählt, wird das entsprechende Menü im dafür vorgesehenen Frame unterhalb der Registerkarte dargestellt. Neben einem Info-Menü kann der Anwender sich die Planungsmaske auswählen, in der die Haltepunkte und Optionen für die normale oder die adaptive Routenberechnung eingegeben werden müssen. Für die Ausgabe der Route steht dem Anwender ein eigenes Menü zur Verfügung (s. Kap. 6). Weitere Informationen zu der Legende und Kontakt stellen die restlichen zwei Registerkarten bereit.

An zentraler Stelle in der clientseitigen Anwendung befindet sich die Karte. Sie beinhaltet zum einen Hintergrundinformationen zur Region in Form von topographischen Karten und Stadtplänen, zum anderen wird hier die berechnete Route dargestellt. Um in der Karte navigieren zu können, befinden sich oberhalb der Karte zahlreiche Werkzeug-Schaltflächen. Sie ermöglichen in erster Linie die Standard-Navigationsfunktionen wie *Kartenausschnitt vergrößern*, *Kartenausschnitt verkleinern*, *Karte verschieben*, *Gesamtausdehnung*. Diese Funktionen sind mit Hilfe von JavaScript-Vorlagen des *UMN MapServer-Tutorials* der *intevation GmbH*, die unter GPL (s. Kap. 5.1) lizenziert sind, erstellt worden. Ist eine Route in der Karte dargestellt, erscheinen zusätzliche, speziell auf die Routenbehandlung zugeschnittene Funktionen wie auf *Route zoomen* oder *Route löschen*.

Die Darstellung der einzelnen Karten sowie Vektordaten wie POI und touristische Routen erfolgt maßstabsabhängig, so dass zum einen die Kartengenerierung beschleunigt wird, und zum anderen die Karte stets übersichtlich gehalten wird. Zusätzlich können einzelne Datensätze in Form von Layern dem Kartenbild hinzugefügt oder aus ihm entfernt werden (s. Abb. 5.7). Dies

ist jedoch erst dann möglich, wenn die jeweilige Zoomstufe erreicht ist, bei der ein Datensatz dargestellt wird.

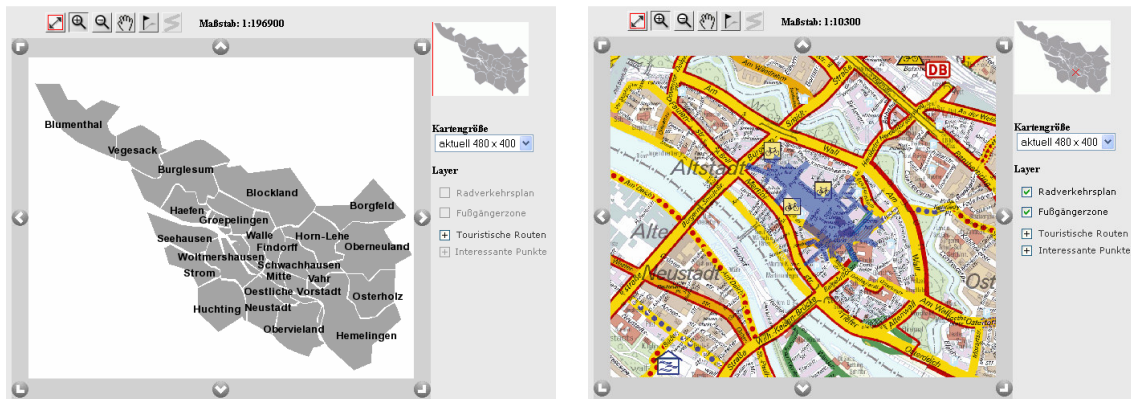


Abb. 5.7: Maßstabsabhängige Layer. Links: zunächst sind die Layer ausgegraut, die nicht dargestellt werden können. Rechts: beim Hereinzoomen erhält man die Möglichkeit, weitere Layer aus der Liste auszuwählen.

Rechts neben der Karte befindet sich eine Übersichtskarte, die dem Anwender jederzeit anzeigt, wo in der Gesamtregion sich der aktuelle Kartenausschnitt befindet. Abbildung 5.8 zeigt die komplette graphische Benutzeroberfläche der clientseitigen Anwendung.

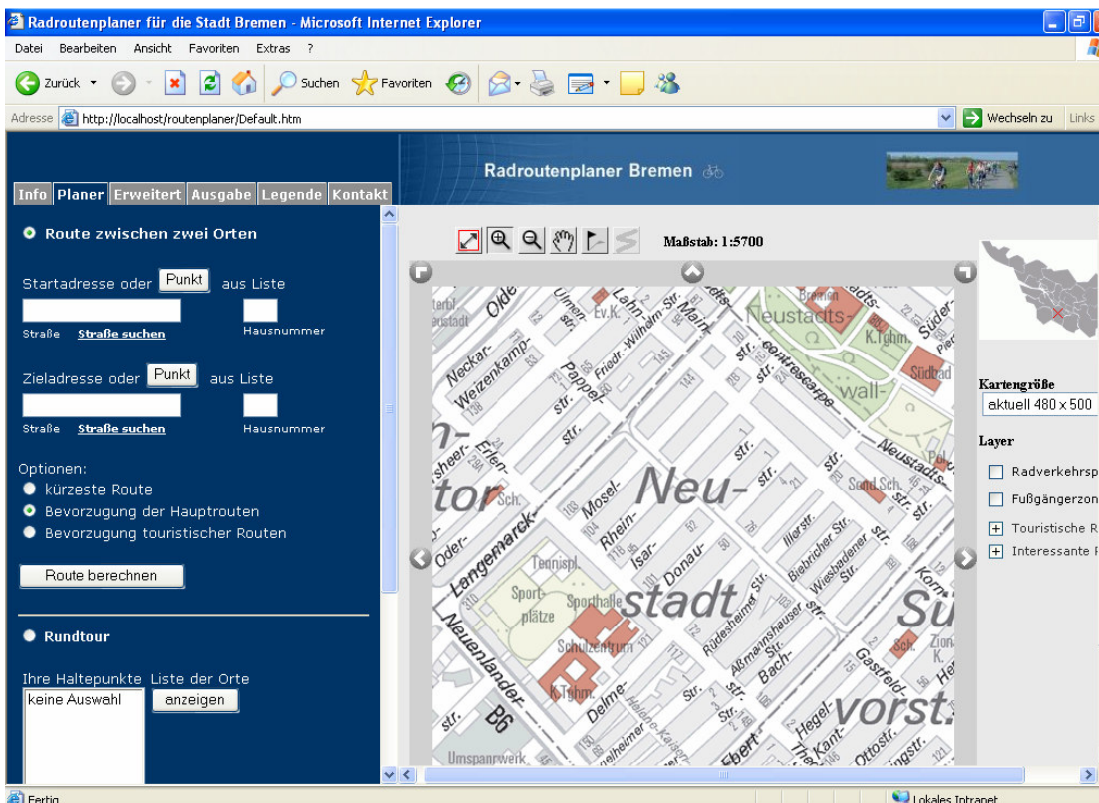


Abb. 5.8: Die clientseitige Anwendung des Fahrradroutesplaners.

5.2.2 Gestaltung der graphischen Benutzeroberfläche

Die Gestaltung guter graphischer Benutzeroberflächen erlaubt ein effizientes Arbeiten bei hoher Zufriedenheit des Benutzers, Verringerung von Bedienfehlern, bessere Wiedererkennbarkeit und damit eine leichtere Einarbeitung. Ein schlechtes Design verringert die Akzeptanz, die Attraktivität und die Benutzbarkeit von Software (WESSEL 1998, S. 21ff). Um die Grundsätze und Richtlinien eines guten Webdesigns diskutieren zu können, sollte zunächst auf die Software-Ergonomie eingegangen werden, die auch auf WWW-Informationssysteme übertragbare Grundsätze für graphische Benutzeroberflächen umfasst.

5.2.2.1 Grundlagen der Software-Ergonomie im Bezug auf WWW-Informationssysteme

Das Ziel der Software-Ergonomie ist die Anpassung der Eigenschaften von Software an die psychischen Eigenschaften der damit arbeitenden Menschen. Man versteht darunter also die Anpassung von technischen Systemen (in diesem Fall Software) an das menschliche Arbeitshandeln. Da unzureichende Software-Gestaltung zu erhöhten psychischen Belastungen führen kann, sind in der internationalen Normreihe DIN EN ISO 9241, Teil 10 die „Grundsätze der Dialoggestaltung“ für Softwaresysteme festgelegt worden (SCHNEIDER 2000). Diese Aspekte können auch auf WWW-Informationssysteme angewendet werden. Im folgenden werden die Grundsätze und die Bedeutung für das Design einer graphischen Benutzeroberfläche (engl. „Graphic User Interface“ bzw. GUI) auf der einen und das Web-Design auf der anderen Seite tabellarisch dargestellt.

Grundsatz der Dialoggestaltung	Bedeutung für GUI-Design	Bedeutung für Web-Design
Aufgabenangemessenheit	Bedienungsabläufe sollen so auf die Aufgabe zugeschnitten sein, dass das Arbeitsziel möglichst gut erreicht werden kann.	Möglichkeit, die gewünschten Informationen schnell und mit wenigen Mausklicks auf der Seite zu finden.
Selbstbeschreibungsfähigkeit	Durch die Gestaltung der Informationen auf dem Bildschirm ist der Nutzer in der Lage, sich in dem Programm zurechtzufinden.	Durch die Gestaltung der Informationen auf der Webseite ist der Nutzer in der Lage, sich auf der Seite mit Hilfe eines Inhaltsverzeichnis und Navigationshilfen zurechtzufinden.
Erwartungskonformität	Das System funktioniert so, wie es der Nutzer erwartet. Die Erwartungshaltung resultiert aus den Erfahrungen mit anderen Systemen oder Geräten.	Konsistenz bei der Gestaltung der Seite (= einheitliches Seitendesign etc.) ermöglicht dem Benutzer einfaches Navigieren und gute Orientierung.

Steuerbarkeit	Ein Dialog gilt als steuerbar, wenn der Nutzer in der Lage ist, den Ablauf zu starten sowie die Richtung und Geschwindigkeit zu beeinflussen.	Die Geschwindigkeit des Seitenaufbaus darf nicht zu niedrig sein. Navigationshilfen wie „zurück“ oder „Startseite“ sollten immer vorhanden sein.
Fehlertoleranz	Trotz fehlerhafter Eingaben kann das Arbeitsergebnis mit keinem oder minimalem Korrekturaufwand des Nutzers erreicht werden.	Tote Links vermeiden: regelmäßiges Testen aller Links, automatische Überwachung von Links.
Individualisierbarkeit	Der Dialog lässt Anpassungen an die Erfordernisse der Arbeitsaufgabe sowie an die Fähigkeiten und Vorlieben des Benutzers zu.	Der Inhalt der Seite soll sich an verschiedene Bildschirmgrößen anpassen lassen. Darstellung soll unabhängig vom Browser oder der Farbauflösung möglich sein.
Lernförderlichkeit	Der Dialog unterstützt den Benutzer bei der Erlernung des Dialogsystems.	Einfache Navigation der Seite. Auch unerfahrende Benutzer sollen sich zurechtfinden.

Tab. 5.1: Gegenüberstellung von GUI- und Webdesign im Bezug auf die „Grundsätze der Dialoggestaltung“.
Quelle: STROEMER 2002, S. 60.

Trotzdem kann man Design für das WWW nicht mit dem Design traditioneller Software-Benutzerschnittstellen gleichsetzen. Bei traditionellem Software-Design kann jedes Element genau positioniert werden, da offensichtlich ist, für welches System die Software entwickelt wird, welche Schriftarten installiert sind etc. Im Gegensatz dazu ist für das WWW weder bekannt, welcher Browser verwendet wird und welche Einstellungen er bezüglich Schriftart, Schriftgröße etc. aufweist, noch welche Bildschirmgröße vorliegt. So können die Clients des WWW sehr unterschiedlich sein, sei es ein normaler PC, ein Laptop, oder ein mobiles Gerät. Wenn man z.B. die Bildschirmgröße eines handflächengroßen mobilen Geräts mit der eines PCs vergleicht, so erhält man einen Multiplikationsfaktor von 100 (NIELSEN 1999, S. 27). Für jeden dieser Anwender sollte eine Webseite jedoch benutzerfreundlich und zugänglich sein. Dazu kommt, dass bei einer Webseite nicht vorauszusehen ist, welchen Weg bzw. welche Navigation die Anwender der Webseite durch die Nutzung der Hyperlinks einschlagen, was im GUI-Design konkret gesteuert werden kann (NIELSEN 1997).

5.2.2.2 Beschreibung und Bewertung der Gestaltungselemente

Laut RECKLIES ist der erste Eindruck besonders wichtig, d.h. die erste Seite eines Webauftritts ist die „Kritische“, da der Besucher hier die Entscheidung fällt, auf dieser Seite zu bleiben oder sie gleich wieder zu verlassen. Daher muss die erste Seite Überzeugungskraft ausstrahlen und eine Übersicht geben, welche Inhalte den Nutzer auf dieser Seite erwarten. Aus diesem Grund

wurde entschieden, auf der ersten Seite direkt die Karte anzuzeigen und nicht einen langen erläuternden Text voranzustellen, wie es bei vielen Seiten der Fall ist. Lange Texte, die über die gesamte Bildschirmbreite gehen, sind generell zu vermeiden, da die Augen eine sensorische Merkfähigkeit von 1,5 Sekunden aufweisen. Dauert das Lesen einer Zeile länger als 1,5 Sekunden, so hat das sensorische Gedächtnis Probleme, die nächste Zeile zu finden (HOFER 2000, S. 64ff).

Der Ladevorgang sollte 10 Sekunden nicht überschreiten, da dies die Zeitspanne ist, die der Anwender seine Aufmerksamkeit Aufrecht erhalten kann (NIELSEN 1999, S. 48). Um dem Anwender während der Benutzung zusätzlich zu vermitteln, dass die Anwendung bei einer Berechnung keineswegs überlastet ist und die Bearbeitung einer Anfrage andauert, erscheint in der Mitte der Benutzeroberfläche ein animiertes GIF, welches die Aufmerksamkeit auf sich lenkt, da alles, was sich bewegt, das Bewusstsein dominiert (NIELSEN 1999, S. 143).

Einheitliches Design der Benutzeroberfläche

Entsprechend anderer Software-Systeme sollte auch ein Informationsangebot im WWW eine einheitliche Bedienoberfläche und ein einheitliches Layout aufweisen. Ein einheitlicher Aufbau erleichtert dem Nutzer die Orientierung in einem Webangebot, gleichartige Bedienelemente ermöglichen ein schnelleres Zurechtfinden innerhalb der Menüs und Navigationshilfen (BRÄUTIGAM 1998). BRÄUTIGAM fordert weiterhin sowohl eine gleiche Form und Anordnung von Navigationselementen sowie gleiche Schalter und Buttons mit gleichartiger Beschriftung auf allen Seiten. In der graphischen Benutzeroberfläche ist dieser Aspekt durch einheitliches Design aller Schaltflächen auf jeder Seite berücksichtigt. Des Weiteren kann der Anwender aus jedem Menü durch die Verwendung von Registerkarten jedes weitere Menü erreichen, ohne auf die Schaltflächen des Browsers zurückgreifen zu müssen (vgl. LANKAU 2000, S. 348).

Die Schaltflächen sind denen einer Desktop-Software nachempfunden. Sie heben sich gut von der Hintergrundfarbe des Menüs ab. Die Hintergrundfarbe ist laut HOFER (2000, S. 49) keine Belastung für die Augen wie z.B. ein ganz weißer Hintergrund. Die Farben des Hintergrundes und der Schaltflächen sind außerdem aufeinander abgestimmt, damit die Seite nicht zu bunt erscheint. „Eine zu bunte Seite macht den Surfer zum Gefangenen der Web-Site. Reizüberflutung erschwert die Orientierung“ (HOFER 2000, S. 112). Nach WEINREICH (1997) ist auch ein hoher Kontrast zwischen Text und Hintergrund für die Lesbarkeit der Seiten von Bedeutung. Diese ist durch die Kombination des dunklen Blau mit einer hellen Schrift gegeben. Die Verwendung von zwei Farben erhöht den Kontrast zwischen den Elementen der Seite deutlich. Die Orientierung und Zuordnung der unterschiedlichen Elemente zueinander wird für den Anwender deutlich einfacher (SCHWEIZER 2003, S. 145).

Karte und zugehörige Elemente

Wie bereits angesprochen, ist die Karte der Mittelpunkt der Benutzeroberfläche. Sie dominiert die gesamte Seite. Um zum einen die Anzahl der Kartenanfragen zu minimieren und zum anderen dem Anwender die Karte allzeit zur Verfügung zu stellen, werden ausgewählte Listen wie z.B. die Adressliste nicht im Kartenfenster selbst sondern in einem neuen kleineren Fenster präsentiert. Dies ist nach LOWE (2002) eine erfolgreiche Design-Strategie, da abgefragte Information und die Karte nicht voneinander getrennt werden und der Nutzer die Möglichkeit er-

hält, seine Anfrage sofort zu wiederholen, falls das Ergebnis nicht zum gewünschten Erfolg geführt hat.

Die Karte macht zwar einen großen Teil der Benutzeroberfläche aus, ist jedoch im Vergleich zu analogen Karten sehr klein. Da man über die Bildschirmgröße der potentiellen Anwender keine Informationen besitzt, sollte man sich nach dem kleinstmöglichen Client richten. Er stellt somit den limitierenden Faktor für die Kartengröße dar (PLEWE 1997, S. 181). Handflächengroße Computer werden hierbei nicht berücksichtigt.

Zum Verständnis der Karte sind die Vektorpunktdateien in Form von Symbolen dargestellt. Da die Interpretierbarkeit einer Karte, eines Planes im wesentlichen von einer geeigneten, also einer dem Betrachter leicht verständlichen und auffallenden Symbolisierung abhängt (BARTELME 1995, S. 78), sind die Symbole, die in der Karte verwendet werden, gängigen Symbolen aus dem Bereich des Radtourismus nachempfunden, so dass der Anwender sie ihrer Bedeutung leicht zuordnen kann. Durch die Fülle an Punktsymbolen kommt es teilweise zu Überlappungen. Nach BARTELME (1995, S. 79) sind solche Überdeckungen und Überschneidungen zu vermeiden, woraus sich allerdings zwangsläufig ein Abweichen der „wahren“ Lage ergeben würde. Da die genaue Position der Punkte für Berechnungen wie z.B. die Informationsabfrage benötigt wird, und die Symbole in der Karte nicht beliebig klein dargestellt werden können, ist eine gegenseitige Überlagerung jedoch teilweise nicht zu verhindern. Symbole, die der Anwender sich nicht erschließen kann, werden durch die im Menü *Legende* vorhandenen Erläuterungen vermittelt. Die Legende umfasst die gesamte Fülle an Symbolen, die in der Karte dem Anwender präsentiert werden.

Menüs und Werkzeugleiste

Nicht nur die Menüs auf der linken Seite der Anwendung sondern auch die Werkzeuge direkt über der Karte stehen dem Anwender für die Interaktion mit der Benutzeroberfläche zur Verfügung. Durch Studien von HOFER (2000, S. 45) wurde nachgewiesen, dass Navigationselemente sich am besten links oder am oberen Ende einer Webseite befinden, da sie so vom Gehirn des Menschen schneller verarbeitet werden können. Nach KRAAK und BROWN (2001, S. 201) startet ein Anwender mit seiner Aufmerksamkeit in der rechten oberen Ecke, wandert mit seinem Blick nach links, weiter nach unten und endet zu guter Letzt in der rechten unteren Ecke. So wird der Anwender zuerst auf die für ihn bedeutenden Menüs und Navigationselemente für die Interaktion mit der Karte aufmerksam. Da nach WESSEL (1998, S. 85) alles, was zu einem Zeitpunkt möglich ist, auf dem Bildschirm sichtbar und damit für den Anwender erkennbar sein sollte, sind Werkzeuge, die zu einem bestimmten Zeitpunkt nicht zur Verfügung stehen, ausgegraut. Aus diesem Grund erhält der Anwender erst nach einer Routenberechnung die Werkzeuge zum Umgang mit der Route in der Werkzeugleiste.

Die Navigationsleiste auf der linken Seite der Benutzeroberfläche stellt eine Registerkarte mit sechs Reitern dar. Dadurch befinden sich in fast allen Menüs weniger Unterpunkte und die Notwendigkeit des Scrollens wird vermieden. Auch fördert die Unterteilung aller Menüpunkte in verschiedene Bereiche die Übersichtlichkeit und ein Wechsel in eines der anderen Menüs ist jederzeit möglich. Durch die Registerkarte ist zu jeder Zeit die globale Navigation auf allen Seiten verfügbar. Da der Anwender zuerst liest, bevor er Bilder betrachtet (SCHWEIZER 2003, S.

115), ist eine textbasierte Navigation gewählt. SCHWEIZER (2003, S. 19ff) fordert weiter, dass die Navigation

- selbsterklärend ist,
- sich auf jeder an derselben Stelle befindet,
- immer für den Anwender sichtbar ist,
- ihre Elemente auf ein Minimum beschränkt und
- ein festgelegtem Farbschema folgt.

Durch die Hervorhebung des aktivierten Menüeintrags kann der Anwender sich jederzeit in der Seite orientieren (vgl. Abb. 5.9).



Abb. 5.9: Die globale Navigation der Anwendung mit ausgewähltem Ausgabemenü.

5.3 Kommunikation zwischen Client und Server

Um die Funktionalitäten der Web-Anwendung auf Clientseite nutzen zu können, ist eine Kommunikation zwischen der clientseitigen Anwendung und den ausführenden Programmen auf Serverseite unumgänglich.

