



Hochschule Karlsruhe
Technik und Wirtschaft
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES



Fakultät für Geomatik
Masterstudiengang Geomatik
SS 2012

Masterarbeit

Konzeption und prototypische Implementierung von
Routingfunktionalität für das landesweite Radwegenetz
Baden-Württemberg

Verfasst von: David Gschwender
Geboren am: 23. März 1986
Matrikelnummer: 34550
Betreut von: Prof. Dr. Peter Freckmann
Manfred Müller (LUBW)

Karlsruhe, den 31. Mai 2012

Aufgabenblatt für die **Masterarbeit**

von

David Gschwender

an der

HOCHSCHULE KARLSRUHE – TECHNIK UND WIRTSCHAFT
Fakultät für Geomatik – Studiengang Geomatik

in Zusammenarbeit mit der

LUBW – Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-
Württemberg im Informationstechnischen Zentrum der LUBW in Karlsruhe

Thema: **Konzeption und prototypische Implementierung von Routingfunktionalität für das landesweite Radwegenetz Baden-Württemberg**

Ausgangssituation

Im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Naturschutz und Verkehr wurde unter Federführung der Nahverkehrsgesellschaft Baden-Württemberg mbH (NVBW) ein interaktiver Radroutenplaner für das Land Baden-Württemberg entwickelt, der seit Sommer 2011 im Internet erreichbar ist.

Parallel zur Entwicklung des Radroutenplaners wurde die LUBW beauftragt, im Rahmen des Räumlichen Informations- und Planungssystems (RIPS) eine ebenfalls web-basierte Fachanwendung als sogenanntes „Web-GIS“ zu entwickeln, das zur Erfassung und Fortführung des landesweiten Radwegenetzes dienen soll. Die damit erfassten Geo- und Sachdaten sollen künftig die Grundlage für den Radroutenplaner bilden, sie können darüber hinaus aber auch von den jeweiligen Baulastträgern zu Planungs- und Auswertzwecken im Rahmen ihrer Unterhaltungspflichten genutzt werden. Die Pflege der Daten soll durch Verantwortliche auf Kreisebene erfolgen, die ihre Aktivitäten bei Bedarf mit den auf Gemeindeebene zuständigen Sachbearbeitern abstimmen. Ziel ist es, mit Hilfe des Web-GIS ein aktuelles, landesweit flächendeckendes Netz vorhalten zu können. Dazu ist das gesamte Radverkehrsnetz in Baden-Württemberg, bestehend aus den Netzen des Landes, der Städte und Kreise sowie der Gemeinden, auf der Basis eines einheitlichen, routingfähigen Datenmodells zu erfassen.

Aufgaben und Ziele

Im Rahmen der Masterarbeit soll das dem digitalen Datenbestand des landesweiten Radwegenetzes zugrundeliegende Datenmodell untersucht, optimiert und gegebenenfalls erweitert werden. Auf Grundlage des zu erarbeitenden Datenmodells ist anschließend ein Konzept zu entwickeln, welches die Zusammenführung der verschiedenen sowohl online - mit Hilfe oben genannter Web-GIS Anwendung - als auch offline - mit Hilfe von dezentral erzeugten Shape-Files - erfassten Radwegenetzdaten ermöglicht. Auf Basis der so geschaffenen Datengrundlage soll mit Hilfe der im ArcGIS Umfeld verfügbaren Werkzeuge eine prototypische Routingfunktionalität implementiert werden.

Dazu sind folgende Teilaufgaben zu bearbeiten:

- Vorstellen und Beschreiben des Projekts „landesweites Radwegenetz Baden-Württemberg“, der beteiligten Projektpartner, der zugrunde liegenden Geodaten und des momentanen Projektstands
- Untersuchen und Auswerten des aktuellen Datenmodells und der dazu verfügbaren Geodaten hinsichtlich Qualität, Vollständigkeit, Topologie und vorhandener Routingmöglichkeiten

- Erarbeiten möglicher Verbesserungen und Erweiterungen des Datenmodells im Hinblick auf optimierte Routingmöglichkeiten im landesweiten Radwegenetz
- Erstellen eines Konzepts zur teilautomatisierten Integration von Radwegenetzdaten aus unterschiedlichen Quellen und mit unterschiedlicher Qualität auf Grundlage des erarbeiteten Datenmodells
- Entwickeln eines Modells zur Erstellung und automatischen Aktualisierung eines routingfähigen Netzes auf Basis von ArcGIS Server Geoprocessing-Services
- Implementieren grundlegender Routingfunktionen zur Integration in das Web-GIS der LUBW mit Hilfe von ArcGIS Server und der Silverlight API
- Untersuchen und bewerten der entwickelten Modelle und der darauf basierenden Routingfunktionalität im Hinblick auf eine mögliche Nutzung für das landesweite Radwegenetz

Ergebnis

Ergebnis der Masterarbeit soll ein optimiertes Datenmodell für das landesweite Radwegenetz Baden-Württemberg sowie ein dazugehöriges Konzept zur teilautomatisierten Zusammenführung von Radwegenetzdaten unterschiedlicher Ausprägung sein. Die im Rahmen der Arbeit entwickelten Routingfunktionen können gegebenenfalls in das von der LUBW betreute Web-GIS integriert und so dessen Nutzern zu Erfassungs-, Validierungs- und Planungszwecken zur Verfügung gestellt werde.

Das Ergebnis wird mit einer schriftlichen Ausarbeitung dokumentiert und im Rahmen eines Kolloquiums präsentiert.

Leitung der Masterarbeit: Prof. Dr. Peter Freckmann
Zweiter Prüfer: Dipl.-Agrarbiologe Manfred Müller

Bearbeitungszeit: 5 Monate
Tag der Ausgabe: 01.12.2011
Tag der Abgabe: 31.05.2012

Anschrift des Kandidaten: David Gschwender
 Saarlandstraße 47
 76187 Karlsruhe

Datum

Leiter der Masterarbeit

Zweiter Prüfer

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, die vorliegende Masterarbeit selbstständig angefertigt und dabei nur die ausdrücklich benannten Quellen und Hilfsmittel benutzt zu haben. Wörtlich oder sinngemäß übernommenes Gedankengut wurde als solches gekennzeichnet.

Karlsruhe, den 31. Mai 2012

David Gschwender

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. Peter Freckmann und Herrn Manfred Müller bedanken, die es mir durch ihre stetige Unterstützung ermöglicht haben, diese Arbeit erfolgreich anzufertigen.

Ein herzlicher Dank für die kompetente Hilfe und die stets angenehme Arbeitsatmosphäre geht an alle Mitarbeiter des Referats 53.2 der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg.

Besonders danken möchte ich meiner Familie und meiner Freundin, die mich während des gesamten Studiums und der Erstellung dieser Abschlussarbeit immer tatkräftig unterstützt haben.

Inhaltsverzeichnis

Eidesstattliche Erklärung	3
Danksagung	4
Abbildungsverzeichnis	7
Tabellenverzeichnis	9
Abkürzungsverzeichnis	10
Kurzfassung	11
Abstract	13
1 Einleitung	15
2 Aufbau eines landesweiten Radverkehrsnetzes	17
2.1 Das Fahrradmanagement in Baden-Württemberg	17
2.1.1 Aufbau der Managementstruktur.....	17
2.1.2 Interne und externe Kommunikation	18
2.1.3 Schaffung eines landesweiten Radverkehrsnetzes	19
2.2 Die Ziele des landesweiten Radverkehrsnetzes	19
2.3 Ablauf des Projekts	21
2.3.1 Entwicklung des Radroutenplaners	21
2.3.2 Entwicklung des landesweiten Radverkehrsnetzes	21
2.4 Das Datenaustauschkonzept.....	25
2.5 Die entwickelten Anwendungen	26
2.5.1 Die zentrale Internet-Plattform	27
2.5.2 Das Web-GIS	28
2.5.3 Lösungen für die lokale Datenpflege	30
3 Optimierung des Datenmodells	32
3.1 Datenmodellierung und Datenmodelle	32
3.1.1 Ablauf und Zweck der Datenmodellierung	32
3.1.2 Konzeptuelle Datenmodelle	33
3.2 Beschreibung des ursprünglichen Datenmodells.....	37
3.2.1 Bestandteile des Datenmodells	37
3.2.2 Definition der Objektarten	38
3.2.3 Darstellung der Beziehungen.....	39
3.2.4 Festlegung der Eigenschaften	39
3.3 Analyse des ursprünglichen Datenmodells	42
3.3.1 Die Anforderungen an das Datenmodell	42
3.3.2 Untersuchung des Datenmodells	43
3.4 Optimierung des ursprünglichen Datenmodells	48

3.4.1	Definition und Beschreibung der Objektarten.....	48
3.4.2	Darstellung der Beziehungen.....	51
3.4.3	Beschreibung der Eigenschaften	57
3.4.4	Aufstellung von Topologieregeln.....	66
3.5	Fazit.....	67
4	Integration unterschiedlicher Radverkehrsdaten	70
4.1	Gründe für die Entwicklung eines Datenintegrationskonzepts.....	70
4.2	Konzept zur Integration der vorhandenen Radverkehrsdaten	70
4.3	Realisierung des entworfenen Datenintegrationskonzepts.....	74
4.3.1	Geoverarbeitung in ArcGIS	74
4.3.2	Schaffung eines Ausgangsdatenbestands.....	75
4.3.3	Datenabgleich mit dem Alpstein-Bestand	76
4.3.4	Anpassung der Kreisdaten	77
4.3.5	Anpassung der Alpstein-Daten	79
4.4	Fazit.....	79
5	Implementierung von Routingfunktionalität.....	80
5.1	Gründe für die Entwicklung eines Routing-Prototyps.....	80
5.2	Grundlagen der Routenplanung.....	81
5.2.1	Ziele und Grundprinzip	81
5.2.2	Dijkstra-Algorithmus.....	81
5.2.3	Verbesserung des Dijkstra-Algorithmus	81
5.2.4	Routenplanungs-Software und Geodaten	82
5.3	Routenplanung in ArcGIS	82
5.3.1	Netzwerk-Datasets	83
5.3.2	Netzwerkanalyse.....	87
5.4	Prototypische Implementierung von Routingfunktionalität	88
5.4.1	Erstellen eines Testdatensatzes.....	89
5.4.2	Erstellen eines Netzwerk-Datasets	90
5.4.3	Entwickeln und Bereitstellen von Analysefunktionen	92
5.4.4	Die prototypische Anwendung	93
5.5	Fazit.....	97
6	Fazit	98
	Literaturverzeichnis	101
	Anhang	104
A.1	Kurzprofile der Projektpartner.....	104
A.2	Die verwendeten Geodaten.....	107
A.3	Inhaltsverzeichnis der DVD	110