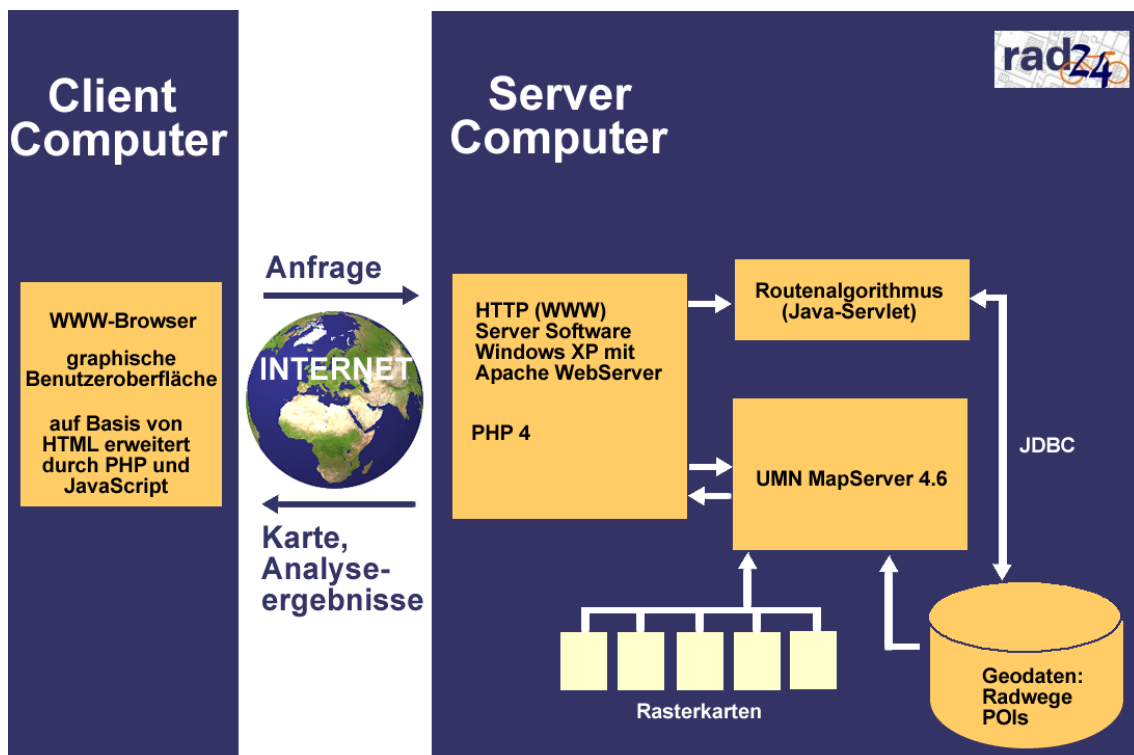


Abb. 5.10: Architektur des im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Fahrradroutenplaners. Quelle: eigener Entwurf.

Der dem Fahrradrouutenplaner zugrunde liegende Routingalgorithmus liegt in Form eines Java-Servlets auf dem Server und kommuniziert über das HTTP-Protokoll mit dem Client. Für den Routingalgorithmus wird das *Java Development Kit* (JDK) 1.4.2 und das *Java Servlet Development Kit* (JSDK) 2.1 verwendet. Da der Algorithmus während der Routenberechnung auf die Straßendaten in der Datenbank zugreifen muss, besteht die Notwendigkeit, zunächst den Zugriff auf PostgreSQL zu ermöglichen. Dies kann durch die Schnittstelle *Java Database Connectivity* (JDBC) erreicht werden. JDBC ist eine Sammlung von Klassen, mit deren Hilfe man eine Verbindung zwischen einem Java-Programm und einer Datenbank aufbauen kann. Zusätzlich wird ein Treiber benötigt, der die JDBC-Befehle versteht, übersetzt und an die Datenbank weiterleitet (LOUIS und MÜLLER 2000, S. 497). Abbildung 5.10 präsentiert die Komponenten der verwendeten Architektur.

5.3.1 Kartenanfrage

Um die einzelnen Daten (Rasterkarten, POI, etc.) in der Karte visualisieren zu können, muss dem *UMN MapServer* zunächst die Information über die Darstellung innerhalb des sog. Mapfiles übergeben werden. Das Mapfile ist das Kernstück des *UMN MapServers* und beinhaltet Informationen zu dem darzustellenden Ausschnitt, der Reihenfolge und Art der Darstellung der einzelnen Layerschichten sowie dem Ausgabeformat der Karte. Im Falle dieser Arbeit wird der *UMN MapServer* in Form einer CGI-Anwendung verwendet und über das Absenden eines HTML-Formulars angesprochen. Über die Angaben im Mapfile kann der *UMN MapServer* auf diese Weise den gewünschten Kartenausschnitt mit entsprechenden Inhalten generieren (vgl. FISCHER 2003 und KEHLENBRINK 2002). Interaktionen des Anwenders bewirken ein erneutes Absenden des HTML-Formulars mit veränderten Werten, so dass z.B. ein neuer Kartenausschnitt oder weitere Layer in der Karte dargestellt werden. Durch dieses Vorgehen ist der Anwender in der Lage, aktiv die Karte zu gestalten. Er erhält die Möglichkeit, die Karte in ihrer Größe, in dem aktuellen Kartenausschnitt, dem Maßstab und in den Inhalten (je nach ausgewähltem Layer) zu verändern.

5.3.2 Routenanfrage

Für die Berechnung einer Fahrradtour muss der Anwender je nach Routenart zunächst die notwendigen Angaben in der Web-Oberfläche machen. Hierunter fällt zum einen die Auswahl der Art der Routenberechnung, möglicher Haltepunkte und Optionen. Zur Auswahl der Haltepunkte erhält der Anwender drei mögliche Vorgehensweisen. Zum einen kann er aus einer Liste mit POI anzufahrende Punkte auswählen. Zum anderen kann er direkt in der Eingabemaske eine Adresse angeben. Zu guter Letzt ist es auch möglich, einen Haltepunkt direkt durch Klick in die Karte auszuwählen.

Hat der Anwender die notwendigen Eingaben getätigt, werden die Einträge des HTML-Formulars an das Java-Servlet geschickt, welches die Routenberechnung durchführt. Dies geschieht über das HTTP-Protokoll. Die Formulareinträge werden dem Servlet als Parameter übergeben. Im Servlet wird zunächst ermittelt, um welche Art der Routenberechnung es sich handelt. Dann werden die Koordinaten der Haltepunkte in den entsprechenden Datenbanken ermittelt und je

nach Routenart die notwendige Funktion zur Berechnung einer Fahrradroute aufgerufen. Das Servlet nutzt für die Berechnung der Route die Geodaten aus der PostgreSQL-Datenbank, auf die per JDBC zugegriffen werden kann.

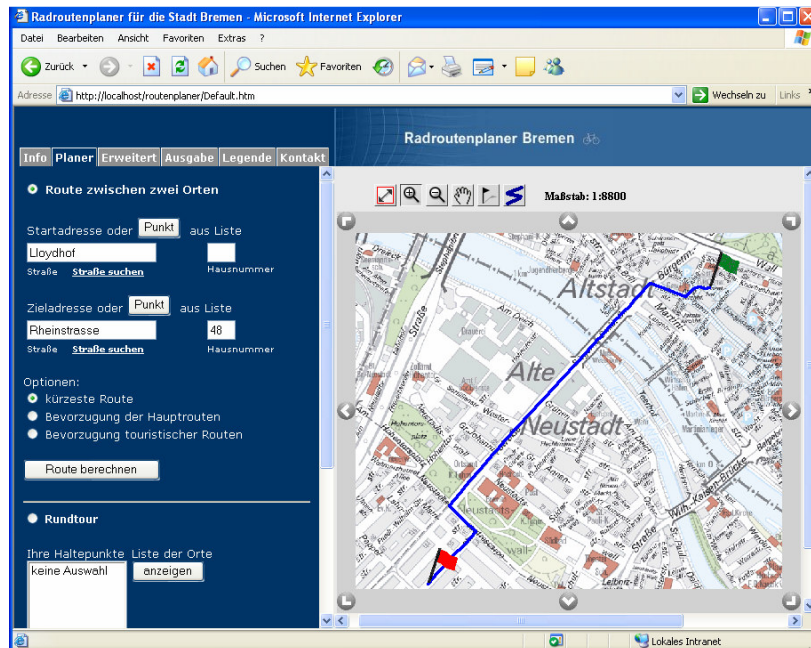


Abb. 5.11: Ausgefüllte Planungsmaske (links) und Ergebnisroute.

Die fertige Route wird in Form einer Polylinie versehen mit einer eindeutigen Identifikationsnummer in eine Tabelle der Datenbank geschrieben und kann so vom *UMN MapServer* visualisiert werden. Ist die Route berechnet, wird eine entsprechende Information an den versteckten Frame der Web-Oberfläche gesendet. Von dieser Stelle aus wird die Karte erweitert durch die Route neu geladen.

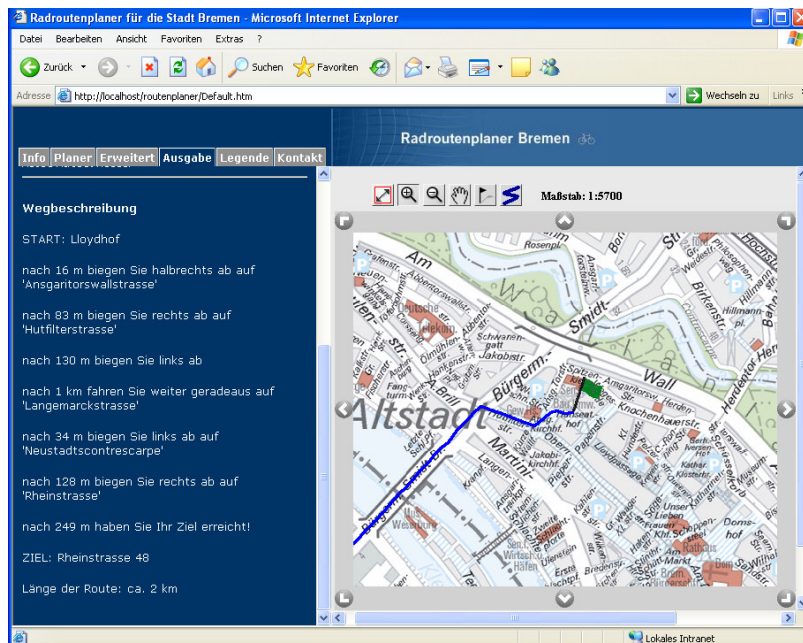


Abb. 5.12: Textliche Ausgabe der Wegbeschreibung (links) für die berechnete Route.

Will der Anwender für seine errechnete Route eine Wegbeschreibung erhalten, wird wiederum ein Servlet auf dem Server angesprochen, welches mit Hilfe der Winkel der einzelnen Linien zueinander die Fahrhinweise generiert. Die Straßennamen sowie die Länge der einzelnen Straßenabschnitte für die Wegbeschreibung erhält der Algorithmus aus der Tabelle, in der die Route nach der Routenberechnung gespeichert worden ist. Für jeden Linienabschnitt ausgehend vom Startpunkt wird geprüft, in welchem Winkel sein Nachfolger zu dem zu untersuchenden Linienabschnitt angeordnet ist. Je nach Winkel wird eine Links-, Rechts- oder Geradeaus-Anweisung ausgegeben (vgl. Kap. 4.9). Nach Fertigstellung der gesamten Wegbeschreibung wird das Ergebnis dem Anwender auf der HTML-Seite ausgegeben (s. Abb. 5.12) oder in Form einer pdf-Datei geöffnet (s. Abb. 10.16 im Anhang 1).

5.4 Zusammenfassung

Die in Kapitel 4 vorgestellten Algorithmen zur Berechnung einer Fahrradtour sind in eine internetbasierte Anwendung integriert worden. Hierfür ist eine Client-Server Architektur aufgebaut worden, die die notwendigen Komponenten wie WebServer, Datenbank und MapServer bereitstellt. Auf Clientseite ist eine übersichtliche Anwendung durch die Kombination von HTML und JavaScript entstanden, die nach den Vorgaben und Regeln des WebDesigns ausgerichtet ist. Abbildung 5.13 zeigt abschließend, welche zu Beginn der Arbeit (s. Kap. 3) geplanten Funktionalitäten innerhalb der hier vorgestellten Weboberfläche realisiert worden sind. Lediglich die Profilbildung, die Einbeziehung der Steigung und das Drucken in Form von Kartenkacheln sind nicht berücksichtigt. Letzteres war vom Kooperationspartner Bremen nicht gewünscht, da der eigenverantwortliche Kartenverkauf in Bremen durch ein detailliertes Drucken nicht beeinträchtigt werden soll. Das Verwerfen der beiden anderen Funktionen ist bereits in Kap. 4.7.2 und Kap. 4.7.6 begründet.

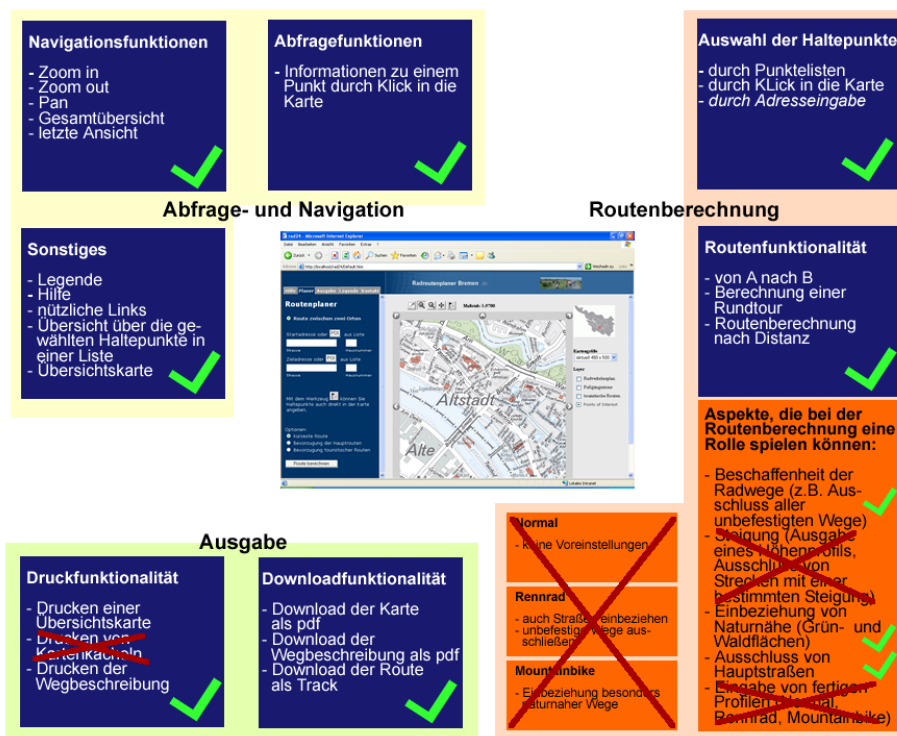


Abb. 5.13: Übersicht über die in der Webanwendung realisierten Funktionalitäten. Quelle: eigener Entwurf.

Die in Abbildung 5.13 dargestellten Funktionalitäten sind fast vollständig innerhalb dieser Arbeit erläutert und beschrieben worden. Zusätzlich zu der Routenausgabe in Form einer Wegbeschreibung und einer gedruckten Karte (s. Abb. 10.14 und 10.15 im Anhang 1) soll der Anwender die Möglichkeit erhalten, die berechnete Route digital auf seine Fahrt im Gelände mitzunehmen. Mögliche Verfahren, um die mobile Nutzung der Route zu realisieren, werden der Vollständigkeit halber im nächsten Kapitel beschrieben.

6 Möglichkeiten einer mobilen Fahrradnavigation

Wie die Befragung in Kapitel 3 gezeigt hat, wird die Papierkarte für die Verwendung im Gelände immer noch stark genutzt (53% aller Befragten). Der Vorteil dieses Mediums ist, als Informationsspeicher in der Regel örtlich und zeitlich ungebunden transportabel zu sein. So sind Computer durch die Tatsache eingeschränkt, dass das Standardausgabemedium, der Bildschirm, äußerst unflexibel ist im Bezug auf seine Mobilität. Es kann aber prinzipiell davon ausgegangen werden, dass sog. „Handheld“-Hardware, d.h. mit heutigen Mobiltelefonen vergleichbare, mit zusätzlichen Funktionen angereicherte Geräte, in zunehmender Zahl und mit zunehmender Funktionalität zur Verfügung stehen werden. Die Ausstattung der mobilen Geräte mit zusätzlichen Funktionen ist besonders dann für die Kartographie von Interesse, wenn das mobile Abfrage- und Ausgabegerät mit einem Lokalisations- oder Ortungssystem verbunden ist, wie es beispielsweise durch das Global Positioning System (GPS) (vgl. Kap. 6.1) ermöglicht wird. Der entscheidende Nachteil eines mobilen Gerätes ist in der Regel die geringe Auflösung und das kleine Format der Ausgabe auf dem Display. Dem gegenüber steht die Möglichkeit der Bildschirmkarten im Gegensatz zu analogen Karten, den Ausschnitt in der Karte schnell und leicht zu vergrößern. Des Weiteren kann der Nutzer auf in der Karte hinterlegte Informationen zurückgreifen und Verknüpfungen zu anderen Karten herstellen (GARTNER 2000).

Um Bildschirmkarten in Beziehung zu der aktuellen Position zu setzen, ist zunächst die Bestimmung der Position notwendig. Abbildung 6.1 zeigt die bereits vorhandenen Systeme zur Positionsbestimmung. Im Rahmen dieser Arbeit soll das Global Positioning System (GPS) im Bereich der Satellitennavigation verwendet werden.

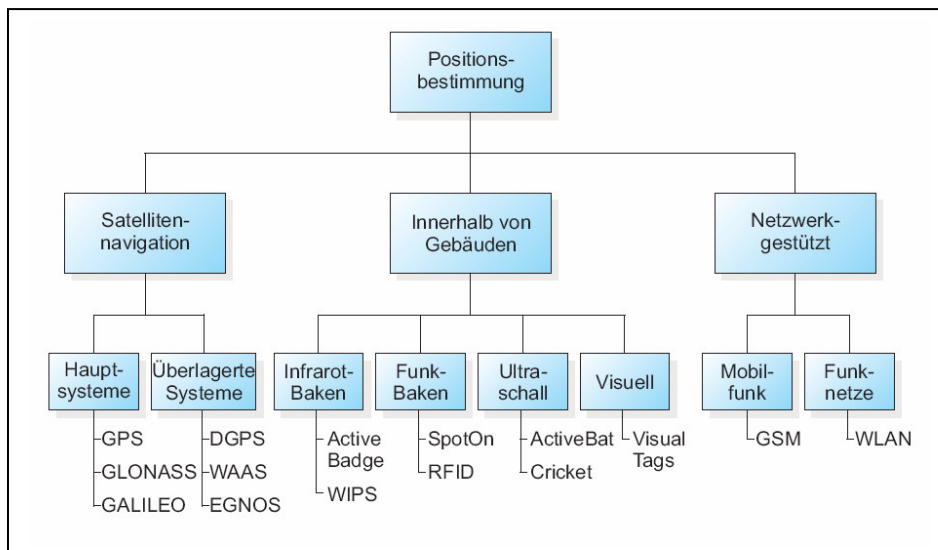


Abb. 6.1: Überblick über Systeme der Positionsbestimmung.
Quelle: ROTH 2002, S. 251.

6.1 Global Positioning System (GPS)

Das Global Positioning System (GPS) ist ein satellitengestütztes System zur Bestimmung der Position und Geschwindigkeit von Objekten in Echtzeit. Die Funktionsweise des GPS basiert auf dem Prinzip der Streckenmessungen. Sollen im dreidimensionalen Raum die Koordinaten eines unbekanntes Punktes durch Streckenmessung bestimmt werden, so sind die Strecken zwischen drei bekannten Punkten und dem unbekanntes Punkt zu messen. Die bekannten Punkte werden im GPS durch Satelliten realisiert (s. Abb. 6.2) (HOFMANN-WELLENHOF et al. 1994, S. 1). So müssen mindestens drei Entfernungsgeraden zwischen dem Beobachtungspunkt (Position des Anwenders) und den unterschiedlichen Satelliten berechnet werden. Der GPS-Empfänger bestimmt die Geraden-Entfernungen durch Laufzeitmessung von Radiowellen und berechnet durch Triangulation die aktuelle Position des Anwenders (RHEIN 1998).

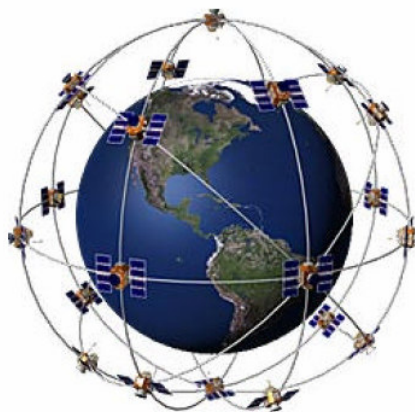


Abb. 6.2: GPS Raumsegment.

Quelle: <http://home.arcor.de/m.panitzki/html/navigation/gps.htm>.

Mit Hilfe der Technik des sog. Differenziellen GPS (DGPS) können Empfänger Genauigkeiten von fünf bis drei Meter erreichen. Beim DGPS wird ein zweiter stationärer GPS-Empfänger zur Korrektur der Messung des ersten Empfängers eingesetzt. Ausgefeilte, sehr teure GPS-Empfänger, wie sie in der Landesvermessung eingesetzt werden, erreichen sogar Genauigkeiten im Zentimeter-Bereich, sind aber für den Normalverbraucher nicht erschwinglich.

Aufgrund der zunehmenden strategischen und kommerziellen Bedeutung satellitengestützter Navigationssysteme in Europa, ist die Europäische Kommission in Zusammenarbeit mit der European Space Agency dabei, ein eigenes Netz an Satelliten mit dem Projektnamen GALILEO einzurichten. Die technische Konzeption von GALILEO sieht derzeit ein System von 30 Satelliten vor, die im Vergleich zu GPS auf höheren Bahnebenen kreisen, um auch die nördlichen Regionen Europas optimal abdecken zu können. Die Genauigkeit der Positionsbestimmung wird mit 5-7 Metern gegenüber GPS geringfügig erhöht (GARZIT 2002, S. 48). Bis zum Jahr 2010 soll das System betriebsbereit sein.