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Fahrradmanagement in Baden-Württemberg (NVBW o. J., S. 2).....	17
Abbildung 2: Radroutenplaner Baden-Württemberg (NVBW 2012, o. S.)	18
Abbildung 3: Tatsächlicher und von Alpstein dokumentierter Verlauf einer Radverkehrsstrecke	24
Abbildung 4: Datenaustauschkonzept des landesweiten Radverkehrsnetzes (Müller 2011a, o. S.).....	25
Abbildung 5: Datenaustausch zwischen Kreisen und Gemeinden (Müller 2011a, o. S.).....	26
Abbildung 6: Geschützter Bereich der zentralen Internet-Plattform des Projekts	27
Abbildung 7: Oberfläche des Web-GIS mit eingeblendeten Erfassungswerkzeugen	29
Abbildung 8: Maske zur Erfassung der Sachdaten einer Radverkehrsstrecke.	29
Abbildung 9: Entwicklungsschritte von der Realität zur Datenbank (Wikimedia Commons 2010, o. S.).....	33
Abbildung 10: Entitätstyp in Chen- (links) und UML-Notation (rechts).....	34
Abbildung 11: Entitätstyp mit Eigenschaften in Chen- (links) und UML-Notation (rechts).....	35
Abbildung 12: Entitätstyp mit Primärschlüssel in Chen- (links) und UML-Notation (rechts)	36
Abbildung 13: Beziehungen in Chen- (oben) und UML-Notation (unten).....	37
Abbildung 14: Schaubild der im ursprünglichen Datenmodell enthaltenen Objektarten (Müller 2011b, S. 5)	39
Abbildung 15: Veranschaulichung der Rolle der Objektarten innerhalb des Netzwerkmodells	50
Abbildung 16: ER-Diagramm zur Veranschaulichung der Objektbeziehungen	52
Abbildung 17: Beziehungstabelle zur Implementierung einer M:N-Beziehung	53
Abbildung 18: Verschiedene Wegführungsarten von Radverkehrsstrecken entlang einer Straße	54
Abbildung 19: Lineare Referenzierung von Eigenschaften entlang einer Straße (ESRI 2012, o. S.)	54
Abbildung 20: Alternatives ER-Diagramm zur lageunabhängigen Erfassung von Radverkehrsstrecken.....	55
Abbildung 21: Tatsächlicher Verlauf der Radverkehrsstrecken (orange) im Vergleich zum DLM (türkis)	56
Abbildung 22: Werteliste der Eigenschaft „Belag“	57
Abbildung 23: Beispiel für die Archivierung von Objektzuständen	58
Abbildung 24: Für die Routenplanung teilweise gesperrte Strecke am Karlsruher Schloss	62
Abbildung 25: Radverkehrsstrecken und Straßengeometrien auf unterschiedlichen Höhenniveaus	63
Abbildung 26: Im DLM nicht abgebildete Querungen einer Schienentrasse (links) und der daraus resultierende Umweg im Radroutenplaner (rechts).....	64
Abbildung 27: Ausschnitt aus der Erläuterung des Merkmals „Wegart“	66
Abbildung 28: Vereinigung zweier Strecken, deren Endpunkte innerhalb der Cluster-Toleranz liegen	66
Abbildung 29: Netz mit (links) und ohne (rechts) lose(n) Enden.....	67
Abbildung 30: Netz mit (links) und ohne (rechts) Überschneidung	67
Abbildung 31: Mehrteilige Radverkehrsstrecke (links) und zwei einteilige Radverkehrsstrecken (rechts)	67
Abbildung 32: Radverkehrsstrecke vor (oben) und nach (unten) der Anpassung ans DLM.....	71
Abbildung 33: Fehlerhaft angepasste Radverkehrsstrecke	73
Abbildung 34: Radverkehrsstrecken vor (schwarz) und nach (blau) der Anpassung	74

Abbildung 35: Organisation der vorhandenen Werkzeuge	74
Abbildung 36: Modell eines Werkzeugs zur Aufteilung des DLM-Bestands in 44 Teile	76
Abbildung 37: Vergleich der vorhandenen Radverkehrsstrecken	77
Abbildung 38: Reklassifizierung vorhandener Attributwerte mit Hilfe des „FieldCalculators“	77
Abbildung 39: Um eine Radverkehrsstrecke erzeugte Pufferzonen.....	78
Abbildung 40: Anpassung einer Radverkehrsstrecke	78
Abbildung 41: Beispiel eines Verkehrsnetzwerks (ESRI 2012d, o. S.).....	83
Abbildung 42: Verknüpfungspunkte eines multimodalen Netzwerks (ESRI 2012d, o. S.).....	84
Abbildung 43: Übersicht über die Evaluatoren des Netzwerkattributs „Status“	85
Abbildung 44: Netzwerkanalyse-Layer mit Analyseklassen und Analyseobjekten.....	87
Abbildung 45: Kürzeste (oben) und schnellste (unten) Verbindung zwischen zwei Punkten	87
Abbildung 46: Routen zu allen Fahrradläden in weniger als drei Kilometern Entfernung	88
Abbildung 47: Innerhalb von zwei Minuten Fahrzeit erreichbares Gebiet um einen Standort	88
Abbildung 48: Über eine Brücke verlaufende Radverkehrsstrecke und darunter liegende Straßen und Radwege	89
Abbildung 49: Teil des aus Radverkehrsstrecken (grün) und Straßen des DLMs (grau) erzeugten Verkehrsnetzwerks	90
Abbildung 50: Liste der erstellten Netzwerkattribute	91
Abbildung 51: Modell zur Ermittlung optimaler Routen	92
Abbildung 52: Ausschnitt aus dem „Services-Directory“	93
Abbildung 53: Applikation zur Ermittlung optimaler Routen	95
Abbildung 54: Ausschnitt aus dem JavaScript-Code der Anwendung.....	95
Abbildung 55: Applikation zur Berechnung von Einzugsgebieten	96
Abbildung 56: Beispiel für die Berücksichtigung des ÖPNV im Radroutenplaner.....	109

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: In der Beschreibung der Objektart "Radroutennetzabschnitt" aufgeführte Merkmale 41

Abkürzungsverzeichnis

AAA	AFIS-ALKIS-ATKIS
ADFC	Allgemeiner Deutscher Fahrrad-Club
ALK	Amtliche Liegenschaftskarte
API	Application Programming Interface
ATKIS	Amtlich Topographisch-Kartographisches Informationssystem
CSS	Cascading Style Sheets
DBMS	Datenbankmanagementsystem
DLM	Digitales Landschaftsmodell
DOP	Digitales Orthophoto
EFA	Elektronische Fahrplanauskunft
ESRI	Environmental Systems Research Institute
GDI	Geodateninfrastruktur
GIS	Geoinformationssystem
HTML	Hypertext Markup Language
LGL	Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung
LUBW	Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg
MVI	Ministerium für Verkehr und Infrastruktur
NVBW	Nahverkehrsgesellschaft Baden-Württemberg mbH
OK	Objektartenkatalog
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
o. J.	Ohne Jahresangabe
o. O.	Ohne Ortsangabe
o. S.	Ohne Seitenangabe
POI	Point of Interest
QS	Qualitätssicherung
RIPS	Räumliches Informations- und Planungssystem
RTRV	Runder Tisch Radverkehr
TFIS	Touristik- und Freizeitinformationssystem
TK50	Topographische Karte 1:50.000
TKFD	Thematische Kartenfachdaten
UML	Unified Modeling Language
UVM	Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr
WIBAS	Informationssystem Wasser, Immissionsschutz, Boden, Abfall, Arbeitsschutz
WPS	Web Processing Service

Kurzfassung

Dank des im Laufe der letzten Jahre gestiegenen Umwelt- und Gesundheitsbewusstseins und dem kontinuierlichen Ausbau der Radverkehrsinfrastruktur hat sich das Fahrrad inzwischen als eine in vielen Fällen sinnvolle Alternative zum Auto etabliert. Insbesondere auf den meist kurzen Strecken des Alltagsverkehrs entfällt ein durchaus beachtlicher Anteil des Gesamtverkehrsaufkommens auf Fahrradfahrer. Da das vorhandene Potential des Radverkehrs bislang jedoch trotz aller Fördermaßnahmen nicht einmal annähernd ausgeschöpft werden konnte, erarbeiteten Vertreter von Wirtschaft, Politik und Forschung zwischen 2006 und 2008 im Rahmen eines runden Tisches Handlungsempfehlungen für die Verbesserung der Radverkehrssituation in Baden-Württemberg. Mit dem Aufbau einer Fahrradmanagement-Struktur, der Entwicklung eines intermodalen Radroutenplaners und der Schaffung eines landesweiten Radverkehrsnetzes konnten bereits einige dieser Empfehlungen umgesetzt werden.

Das landesweite Radverkehrsnetz setzt sich aus den Radverkehrsstrecken der in Baden-Württemberg bislang auf Gemeinde- und Kreisebene vorgehaltenen Netze zusammen. Es dient als Grundlage für den Radroutenplaner und kann darüber hinaus auch für verschiedene Aufgaben der in das Radverkehrsmanagement eingebundenen Stellen genutzt werden. Das Hauptziel dieser Arbeit war es, das ursprüngliche Datenmodell des landesweiten Radverkehrsnetzes zu optimieren. Dabei sollten insbesondere die durch das Modell vorgegebenen Routenplanungsmöglichkeiten erweitert und die Routingfähigkeit des Netzes sichergestellt werden. Um bereits vorhandene Radverkehrsdaten in die geschaffene zentrale Datenbank übernehmen zu können, war außerdem ein Konzept zur Anpassung dieser Daten an die Vorgaben des erarbeiteten Datenmodells zu erstellen. Dieses Konzept sollte anschließend mit Hilfe von Geoverarbeitungswerkzeugen praktisch umgesetzt werden. Um die Routingmöglichkeiten des verbesserten konzeptionellen Datenmodells demonstrieren und testen zu können, sollte zudem eine prototypische Routenplanungs-Anwendung entwickelt werden.

Zur Optimierung des Datenmodells wurde dieses zuerst hinsichtlich seiner Eignung für die Zwecke des landesweiten Radverkehrsnetzes untersucht. Basierend auf den Ergebnissen dieser Untersuchung und den Anregungen verschiedener am Projekt beteiligter Stellen, wurde das Modell anschließend verbessert und um zusätzliche Inhalte erweitert. Auf diese Weise konnten die Routingmöglichkeiten ausgebaut, die Effizienz der Datenerfassung gesteigert und die Routingfähigkeit sichergestellt werden.

Das zur Integration vorhandener Radverkehrsdaten in den zentralen Datenbestand erarbeitete Konzept sieht eine schrittweise Anpassung der Daten an die Sachdatenstruktur des Datenmodells und die als Erfassungsgrundlage verwendeten ATKIS-Geometrien vor. Durch die Umsetzung dieses Konzepts mittels selbst entwickelter Geoverarbeitungswerkzeuge konnte der Anpassungsprozess weitestgehend automatisiert werden. Eine vollständig automatisch ablaufende Angleichung der Radverkehrsdaten konnte aufgrund der in den meisten Fällen dafür nicht ausreichenden Lagegenauigkeit der Eingangsdaten nicht realisiert werden.

Als Grundlage für die zu erstellende prototypische Routing-Anwendung wurde ein Testnetz erzeugt, welches mit den in der ArcGIS-Erweiterung „Network Analyst“ enthaltenen Werkzeugen ausgewertet werden kann. Um diese Netzwerkanalysefunktionen auch in der Routenplanungs-

Applikation nutzen zu können, wurden Geoverarbeitungswerkzeuge entwickelt und mittels „ArcGIS Server“ als Geoverarbeitungs-Dienste bereitgestellt. Diese Dienste konnten anschließend über eine JavaScript-Schnittstelle in die internetbasierte Anwendung eingebunden werden. Mit dieser Anwendung kann nun beispielsweise getestet werden, welche der erfassten Eigenschaften tatsächlich für die Routenplanung genutzt werden können und welche lediglich theoretischen Wert haben.

Das überarbeitete Datenmodell wurde inzwischen in der zentralen Datenbank implementiert und dient als Grundlage für die Erfassung und Fortführung der Daten des landesweiten Radverkehrsnetzes. Mit Hilfe der entwickelten Geoverarbeitungswerkzeuge konnten bis zur Abgabe dieser Arbeit bereits die Datenbestände von neun Kreisen an die Vorgaben des Datenmodells angepasst und in die Datenbank übernommen werden. Die bei der Konzeption der prototypischen Routing-Anwendung gesammelten Erfahrungen werden in die geplante Erweiterung des zur Datenerfassung dienenden Web-GIS um Routenplanungsfunktionen einfließen.

Schlagwörter: Routenplanung, Datenmodellierung, Datenmodell, Geoverarbeitung, Netzwerkanalyse, ArcGIS Network Analyst, Radverkehrsnetz, Radroutenplaner

Abstract

Thanks to the rise in environmental and health consciousness during the recent years and the continuous expansion of the cycling infrastructure, the bicycle has established itself as an in many cases viable alternative to the car. Particularly on the usually rather short trips of everyday traffic a considerable part of the total traffic volume is attributable to cyclists. However, despite the numerous support measures the existing potential of bicycle traffic has never been fully exhausted. Therefore, between 2006 and 2008 representatives of the economy, politics and science worked, as part of a roundtable, on recommendations to further improve the cycling situation in the state of Baden-Wuerttemberg. With the introduction of a bicycle management structure, the development of an intermodal bicycle route planner and the creation of a statewide bicycle network, most of these recommendations have already been implemented.