GPS kann über die USB-, die serielle Schnittstelle oder per Bluetooth an ein mobiles Gerät angeschlossen werden. Die bestehende mobile Hardware wird im nächsten Abschnitt vorgestellt.

6.2 Bestehende Hardware

Mobile Geräte lassen sich grob in drei Gruppen unterteilen:

- Laptops,
- Persönliche Digitale Assistenten (PDAs),
- Smartphones.

Während Laptops sich hinsichtlich der Rechenleistung und Software meist nicht wesentlich von einem gewöhnlichen Desktop-Computer unterscheiden, sind die weiteren Geräte auch aufgrund ihrer Speichergröße durch die Verwendung spezieller Software eingeschränkt.

Smartphones sind stets mit einer vom Handy bekannten Zifferntastatur ausgestattet, während die PDAs entweder eine komplette alphanumerische Tastatur oder nur wenige Funktionstasten aufweisen, die Tastatur jedoch bei Bedarf auf dem Touch-Screen dargestellt werden kann. Die PDAs, die jahrelang zunächst nur Organizer-Funktionen aufwiesen, lassen sich in zwei Gruppen unterteilen, die Handheld Computer und die Palmsize-PDAs. Handheld Computer sind aufklappbare Geräte mit einem Bildschirm im Querformat. Sie sind etwas größer als die Palmsize-PDAs, welche auch häufig als Palmtop bezeichnet werden. Palmtops sind hand-flächengroß und Eingaben werden mit Hilfe eines Stiftes auf dem hochformatigen Display durchgeführt. Für die PDAs befinden sich zur Zeit zwei führende Betriebssysteme auf dem Markt. Während Microsoft das Produkt *Windows Mobile* für mobile Geräte entwickelt hat, wird von Palm Computing das Betriebssystem *PalmOS* zur Verfügung gestellt. Beide sind für handgroße Geräte konzipiert worden, die mit wenig Speicher und einem kleinen Display ausgestattet sind (POTT und GROTH 2001, S. 36ff).

Mit steigender Leistungsfähigkeit der Geräte ist es möglich, sie auch in völlig neuen Anwendungsgebieten einzusetzen wie z.B. die mobile Navigation. Mit Hilfe von externen oder auch integrierten GPS-Empfängern kann die exakte Position bestimmt und für weitere Anwendungen genutzt werden. Die aktuelle Generation von PDAs ist zusätzlich mit Internetbrowsern ausgestattet, so dass z.B. durch Wireless LAN (WLAN) mobiles Surfen ermöglicht wird. Es existieren im Internet bereits speziell für Handydisplays aufbereitete Seiten, die vor allem in der Datenmenge reduziert sind, so dass sie auch mit geringer Bandbreite schnell abgerufen werden können.

6.2.1 Mobile Geräte für die Navigation

Für einen mobilen Routenplaner muss das verwendete Gerät vor allem gut auf einem Fahrrad portabel sein, wobei das Display oder der Bildschirm für die Kartendarstellung nicht zu klein ausfallen darf. Laptops verfügen zwar über einen großen Bildschirm, sind aber aufgrund ihrer Größe nicht auf einem Fahrrad mitzuführen. Die Handys dagegen bestechen durch ihre Portabilität, während ihr Display nur wenig Darstellungsmöglichkeiten bietet. Am geeignetsten für einen Fahrradrouutenplaner erscheint daher ein PDA.



Abb. 6.3: Mobile Geräte für die Navigation.
 Links: GPS-Gerät. Rechts: PDA basierend auf Windows Mobile.
 Quelle: <http://www.cotswoldoutdoor.com> und <http://www.esri.com>.

Neben den PDAs existieren Handheld Geräte, die speziell für die Navigation konzipiert und standardmäßig mit einem GPS ausgestattet sind (s. Abb. 6.3). Diese GPS-Geräte verfügen meist nicht über eine Kartenanzeige. Lediglich Pfeilanweisungen oder aber rudimentäre Karten sind zu erhalten. Diese Geräte sind durch den im Gegensatz zum PDA geringeren Kostenfaktor sehr beliebt. In Deutschland werden vor allem Geräte der Firmen *Garmin* und *Magellan* angeboten (FROITZHEIM 2003). Tabelle 6.1 gibt einen Überblick über die bestehenden Geräte der zwei Hersteller.

Hersteller	<i>Garmin</i>	<i>Magellan</i>
Geräte	<ul style="list-style-type: none"> - Forerunner - Foretrex - Geko - Edge - eTrex - GPSMap 	<ul style="list-style-type: none"> - Sporttrak / Sporttrak Map - eXplorist - Meridian Platinum - Meridian Color

Tab. 6.1: Geräte der Hersteller *Garmin* und *Magellan*.
 Quelle: <http://www.fahrrad.de/fahrradzubehoer/gps-navigationsgeraete.html>.

In erster Linie basiert die Navigation dieser Geräte auf sog. Wegpunkten (Waypoints). Wegpunkte können z.B. abgespeicherte Positionen sein, die einen bestimmten Ort im Gelände entsprechen. Die meisten Geräte können zwischen 500 und 1000 Wegpunkten speichern. Wegpunkte lassen sich zu Routen kombinieren. Eine Route besteht demnach aus einer Aneinanderreihung von bestehenden Wegpunkten in einer bestimmten selbst festgelegten Reihenfolge. Die meisten Geräte können eine oder mehrere solcher Routen speichern. Befindet man sich auf einer Route, so zeigt das GPS-Gerät die Richtung und Entfernung zum nächsten Wegpunkt auf der Route, folgt der Route also Punkt für Punkt. Die Routenfunktion eignet sich gut, wenn wichtige Abzweigungen als Wegpunkte gespeichert und dann zu einer Route zusammengeführt werden. Es wird zwar nicht der exakte Straßenverlauf der Route wiedergegeben, aber durch die ständige Anzeige der Entfernung (per Luftlinie) zum nächsten Wegpunkt, wird deutlich, wann in welche Richtung abgelenkt werden muss.

Während man sich auf seiner Tour bewegt, speichern die meisten Geräte in regelmäßigen Abständen die aktuelle Position in sog. Tracklogs. Je nach Gerät können 1000 bis 10000 Punkte gespeichert werden. Die Tracklogs oder auch Tracks können grafisch dargestellt und wie Routen aktiviert werden. Viele Geräte erlauben das Speichern von mehreren Tracks, wenn auch mit reduzierter Punktzahl, so dass man diese wie Routen verwenden kann. Normalerweise können Tracks jedoch nicht im Gerät editiert oder wie Routen aus Wegpunkten erzeugt werden. Es gibt allerdings Programme, mit denen man Tracks am PC zeichnen und dann auf dem GPS-Gerät verwenden kann.

6.2.2 Merkmale mobiler Geräte

Mobile Geräte haben aufgrund ihrer Größe, ihres Anwendungsfeldes aber auch ihrer Bauweise verschiedene Eigenschaften, die bei der Nutzung des Gerätes berücksichtigt werden müssen.

Ressourcenknappheit

Ein wesentliches Merkmal liegt in der Ressourcenknappheit, die sich vor allem auf die Haupteigenschaften eines mobilen Gerätes wie Größe und geringes Gewicht zurückführen lässt. Dabei ist zu allererst die Stromversorgung zu nennen. Da im Gelände in der Regel keine feste Stromverbindung verfügbar ist, muss auf Batterien zurückgegriffen werden. Zur Zeit erhältliche Geräte auf Basis von Windows Mobile können je nach sonstiger Ausstattung nur ca. 3-4 Stunden ununterbrochene Arbeit gewährleisten. Bei zugeschalteten Funktionalitäten wie z.B. WLAN können sich deutlich niedrigere Zeiten ergeben (HARBECK 2004, S. 17). GPS-Geräte, die mit zwei Mignon-Akkus gespeist werden, haben die Energie nach 12 bis 14 Stunden, spätestens aber nach 18 Stunden aufgebraucht (FROITZHEIM 2003).

Neben dem Strom ist auch der Speicher eine knappe Ressource. Aktuelle Geräte liefern meist zwischen 32 und 64 MB als Hauptspeicher mit, der zugleich als Datenspeicher verwendet wird. Zusätzlich schränken geringe Bandbreiten und schwache Signale die Netzwerkanbindung mobiler Geräte ein. Durch die Verwendung von Speichermedien wie z.B. SD-Karten, die bis zu 1 GB Speicher liefern, kann zumindest der Datenspeicher bei mobilen Endgeräten um ein Vielfaches erweitert werden, sofern das Speichermedium vom Gerät unterstützt wird.

Eingeschränkte Benutzerschnittstelle

Aufgrund der geringen Displaygröße ergeben sich bestimmte Restriktionen beim Entwurf von Anwendungen für mobile Endgeräte. Zusätzlich sind die verschiedenen Benutzerschnittstellen extrem heterogen. So sind bei den Handys tendenziell kleine, monochrome Displays mit geringer Auflösung die Regel. Als Eingabemedium kommt bei diesen Geräten meist nur die Wähltastatur in Frage. PDAs hingegen sind mit etwas größeren Displays ausgestattet und gesteuert über eine Stifteingabe (HARBECK 2004, S. 19f).

Eingeschränkte Ausgabe für den Nutzer

Aufgrund des kleinen Displays können nur wenige Objekte in der Karte dargestellt werden. Methoden, um Objekte in einer Karte auf einem mobilen Gerät zu generalisieren und so zu vereinfachen, finden sich bei HAMPE und PAELKE (2005). Gerade für die Kartendarstellung ist zusätzlich der Aspekt der begrenzten Farbauswahl wichtig. PDAs sind meist auf mehrere tausend

Farben beschränkt im Gegensatz zu „true-color“ Displays in Desktopanwendungen, die bis zu Millionen von Farben verwenden können. Bedacht werden muss zudem, dass mobile Geräte unter sehr heterogenen Lichtverhältnissen verwendet werden. Vor allem bei starker Sonneneinstrahlung kann die visuelle Ausgabe stark beeinträchtigt werden (HAMPE und PAELKE 2005, S. 2ff).

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass mobile Geräte eine gute Möglichkeit bieten, digital im Gelände zu navigieren. Allerdings müssen bei der Entwicklung mobiler Anwendungen die vorhandenen Eigenschaften gerade im Bereich der graphischen Benutzeroberfläche berücksichtigt werden. Im Folgenden werden Software-Systeme vorgestellt, die eine Navigation im Gelände ermöglichen.

6.3 Existierende Software-Systeme im Bereich Navigation

Software-Systeme für die Navigation mit mobilen Endgeräten lassen sich grob in zwei Kategorien unterteilen: Systeme, die eine Bearbeitung von räumlichen Daten am PC und eine Synchronisation mit einem mobilen Gerät ermöglichen, sowie Systeme, die direkt auf dem mobilen Gerät eine Bearbeitung der Daten ermöglichen.

6.3.1 Software-Anwendungen für PC und mobiles Gerät

Neben der digitalen Kartenserie Top50 und Top25 der Landesvermessungsämter, mit denen eine Route am heimischen PC geplant werden kann, existieren zahlreiche weitere Programme zur Planung einer Route und Navigation auf einem mobilen Gerät. Alle Programme dieser Kategorie sind in ein PC-Segment für die Vorbereitung der Karte sowie das Erstellen von Routen und Wegpunkten und ein extra Segment für das mobile Gerät aufgeteilt. PC und mobiles Gerät sollen miteinander kommunizieren können, um die erstellte Route auf das mobile Gerät zu übertragen und später die gefahrenen Kilometer auf dem großen Bildschirm des PCs bequem auswerten zu können. Im Folgenden werden einige ausgewählte Software-Pakete, die diese Möglichkeiten bieten, aufgelistet:

- *OziExplorer*
- *Fugawi*
- *Touratech*
- *GPS-Viewer*
- *Trackmaker*.

Die einzelnen Pakete unterscheiden sich teilweise in Funktionsumfang und Preis sowie den unterstützten Gerätetypen. Allen gemein ist die Möglichkeit, am Computer Wegpunkte, Routen und Tracks zu erzeugen und diese auf ein mobiles Gerät zu übertragen. Zur Erstellung dient die Möglichkeit, gescannte oder sonstige digitale Karten sowie teilweise auch Vektordaten im Programm zu hinterlegen. Eine gefahrene Route kann in Form eines Tracks durch den Upload vom mobilen Gerät am heimischen PC ausgewertet werden.

Mit einigen Programmen ist es möglich, dynamisch Höhenprofile für erzeugte Routen zu generieren (z.B. *Fugawi* oder *Touratech*). Des Weiteren bietet *Fugawi* die Möglichkeit an, Karten in 3D-Ansicht zu betrachten. *Touratech* hingegen verfügt über eine Schnittstelle zu *Google Earth*. Damit können Wegpunkte, Tracks, Routen und auch Kartenausschnitte passgenau in *Google Earth* geladen werden. Außerdem besitzt *Touratech* sowie *GPS-Viewer* die Möglichkeit, direkt am aufgezeichneten Track Digitalfotos oder sonstige Multimedia-Dateien wie Ton, Videos oder einfachen Text zu verlinken.

6.3.2 Mobile Software-Anwendungen

Im Bereich mobiler Softwareanwendungen stehen der Anwendergemeinde mehrere Softwarelösungen einschlägiger GIS-Hersteller für mobile Geoinformationssysteme zur Verfügung. So stellt z.B. ESRI mit *ArcPad*, MapInfo mit *MapXtend* und Autodesk in Zusammenarbeit mit Oracle durch das Projekt *Maui* eine Software-Lösung zur Visualisierung von Geodaten für mobile Endgeräte bereit. Hierbei handelt es sich vor allem um Software für PDAs mit bereits genannten Betriebssystemen *PalmOS* und *Windows Mobile*. Diese Produkte können meist herstellerspezifische Datenformate lesen, visualisieren und editieren, wobei sie sich in der Darstellungsqualität und dem Funktionsumfang unterscheiden. Einige Lösungen unterstützen weiterhin die Visualisierung von GPS-Koordinaten. Diese Lösungen sind meistens für die mobile Erfassung von Daten nicht aber für die Navigation ausgerichtet. Zusätzlich sind die Systeme sehr teuer. Eine Auflistung weiterer hier nicht genannter GIS-Lösungen für den mobilen Einsatz findet sich unter <http://www.gislounge.com>.

Zahlreiche Projekte haben sich bereits damit beschäftigt, angepasste Anwendungen zu entwickeln, die speziell auf die Navigation mit einem mobilen Gerät ausgerichtet ist. Eine kleine Auswahl dieser Anwendungen soll im nächsten Abschnitt vorgestellt werden.

6.4 Existierende Projekte im Bereich der mobilen Navigation

Die an dieser Stelle vorzustellenden Projekte beschäftigen sich hauptsächlich mit dem Bereich der Fußgängernavigation, können aber unter Umständen auch im Bereich des Fahrrad routings eingesetzt werden. Gerade im Bereich der Fußgängernavigation gibt es Probleme hinsichtlich der Positionsbestimmung z.B. durch Abschattung in städtischen Umgebungen oder durch die höheren Anforderungen der Genauigkeit im Gegensatz zu Radfahrern. Zusätzlich gibt es Probleme hinsichtlich der Wegdaten für Fußgänger im Gegensatz zu Fahrrad- oder Autofahrern. Gerade die Modellierung von Plätzen oder komplizierten Kreuzungen ist keineswegs trivial (PLÜMER et al. 2004, S. 2). Mit diesem Hintergrund werden die ausgewählten Projekte im Folgenden vorgestellt.

6.4.1 SVG Viewer

SVG (Scalable Vector Graphics) ist ein vektorbasiertes Datenformat, welches eine Reihe von Eigenschaften besitzt, die die Repräsentation und Visualisierung von kartographischen Informationen unterstützt. SVG ist ein vom World Wide Web Consortium (W3C) verabschiedeter Grafikstandard auf XML-Basis (NEUMANN und WINTER 2000). Im folgenden Projekt wird SVG als Darstellungsformat für die Ausgabekarte gewählt.

In Zusammenarbeit mit der Firma GeoXXL ist vom Institut für Angewandte Geoinformatik und Photogrammetrie (IAPG) der Fachhochschule Oldenburg/Ostfriesland/Wilhelmshaven ein Prototyp eines mobilen elektronischen Stadtführers auf Basis von Windows Mobile auf einem PDA entwickelt worden. Aktuelle und historische digitale Karten im Vektor- und Rasterformat dienen im Zusammenspiel mit einer GPS-Positionierung zum einen der Orientierung zum anderen erlauben sie den Einblick in die geschichtliche und infrastrukturelle Entwicklung der Stadt. Für die Darstellung der Karten und Luftbilder wird ein am IAPG im Rahmen eines Forschungsprojektes entwickelter SVG-Viewer verwendet. Zwischen der kartographischen Darstellung eines Ortes im SVG-Viewer und dessen multimedialer Präsentation in einem Webbrowser kann mittels entsprechender sensitiver Kartenobjekte bzw. Textelemente hin und her navigiert werden. Bei hinreichender Annäherung an eine Sehenswürdigkeit wird der Nutzer durch ein Popupfenster automatisch auf verfügbare Inhalte zu dem Objekt hingewiesen (GOLLENSTEDE und LORKOWSKI 2005).

Der SVG-Viewer würde sich als Visualisierungswerkzeug für berechnete Fahrradrouten eignen. Allerdings müssten diese Routen in einem für den SVG-Viewer darstellbaren Format vorliegen. Problematisch ist zur Zeit noch das zusätzliche Einbinden von Rasterkarten neben bereits bestehenden SVG-Daten. Daher ist von einer Nutzung im Rahmen dieser Arbeit zunächst abgesehen worden. Diese Möglichkeit sollte aber an anderer Stelle weiter verfolgt werden.

6.4.2 Fahrradtouren-Navigationssystem für Pocket PCs

Im Rahmen einer Diplomarbeit entstand am Institut für Kartographie und Geoinformatik der Universität Hannover im Jahr 2004 ein Fahrradtouren-Navigationssystem für Pocket PCs. Das System basiert auf mobilen Geräten, die mit Windows Mobile ausgestattet sind. Die eigentliche Anwendung läuft innerhalb eines Webbrowsers in Form einer SVG-basierten Benutzeroberfläche. Die Positionsbestimmung erfolgt durch eine eigenständig entwickelte Applikation.

Mit dem Fahrradtouren-Navigationssystem ist es möglich, sich zum einen Daten im SVG- sowie PNG-Format je nach Zoomstufe zu visualisieren. Zusätzlich sind die gängigen Kartennavigationswerkzeuge wie Zoomen und Panen implementiert. Der aktuelle Standort kann wahlweise ein- oder ausgeblendet werden, eine Zentrierung der Karte auf den aktuellen Standort ist möglich.

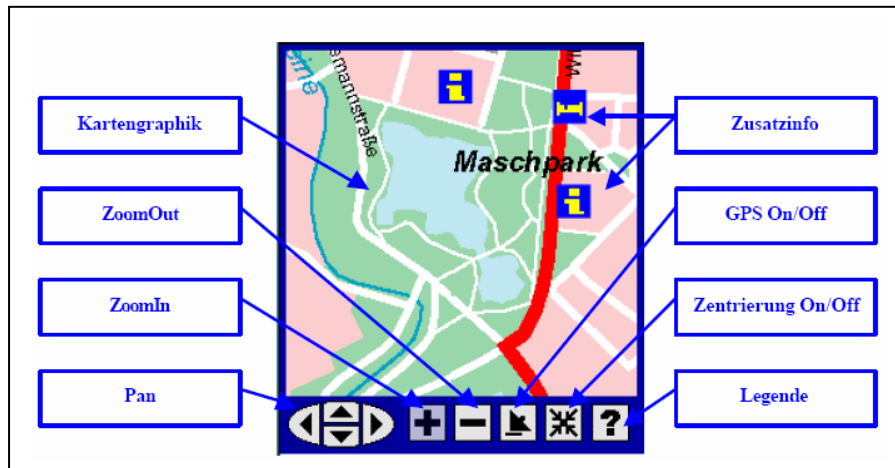


Abb. 6.4: Benutzeroberfläche des Fahrradtouren-Navigationssystems.
Quelle: ADAM 2004, S. 81.

Zusatzinfos zu POI in der Karte sowie die Legende werden in Form von HTML-Seiten zur Verfügung gestellt und sind durch einen Hyperlink mit der Anwendung verbunden. Eine mobile Routenberechnung ist noch nicht implementiert.

Die der Anwendung zugrunde liegenden ATKIS-Daten sind im Vorfeld für die Anwendung unter anderem durch eine Generalisierung aufbereitet worden. Ein dynamisches Laden von Daten ist daher nicht vorgesehen. Um die Anwendung für die im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Funktionalitäten zu nutzen, müsste die Anwendung durch die Möglichkeit erweitert werden, auch andere Karten laden zu können. In dem Fall wäre die Übertragung einer dynamisch erzeugten Rasterkarte problemlos möglich. Weitere Informationen zu dem Fahrradtouren-Navigationssystem finden sich bei ADAM (2004).

6.4.3 Mobiles Deep Map: Das Touristeninformationssystem für die Stadt Heidelberg

Deep Map ist ein Projekt des European Media Laboratory (EML) in Kooperation mit dem Geographischen Institut der Universität Heidelberg. Deep Map soll es dem Benutzer erleichtern, sich in einer fremden Stadt zurechtzufinden, sich zu orientieren und sich zu bewegen. Der Kern des gesamten Projekts ist ein GIS in Kombination mit einer Datenbank. Die beiden Komponenten bilden die Grundlage für das Touristeninformationssystem der Stadt Heidelberg. Um diesen Kern stellen eine Reihe von Komponenten weitere Funktionalitäten zur Verfügung (ZIPF et al. 2000, S. 1ff). Neben der Webschnittstelle, die zur Reisevorbereitung wie z.B. der Generierung und Visualisierung von Touren genutzt wird, ist ein mobiler Prototyp entwickelt worden, der den Besucher während des realen Besuches durch die Stadt navigiert. Ein langfristiges Ziel des Deep Map Projektes ist es, die ideale Besichtigungstour eines Touristen nach dessen Vorlieben und abhängig von dessen gegebenen Interessen vorzuschlagen. Neben der Erzeugung einer interessanten Route gehört dazu eine angemessene Darbietung der als relevant erachteten Informationen in 2D und 3D (ZIPF 2001, S. 2).

Deep Map bieten den Vorteil zahlreicher Funktionalitäten und einer möglichen 3-dimensionalen Visualisierung. Doch auch hier ist das Laden von dynamischen Karten zunächst nicht vorgesehen, so dass es für diese Arbeit nicht nutzbar ist.

6.4.4 CityInfo: Das mobile Stadtinformationssystem

CityInfo ist ein Projekt des Instituts für Kartographie und Geoinformation der Universität Hannover. Es wurde im Rahmen eines Projektseminars im Jahr 2004 entwickelt. Ziel dabei ist es, ortsfremden Personen die Sehenswürdigkeiten einer Stadt in Form eines mobilen Informationssystems näher zu bringen. Grundlage des Stadtinformationssystems sind Karten in unterschiedlichen Maßstäben, so dass sich der Anwender zum einen einen Überblick über die Stadt verschaffen, zum anderen aber auch detaillierte Informationen zu gewünschten Gebieten abrufen kann. Über die in der Karte dargestellten POI kann der Nutzer sich mit Hilfe der Anwendung informieren. Es besteht die Möglichkeit, Informationen in Form von Text aber auch 3D-Darstellungen oder Panoramen zu erhalten (s. Abb. 6.5).



Abb. 6.5: Beispiel einer Panorama-Darstellung im mobilen Stadtinformationssystem CityInfo.
Quelle: http://www.ikg.uni-hannover.de/lehre/projektseminare/2004/projektseminar_2004.html

Diese Anwendung zeigt, dass zahlreiche weitere Informationen über eine Region wie z.B. Panoramen die Anwender bei der Navigation sehr gut unterstützen können. Allerdings müssen diese Daten im Vorfeld generiert und können nicht dynamisch für einen gewünschten Ausschnitt erzeugt werden. Zu überlegen wäre daher, wie derartige Informationen in das hier konzipierte System eingebunden werden könnten. Zusätzliche Informationen zu CityInfo und den Darstellungsmöglichkeiten finden sich bei PAELKE et al. (2005).

6.4.5 Lol@ (Local Location Assistant): Touristenführer für die Stadt Wien

Im Hinblick auf die Einführung des UMTS-Mobilfunksystems in den Jahren 2002 bzw. 2003 im deutschsprachigen Raum wurde vom Forschungszentrum Telekommunikation Wien eine beispielhafte Mobilfunkanwendung für den mobilen Breitbandzugang zum Internet auf Basis des UMTS-Standards geschaffen. Dieses Beispielprojekt mit Namen Lol@(Local Location Assistant) führt den Nutzer auf einer definierten Tour durch die Innenstadt von Wien und präsentiert dem Anwender abhängig von seiner Position angepasste Kartenausschnitte sowie multimediale touristische Informationen zu ausgewählten Sehenswürdigkeiten auf einem mobilen Gerät. Neben zahlreichen kartenbasierten Inhalten sind in Lol@ auch Routingfunktionalitäten integriert. Dadurch wird es dem Anwender ermöglicht, sich von seiner aktuellen Position aus zu einer bestimmten Sehenswürdigkeit leiten zu lassen. Zu den POI existieren weitere Informationen in Form von Text, Bildern sowie kurzen Ton- und Videosequenzen. Um den Anwender auf einer

berechneten Route zu leiten, wird die Route in der Karte hervorgehoben. Zusätzlich wird eine textliche Navigationsanweisung eingeblendet. Optional kann diese auch in gesprochener Form ausgegeben werden. Für eine verbesserte Orientierung entlang der Route sind zusätzliche Orientierungspunkte wie Landmarks in der Karte eingezeichnet (PAMMER und RADOZKY 2002, S. 119ff).

Da Lol@ besonders auf den Bereich des mobilen Breitbandzugangs auf Basis von UMTS ausgerichtet ist, und das Routing mit proprietärer Software auf Serverseite ausgeführt wird, ist es für eine mobile Ausgabe der Fahrradroute, wie sie in dieser Arbeit dargestellt wird, nicht verwendbar. Lol@ zeigt jedoch eine Möglichkeit auf, die mobile Routenberechnung vom mobilen Gerät auf den Server zu verlagern und das Ergebnis per UMTS dem Client zur Verfügung zu stellen. Dadurch würde man die Möglichkeit erhalten, den vollen Funktionsumfang der Routenberechnung auch auf dem PDA nutzen zu können.

Die beschriebenen fünf Projekte haben einen kleinen Überblick über den aktuellen Stand im Bereich der mobilen Navigation gegeben. Die Systeme sind größtenteils auf die Fußgängernavigation ausgerichtet, es ist jedoch denkbar, diese auf die Fahrradnavigation auszuweiten. Dafür sind allerdings je nach Anwendung einige Anpassungen notwendig. Im weiteren Verlauf dieser Arbeit soll grundlegend überlegt werden, wie ein Download einer im Internet berechneten Route realisiert werden kann.

6.5 Digitale Mitnahme einer Fahrradtour ins Gelände

Um eine im Internet berechnete Fahrradroute digital ins Gelände mitzunehmen, muss zunächst bekannt sein, auf welchem Gerätetyp die Route visualisiert werden soll. Besitzt der Anwender ein GPS-Gerät, welches lediglich die einzelnen Wegpunkte sowie die einzuschlagende Richtung aufzeigt, kann die Route in Form eines Tracks aus dem Internet exportiert und auf das mobile Gerät geladen werden. Ein Beispiel hierfür findet sich bei dem Radroutenplaner NRW (vgl. Kap. 2.3.5). Möchte der Anwender ein PDA mit Farbdisplay nutzen, so ist es sinnvoll nicht nur die Route, sondern auch eine Hintergrundkarte zum Download anzubieten. In den nächsten Abschnitten sollen beide Vorgehensweisen beschrieben werden.

6.5.1 Download der Route in Form eines Tracks

Bevor der Download einer im Internet geplanten Route realisiert werden kann, werden zunächst die verschiedenen, den GPS-Geräten zugrunde liegenden Formate untersucht. Dabei werden die gängigen Formate GPX und TRK genauer betrachtet. Das GPS Exchange Format (GPX) ist ein Dateiformat zur Speicherung von Geodaten basierend auf dem allgemeinen XML-Standard. Entwickelt wurde GPX von der Firma *Topografix*. GPX ist ein offenes, lizenzfreies Format, welches gebührenfrei verwendet werden darf. Es können hauptsächlich Wegpunkte, Routen und Tracks beschrieben werden, wobei sich die Routen und Tracks aus Wegpunkten zusammen-

setzen. Die Geographischen Koordinaten werden bezüglich des WGS84-Kartenbezugssystems gespeichert.

Das Format TRK gehört zu dem übergeordneten Dateiformat PCX5. PCX5 ist ein textbasiertes Format, welches von vielen Anwendungen unterstützt wird. Es speichert in die Formate .trk (Track), .wpt (Waypoint) oder .rte (Route). Das Format TRK dient also der Speicherung von Tracks. Da im Rahmen dieser Arbeit die berechnete Route in Form eines Tracks zum Download bereitgestellt werden soll, werden die beiden anderen Datei-Endungen des PCX5-Formats hier nicht weiter betrachtet. Tabelle 6.2 zeigt den spezifischen Aufbau der Trackformate GPX und TRK.

Format	Aufbau
.gpx	<pre> <gpx> <trk> <trkseg> <trkpt lat="51.695026" lon="6.259610"></trkpt> <trkpt lat="51.694561" lon="6.259358"></trkpt> </trkseg> </trk> </gpx> </pre>
.trk	<pre> H LATITUDE LONGITUDE DATE TIME ALT T +53.8922386 +008.6820726 03-JUN-02 02:37:54 0 T +53.8912086 +008.6829166 03-JUN-02 02:37:54 0 </pre>

Tab. 6.2: Übersicht über die gängigen Trackformate.
Quelle: ATLsoft und Topografix.

Wie Tabelle 6.2 deutlich macht, werden die Koordinaten der Wegpunkte in allen Formaten durch Breite und Länge dargestellt. Eine individuell erzeugte Route muss also zunächst die notwendigen Wegpunkte für einen Track extrahieren, und diese im Folgenden in oben dargestellter Form auflisten. Im Rahmen dieser Arbeit sollen die Kreuzungspunkte zwischen einzelnen Linienabschnitten als Wegpunkte dienen. Da die Linienabschnitte in der Datenbank im Gauß-Krüger-Koordinatensystem vorgehalten werden, muss vor der Bereitstellung für den Nutzer eine Umrechnung vom Gauß-Krüger-System auf die entsprechenden Längen- und Breitengrade erfolgen. Die Umrechnung wird nach der Formel von HOFMANN-WELLENHOF et al. (2001) durchgeführt. Dabei wird dynamisch die jeweilige umzurechnende Koordinate eines jeden Linienabschnittes dem Algorithmus übergeben und mit Hilfe der Formelwerte berechnet. So kann die Ergebnisdatei Schritt für Schritt aufgebaut werden. Die Ergebnisdatei in Form einer GPX- oder TRK-Datei wird dem Nutzer nach der dynamischen Erstellung zum Download bereitgestellt. Die generierte Datei muss zur Navigation dann lediglich vom Anwender auf das GPS-Gerät übertragen werden.

6.5.2 Download der Route zur Visualisierung auf einem PDA

Neben dem Download der Route auf ein GPS-Gerät hat der Anwender die Möglichkeit, die Route in Kombination mit der Hintergrundkarte auf einem PDA zu visualisieren. Dafür ist wie bereits in Kapitel 6.3 erläutert, eine Software notwendig, die zum einen die Daten anzeigen und zum anderen das empfangene GPS-Signal in der Karte visualisieren kann. Um den Benutzern eine kostenlose Software zur Betrachtung bereitstellen zu können, ist am Institut für Geoinformatik und Fernerkundung der Universität Osnabrück im Rahmen einer Diplomarbeit ein Viewer mit Namen *FNaS* (FahrradnavigationsSystem) entwickelt worden. Dieser wird im folgenden Abschnitt kurz vorgestellt.

6.5.2.1 Visualisierung der Daten mit FahrradNavigationsSystem *FNaS*

Das FahrradNavigationsSystem *FNaS* soll keinem kommerziellen Zweck dienen, sondern nach Fertigstellung dem Anwender frei auf der Internetseite des Fahrradroutenplaners neben der Karte und der Route zum Download bereitgestellt werden. Neben der Darstellung der Route in Form einer vektorisierten Linie kann eine Hintergrundkarte in Form eines Geo-Jpegs für die individuelle Route geladen werden.

Karte und Route können vorerst über eine Synchronisierungssoftware wie z.B. *ActiveSync* vom PC des Anwenders auf ein mobiles Gerät übertragen werden. Zu einem späteren Zeitpunkt ist evtl. eine automatisierte Übertragung über USB, Infrarot oder Bluetooth vorstellbar. Die so bereitgestellten Karten und Routen sollen über eine Menüführung geladen und in einem Kartenfenster wiedergegeben werden.

Für die Wiedergabe der GPS-Position auf der Karte werden die GPS-Daten über eine Serielle Schnittstelle abgefragt. So können sie für die Positionsbestimmung in der Karte genutzt werden. Dem Anwender wird seine aktuelle Position in der geladenen Karte durch ein entsprechendes Symbol angezeigt. Zusätzlich ist es möglich, POI durch Klick in die Karte abzufragen. Für die Darstellung der Punkte werden eindeutige Symbole verwendet, welche die Kategorie des Punktes wiedergeben (VARNHORN 2006). Die Datengrundlage für die Anzeige der POI liegt in Form von XML vor.

Entwickelt ist *FNaS* basierend auf C#.net mit Hilfe von Visual Studio 2005. Der Viewer läuft auf mobilen Geräten ab dem Betriebssystem Windows Mobile 2003. Für die einwandfreie Nutzung muss für dieses Betriebssystem zusätzlich das Compact Framework 2.0, welches kostenlos von Microsoft bezogen werden kann und notwendige Funktionen bereitstellt, installiert sein. Besser geeignet sind daher Geräte, die auf Windows Mobile 2005 laufen. Hier ist das Compact Framework bereits integriert. Die Installation erfolgt lediglich durch das Kopieren des Hauptordners von *FNaS* auf das entsprechende mobile Gerät. Gestartet wird die Anwendung durch den Aufruf der im Hauptordner befindlichen .exe-Datei.



Abb. 6.6: Das mobile FahrradNavigationssystem *FNaS*.
 Links: Anzeige der Karte und dem GPS-Punkt (roter Kreis).
 Rechts: Informationen über empfangene GPS-Daten.
 Quelle: VARNHORN 2006.

Wie oben beschrieben verwendet *FNaS* für die Visualisierung eine Karte als Hintergrund sowie eine vektorisierte Linie für die Routendarstellung. Die Generierung dieser Elemente wird im nächsten Abschnitt erläutert.

6.5.2.2 Realisierung des Datendownloads

Bereitstellung einer Hintergrundkarte

Zur Orientierung im Raum erhält der Anwender einen reduzierten Hintergrund in Form eines Jpegs. Dies Jpeg kann einen Stadtplan, topographische Karten oder Luftbilder abbilden. Hierfür wird eine Kartenanfrage mit dem Ausschnitt der Route an den *UMN Mapserver* gestellt. Die Route selbst ist in der Karte nicht enthalten, da sie per Vektordaten auf dem mobilen Gerät visualisiert werden soll.

Um das generierte Jpeg zusammen mit der im Vektorformat vorliegenden Route auf dem mobilen Gerät darstellen zu können, müssen Informationen darüber vorliegen, welchen Koordinaten des vorherrschenden Koordinatensystems den Bildkoordinaten des Jpegs entsprechen. Die Bildkoordinaten müssen demnach in Koordinaten der realen Welt transformiert werden. Da sich das Bild je nach berechneter Route fortwährend ändert, muss dynamisch ein sog. „Worldfile“ generiert werden. Ein „Worldfile“ stellt Informationen über die Weltkoordinate der linken oberen Ecke des Bildes, der Breite und Höhe sowie der Größe eines Pixels in x- und y-Richtung bereit. Anhand dieser Informationen kann *FNaS* die Transformation beim Öffnen des Bildes durchführen. Da die Weltkoordinaten des aktuellen Kartenausschnitts in der Weboberfläche jederzeit abfragbar sind, ist die Bereitstellung der notwendigen Informationen problemlos zu realisieren (s. Abb. 6.7).

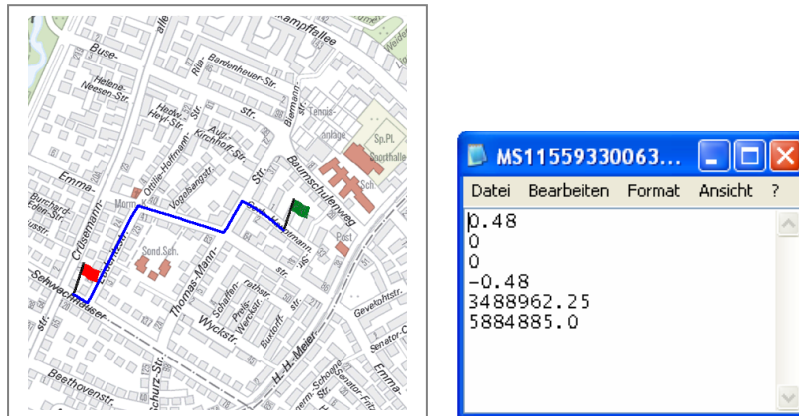


Abb. 6.7: Karte (links) mit zugehörigem Worldfile (rechts).
Quelle: eigener Entwurf.

Bereitstellung der Route

Die Route kann in Form einer einfachen Textdatei auf dem mobilen Gerät dargestellt werden. Da die Route in der Datenbank durch eine Abfolge von Koordinaten abgelegt ist, kann ohne Aufwand eine Textdatei generiert werden, welche die komplette Route durch die Abfolge der Koordinaten repräsentiert. Zu Erstellung dieser Textdatei werden alle Linienabschnitte, die zu der berechneten Route gehören, aus der Routentabelle mit entsprechender ID selektiert. In einem zweiten Schritt werden die Linienabschnitte so sortiert, dass sie in der Reihenfolge vorliegen, in der sie befahren werden. Dann können die einzelnen Geometrien lediglich durch Angabe von x- und y-Koordinate in die Textdatei geschrieben werden (s. Abb. 6.8). Knotenpunkte, die zwei Linien miteinander verbinden, werden nur einmal aufgeführt.

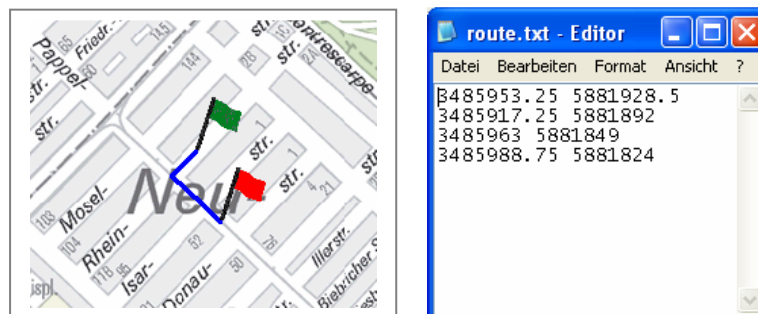


Abb. 6.8: Kleine Beispielroute (links) und ihre Repräsentation in Form einer textbasierten Koordinatenabfolge (rechts).
Quelle: eigener Entwurf.

Die Karte mit Worldfile sowie die Route als textbasierte Koordinatenabfolge werden in Form einer komprimierten Datei dem Anwender zum Download bereitgestellt. Dieser kann die Daten entpacken und auf sein mobiles Gerät spielen.

6.6 Mobile Routenberechnung

Sinnvoll ist es, dem Anwender auf seinem mobilen Endgerät zusätzlich die Möglichkeit zu bieten, die berechnete Route spontan im Gelände abzuändern. Mit diesem Aspekt beschäftigt sich eine weitere Diplomarbeit am IGF. Geplant ist eine Erweiterung des oben dargestellten *FNaS* um eine einfache Routingkomponente. Der Anwender soll die Möglichkeit erhalten, sich zu dem nächsten Punkt einer bestimmten POI-Kategorie wie z.B. Café, Tankstelle etc. führen zu lassen. So können weitere Punkte, die nicht an der berechneten Route liegen, angefahren werden. Die Routenberechnung erfolgt nach dem Problem des kürzesten Weges (vgl. Kap. 4.3). Welche Implementierung des Kürzesten-Weges Problems verwendet werden soll, stand bis zur Beendigung dieser Arbeit noch nicht fest.

Neben der Streckenplanung soll die Anwendung auch in der Lage sein, bei Richtungswechsel ein akustisches und visuelles Signal auszusenden und die Drehung der Karte in Fahrtrichtung zu bewirken. Programmiert werden soll die Routenberechnungskomponente auf Visual Basic.net mit Hilfe von Visual Studio 2005. Erste Ergebnisse werden Ende des Jahres 2006 erwartet.

Ein entscheidendes Problem bei der Realisierung einer mobilen Routenberechnung ist die auf dem mobilen Gerät fehlende Datengrundlage. Für das Routing werden Vektordaten benötigt, die das Liniennetz, auf dem die Route berechnet werden soll, repräsentieren. Die Daten müssen entweder dateibasiert oder innerhalb einer Datenbank auf dem mobilen Gerät vorliegen. Eine denkbare Lösung ist, die Routenberechnung weiterhin auf dem Server durchzuführen und das Ergebnis dem Anwender per Internetzugang z.B. UMTS auf seinem Gerät zur Verfügung zu stellen (vgl. Lol@, Kap. 6.4.5). Allerdings sind dafür entsprechende mobile Geräte notwendig, die diese Techniken unterstützen.

6.7 Zusammenfassung

Neben bestehender Hardware und Software im Bereich mobiler Endgeräte sind in diesem Kapitel existierende Projekte im Bereich der mobilen Navigation aufgezeigt worden. Leider existieren erst wenige Systeme für die Fahrradnavigation, allerdings ist eine Adaption der Fußgängerbasierten Systeme durchaus vorstellbar.

Eine berechnete Route, die auf Basis des in dieser Arbeit entwickelten Routenplaners erstellt wurde, kann in Form eines Tracks für ein GPS-Gerät oder in Form einer textbasierten Koordinatenabfolge in Kombination mit einer georeferenzierten Hintergrundkarte für ein PDA auf Windows Mobile digital ins Gelände mitgenommen werden. Für die letztere Variante steht ein kostenloser Viewer mit Namen *FNaS* zum Download bereit. Dieser soll zukünftig mit eigenen Routingfunktionalitäten ausgestattet werden, so dass eine mobile Routenberechnung möglich wird.

7 Zusammenfassung und Ausblick

Die Untersuchung bereits vorhandener interaktiver Fahrradrouutenplaner im Internet zeigt auf, in wieweit diese Systeme bereits auf die Nutzerbedürfnisse eingehen. So weisen einige Planer bereits einen breiten Funktionsumfang auf. Andere Planer hingegen beschränken sich lediglich auf die Berechnung einer Route ohne weitere Eingabemöglichkeiten. Eine Nutzeradaption ist nur vereinzelt durch das Einbinden von Optionen zu finden. Besonders positive Eigenschaften der untersuchten Planer sind bei der Konzeption neuer Funktionalitäten berücksichtigt worden.