The statewide bicycle network consists of the routes that are part of the cycling networks maintained by the counties and municipalities. It serves as the foundation of the bicycle route planner and can also be used for various tasks of the public bodies that are a part of the bicycle management system. The main objective of this thesis was to optimize the original data model of the statewide bicycle network. It was especially necessary to improve the given possibilities of route planning which are determined by the data model and ensure the routing ability of the network. To be able to include already existing bicycle traffic data into the newly built central database, it was furthermore necessary to create a concept for adapting the data to the specifications of the data model. Afterwards this concept had to be implemented with self-created geoprocessing tools. In addition a prototypical route planning application had to be developed, with which it is possible to test and demonstrate the route planning capabilities of the improved conceptual data model.

To optimize the data models suitability for the purposes of the statewide bicycle network, it was thoroughly examined. Based on the results of this examination and the suggestions of the various public bodies involved in the project, the model was subsequently improved and extended with additional content. In this way it was possible to extend the rout planning possibilities, raise the efficiency of the data collection process and ensure the routing ability of the bicycle network.

The concept that was developed to integrate existing bicycle traffic data into the central database involves a gradual adjustment of the data to the attribute structure of the data model and the ATKIS-geometries used as basis for the data acquisition. Through the implementation of this concept using self-developed geoprocessing tools, the adjustment process could be automated to the greatest possible extent. However, due to the in many cases insufficient positional accuracy of the captured bicycle paths, it was not possible to realize a fully automated data adjustment process.

As foundation for the prototypical routing application that had to be created, a test network was built which can be evaluated using the 'Network Analyst' extension of ArcGIS. To be able to use the created network analysis functionality in the route planning application, geoprocessing tools were developed. With 'ArcGIS Server' the tools were then provided to the application as geoprocessing services. These services could be integrated into the web based application by using a JavaScript-interface. With the developed application it is now possible to test, which of the bicycle

path attributes can actually be used for route planning purposes and which have only a theoretical value.

The revised data model has been implemented in the central database and is used as the basis for the collection and maintenance of data for the statewide bicycle network. Using the developed geoprocessing tools, at the time of the submission of this thesis the existing bicycle traffic data of nine counties was already adjusted to the specifications of the data model and integrated into the central database. The experience gained in the development of the prototypical routing application will be very useful for the integration of route planning functionality into the web-GIS used for data collection.

Keywords: Route planning, data modeling, data models, geoprocessing, network analysis, ArcGIS Network Analyst, cycle route network, bicycle route planner

1 Einleitung

Das Fahrrad als erstes Individualverkehrsmittel der Welt geht auf die 1817 vom Karlsruher Karl Drais im heutigen Baden-Württemberg entwickelte „Draisine“ zurück. Als erschwingliches Verkehrsmittel, mit dem auch längere Strecken relativ komfortabel zurückgelegt werden konnten, fand es in Europa rasch weite Verbreitung. In der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts verdrängte jedoch eine andere baden-württembergische Erfindung das Fahrrad von seiner Spitzenposition im Alltagsverkehr. Das Auto war schneller und komfortabler und wurde durch die fortschreitende Automatisierung der Fertigung zunehmend auch für die breite Masse erschwinglich. Erst mit dem Aufkommen der Umweltbewegung in den siebziger und achtziger Jahren des vergangenen Jahrhunderts wurde das Fahrrad als umweltfreundliche, gesunde und günstige Alternative zum Automobil wiederentdeckt. Seitdem wird die Steigerung des Radverkehrsanteils am Gesamtverkehrsaufkommen auch seitens der Politik als wichtiges Thema wahrgenommen und durch unterschiedliche Maßnahmen gefördert. Der kontinuierliche Ausbau der Radverkehrsinfrastruktur führte, verbunden mit einem weiter zunehmenden Umwelt- und Gesundheitsbewusstsein, zu einem regelrechten Boom des Fahrradtourismus im Laufe des letzten Jahrzehnts. Insbesondere dank des Aufbaus von lokalen, regionalen und inzwischen sogar (inter-) nationalen Radverkehrsnetzen kommt dem Fahrrad daher heute auch eine nicht zu verachtende wirtschaftliche Bedeutung zu.

Trotz des deutlich erkennbaren Aufwärtstrends konnte das vorhandene Potential des Verkehrsmittels Fahrrad bislang jedoch nicht annähernd ausgereizt werden. Besonders im Vergleich mit den im Bereich des Radverkehrs führenden europäischen Ländern, wie zum Beispiel den Niederlanden und Dänemark, besteht bei der für den Alltagsverkehr benötigten Infrastruktur noch deutlicher Nachholbedarf. Aus diesem Grund arbeiteten zwischen 2006 und 2008 zahlreiche Vertreter aus Politik, Wirtschaft und Forschung im Rahmen des „Runden Tisches Radverkehr Baden-Württemberg“ an gemeinsamen Handlungsempfehlungen zur Verbesserung der Radverkehrssituation im Land. Diesen Empfehlungen folgend wurde eine Fahrradmanagement-Struktur aufgebaut, die eine systematische Koordinierung der auf verschiedenen Ebenen ablaufenden Fördermaßnahmen ermöglicht (vergleiche RTRV BW 2008). Eine der ersten Maßnahmen der in diese Struktur eingebundenen Institutionen war die Entwicklung eines online Radroutenplaners. Durch die Integration der Fahrpläne des öffentlichen Personennahverkehrs in die Routenplanung wurde insbesondere die Verknüpfung von Fahrrad und öffentlichen Verkehrsmitteln vereinfacht. Parallel dazu wurde die Schaffung eines landesweiten Radverkehrsnetzes angestrebt, welches alle lokalen und regionalen Netze in Baden-Württemberg umfasst und als Grundlage für den Radroutenplaner und andere fahrradbezogene Projekte dienen soll. Mit diesen richtungsweisenden Vorhaben sollte nicht nur die Verbindung zwischen individuellem Radverkehr und öffentlichem Verkehr gestärkt sondern auch ein für die Belange des Freizeit- und des Alltagsradverkehrs optimiertes einheitliches Radverkehrsnetz aufgebaut werden.