Auf Basis der empirischen Erfassung der Interessen und Bedürfnisse von Radfahrern beim Planen ihrer Radtour im Internet ist ein Konzept zur nutzerbasierten Adaption der Routingfunktionalitäten entwickelt worden. Dabei hat sich gezeigt, dass ein verstärktes Interesse besteht, sich eine individuelle Fahrradtour im Internet zu planen. Fahrradrouutenplaner im Internet sind allerdings noch nicht in starkem Umfang genutzt worden, wobei interaktive Routenplaner auch noch nicht für alle Regionen Deutschlands existieren. Aus Sicht der Anwender soll ein Fahrradrouutenplaner die Möglichkeit bieten, eine Route in Form einer Rundtour oder zwischen zwei Orten zu berechnen. Zusätzlich sollen die Beschaffenheit und die Steigung bei der Routenberechnung berücksichtigt werden. Weiterhin stark nachgefragt ist die Routenberechnung basierend auf einer Distanzeingabe. Für die Mitnahme der Route ins Gelände bevorzugen die meisten der Befragten einen Ausdruck, mobile Geräte sind noch unterrepräsentiert. Die ermittelten Nutzerwünsche wurden bei der Konzeption eines Routingalgorithmus berücksichtigt.

Neben der Adaption des Fahrradrouutenplanungsprozesses durch das Einbinden von Optionen wie z.B. Steigung und Beschaffenheit, ist ein Konzept erstellt worden, die Routenplanung losgelöst von der Eingabe von Haltepunkten durchzuführen. Der Anwender muss lediglich einen Startpunkt und eine gewünschte Distanz für die Routenberechnung eingeben. Das Verfahren kann durch die Auswahl weiterer konkreter POI oder Kategorien wie z.B. Café, Wald, Schwimmbad, erweitert werden. Die Schwierigkeit bestand darin, eine Methode zu entwickeln, die zum einen auf bekannten Algorithmen zur Wegfindung basiert, zum anderen jedoch für die Berechnung der Route keine Haltepunkte erhält. Daher ist diese Methode auch in Regionen mit wenig oder gar keinen POI gut geeignet. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, bei Bedarf konkrete POI oder Kategorien in die Routenberechnung einzubinden. Dadurch kann diese Methode sehr stark auf die Nutzerwünsche eingehen. Allerdings kann dadurch die Gefahr bestehen, durch zu detaillierte Nutzereingaben möglicherweise kein passendes Ergebnis mehr erzielen zu können.

Die entwickelte Methode zur Berechnung einer Route auf Basis einer Distanzeingabe hat bereits sehr gute Ergebnisse erzielt. Da sie lediglich ein Liniennetz als Basis für die Routenberechnung benötigt, ist es denkbar, sie neben den Radfahrern auch für andere Gruppen wie z.B. Wanderer oder Reiter einzusetzen. In diesem Fall ist nur das zugrunde liegende Wegenetz auszutauschen. Da die Methode quelloffen ist, können Erweiterungen oder neue Anpassungen jederzeit durchgeführt werden.

Die implementierten Funktionalitäten zur Adaption der Fahrradroutenplanung sind in eine Web-Oberfläche als Benutzerschnittstelle eingebunden worden. Dabei sind bestimmte Rahmenbedingungen maßgebend. Darunter fällt z.B. die zugrunde liegende Hardware auf Server- und Clientseite oder die zur Verfügung stehende Software. Notwendig für die Implementierung waren Kenntnisse im Webdesign, um den Funktionsumfang sinnvoll und benutzerfreundlich in eine graphische Benutzeroberfläche zu integrieren und dem Client zur Verfügung zu stellen. Dabei stellten vor allem die Unterschiede der Browser bei der Interpretation eine Schwierigkeit dar. Die konkreten Anforderungen, die zu Beginn dieser Arbeit an den Fahrradroutenplaner gestellt worden sind, wurden mit Hilfe von HTML und JavaScript auf Clientseite, Java und dem *UMN MapServer* auf Serverseite und durch die Kommunikation mit Hilfe von HTML-Formularen umgesetzt.

Des Weiteren sind Potentiale aufgezeigt worden, die ein Fahrradroutenplaner im Bezug auf eine mobile Nutzung bereitstellen kann. So werden dem Anwender Daten seiner individuell berechneten Route dynamisch generiert und für den Einsatz auf einem GPS-Gerät und einem PDA zur Verfügung gestellt. Der Fahrradroutenplaner ist beispielhaft für die Stadt Bremen in Kooperation mit dem Senator für Bau, Umwelt und Verkehr realisiert worden. Dabei konnte die vollständige Datengrundlage der Stadt Bremen verwendet werden.

Die zu Beginn dieser Arbeit formulierten Ziele konnten durch die beschriebenen Entwicklungen und Arbeitsschritte vollständig erreicht werden. So ist ein Fahrradroutenplaner entstanden, der innerhalb einer ansprechenden Benutzerschnittstelle in Form einer Web-Oberfläche die in einer Befragung ermittelten Interessen der Radfahrer bei der Routenberechnung berücksichtigt. Positive Elemente aus anderen Fahrradroutenplanern sind zusätzlich miteingebunden. Durch die Möglichkeit einer digitalen Ausgabe wurde die Anwendung abgerundet und vervollständigt.

Um den Fahrradroutenplaner zukünftig weiter zu entwickeln, ist es denkbar, die implementierten Funktionalitäten durch zusätzliche Optionen zu erweitern. So schlägt ZIPF (ZIPF und STROBL 2002, S. 9) zahlreiche weitere Optionen wie z.B. das Verkehrsaufkommen, die Lärmbelastigung oder das sozialgeographische Umfeld für die Anpassung der Routenberechnung vor. Für die Umsetzung weiterer Optionen sind allerdings auch viele zusätzliche Daten notwendig, die meist in der Realität nur schwer oder mit hohem Kostenaufwand zu beschaffen sind bzw. erhoben werden müssen.

Zusätzlich ist es möglich, auch bei der Berechnung einer Route zwischen zwei Orten die gewünschte Dauer bzw. Distanz der Strecke zu beeinflussen. So wird für eine Strecke nicht der kürzeste Weg sondern eine der gewünschten Distanz entsprechende Verbindung zwischen beiden Orten gesucht. Zu prüfen ist, welche Algorithmen zur Lösung dieses Problems geeignet sind und wie diese angepasst werden müssen, um zufrieden stellende Ergebnisse zu erzielen.

Neben der Erweiterung der Funktionalitäten existieren auch Möglichkeiten der Erweiterung im Bereich der visuellen Ausgabe einer berechneten Fahrradroute. Dabei kann zwischen der Visualisierung im Internet und der Visualisierung auf einem mobilen Gerät unterschieden werden. Für eine Verbesserung der Visualisierung im Internet ist vor allem ein Vektorformat wie z.B. SVG denkbar. Dadurch könnte eine starke Interaktion zwischen Anwender und Anwendung erreicht werden, da ein Vektorformat die Möglichkeit bietet, jedem einzelnen Objekt in der Karte

Informationen zu hinterlegen (DICKMANN 2001, S. 123). Allerdings ist SVG noch kein Standardformat, so dass der Anwender gezwungen ist, zunächst ein Plugin für den Browser zu installieren, bevor die Anwendung genutzt werden kann. Dies kann möglicherweise ein großer Nachteil im Hinblick auf die Akzeptanz der Anwender darstellen.

Für die mobile, digitale Visualisierung der Fahrradrouten stehen etliche Möglichkeiten zur Verfügung, die die Navigation auf der Route anschaulicher zu gestalten. Eine Möglichkeit ist die Nutzung von Panoramen, wie es im Projekt CityInfo der Universität Hannover eingesetzt wird (vgl. Kap. 6.4.4). Dabei erlauben 360°-Panoramen den Blick in jede beliebige Richtung an einem bestimmten Ort. Vorher erstellte Videos einer bestimmten Szene erhöhen den Wiedererkennungswert für den Anwender. Im Bereich der Fußgängernavigation gibt es bereits Ansätze bei der Einbindung von Videos und Panoramen (vgl. KOLBE 2002).

Eine weitere Möglichkeit ist die 3-dimensionale Visualisierung der Route und ihrem umliegenden Gelände. Dadurch kann eine sehr realistische Darstellung erzielt werden, die dem Anwender hilft, sich in einer unbekanntem Region besser zurechtzufinden. Durch die voranschreitende technologische Entwicklung wird die Nutzung von 3-dimensionalen Stadtmodellen auf mobilen Endgeräten in naher Zukunft immer öfter möglich sein. Die derzeitige geringe Performanz bei der Visualisierung wird durch die rasante Entwicklung im Bereich der Graphikprozessoren zukünftig deutlich gesteigert werden (COORS 2002). Projekte, die im Bereich der Navigation bereits auf 3D als Ausgabeformat setzen, existieren bereits bei ZIPF und SCHILLING (2002). Dabei werden die 3-dimensionalen Datensätze automatisch generiert. Im Falle eines Fahrradroutenplaners ist eine dynamische Generierung der 3-dimensionalen Szene mit integrierter Route und Landmarks zum Download auf ein PDA anzustreben.

Wie HOFFMANN und KEUL (2005) betonen, wäre es wünschenswert, den Fahrradroutenplaner in ein umfangreiches Fahrradtourismus-Portal einzubetten, in dem weitere Komponenten eine Rolle spielen, wie z.B. eine fahrradtouristische Infrastruktur (Bett and Bike, ÖPNV, Gastro-Infos), weiterführende Literatur, Bilder und eine Plattform zum Austausch von Erfahrungen und der Abgabe von Streckenbewertungen und weiteren persönlichen Erfahrungswerten (HOFFMANN und KEUL 2005, S. 236). Dabei wäre es von Vorteil, ein großes räumliches Gebiet innerhalb eines Fahrradroutenplaners abzudecken, um regionale Insellösungen, wie es zur Zeit der Fall ist, zu vermeiden.

8 Literaturverzeichnis

- ADAM, ANDREAS (2004): Entwicklung eines Fahrradtouren-Navigationssystems für Pocket PCs. Diplomarbeit, Universität Hannover. Hannover.
- ADFC (Allgemeiner Deutscher Fahrrad-Club)(2005): Die ADFC-Radreiseanalyse 2005. URL (Stand 18. August 2005): http://www.adfc.de/1941_1.
- ADFC (Allgemeiner Deutscher Fahrrad-Club), Fachausschuss Tourismus (2006): Empfehlungen zur Erstellung von Radwanderkarten. URL (Stand 20. April 2006): <http://www.fa-tourismus.adfc.de/fafrwk.htm>.
- ADM (Arbeitskreis Deutscher Markt- und Sozialforschungsinstitute e.V.)(2000): Richtlinie für Online-Befragungen. URL (Stand 18. August 2005): http://www.adm-ev.de/pdf/R08_D.pdf.
- ADM (Arbeitskreis Deutscher Markt- und Sozialforschungsinstitute e.V.)(2001): Standards zur Qualitätssicherung für Online-Befragungen. URL (Stand 18. August 2005): http://www.adm-ev.de/quali_online.html.
- AHO, ALFRED V.; HOPCROFT, JOHN E.; ULLMANN, JEFFREY D. (1983): Data Structures and Algorithms. Addison-Wesley, USA.
- AHO, ALFRED V.; ULLMAN, JEFFREY D. (1996): Informatik. Datenstrukturen und Konzepte der Abstraktion. International Thomson Publishing, Bonn.
- AKTOLGA, ELIF (2004): A Java Planner for Blockworld problems. Bachelor-Arbeit. Universität Osnabrück. URL (Stand 13. April 2006): <http://www-lehre.inf.uos.de/~eaktolga/ba.pdf>.
- BARTELME, NORBERT (1995): Geoinformatik. Modelle, Strukturen, Funktionen. Springer. Berlin, Heidelberg.
- BEHRENDT, MARKUS; SIECKMANN, JENS; KÖTTNER, KARSTEN (1998a): Heuristisches Optimieren - TabuSearch. URL (Stand 07. Dezember 2005): [http://kik.informatik.fh-dortmund.de/SR/Lehre/sem-ws-98/tabu1-3/tabu2\(Sieckmann\)/inhalt/inhalt5.html](http://kik.informatik.fh-dortmund.de/SR/Lehre/sem-ws-98/tabu1-3/tabu2(Sieckmann)/inhalt/inhalt5.html).
- BEHRENDT, MARKUS; SIECKMANN, JENS; KÖTTNER, KARSTEN (1998b): TabuSearch – Einführung und Beispiele. URL (Stand 07. Dezember 2005): [http://kik.informatik.fh-dortmund.de/SR/Lehre/sem-ws-98/tabu1-3/tabu1\(Behrendt\)/tabu_js_text0.html](http://kik.informatik.fh-dortmund.de/SR/Lehre/sem-ws-98/tabu1-3/tabu1(Behrendt)/tabu_js_text0.html).
- BERNCHTEINE, ELENA (2003): Kürzeste Wege Problem. URL (Stand 16. Januar 2006): <http://ls2-www.cs.uni-dortmund.de/lehre/winter200304/dap2ergseminar/votr/kuerzeste.ppt>.
- BERNREUTHER, MARTIN (2001): Kürzester-Weg-Suche mit dem Dijkstra-Algorithmus. Vorabversion zur Vorlesung vom 2. Februar 2001. Universität Stuttgart. URL (Stand 18.01.2006): http://www.uni-stuttgart.de/iv-kib/generic/download/lehre/einfuehrung/ws00_01/vorlesung/mb_dijkstra.pdf.
- BILL, RALF; FRITSCH, DIETER (1991): Grundlagen der Geo-Informationssysteme. Band 1: Hardware, Software und Daten. 2 Aufl. Wichmann. Heidelberg.
- BOENIGK, CORNELIA (2003): PostgreSQL. Grundlagen, Praxis, Anwendungsentwicklung mit PHP. dpunkt Verlag, Heidelberg.
- BONABEAU, ERIC; DORIGO, MARCO; THERAULAZ, GUY (1999): Swarm Intelligence. From Natural to Artificial Systems. Oxford University Press, New York.

- BOURQUE, LINDA B.; FIELDER, EVE P. (1995): How to conduct self-administered and mail surveys. Sage Publications Inc., Thousand Oaks, California.
- BOYSEN, NILS (2004a): Ameisenalgorithmen. URL (Stand Juli 2005): <http://www.ameisenalgorithmus.de/downloads/ameisenalgorithmen.pdf>.
- BOYSEN, NILS (2004b): Schwarm-Intelligenz und das Hochzeitsproblem – Ameisenalgorithmus zur Lösung kombinatorischer Optimierungsprobleme. URL (Stand Juli 2005): <http://www.ameisenalgorithmus.de/downloads/hochzeitsproblem.pdf>.
- BOYSEN, NILS (2005): Immer der Nase nach – Tourenplanung nach dem Vorbild der Ameisen. c't 2005, Heft 5, S. 204.
- BRÄUNLING, OLIVER (2001): Oliver Bräunlings kleine mathematische Sammlung. URL (Stand März 2006): <http://www.mathe.braunling.de/Kreis.htm>.
- BRÄUTIGAM, LOTHAR (1999): Ergonomische Gestaltung von WWW-Seiten. Gesellschaft Arbeit und Ergonomie – online e.V. URL (Stand 20. Juni 2006): <http://www.sozialnetz.de/ca/pq/iil/>.
- BRUNS, JENS (2002): Systematik der computergestützten Planung unter besonderer Berücksichtigung der Verfahren und Modelle. URL (Stand 16. Januar 2006): <http://www1.uni-hamburg.de/IWI/Folien-BDV-SS02/Folien-BDV-SS02-Thema2.ppt>.
- BUCHMANN, ALEJANDRO (2001): Grundzüge der Informatik III. Komplexität von Algorithmen. URL (Stand 31. Mai 2006): <http://www.dvs1.informatik.tu-darmstadt.de/teaching/inf2/2001/skript/gdi3-ws2001-skript-kapitel1.pdf>.
- BÜHL, ACHIM; ZÖFEL, PETER (2000): SPSS Version 10 – Einführung in die moderne Datenanalyse unter Windows. Addison Wesley Verlag, München.
- CLARK, JOHN; HOLTON, DEREK A. (1994): Graphentheorie. Grundlagen und Anwendungen. Spektrum Verlag, Heidelberg.
- COOK, WILLIAM J.; CUNNINGHAM, WILLIAM H.; PULLEYBLANK, WILLIAM R.; SCHRIJVER, ALEXANDER (1998): Combinatorial Optimization. John Wiley & Sons, New York.
- COORS, VOLKER (2002): Dreidimensionale Karten für Location Based Services. In: A. Zipf; J. Strobl [Hrsg.] (2002): Geoinformation mobil. Wichmann Verlag, Heidelberg. S. 14 - 25.
- C.R.O.W. (Institut für Normung und Forschung im Erd-, Wasser und Straßenbau und in der Verkehrstechnik, Niederlande) [Hrsg.] (1995): Radverkehrsplanung von A bis Z. C.R.O.W.-Publikationen, Niederlande.
- CZAJA, RONALD; BLAIR, JOHNNY (1996): Designing Surveys. A guide to decisions and procedures. Pine Forge Press, Thousand Oaks, California.
- DARWIN, IAN (2002): Java Kochbuch. O'REILLY Verlag, Köln.
- DE LANGE, NORBERT (2006): Geoinformatik in Theorie und Praxis. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg.
- DEMUTH, BERND (2000): Das Schutzgut Landschaftsbild in der Landschaftsplanung. Mensch & Buch Verlag, Berlin.
- DICKMANN, FRANK (2001): web-mapping und web-gis. Westermann Verlag, Braunschweig.

- DICKMANN, FRANK; ZEHNER, KLAUS (1999): Computerkartographie und GIS. Westermann, Braunschweig.
- DIESTEL, REINHARD (1996): Graphentheorie. Springer Verlag, Berlin.
- DIETRICH, HELMUT (2004): Operations Research. URL (Stand 16. Januar 2006): <http://www.mathematik.uni-halle.de/institute/optimierung/staff/dietrich/or.pdf>.
- DÖRFFEL, GÜNTER (2005): Network Analyst. ArcGIS Erweiterung für Analysen auf Basis von Transportnetzwerken jetzt verfügbar. In: ArcAktuell, Ausgabe 02/2005, S. 32-33. ESRI Geoinformatik GmbH, Kranzberg.
- EBERHART, ANDREAS; FISCHER, STEFAN (2000): Java-Bausteine für E-Commerce Anwendungen. Verteilte Anwendungen mit Servlets, CORBA und XML. Hanser, München.
- EHLERS, MANFRED; STROEMER, KATRIN (2004): ‚Fahrradies‘: the GIS Based Bicycle Routing System for the World Wide Web (WWW) and Mobile Use. In: GIS – Zeitschrift für Geo-Informationssysteme Ausgabe 3-2004, S. 29-34. abcverlag, Heidelberg.
- ELIAS, BIRGIT; HAMPE, MARK (2003): Kontextbezogene Kartengenerierung für Routing-Anwendungen. Technical Paper, Workshop Design kartenbasierter mobiler Dienste, Mensch und Computer 2003, Stuttgart, 09.09.03. URL (Stand 5. Juni 2006): http://www.ikg.uni-hannover.de/publikationen/publikationen/2003/Workshop_Stuttgart_elias_hampe.pdf.
- FAHRMEIR, LUDWIG; KÜNSTLER, RITA; PIGEOT, IRIS; TUTZ, GERHARD (2004): Statistik – Der Weg zur Datenanalyse. Springer Verlag, Berlin Heidelberg.
- FELDKÖTTER, MICHAEL (2003): Das Fahrrad als städtisches Verkehrsmittel. Untersuchungen zur Fahrradnutzung in Düsseldorf und Bonn. MetaGIS Informationssysteme, Mannheim.
- FINK, ARLENE (1995a): How to analyse survey data. Sage Publications Inc., Thousand Oaks, California.
- FINK, ARLENE (1995b): How to design surveys. Sage Publications Inc., Thousand Oaks, California.
- FINK, ARLENE (1995c): How to report on surveys. Sage Publications Inc., Thousand Oaks, California.
- FINK, ARLENE (1995d): The survey handbook. Sage Publications Inc, Thousand Oaks, California.
- FISCHER, THORSTEN (2003): UMN MapServer 4.0. Handbuch und Referenz. MapMedia GmbH, Berlin.
- FSG (FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRAßEN- UND VERKEHRSWESEN) [Hrsg.] (1995): Empfehlungen für Radverkehrsanlagen. ERA 95. Eigenverlag, Köln.
- FRASCH, GEORG (2006): Routenplanung für barrierefreien Tourismus. GIS – Zeitschrift für Geo-Informationssysteme Ausgabe 4-2006, S. 22-25. abcverlag, Heidelberg.
- FREIMUTH, PETER (2004): Konstruktion von kartographischen Signaturen – UMN MapServer 4.2. URL (Stand Juli 2005): http://www.mapmedia.de/dokumente/umn_signaturen_howto/index.html.
- FROITZHEIM, THOMAS (2003): Immer auf Linie – GPS-Navigation. Aus: ADFC Info-Clip. URL (Stand 18. August 2005): <http://fa-tourismus.adfc.de/GPS-InfoClip.pdf>.

- FÜLÖP, FANNY; SCHAPKE, HOLGER (2004): Entwicklung eines Routen- und Tourenplaners für Radfahrer in Hamburg auf Basis von ArcGIS und ArcIMS. Diplomarbeit. Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, Fachbereich Geomatik. Unveröffentlicht.
- FÜRPAß, CHRISTIAN (2001): MapServer als Hilfsmittel zur Datenvisualisierung im Internet. Diplomarbeit. Universität Wien. URL (Stand Oktober 2005): http://www.carto.net/papers/christian_fuerpass/diplomarbeit-fuerpass.pdf.
- GAMBARDELLA, LUCA MARIA; TAILLARD, ERIC; AGAZZI, GIOVANNI (1999): MACS-VRPTW: A multiple ant colony system for vehicle routing problems with time windows. URL (Stand 19. April 2006): <http://osiris.tuwien.ac.at/~wgarn/VehicleRouting/neo/data/articles/MACS-VRPTW.pdf>.
- GARTNER, GEORG (2000): TeleKartographie. In GIS - Zeitschrift für Geo-Informationssysteme Ausgabe 4/2000, S. 21-24.
- GARZIK, LUDOVIT (2002): Nutzerakzeptanz von Location Based Services. In: A. Zipf; J. Strobl [Hrsg.] (2002): Geoinformation mobil. Wichmann Verlag, Heidelberg. S. 45 - 54.
- GEOSIMULATION (2004): Routenoptimierung / Kostenbasierte Suche / A-Stern Algorithmus. URL (Stand 18.01.2006): http://www.geosimulation.de/umsetzungen/Beschreibungen/Routenoptimierung_A_Stern_Algorithmus.htm.
- GOLLENSTEDE, ANDREAS; LORKOWSKI, PETER (2005): Mobiler elektronischer Stadtführer. Fachhochschule Oldenburg/Ostfriesland/Wilhelmshaven, Standort Oldenburg.
- GÖPFERT, WOLFGANG (1991): Raumbezogene Informationssysteme. Grundlagen der integrierten Verarbeitung von Punkt-, Vektor- und Rasterdaten, Anwendungen in Kartographie, Fernerkundung und Umweltplanung. Wichmann. Karlsruhe.
- GUTIERREZ, DAN (2000): Web-Datenbanken für Windows-Plattformen. Markt+Technik Verlag, München.
- HAAS, MICHAEL (2005): Fahrradtourenplanung als Variante des Traveling-Salesman-Problems. Diplomarbeit. Universität Bonn. URL (Stand Juli 2005): http://ikg.uni-bonn.de/kolbe_home/diplomarbeiten/Diplomarbeit_Michael_Haas.pdf.
- HAINZL, JOSEF (1985): Mathematik für Naturwissenschaftler. B.G. Teubner, Stuttgart.
- HAMPE, MARK; PAELKE, VOLKER (2005): Adaptive maps for mobile applications. Mobile maps 2005, Interactivity and Usability of Map-based Mobile Services, 19. September 2005, Salzburg, Austria.. URL (Stand 5. Juni 2006): http://www.ikg.uni-hannover.de/publikationen/publikationen/2005/hampe_mobilemaps2005.pdf.
- HARBECK, MATHIAS (2004): BDI – Agentensysteme auf mobilen Geräten. Diplomarbeit, Universität Hamburg. URL (Stand 20. Juni 2006): http://vsis-www.informatik.uni-hamburg.de/getDoc.php/thesis/162/harbeck_da.pdf.
- HARTWIG, JENS (2001): PostgreSQL. Professionell und praxisnah. Addison-Wesley Verlag, München.
- HEIß, MICHAEL (2003): Evaluation web-basierter Geoinformationssysteme zur Optimierung des Daten- und Informationsaustausches im Hause der Bezirksregierung Lüneburg. Land und System GmbH, Bremen.
- HEPPNER, CLEMENS (2005): Tabu-Search. Übersicht/Einführung in eine moderne Meta-Heuristik. URL (Stand 04. Juni 2006): <http://www.informatik.uni-hamburg.de/WSV/teaching/sonstiges/EwA-Folien/Hepppner-Paper.pdf>.

- HERRMANN, CHRISTIAN; ASCHE, HARTMUT [Hrsg.] (2001): Web.Mapping 1. Raumbezogene Information und Kommunikation im Internet. Wichmann Verlag, Heidelberg.
- HOFER, CLAUS (2000): good webrations – eine web wirkungsanalyse. Proteus Verlag. München.
- HOFMANN, FRANK (2005): Fahrradtourismus – Wachstumsmarkt für aktive Zielgruppen im Deutschlandtourismus. URL (Stand 18. August 2005): http://www.nordhessen.de/downloads/Hofmann_Wachstumsmarkt_Radtourismus.pdf.
- HOFFMANN, MATTHIAS (1996): Traveling Salesman Problem – Lösungsansätze – Branch and Bound. URL (Stand November 2005): <http://www.f4.fhtw-berlin.de/people/weberwu/diplom/tsp/HTMLS/BB.htm>.
- HOFFMANN, TIMO; KEUL, MARTINA (2005): Internetportale für den Fahrradtourismus. In: H. Monheim [Hrsg] (2005): Fahrradförderung mit System. Elemente einer angebotsorientierten Radverkehrspolitik. MetaGIS Informationssysteme Mannheim. S. 229-240.
- HOFMANN-WELLENHOF, BERNHARD; KIENAST, GERHARD; LICHTENEGGER, HERBERT (1994): GPS in der Praxis. Springer Verlag, Wien.
- HOFMANN-WELLENHOF, BERNHARD; LICHTENEGGER, HERBERT; COLLINS, JAMES (2001): Global Positioning System. Theory and Practice. Springer Verlag, Wien.
- HORMANN, KAI (2005): Praktische / Angewandte Informatik 1. URL (Stand 18. August 2005): <http://www2.in.tu-clausthal.de/~hormann/teaching/PA2SS05/PA2.21.07.2005.pdf>.
- HROMKOVIC, JURAJ (2001): Algorithmics for Hard Problems. Springer Verlag, Berlin.
- HUFF, JANES (2004): Zur Nutzung von Informations- und Orientierungsmedien durch Freizeitradler – eine Einschätzung der Lage anhand einer Online-Befragung. Diplomarbeit. Universität Bonn. Unveröffentlicht.
- HUNZIKER, MARCEL (2000): Landschaftspräferenzen: ein Überblick. URL (Stand 24. Januar 2006): http://www.wsl.ch/teaching/marcel.hunziker/material05/Ueberblick_Landschaftspraef.pdf.
- IFM (INSTITUT FÜR MATHEMATIK), Technische Universität Clausthal (2005a): Ant Colonization Optimization. URL (Stand 13. Oktober 2005): <http://www.math.tu-clausthal.de/Arbeitsgruppen/Stochastische-Optimierung/tsppplet/aco.html>.
- IFM (INSTITUT FÜR MATHEMATIK), Technische Universität Clausthal (2005b): Simulated Annealing. URL (Stand 13. Oktober 2005): <http://www.math.tu-clausthal.de/Arbeitsgruppen/Stochastische-Optimierung/tsppplet/simann.html>.
- JUNG, STEFAN; SCHNEEWEIß, HANNA (2001): "Fahrradies" – Radtouren planen im Internet. In: ArcAktuell, Ausgabe 02/2001, S. 27. ESRI Geoinformatik GmbH, Kranzberg.
- KALLE, ULRICH (2005): Radverkehrsförderung mit System. Bausteine einer umfassenden Radverkehrspolitik und eines nutzergerechten Fahrradservice. In: H. Mohnheim [Hrsg.] (2005): Fahrradförderung mit System. Elemente einer angebotsorientierten Radverkehrspolitik. MetaGIS Informationssysteme, Mannheim. S. 13 – 26.
- KEHLENBRINK, HEIKO (2002): FreeGIS Tutorial. Version 1.0. URL (Stand Juli 2006): http://freegis.org/freegis_tutorial/online/freegis-tutorial.html.
- KINBERGER, MICHAELA; PUCHER, ALEXANDER (2005): OpenSource GIS als Alternative im Desktop-Bereich – Evaluation freier Software im Bereich Geoinformation. In: SCHRENK, MANFRED [Hrsg.] (2005): CORP 2005 & Geomultimedia05. Tagungsband, S. 467-471.

- KIRCHHOFF, SABINE; KUHNT, SONJA; LIPP, PETER; SCHLAWIN, SIEGFRIED (2003): Fragebogen. Datenbasis. Konstruktion. Auswertung. Leske + Budrich, Opladen.
- KLEIN, ARNO (2001): Ameisensysteme. Vortrag im Seminar "Moderne Heuristiken", Technische Universität Clausthal. URL (Stand 19. April 2006): <http://www2.studentonline.net/Publikationen/680/seminararbeit.pdf>.
- KOLBE, THOMAS (2002): Fußgängernavigation und Routenplanung in Innenstädten und Gebäuden mit Videos und Panoramen. In: Tagungsband der Münsteraner GI-Tage 2002.
- KORTE, BERNHARD; VYGEN, JENS (2006): Combinatorial Optimization. Theory and Algorithms. Springer Verlag, Heidelberg.
- KRAAK, MENNO-JAN; BROWN, ALLAN [Hrsg.] (2001): Web Cartography: developments and prospects. Taylor & Francis. London, New York.
- KRAUß, ELKE (1999): Konzeption und Realisierung eines graphischen Benutzerinterfaces für ein Online-Routing-System mit Geodatenbankanbindung und Visualisierung raumbezogener Vektordaten. Diplomarbeit. Fachhochschule Karlsruhe, Karlsruhe.
- KÜCHLIN, WOLFGANG; WEBER, ANDREAS (2003): Einführung in die Informatik. Objektorientiert mit Java. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg.
- LANG, HANS WERNER (2001): Traveling Salesman Problem – Approximationsverfahren. Fachhochschule Flensburg. URL (Stand 18. Januar 2006): <http://www.inf.fh-flensburg.de/lang/algorithmen/np/tsp/roundtrip.htm>.
- LANG, HANS WERNER (2003): Algorithmen in Java. Oldenbourg, München.
- LANG, HANS WERNER (2005): Konvexe Hülle. Fachhochschule Flensburg. URL (Stand 18. Januar 2006): <http://www.inf.fh-flensburg.de/lang/algorithmen/geo/convex.htm>.
- LANKAU, RALF (2000): Webdesign und –publishing. Grundlagen und Designtechniken. Hanser Verlag, München.
- LEMAY, LAURA; CADENHEAD, ROGERS (1999): JAVA 2. Markt&Technik Verlag, München.
- LESTER, PATRICK (2005): A* Pfadfindung für Anfänger. URL (Stand 18. Oktober 2005): http://www.policyalmanac.org/games/aStarTutorial_de.html.
- LETZEL, SVEN; GACKI, ROBERT (2001): MySQL und PHP. Markt und Technik Verlag, München.
- LOUIS, DIRK; MÜLLER, PETER (2000): Jetzt lerne ich JAVA. Der einfache Einstieg in die Internetprogrammierung. Markt & Technik, München.
- LOWE, JONATHAN W. (2002): Advanced Internet Map Server Techniques: Designing Intuitive Websites for a Non-technical User Base. URL (Stand 20. Juni 2006): <http://www.giswebsite.com/lkc/refs/P598/P598.htm>.
- MARSHALL, DAVE (1996): Artificial Intelligence II. URL (Stand 19. April 2006): <http://www.cs.cf.ac.uk/Dave/AI2/>.
- MARSHALL, JONNY (2001): Developing Internet-Based Applications. INDUS Corporation. URL (Stand 20. Juni 2006): <http://www.giscafe.com/technical-papers/Papers/paper058/>.
- MCKEE, LANCE (2001): Web Mapping Guide. URL (Stand 24. April 2004): <http://www.geoplace.com/gr/webmapping/>.

- MERZ, PETER (2002): Moderne Heuristische Optimierungsverfahren: Meta-Heuristiken. URL (Stand 23. Dezember 2005): http://www-ra.informatik.uni-tuebingen.de/lehre/ss03/vs_mh/mh-v1-h.pdf.
- MICHALEWICZ, ZBIGNIEW; FOGEL, DAVID B. (2000): How to Solve It: Modern Heuristics. Springer Verlag, Berlin.
- MONHEIM, HEINER [Hrsg.] (2005): Fahrradförderung mit System. Elemente einer angebotsorientierten Radverkehrspolitik. MetaGIS Informationssysteme, Mannheim.
- MOSLER, KARL; SCHMID, FRIEDRICH (2005): Beschreibende Statistik und Wirtschaftsstatistik. Springer Verlag, Heidelberg.
- MÜNZ, STEFAN (2001): SelfHTML 8.0. URL (Stand 17. Juli 2006): <http://selfhtml.teamone.de>.
- NÄHER, STEFAN (2004): Konvexe Hüllen. Universität Trier. URL (Stand 31.01.2006): http://www.informatik.uni-trier.de/~naeher/Professur/courses/ws2004/exercises/alggeo/convex_hull.ppt.
- NEUMANN, ANDREAS; WINTER, ANDREAS (2000): Kartographie im Internet auf Vektorbasis, mit Hilfe von SVG nun möglich. In: carto:net; Version 2.0, 009/2000.
- NEUTZLING, ULLI (2002): Typo und Layout im Web. Rowohlt Taschenbuch Verlag GmbH, Reinbek.
- NIELSEN, JAKOB (1997): The Difference Between Web Design and GUI Design. Jakob Nielsen's Alertbox for Mai 1, 1997. URL (Stand Februar 2002): <http://www.useit.com/alertbox/9705a.html>.
- NIELSEN, JAKOB (1999): Designing Web Usability. New Riders Publishing. Indianapolis.
- NILSSON, NILS J. (1998): Artificial Intelligence. A New Synthesis. Morgan Kaufmann Publishers, San Francisco, California.
- OETZEL, TOBIAS (2003): Implementierung von stochastischen Optimierungsverfahren für das TSP. URL (Stand September 2005): <http://www.math.tu-clausthal/Arbeitsgruppen/Stochastische-Optimierung/tsapplet/applet.html> unter der Rubrik *download*.
- PAMMER, ANDREAS; RADOZKY, VERENA (2002): Multimediale Konzepte für kartenbasierte Fußgängernavigation. In: A. Zipf; J. Strobl [Hrsg.] (2002): Geoinformation mobil. Wichmann Verlag, Heidelberg. S. 117 - 126.
- PAELKE, VOLKER, ELIAS, BIRGIT, HAMPE, MARK (2005): The CityInfo Pedestrian Information System, in: Proceedings of 22nd International Cartographic Conference, 9. - 16. July 2005, La Coruña/Spain. URL (Stand 5. Juni 2006): http://www.ikg.uni-hannover.de/publikationen/publikationen/2005/paelke_elias_hampe.pdf.
- PATEL, AMIT J. (2006): Amit's Thoughts on Path-Finding and A-Star. URL (Stand 13. April 2006): <http://theory.stanford.edu/~amitp/GameProgramming/>.
- PFEIL, BENJAMIN (2005): Vergleich unterschiedlicher WebGIS-Produkte am Beispiel pflanzensoziologischer Untersuchungen des Fjellbirkenwaldes in Südnorwegen. Diplomarbeit. International University Bremen. Unveröffentlicht.
- PLEWE, BRENDON (1997): GIS ONLINE: information retrieval, mapping, and the Internet. OnWord-Press. SantaFé.

- PLÜMER, LUTZ; STEINRÜCKEN, JÖRG; KOLBE, THOMAS H. (2002): Multimediale Visualisierung von Geoinformationen im Internet. Tagungsband des Symposiums Praktische Kartographie 2002 in Königslutter. Kirschbaum Verlag, Bonn.
- PLÜMER, LUTZ; SCHMITTWILKEN, JÖRG; KOLBE, THOMAS H. (2004): Mobile GIS für die Orientierung von Fußgängern in städtischen Umgebungen. Universität Bonn. In: Tagungsband zum Symposium Praktische Kartographie 2004, Königslutter, Kartographische Schriften, Band 9, Kirschbaum Verlag. URL (Stand 31.01.2006): http://www.ikg.uni-bonn.de/uploads/tx_ikgpublicationen/Pluemer_Schmittwilken_Kolbe_2004.pdf.
- POSTGRES GLOBAL DEVELOPMENT GROUP (2005): PostgreSQL 8.0.0 Documentation. URL (Stand Juli 2005): <http://www.postgresql.org/files/documentation/pdf/8.0/postgresql-8.0-A4.pdf>.
- POTT, OLIVER; GROTH, TOM (2001): Wireless: Strategien, Methoden und Konzepte für das mobile Internet. SmartBooks. Kilchberg.
- PRÖMEL, HANS JÜRGEN; STEGER, ANGELIKA (2002): The Steiner Tree Problem. A Tour through Graphs, Algorithms, and Complexity. Vieweg, Braunschweig/Wiesbaden.
- QUARK INC. (2002): Zum Verständnis von Client/Server-Systemen. URL (Stand Mai 2002): http://euro.quark.de/products/quarkdms/client_server.html.
- RAMSEY, PAUL (2005): PostGIS Manual. URL (Stand Juli 2005): <http://postgis.refractions.net/docs/>.
- RAUBAL, MARTIN; WINTER, STEPHAN (2002): Enriching Wayfinding Instructions with Local Landmarks. In: Geographic Information Science 2002, s. 243 – 259. Springer Verlag, Berlin.
- RECKLIES, OLIVER (2002): Hinweise zur Gestaltung von Webseiten. Recklies Management Project GmbH. URL (Stand Februar 2002): <http://www.themanagement.de/Ressources/HinweiseWebseiten.htm>.
- REFRACTIONS RESEARCH (2005): PostGIS Manual. URL (Stand Juli 2005): <http://postgis.refractions.net/docs/postgis.pdf>.
- REIF, GERALD (2000): Problemlösen durch Suchen. URL (7. Dezember 2005): <http://www.iicm.edu/greif/node6.html>.
- REINELT, GERHARD (1994): The traveling salesman. Computational solutions for TSP applications. Springer Verlag, Berlin.
- REZIC, SLAVEN (1999): Entwicklung eines Informationssystems für die Fahrradstreckenplanung. Diplomarbeit. Technische Universität Bonn. URL (Stand Oktober 2005): <http://user.cs.tu-berlin.de/~eserte/diplom/>.
- RHEIN, ULRICH (1998): Einführung in die Fernerkundung. Diplom-Umweltwissenschaften, Hochschule Vechta. Unveröffentlicht. Vechta.
- ROTH, JÖRG (2002): Mobile Computing. Grundlagen, Technik, Konzepte. dpunkt Verlag, Heidelberg.
- ROTH, MICHAEL (2003): Kurz-Exposé zum Promotionsvorhaben „Validierung von Verfahren zur Bewertung des Landschaftsbildes durch Nutzerbefragungen“. Technische Universität Berlin. URL (Stand 26. Januar 2006): http://www.tu-berlin.de/~landschaftsbild/downloads/Expose_M_Roth.pdf.

- RYHNER, TAMARA; ACKERMANN, MICHELLE (o.J.): Konvexe Hülle. Eidgenössische Technische Hochschule Zürich. URL (Stand 31.01.2006): <http://n.ethz.ch/student/mackerma/info6/konvex.htm>.
- SAAKE, GUNTER; SATTLER, KAI-UWE (2000): Datenbanken und Java. JDBC, SQLJ, ODMG. dpunkt.verlag, Heidelberg.
- SCHLETTE, CHRISTIAN (2004a): Dijkstra-Algorithmus. URL (Stand 15. Juni 2004): http://www.irf.uni-dortmund.de/semiar/schlette/stdt_1.htm.
- SCHLETTE, CHRISTIAN (2004b): A*-Algorithmus. URL (Stand 15. Juni 2004): http://www.irf.uni-dortmund.de/semiar/schlette/stdt_1.htm.
- SCHNEEWEIß, HANNA (2001): Konzeption und Implementierung eines GIS-basierten Radroutenplaners für das World Wide Web (WWW): Das „Fahrradies“ für das Oldenburger Münsterland. Diplomarbeit. Hochschule Vechta, Vechta. URL: <http://www.fahrradies.net>.
- SCHNEIDER, WOLFGANG (2000): Grundwissen: Software-Ergonomie. Gesellschaft Arbeit und Ergonomie – online e.V. URL (Stand Februar 2002): http://141.90.2.11/ergo-online/Software/G_Sw-ergo.htm.
- SCHÜPBACH, BEATRICE (2000): Ein Vergleich zwischen landschaftsästhetischer Bewertung und ökologischer Bewertung. Peter Lang AG, Bern.
- SCHWEIZER, PETER (2003): Handbuch der Webgestaltung. Eine konzeptionelle Einführung in professionelles Webdesign. Galileo Press GmbH, Bonn.
- SEIDEL, OLE; HÜTTNER, TOBIAS (2005): Radwanderrouen als GPS-Tracks – Im Online-Shop des Deutschen Fahrrad-Clubs. ArcAktuell, Ausgabe 3/2005, S. 34. ESRI Geoinformatik GmbH, Kranzberg.
- SOLYMOSI, ANDREAS; GRUDE, ULRICH (2000): Grundkurs Algorithmen und Datenstrukturen. Vieweg Verlag, Wiesbaden.
- STAMM, TOBIAS (2004): Dijkstra-Algorithmus. URL (Stand 06. April 2004): <http://n.ethz.ch/student/stammt/doc/Algorithmen/Dijkstra.html>.
- STEINRÜCKEN, JÖRG (2001): Multimediales GIS mit den Mitteln des Internet am Beispiel der Routenplanung. Diplomarbeit. Universität Bonn.
- STEYER, RALF (1999): JavaScript und HTML. Markt und Technik Verlag, München.
- STROEMER, KATRIN (2002): „Fahrradies++“: Fahrradrouenplanung für das Internet und den mobilen Einsatz. Diplomarbeit. Hochschule Vechta, Vechta. Unveröffentlicht.
- STROEMER, KATRIN (2004): Portierung des Fahrradrouenplaners *Fahrradies* auf Intergraph-Basissoftware. Projektendbericht. Hochschule Vechta: Vechta. Unveröffentlicht.
- SWO (Stiftung Wirtschaft und Ökologie) (2005): Landschaftsästhetik. URL (Stand 26. Januar 2006): <http://www.swo-network.org/pdf/Indschftsastaethik.pdf>.
- TNS INFRATEST, INITIATIVE D21 [Hrsg.] (2005a): (N)ONLINER Atlas 2005. Eine Topographie des digitalen Grabens durch Deutschland. URL (Stand 17. Oktober 2005): http://www.nonliner-atlas.de/pdf/dl_NONLINER-Atlas2005.pdf.
- TNS INFRATEST, INITIATIVE D21 (2005b): 55 Prozent Internet-Nutzung in Deutschland. URL (Stand 13. September 2005): http://www.nonliner-atlas.de/pdf/pressemitteilungen/2005_06_22_D21-TNS_Infratest_NOA05_zefinal.pdf.