Im Rahmen der vorliegenden Masterarbeit sollte die für die einheitliche Erfassung und Pflege der Strecken des landesweiten Radverkehrsnetzes benötigte technische Grundlage in Form eines Datenmodells konzipiert werden. Dabei waren insbesondere die die Routingfunktionalität des zu schaffenden Datenbestandes betreffenden Aspekte zu berücksichtigen. Basierend auf dem erarbeiteten Konzept war zudem eine prototypische Routenplanungsanwendung zu entwickeln.

Vorbereitend wurden die Hintergründe und Ziele des Projekts dokumentiert und die zur Verfügung stehenden Geodaten untersucht. Anschließend wurde das vorhandene Datenmodell analysiert und in Abstimmung mit den verschiedenen Projektpartnern verbessert und erweitert. Nachdem damit die Grundlage für die Datenerfassung geschaffen worden war, wurde im nächsten Schritt ein Konzept zur Integration der bei den Stadt- und Landkreisen vorhandenen Radverkehrsdaten in den zentralen Datenbestand des landesweiten Radverkehrsnetzes entwickelt. Die ausgearbeitete Vorgehensweise wurde anschließend mit Hilfe der zur Verfügung stehenden GIS-Werkzeuge praktisch umgesetzt. Basierend auf der so geschaffenen Datengrundlage wurde eine prototypische Routing-Applikation entworfen, mit der die für die Routenplanung relevanten Fähigkeiten des erarbeiteten Datenmodells getestet und demonstriert werden können.

Im nächsten Kapitel werden die Hintergründe und der bisherige Ablauf des Projekts geschildert. Darüber hinaus werden die verschiedenen Projektpartner vorgestellt und die verwendeten Geodaten sowie die zur Datenerfassung und -pflege entwickelten Anwendungen beschrieben. Das dritte Kapitel beginnt mit einem Einblick in die theoretischen Hintergründe der Datenmodellierung. Darauf aufbauend werden die bei der Erarbeitung des konzeptionellen Datenmodells durchlaufenen Entwicklungsstufen und die dabei berücksichtigten Überlegungen erläutert. Im vierten Kapitel werden das zur Integration der bereits vorhandenen Radverkehrsdaten in den zentralen Datenbestand des landesweiten Radverkehrsnetzes entwickelte Konzept und dessen praktische Umsetzung mit Hilfe der im ArcGIS-Umfeld vorhandenen Software-Werkzeuge beschrieben. Der Entstehungsprozess der entworfenen prototypischen Routing-Anwendung und deren Funktionalität werden im sechsten Kapitel dargelegt. Im anschließenden Fazit werden die Inhalte der Arbeit zusammengefasst und die entstandenen Ergebnisse hinsichtlich ihres praktischen Nutzens für das Projekt zur Schaffung eines landesweiten Radverkehrsnetzes bewertet. Abschließend erfolgt ein Ausblick auf die mögliche weitere Entwicklung des Vorhabens.

2 Aufbau eines landesweiten Radverkehrsnetzes

Bevor in den folgenden Kapiteln die Bearbeitung der einzelnen Teilaufgaben dieser Masterthesis erläutert wird, soll an dieser Stelle ein Überblick über das Projekt vermittelt werden, welches den Rahmen für die behandelten Themen bildet. Dazu wird das Vorhaben, in Baden-Württemberg ein landesweites Radverkehrsnetz aufzubauen, im Kontext der im Land vorhandenen Fahrradmanagementstruktur beleuchtet. Darüber hinaus werden die Ziele und der bisherige Ablauf des Projekts erläutert und das Konzept zum Datenaustausch sowie die dafür entwickelten Anwendungen beschrieben.

2.1 Das Fahrradmanagement in Baden-Württemberg

2.1.1 Aufbau der Managementstruktur

Zwischen November 2006 und Dezember 2008 arbeiteten zahlreiche Akteure aller Bereiche des Radverkehrs im Rahmen des „Runden Tisches Radverkehr Baden-Württemberg“ an gemeinsamen Handlungsempfehlungen zur Förderung des Radverkehrs in Baden-Württemberg. Initiator dieser Arbeitsgemeinschaft (AG) war der damalige politische Staatssekretär Rudolf Köberle, der zu diesem Zeitpunkt im Innenministerium für die Verkehrspolitik des Landes zuständig war.

Einer der Kernpunkte der erarbeiteten Handlungsempfehlungen ist der Aufbau einer zentralen Managementstruktur, mit deren Hilfe die radverkehrsbezogenen Aktivitäten innerhalb Baden-Württembergs koordiniert und optimiert werden sollen. Im Verlauf der letzten Jahre wurden die zur Realisierung dieser Struktur benötigten Anlaufstellen auf verschiedenen politischen und verwaltungstechnischen Ebenen nach und nach geschaffen (siehe Organigramm in Abbildung 1).

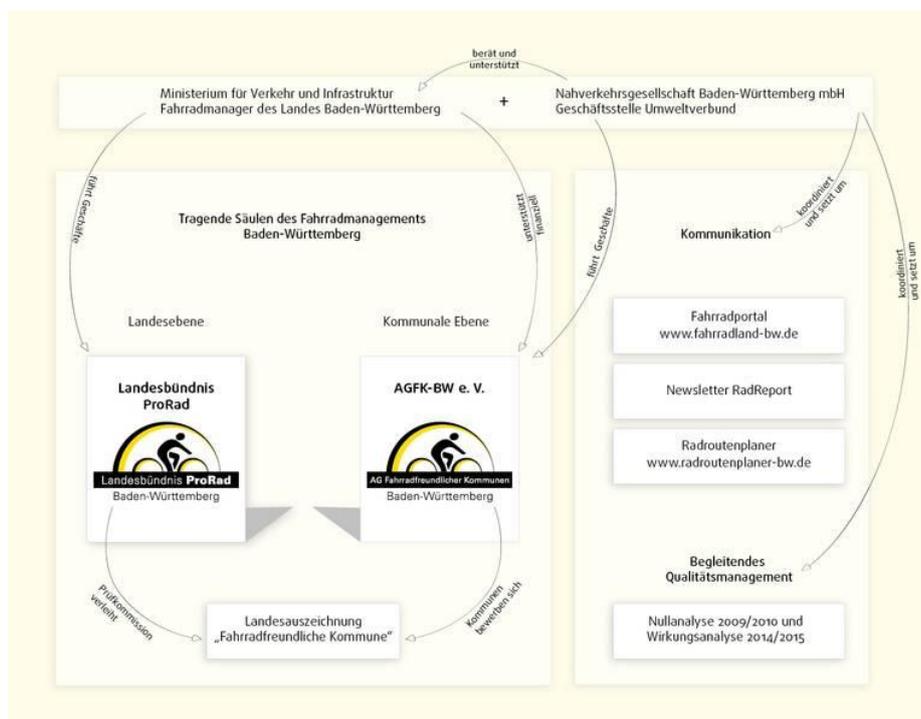


Abbildung 1: Fahrradmanagement in Baden-Württemberg (NVBW o. J., S. 2)

Im Jahr 2009 wurden das „Landesbündnis ProRad“ und die „Arbeitsgemeinschaft fahrradfreundlicher Kommunen“ (AGFK-BW) gegründet. Darüber hinaus wurde ein Vertreter des Ministeriums für Verkehr und Infrastruktur (MVI) als „Landesfahrradmanager“ ernannt. Bereits im Jahr davor war bei der Nahverkehrsgesellschaft Baden-Württemberg (NVBW) die sogenannte „Geschäftsstelle Umweltverbund“ eingerichtet worden (vgl. RTRV BW 2008, S. 5 - 16). Abbildung 1 auf Seite 17 veranschaulicht die Rollen der verschiedenen Stellen innerhalb des Fahrradmanagements.

2.1.2 Interne und externe Kommunikation

Als zentrale Kommunikationsplattform wurde die von der NVBW betreute Webseite Fahrradland Baden-Württemberg (www.fahrradland-bw.de) eingerichtet, die sowohl dem fachlichen Austausch zwischen den beteiligten Stellen als auch der Information der Öffentlichkeit dient. Einer der Hauptbestandteile dieses Internetauftritts ist der seit Juli 2011 freigeschaltete landesweite Radroutenplaner (www.radroutenplaner-bw.de). Wie in Abbildung 2 dargestellt, können Fahrradfahrer mit Hilfe dieses Routenplaners kostenlos die für ihre Zwecke geeignetsten Alltags- und Freizeitrouten ermitteln und sogar ganze Radtouren planen. Auch grenzüberschreitende Verbindungen in die benachbarten Bundesländer sowie nach Frankreich und Österreich sind möglich. „Eine Besonderheit des Radroutenplaners Baden-Württemberg ist die vollständige Integration der Elektronischen Fahrplanauskunft des Landes, EFA-BW“ (MVI 2011, S. 2), die einen lückenlosen Übergang zum öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) ermöglicht: Teile einer Route können mit öffentlichen Verkehrsmitteln zurückgelegt werden, Fahrpläne und Fahrradmitnahmemöglichkeiten der gewählten Verkehrsmittel werden direkt bei der Routenplanung berücksichtigt (vgl. NVBW/LUBW 2011, S. 2 ff.).

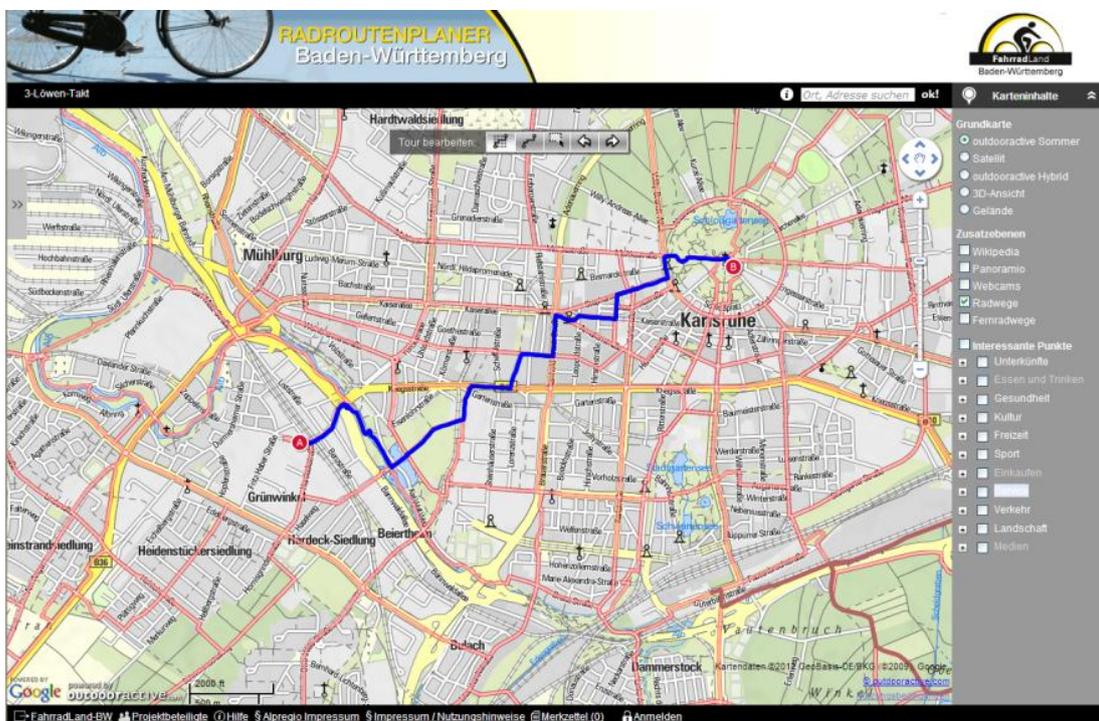


Abbildung 2: Radroutenplaner Baden-Württemberg (NVBW 2012, o. S.)