- TNS INFRATEST, INITIATIVE D21 (2005c): Generation 50plus geht weiter verstärkt ins Internet. URL (Stand 13. September 2005): http://www.nonliner-atlas.de/pdf/pressemitteilungen/2005_06_22_D21-TNS_Infratest_NOA05_50plus.pdf.
- TSIOUPROU, EVANGELIA (2004): Minimale Spannbäume. Unterlagen zum Proseminar Computer Unplugged, Universität München. URL (Stand Dezember 2005): <http://www.tcs.informatik.uni-muenchen.de/lehre/WS04-05/Prosem/tsioprou.pdf>.
- VARNHORN, VOLKER (2006): GPS-gestütztes Fahrrad-Navigationssystem FNaS – Konzeption und prototypische Realisierung. Diplomarbeit Fachhochschule Oldenburg/Ostfriesland/ Wilhelmshaven, Standort Oldenburg.
- WEINREICH, HARALD (1997): Software-Ergonomie und das World Wide Web: 10 wichtige Leitlinien für die Gestaltung von ergonomischen WWW-Informationssystemen. Universität Hamburg. URL (Stand 28. Juni 2006): <http://vsys-www.informatik.uni-hamburg.de/ergonomie/>.
- WESSEL, IVO (1998): GUI-Design. Richtlinien zur Gestaltung ergonomischer Windows-Applikationen. Hanser. München, Wien
- WOSNITZA, MAROLD; JÄGER, REINHOLD S. [Hrsg.](1999): Daten erfassen, auswerten und präsentieren – aber wie? Verlag Empirische Pädagogik, Landau.
- ZIPF, ALEXANDER; MALAKA, RAINER (1999): Web-basierte Planung und animierte Visualisierung von 3D Besichtigungstouren im Rahmen des Touristeninformationssystems Deep Map. (AGIT Spezial: GIS in Verkehr und Transport. Salzburg. 04.-06.06.1999). In: Zagel, B. [Hrsg.]: GIS in Verkehr und Transport. Hüthig Verlag, Heidelberg. URL (Stand 18. April 2006): <http://www2.geoinform.fh-mainz.de/%7Ezipf/zipf-AGIT1999-DeepMap-3D-Tourenplan.pdf>.
- ZIPF, ALEXANDER; CHANDRASEKHARA, VASU; HÄUSSLER, JOCHEN; MALAKA, RAINER (2000): GIS hilft Touristen bei der Navigation – ein erster Prototyp des mobilen Deep Map Systems für das Heidelberger Schloß. In: Journal der Heidelberger Geographischen Gesellschaft (HGG), Heidelberg.
- ZIPF, ALEXANDER (2001): Projektaschlußbericht: Deep Map/GIS. In: Journal der Heidelberger Gesellschaft (HGG). Heidelberg.
- ZIPF, ALEXANDER; SCHILLING, A. (2002): Dynamische Generierung von VR-Stadtmodellen aus 2D- und 3D-Geodaten für Tourenanimationen. In: GIS – Zeitschrift für Geoinformationssysteme Ausgabe 2002. Wichmann Verlag, Heidelberg.
- ZIPF, ALEXANDER; STROBL, JOSEF [Hrsg.] (2002): Geoinformation mobil. Wichmann Verlag, Heidelberg.
- ZIPF, ALEXANDER (2004): Auf dem Weg zu Ubiquitären Geodiensten – Personalisierung kontextabhängiger mobiler GI-Dienste aus Sicht der Geoinformatik. In: Informatik – Berichte 317 – 6/2004, S. 39-42. URL (Stand 18. April 2006): <http://www.informatik.fernuni-hagen.de/forschung/informatikberichte/pdf-versionen/317.pdf>.
- ZIPF, ALEXANDER; JÖST, MATTHIAS (2005): Implementing Adaptive Mobile GI Services based on Ontologies - Examples for pedestrian navigation support. In: CEUS - Computers, Environment and Urban Systems - An International Journal. Special Issue on LBS and UbiGIS. Pegamon Press, Elsevier. URL (Stand 18. April 2006): <http://www2.geoinform.fh-mainz.de/~zipf/CEUS.az.mj.05.multimodal.pdf>.

Verwendete Webseiten

Fahrradroutenplaner im Internet

Geolife

<http://www.geolife.de>

Deutschland Tourismus

<http://www.deutschland-tourismus.de>

Trackdatenbank *das rad ruft*

<http://www.das-rad-ruft.de>

Routenplaner des ADFC Baden-Württemberg

<http://mmwebportal.dyndns.org/adfc/bw/>

Berlin by bike

<http://www.bbbike.de>

GrünGürtelFahrtFinder Frankfurt

<http://stadtplan.frankfurt.de/radroutenplaner/>

Ruhrtal a la Karte

<http://www.ruhrtal.de>

Radroutenplaner des Senne-Portals

<http://www.geodok.de/SennePortalRouting/main.faces>

Radroutenplaner NRW

<http://radroutenplaner.nrw.de>

Fahrradies

<http://www.fahrradies.com>

Technische Grundlagen

Java

<http://java.sun.org>

Java Topology Suite

<http://www.vividsolutions.com/jts/jtshome.htm>

Java-Bibliothek zur Erstellung von pdf-Dateien

<http://www.Lowagie.com>

UMN MapServerseite

<http://mapserver.gis.umn.edu>

<http://www.umn-mapserver.de>

PostgreSQL

<http://www.postgresql.org>

POSTGIS

<http://www.postgis.org>

General Public License (GPL)

<http://www.gnu.org/licenses/>

Simple Feature Specification des Open Geospatial Consortiums (OGC)
<http://www.opengeospatial.org/standards/sfo>

Software für mobile Navigationssysteme

Ozi-Explorer
<http://www.ozieplorer.com>

Fugawi
<http://www.fugawi.de>

Touratech
<http://www.ttqv.com>

GPS-Viewer
<http://www.atlsoft.de/index.php/GPSViewer/>

atlsoft
<http://www.atlsoft.de>

topografix
<http://www.topografix.com>

GIS Lounge
<http://www.gislounge.com>

Sonstiges

VeloWeb - Übersicht Radclubs
<http://www.bikesport.de/veloweb/clubs.html>

Radsportvereine
<http://www.radsport-aktiv.de/vereine/vereine.php>

Messeinformationen Fahrrad-Markt-Zukunft
<http://www.fahrrad-markt-zukunft.de>

9 Glossar

ASP: Active Server Pages; Mit ASP werden serverseitig dynamische Webseiten generiert. Der Script-Code wird direkt in HTML eingebettet. Es sind demnach keine separaten Scripts erforderlich, die in speziellen Verzeichnissen abgelegt werden müssen. Die ASP-Integration ist für WebServer von Microsoft optimiert. Bei ASP handelt es sich nicht um eine Scriptsprache, sondern um eine „Umgebung“. Als Scriptsprachen eignen sich besonders die Microsoft-eigenen Sprachen JScript und Visual Basic Script (STEINRÜCKEN 2001 S. 33).

Applet: ein kleines Java-Unterprogramm, das in eine Webseite eingebaut werden kann. Geladen wird das Applet vom Server, ausgeführt wird es auf dem Client- Rechner.

API: Application Programming Interface; Eine Schnittstelle, die dem Programmierer Funktionen der Hardware oder des Betriebssystems zugänglich macht.

Avenue: Interne Skriptsprache des Geographischen Informationssystems ArcView 3.x.

Bluetooth: Industriestandard für die drahtlose Vernetzung von Geräten über kurze Distanz.

CGI: Common Gateway Interface; Das Common Gateway Interface ist eine Schnittstelle, um externe Programme auf einem HTTP-Server laufen zu lassen (GUTIERREZ 2000, S. 47).

CGM: Computer Graphics Metafile; vektorbasiertes Grafikformat.

Cookies: Informationen, die der Web-Server im Browser ablegt, beispielsweise eine Kundennummer, über die der Benutzer bei einem Folgebesuch identifiziert werden kann.

CSS: Cascading Style-Sheets; erlauben das beliebige Formatieren einzelner HTML-Elemente. Sind vergleichbar mit Formatvorlagen in Microsoft Word.

Client: Bezeichnet innerhalb eines Client/Server-Systems jenen Computer, der vom Anwender benutzt wird, um Daten von einem Server abzurufen.

COM (Component Object Model)-Objekte: COM ist eine von Microsoft entwickelte proprietäre Technologie, um unter Windows Klassen aus DLLs (Dynamic Link Libraries) zu exportieren, die von allen 32-Bit Microsoft-Betriebssystemen unterstützt werden.

Gauß-Krüger-Koordinatensystem: Grundlegendes Koordinatensystem für die Landesvermessung und Katasterkarten in Deutschland. Es entspricht einer transversalen, konformen Zylinderprojektion mit einem längentreu abgebildeten Meridian (Mercatorprojektion) (DE LANGE 2006, S. 191).

GDAL: GDAL ist eine Übersetzungsbibliothek für räumliche Rasterdaten. Als Bibliothek bietet es den aufrufenden Anwendungen ein einheitliches, abstrahiertes Datenmodell für alle unterstützten Formate und ermöglicht dadurch das Lesen und Schreiben unterschiedlicher Rasterformate (KINBERGER 2005, S. 468f).

GIF: Graphic Interchange Format; Standardbildformat im WWW. Aufgrund von maximal 256 Farben erhält man hohe Komprimierungsraten und kleine Dateigrößen. Die Komprimierung erfolgt verlustfrei. Das Format unterstützt Transparenz und durch das Speichern mehrerer Grafiken in einer Datei können kleine Animationen erzeugt werden. Es eignet sich für einfache Grafiken, die wenig Farben und klare Flächen aufweisen wie z.B. Cliparts, Buttons etc (LANKAU 2000).

Geographisches Informationssystem (GIS): Ein GIS ist ein rechnergestütztes System, das aus Hardware, Software, Daten und Anwendungen besteht. Mit ihm können raumbezogene Daten digital erfasst, gespeichert, verwaltet, aktualisiert, analysiert und modelliert sowie alphanumerisch und graphisch präsentiert werden (BILL und FRITSCH 1991, S. 4).

GPS: Global Positioning System; Ein ursprünglich für das amerikanische Verteidigungsministerium entwickeltes System. Dabei sollte es sich um ein satellitengestütztes System handeln, das die Navigation d.h. die Bestimmung von Position und Geschwindigkeit eines sich bewegenden oder ruhenden Objektes in Echtzeit ermöglicht. Daraus resultierte 1973 das Navigation System with Timing and Ranging Global Positioning System (NAVSTAR GPS), welches heutzutage fast nur noch GPS genannt wird. Dieses anfänglich militärische System wurde auch schnell für zivile Anwendungsgebiete zur Verfügung gestellt (vgl. Kap 6.2).

HTML: Hyper Text Markup Language; Programmiersprache für WWW-Dokumente. Die in HTML verfassten Dokumente umfassen beispielsweise Befehle für die Formatierung und Anordnung von Texten, für das Einbinden von Grafiken und multimedialen Elementen. Der Vorteil von HTML-Dokumenten ist deren Betriebssystem-Unabhängigkeit.

HTTP: Hyper Text Transfer Protocol; Datenübertragungsprotokoll im Internet für HTML-Dokumente.

Java: plattformunabhängige, objektorientierte Programmiersprache, die an C++ angelehnt ist. Mit Java werden eigenständige Programme aber auch Java-Applets geschrieben, die im Internet Verwendung finden. Seit 1997 hat die ISO Java normiert.

JDBC: Java Database Connectivity; Klassenbibliothek, die es Java-Applets/Servlets ermöglicht, Back-End-Datenbanken direkt anzusprechen (GUTIERREZ 2000, S. 23).

JavaScript: Einfache, von Netscape entwickelte Scriptsprache zur Erweiterung der Gestaltungsmöglichkeiten von HTML. Dient überwiegend der Gestaltung statischer Webseiten durch Dynamisierung von Schriften und Bildern.

JPEG / JPG: Joint Photographic Expert Group; Standardbildformat im WWW. Gut geeignet zur Komprimierung von Fotografien aufgrund der hohen Farbtiefe. Nachteil: beim Komprimieren

werden Bildinformationen unwiderruflich gelöscht. Je nach Komprimierungsfaktor leidet auch die Bildqualität (KRAAK und BROWN 2001).

ODBC: Open Database Connectivity; Die ODBC ist der Standardzugang zur Datenbank und wurde von Microsoft entwickelt. Sie bietet ein Gerüst für verschiedene Datenbanksysteme, so dass eine einzelne Applikation mit allen Systemen kommunizieren kann (GUTIERREZ 2000, S. 69).

OGR: OGR ist das Pendant von GDAL (s.o.) für Vektorformate (KINBERGER 2005, S. 469).

PERL: Practical Extraction and Report Language; Sehr mächtige Skriptsprache, die häufig zur Programmierung von CGI-Anwendungen eingesetzt wird.

PHP: Hypertext Preprocessor; ist eine Skriptsprache mit einer an Java bzw. Perl angelehnten Syntax, die hauptsächlich zur dynamischen Erstellung von Webseiten oder Webanwendungen verwendet wird. PHP ist OpenSource-Software.

Plugin: Hilfsprogramm für Server oder Browser, um weitere Programmfunktionen zu beherrschen. Häufig benutzte Plugins sind Zusätze für Videosequenzen oder 3D-Objekte, die der Browser selbst nicht anzeigen kann (LANKAU 2000).

Pocket PC: PDAs, die mit dem Betriebssystem Windows Mobile arbeiten. Haben vergleichsweise schnellere Prozessoren und sind mit mehr Funktionalität ausgestattet als ihre Vorgänger (POTT und GROTH 2001).

Points of Interest (POI): Interessante Punkte, also Orte von kulturellem, kulinarischen, touristischen etc. Interesse. Beispiele: Hotels, Restaurants, Sehenswürdigkeiten, Tankstellen, Fahrradparkplätze, etc.

PostGIS: PostGIS ist eine Erweiterung für die Datenbank PostgreSQL um geographische Objekte. Damit wird PostgreSQL in die Lage versetzt, als Datenserver für GIS zu dienen (KINBERGER 2005, S. 469).

Proj4: Proj4 enthält eine Bibliothek für die Transformation und kartographische Projektion von Daten. Hierfür wird eine umfangreiche Anzahl an Projektionen angeboten (KINBERGER 2005, S. 469).

Server: Ein Rechner mit entsprechender Software in einem Netzwerk, der unterschiedliche Dienste für Benutzer (Clients) bereitstellt.

Servlet: ein Java-Programm, das innerhalb eines Web-Servers abläuft und die Ausgabe an einen Web-Browser sendet.

Shapelib: Shapelib bietet eine in C programmierte API zum lesen, schreiben und aktualisieren von ESRI Shapefiles (ArcInfo/ArcView).

SGML: Standard Generalized Markup Language; Dokumentenstandard von 1986. Ziel war die Trennung der inhaltlichen Struktur von der Erscheinungsform des Layouts. Genau genommen handelt es sich um eine Metasprache zur Beschreibung von Auszeichnungs-(Markup)Sprachen für Dokumente (HOFER 2000).

SVG: Scalable Vector Graphics; ein vom W3C erstelltes Format auf der Basis von XML und CSS, mit dem raubezogene Objekte in Form von Vektordaten im Browser dargestellt werden können.

Tag: Formatierungsanweisung innerhalb eines HTML- oder XML-Dokuments. Der Browser erkennt und interpretiert die Tags. Auf diese Weise wird ihm mitgeteilt, wo und wie bestimmte Komponenten einer Seite dargestellt werden müssen.

Touch-Screen: Diese Art von Bildschirm hat Sensoren auf seiner Oberfläche, so dass er Berührungen durch Finger oder einen Stift als Befehle interpretiert. Mit diesen Befehlen werden Funktionen des entsprechenden Programms gesteuert. Die PDAs sind in der Regel mit einem Touch-Screen ausgestattet (POTT und GROTH 2001).

Track: Die mit einem mobilen Gerät zurückgelegte Strecke wird im GPS-Speicher in Form von Track-Punkten gespeichert. Sinnvoll zum Zurückfinden oder zum Abspeichern von interessanten Strecken.

UMTS: Universal Mobile Telecommunications System; ein Mobilfunksystem der sog. "dritten Generation", das aufgrund hoher Übertragungsraten neben Sprachkommunikation auch Multimedia-Anwendungen (Bild- und Videoübertragung) erlaubt.

URL: Uniform Resource Locator; Die Adresse einer Webseite.

USB: Universal Serial Bus (USB); ein Bussystem zur Verbindung eines Computers mit externen USB-Peripheriegeräten zum Austausch von Daten.

UTM: Universales Transversales Mercator Koordinatensystem; Das UTM-Koordinatensystem ist eine konforme transversale zylindrische Abbildung, die weltweit von verschiedenen Landesvermessungen und Kartenagenturen eingesetzt wird (DE LANGE 2006, S. 195).

W3C: World Wide Web Consortium; Internationales Konsortium von Unternehmen, die in Internet-Bereich tätig sind. Gegründet 1994. Die Aufgabe dieser Organisation ist es, offene Standards zu entwickeln, so dass sich das Web in eine einheitliche Richtung weiterentwickelt (POTT und GROTH 2001).

WAP: Wireless Application Protocol; Standard zur kabellosen Datenübertragung. WAP bringt mit WML Seiten auf mobile Endgeräte wie Handys, Organizern und Palmtops (HOFER 2000).

Wegpunkt (Waypoint): Positionsdaten eines Ortes, den man zum Zwecke des Wiederfindens, Einbeziehens in eine Route oder aus sonstigem Interesse abgespeichert hat.

WLAN: Wireless Local Area Network; drahtloses, kabelloses Funknetzwerk.

WML: Wireless Markup Language; Seitenbeschreibungssprache für den WAP-Browser, abgeleitet aus HTML. Speckt die Multimedia-Inhalte aus dem Internet ab und lässt nur Textinformationen oder kleine Grafiken zu (HOFER 2000).

Web-Mapping: Visualisierung von kartographischen Darstellungen im Internet. Die Anwender haben die Möglichkeit, einfache Ansichtsmöglichkeiten wie zoomen etc. durchzuführen (DICKMANN 2001).

XML: Extensible Markup Language; Meta-Auszeichnungssprache zur Beschreibung strukturierter Daten, für die Tags selbstdefiniert werden können.

10 Anhang 1

10.1 Fragebogen

Befragung der Radfahrer zu ihrem Verhalten beim Planen einer Radtour

= mehrere Antworten möglich
 = bitte nur eine Antwort ankreuzen

Der Bogen kann auch unter
www.katrin-stroemer.de/befragung.htm ausgefüllt werden.

Unter welchem Aspekt machen Sie eine Radtour?

- sportlicher Aspekt (Mountainbike, Rennrad...)
- touristischer Aspekt (Anfahren von Sehenswürdigkeiten)
- Erholungs-Aspekt (die Radtour als Weg in die Natur)
- familiärer Aspekt (die Radtour als Familienausflug)
- Urlaub (Fahrradurlaub, mehrtägig mit Übernachtung)

Wie planen Sie Ihre Radtour am häufigsten?

- per analoger Fahrradkarte
- digital und zwar per CD-Rom Internet
- sowohl als auch
- die Radtour wird nicht im Vorfeld geplant

Haben Sie schon mal einen Fahrradrouutenplaner im Internet genutzt?

- Ja und zwar
- nein

Was für eine Möglichkeit würden Sie bei der Planung Ihrer Route per Internet am ehesten nutzen?

- Auswahl eines fertigen Routenvorschlags
- Erstellen einer Route durch Eingabe von individuellen Haltepunkten

Was sollte ein Radrouutenplaner im Internet Ihrer Meinung nach an Funktionalität anbieten?

- Angebot von fertigen Routenvorschlägen
- Berechnung einer Rundtour durch Eingabe von individuellen Haltepunkten
- Berechnung einer Route von A nach B
- Berechnung einer Route nach Dauer (Angabe eines Startpunktes und einer gewünschten Dauer für die Route z.B. 1 Stunde)
- Berechnung einer Route nach Distanz (Angabe eines Startpunkts und einer gewünschten Distanz für die Route z.B. 20 km)
- Berechnung einer Route, die thematische Aspekte berücksichtigt (z.B. eine Route, die an einem Wald und an einem Cafe vorbeigeht)
- Einbeziehung des Steigung bei der Routenberechnung
- Einbeziehung der Beschaffenheit der Radwege bei der Routenberechnung
- Einbeziehung von Wetterinformationen

1

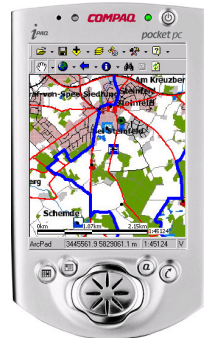
Abb. 10.1: Fragebogen – Seite 1. Quelle: eigener Entwurf.

Was für ein Ausgabemedium würden Sie nutzen?

- analoge Fahrradkarte
 Ausdruck einer Karte aus dem Internet
 Tracklist (Abfolge von Koordinaten) für ein GPS-Gerät
 Daten für die Darstellung der Route auf einem PDA

Haben Sie bereits ein mobiles Gerät (GPS-Gerät oder PDA) als Ausgabe für Ihre Fahrradrouten genutzt?

- nein
 Ja, und zwar ein GPS-Gerät ein PDA



- Ich habe bereits eine Track-Datenbank im Internet genutzt.
 Folgende Erfahrungen habe ich mit dem mobilen Gerät gemacht:

Persönliche Angaben

Wohnort _____

Alter _____

Wie oft machen Sie eine Fahrradtour?

- häufiger als 1x im Monat
 ca. 1x im Monat
 ca. alle 3 Monate
 1x im halben Jahr
 ca. 1x im Jahr
 seltener als 1x im Jahr

Vielen Dank für Ihre Geduld und Ihre Mitarbeit!

Datum _____

2

Abb. 10.2: Fragebogen – Seite 2. Quelle: eigener Entwurf.

10.2 Ergebnistabellen und -abbildungen zu den Befragungsergebnissen aus Kapitel 3

Altersgruppe	Nutzung eines Fahrradroutenplaners im Internet	
	ja	nein
11-20 Jahre (100% = 46 Nennungen)	4,3%	95,7%
21-30 Jahre (100% = 134 Nennungen)	11,9%	88,1%
31-40 Jahre (100% = 176 Nennungen)	11,4%	88,6%
41-50 Jahre (100% = 208 Nennungen)	13%	87%
51-60 Jahre (100% = 137 Nennungen)	15,3%	84,7%
61-70 Jahre (100% = 61 Nennungen)	18%	82%
71-80 Jahre (100% = 9 Nennungen)	0%	100%

Tab. 10.1: Beziehung zwischen den Altersklassen und der Angabe bereits einen Fahrradroutenplaner im Internet genutzt zu haben. Angaben in Prozent in Bezug auf die Altersklassen. Quelle: eigene Erhebung.

Häufigkeit	Ausgabemedium für die Radtour			
	analoge Karte	Ausdruck	GPS	PDA
seltener als 1x im Jahr (100% = 5 Nennungen)	40%	60%	20%	0%
1x im Jahr (100% = 25 Nennungen)	64%	64%	4%	28%
1x im halben Jahr (100% = 50 Nennungen)	60%	70%	20%	8%
alle 3 Monate (100% = 62 Nennungen)	62,9%	64,5%	11,3%	9,7%
1x im Monat (100% = 106 Nennungen)	57,5%	79,2%	18,9%	13,2%
häufiger als 1x im Monat (100% = 523 Nennungen)	50,1%	74,6%	21,4%	16,4%

Tab. 10.2: Beziehung zwischen der Häufigkeit der Durchführung einer Radtour und dem genutzten Ausgabemedium für die Fahrradtour. Angaben in Prozent in Bezug auf die Häufigkeit. Quelle: eigene Erhebung.

Altersgruppen

Funktionalität	Altersgruppen						
	11-20 (100% = 46 Nennungen)	21-30 (100% = 134 Nennungen)	31-40 (100% = 176 Nennungen)	41-50 (100% = 208 Nennungen)	51-60 (100% = 137 Nennungen)	61-70 (100% = 61 Nennungen)	71-80 (100% = 9 Nennungen)
Routenvorschlag	65,2%	58,2%	65,3%	56,7%	58,4%	59%	77,8%
Rundtour	84,8%	76,9%	73,9%	72,6%	71,5%	65,6%	22,2%
von A nach B	64,4%	71,6%	69,9%	68,3%	69,3%	47,5%	44,4%
Route nach Dauer	47,8%	35,8%	33,5%	25%	16,8%	16,4%	33,3%
Route nach Distanz	56,5%	62,7%	53,4%	52,4%	37,2%	34,4%	33,3%
Route nach Semantik	23,9%	32,8%	34,1%	33,2%	26,3%	31,1%	33,3%
Steigung	76,1%	75,4%	75,6%	74%	70,1%	62,3%	55,6%
Beschaffenheit	69,6%	80,6%	81,8%	76,4%	75,9%	55,7%	55,6%
Wetter	19,6%	25,4%	17,6%	15,9%	14,6%	14,8%	11,1%

Tab. 10.3: Beziehung zwischen den Altersgruppen und ihrem Wunsch nach Funktionalitäten für einen Fahrradroutenplaner im Internet. Angaben in Prozent in Bezug auf die Altersgruppen. Quelle: eigene Erhebung

Funktionalität

Postleitzahlenbereiche	Routenvorschlag	Rundtour	von A nach B	Route nach Dauer	Route nach Distanz	Route nach Semantik	Steigung	Beschaffenheit	Wetter
0 (100% = 36 Nennungen)	61,1%	83,3%	52,8%	30,6%	58,3%	25%	77,8%	86,1%	11,1%
1 (100%= 43 Nennungen)	69,8%	88,4%	72,1%	32,6%	53,5%	27,9%	76,7%	79,1%	23,3%
2 (100% = 124 Nennungen)	55,6%	68,5%	66,1%	27,4%	50,8%	46,8%	54%	65,3%	25%
3 (100% = 95 Nennungen)	53,7%	77,9%	67,4%	34,7%	50,5%	34,7%	77,9%	81,1%	17,9%
4 (100% = 119 Nennungen)	68,1%	69,7%	70,6%	29,4%	47,9%	36,1%	58%	63%	15,1%
5 (100% = 87 Nennungen)	58,6%	73,6%	62,1%	27,6%	59,8%	27,6%	72,4%	77%	16,1%
6 (100% = 67 Nennungen)	58,2%	77,6%	71,6%	25,4%	50,7%	28,4%	92,5%	89,6%	13,4%
7 (100% = 66 Nennungen)	62,1%	66,7%	74,2%	28,8%	42,4%	15,2%	80,3%	78,8%	16,7%
8 (100%= 41 Nennungen)	48,8%	68,3%	78%	9,8%	46,3%	19,5%	87,8%	82,9%	17,1%
9 (100% = 93 Nennungen)	64,5%	69,9%	61,3%	28%	46,2%	28%	82,8%	80,6%	17,2%

Tab. 10.4: Gewünschte Funktionalität in den Postleitzahlenbereichen. Angaben in Prozent in Bezug auf die Postleitzahlenbereiche. Quelle: eigene Erhebung.

Postleitzahlenbereich	Aspekt				
	Sport	touristischer Aspekt	Erholung	Familie	Urlaub
0 (100% = 36 Nennungen)	72,2%	30,6%	52,8%	27,8%	52,8%
1 (100%= 43 Nennungen)	74,4%	37,2%	53,5%	11,6%	44,2%
2 (100% = 124 Nennungen)	41,9%	39,5%	61,3%	29%	46%
3 (100% = 95 Nennungen)	68,4%	35,8%	47,4%	11,6%	38,9%
4 (100% = 119 Nennungen)	47,1%	40,3%	61,3%	21,8%	51,3%
5 (100% = 87 Nennungen)	74,7%	31%	42,5%	12,6%	52,9%
6 (100% = 67 Nennungen)	76,1%	25,4%	47,8%	19,4%	56,7%
7 (100% = 66 Nennungen)	66,7%	25,8%	39,4%	9,1%	56,1%
8 (100%= 41 Nennungen)	73,2%	31,7%	51,2%	12,2%	70,7%
9 (100% = 93 Nennungen)	82,8%	23,7%	40,9%	15,1%	55,9%

Tab. 10.5: Beziehung zwischen den Postleitzahlenbereichen und dem Aspekt bei der Planung einer Radtour. Angaben in Prozent in Bezug auf die Postleitzahlenbereiche. Quelle: eigene Erhebung.

Postleitzahlenbereich	Ausgabemedium			
	analoge Karte	Ausdruck	GPS	PDA
0 (100% = 36 Nennungen)	41,7%	86,1%	25%	11,1%
1 (100%= 43 Nennungen)	51,2%	81,4%	25,6%	9,3%
2 (100% = 124 Nennungen)	58,9%	66,1%	19,4%	16,1%
3 (100% = 95 Nennungen)	46,3%	70,5%	17,9%	12,6%
4 (100% = 119 Nennungen)	60,5%	59,7%	17,6%	19,3%
5 (100% = 87 Nennungen)	64,4%	73,6%	21,8%	17,2%
6 (100% = 67 Nennungen)	50,7%	82,1%	20,9%	22,4%
7 (100% = 66 Nennungen)	48,5%	72,7%	19,7%	9,1%
8 (100%= 41 Nennungen)	43,9%	85,4%	22%	7,3%
9 (100% = 93 Nennungen)	47,3%	86%	15,1%	16,1%

Tab. 10.6: Bevorzugte Ausgabemedien in den einzelnen Postleitzahlenbereichen. Angaben in Prozent in Bezug auf die Postleitzahlenbereiche. Quelle: eigene Erhebung.

Häufigkeit	Ausgabemedium			
	analoge Karte	Ausdruck	GPS	PDA
seltener als 1x im Jahr (100% = 5 Nennungen)	40%	60%	20%	0%
1x im Jahr (100% = 25 Nennungen)	64%	64%	4%	28%
1x im halben Jahr (100% = 50 Nennungen)	60%	70%	20%	8%
alle 3 Monate (100% = 62 Nennungen)	62,9%	64,5%	11,3%	9,7%
1x im Monat (100% = 106 Nennungen)	57,5%	79,2%	18,9%	13,2%
häufiger als 1x im Monat (100% = 523 Nennungen)	50,1%	74,6%	21,4%	16,4%

Tab. 10.7: Beziehung zwischen der Häufigkeit der Durchführung einer Fahrradtour und dem gewünschten Ausgabemedium. Angaben in Prozent in Bezug auf die Häufigkeit. Quelle: eigene Erhebung.

Nutzung eines mobilen Endgeräts

Häufigkeit	GPS	PDA
seltener als 1x im Jahr (100% = 5 Nennungen)	0%	0%
1x im Jahr (100% = 25 Nennungen)	0%	4%
1x im halben Jahr (100% = 50 Nennungen)	10%	6%
alle 3 Monate (100% = 62 Nennungen)	4,8%	3,2%
1x im Monat (100% = 106 Nennungen)	8,5%	5,7%
häufiger als 1x im Monat (100% = 523 Nennungen)	9,8%	6,7%

Tab. 10.8: Beziehung zwischen der Häufigkeit der Durchführung einer Fahrradtour und der Nutzung eines mobilen Endgeräts. Angaben in Prozent in Bezug auf die Häufigkeit. Quelle: eigene Erhebung.

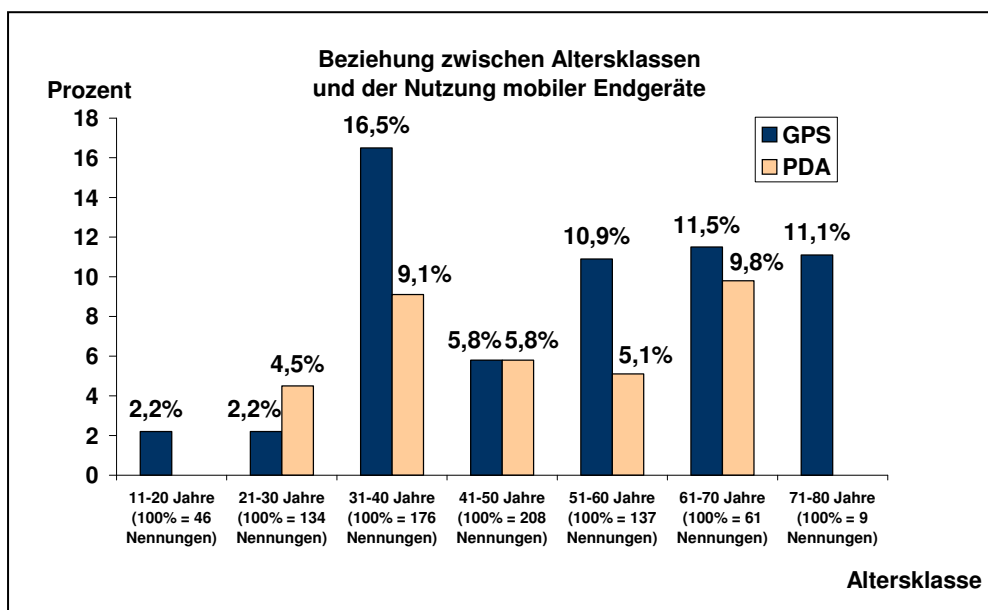


Abb. 10.3: Altersstruktur bei den Nutzern mobiler Endgeräte. Angaben in Prozent. Quelle: eigene Erhebung.

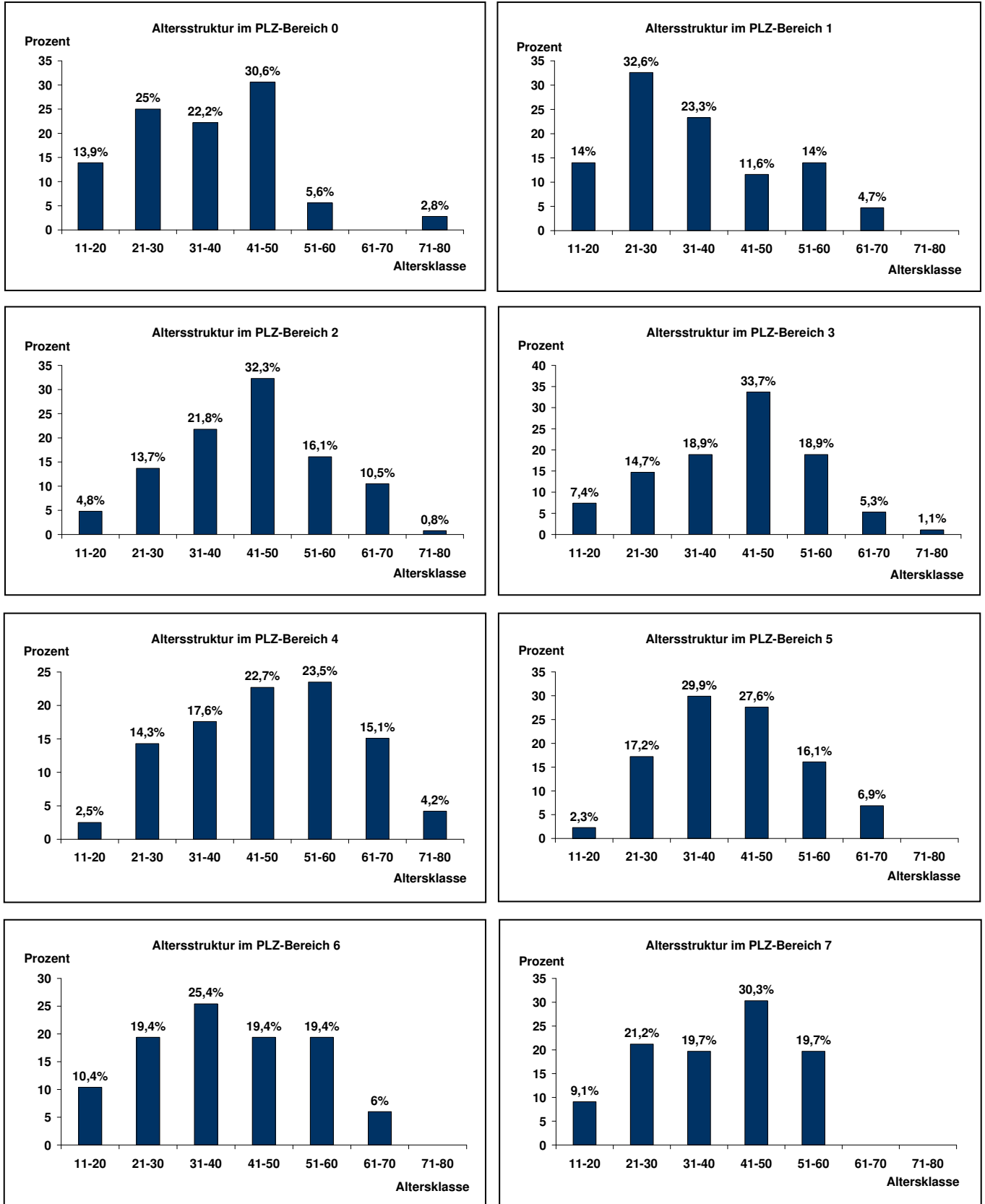


Abb. 10.4 – 10.11: Altersstrukturen in den Postleitzahlenbereichen 0 - 7. Angaben in Prozent. Quelle: eigene Erhebung.

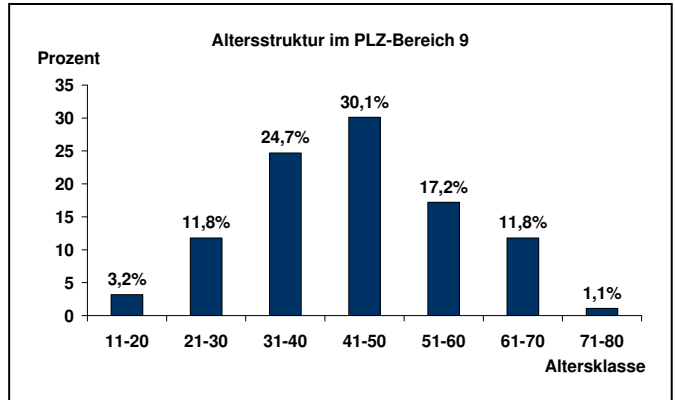
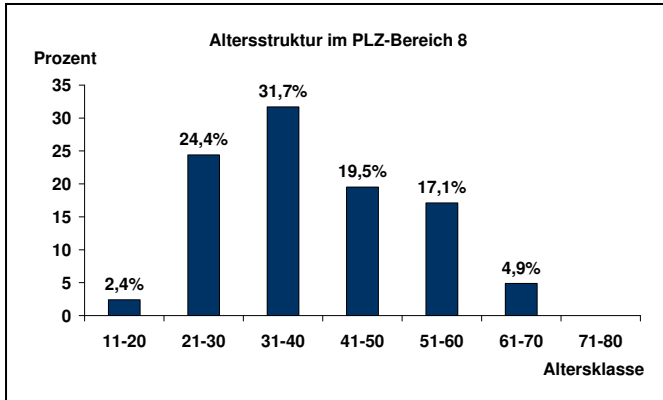


Abb. 10.12 – 10.13: Altersstrukturen in den Postleitzahlenbereichen 8 und 9. Angaben in Prozent. Quelle: eigene Erhebung.

10.3 Arten der Routenausgabe

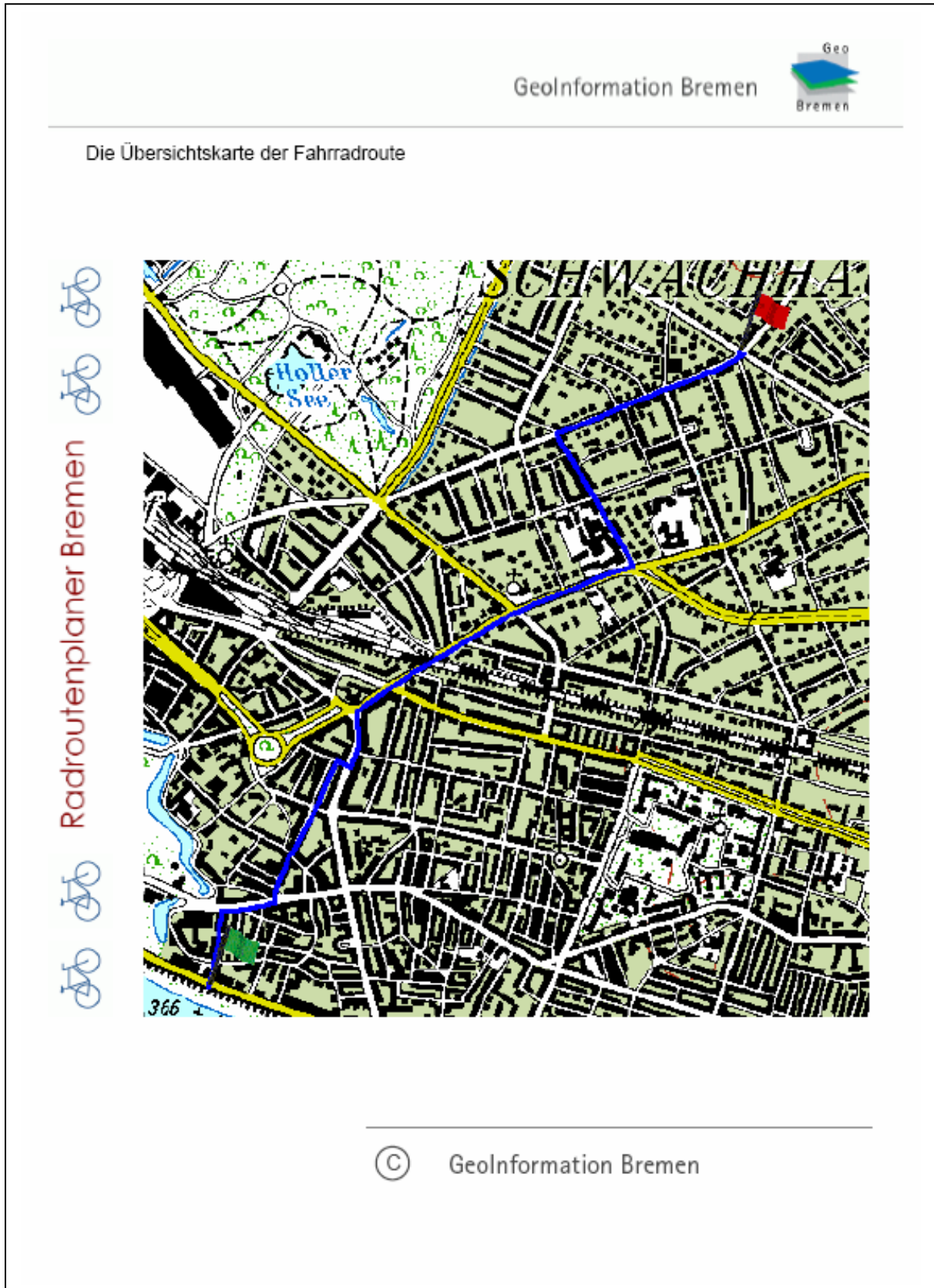



Abb. 10.14: Ausgabe der Route in Form einer Übersichtskarte.



Abb. 10.15: Ausgabe des aktuellen Kartenausschnitts.



Geo
Information Bremen

START: Mozartstrasse

nach 249 m biegen Sie rechts ab auf 'Ostertorsteinweg'
nach 179 m biegen Sie links ab auf 'Wulwesstrasse'
nach 169 m biegen Sie halbrechts ab auf 'Albrechtstrasse'
nach 170 m fahren Sie weiter geradeaus auf 'Gertrudenstrasse'
nach 173 m biegen Sie rechts ab auf 'Bohnenstrasse'
nach 52 m biegen Sie links ab auf 'Am Dobben'
nach 187 m biegen Sie rechts ab auf 'Dobbenweg'
nach 139 m fahren Sie weiter geradeaus auf 'Schwachhauser Heerstrasse'
nach 889 m biegen Sie links ab auf 'Schubertstrasse'
nach 498 m biegen Sie rechts ab auf 'Wachmannstrasse'
nach 666 m biegen Sie links ab auf 'Schwachhauser Ring'
nach 16 m haben Sie Ihr Ziel erreicht!

ZIEL: Schwachhauser Ring

Länge der Route: ca. 3 km

Abb. 10.16: Ausgabe der Wegbeschreibung in Form eines pdf-Dokuments.