2.1.3 Schaffung eines landesweiten Radverkehrsnetzes

Ein weiterer Kernpunkt der vom „Runden Tisch Radverkehr“ veröffentlichten Empfehlungen ist der Aufbau eines Landesradverkehrsnetzes, welches alle Radverkehrsstrecken mit landesweiter Bedeutung beinhaltet. Dazu gehören beispielsweise die Landesfernradwege und die Strecken nationaler und europäischer Netze innerhalb Baden-Württembergs. Um neben den touristischen Zwecken auch den Anforderungen des Alltagsradverkehrs gerecht werden zu können, sollen die Strecken des Landesradverkehrsnetzes entlang der im Landesentwicklungsplan festgelegten Entwicklungsachsen verlaufen (vgl. RTRV BW 2008, S. 17).

Die Strecken des Landesradverkehrsnetzes sind Teil des landesweiten Radverkehrsnetzes, welches sich aus den Netzen der Stadt- und Landkreise, sowie den kommunalen Radverkehrsnetzen der Städte und Gemeinden zusammensetzt. Die Empfehlungen des runden Tisches sehen deshalb vor, dass „Alle Land- und Stadtkreise ... im Rahmen ihrer rechtlichen Zuständigkeit einen Radverkehrsplan mit einem Radverkehrsnetz aufstellen“ und „Städte und Gemeinden ... ergänzend zu den Radverkehrsplänen der Landkreise und soweit es die örtlichen Verhältnisse erfordern eigene Radverkehrspläne erstellen“ (RTRV BW 2008, S. 18). Das so entstehende landesweite Radverkehrsnetz Baden-Württembergs soll laut den Empfehlungen einheitlich beschildert und in standardisierten Radkarten sowie in einem Radroutenplaner präsentiert werden (vgl. RTRV BW 2008, S. 18).

Um die bestehenden Radverkehrsnetze in einem zentralen System erfassen und fortführen zu können, wurde die Landesanstalt für Messungen, Umwelt und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW) vom damaligen Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr (UVM) beauftragt, im Rahmen des „Räumlichen Informations- und Planungssystems“ (RIPS) eine webbasierte Fachanwendung als sogenanntes Web-GIS zu entwickeln. Das damit erfasste landesweite Radverkehrsnetz bildet die Grundlage für den Radroutenplaner und kann darüber hinaus von den verschiedenen Stellen des Radmanagements zur Planung- und Auswertung genutzt werden. Die Pflege der Daten soll durch Verantwortliche auf Kreisebene erfolgen, die ihre Aktivitäten bei Bedarf mit den auf Gemeindeebene zuständigen Sachbearbeitern abstimmen (vgl. NVBW/LUBW 2011, S. 4 - 7).

2.2 Die Ziele des landesweiten Radverkehrsnetzes

Hauptziel des Projekts ist es, einen einheitlichen Datenbestand zu schaffen, in dem alle Radverkehrsstrecken in Baden-Württemberg abgebildet und durch standardisierte Sachdaten beschrieben werden. Diese flächendeckenden Radverkehrsdaten sollen zentral vorgehalten und durch lokale Institutionen (Kreise, Städte, Gemeinden, Verbände usw.) laufend dezentral fortgeführt werden.

Der so geschaffene Datenbestand kann für verschiedene Zwecke inner- und außerhalb der Verwaltung genutzt werden:

- Die Fahrradfahrer in Baden-Württemberg erhalten Informationen über ein engmaschiges Netz, das für den Alltags- und Freizeitradverkehr geeignet ist und direkte, sichere und attraktive Verbindungen bietet (siehe NVBW/LUBW 2011, S. 5).

- Die in die Planung neuer Radwege involvierten Stellen können geplante Wege im Zusammenhang mit den bestehenden Strecken visualisieren und so die aus den Ergebnissen der Planung resultierenden Effekte besser abschätzen.
- Die jeweiligen Baulastträger werden bei der Analyse, Planung und Dokumentation von Maßnahmen zum Betrieb und zur Unterhaltung von Radverkehrsstrecken unterstützt.
- Das Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung kann den Datenbestand für die Produktion von Freizeit-, Rad- und Radwanderkarten verwenden. Darüber hinaus sollen die Radverkehrsstrecken in das neue „Touristik- und Freizeitinformationssystem“ (TFIS) übernommen werden.
- Das landesweite Radverkehrsnetz dient als Grundlage für den Radroutenplaner. Es soll ein regelmäßiger Datenaustausch mit dem Betreiber des Routenplaners stattfinden, um die dort hinterlegten Daten auf dem neusten Stand zu halten.

Die Vorteile einer einheitlichen Datenbasis mit zentraler Datenhaltung und dezentraler Pflege sind dabei vielfältig:

- Es wird sichergestellt, dass die erfassten Daten den vorgegebenen Qualitätsstandards genügen. Die Qualitätssicherung (QS) bestimmter Merkmale, beispielsweise die Sicherstellung der Routingfähigkeit, kann zentral erfolgen. Der kontinuierliche Informationsaustausch zwischen den beteiligten Stellen und dem zentralen Datenbestand fördert dessen Aktualität.
- Die Daten der einzelnen Gebietskörperschaften sind problemlos kombinierbar, da sie sich sowohl räumlich als auch inhaltlich auf dieselben Vorgaben beziehen und die Ausdehnung exakt auf das jeweilige Gebiet beschränkt ist. Dadurch kann die Durchgängigkeit des landesweiten Radverkehrsnetzes über die Kreisgrenzen hinweg gewährleistet werden. Zudem erleichtern die einheitlichen Vorgaben die Kommunikation zwischen den zahlreichen beteiligten Stellen.
- Ein gemeinsames System erspart den Kreisen und Kommunen den Aufwand und die Kosten der Entwicklung eigener Anwendungen und verhindert die Schaffung zahlreicher Inselösungen innerhalb Baden-Württembergs.
- Es gibt eine zentrale Anlaufstelle, die für die Abgabe der Daten an Behörden, Bürger und andere Interessenten (Verlage, Navigationsdienstleister, Touristikunternehmen etc.) zuständig ist. Der Zugang zu und der Vertrieb von radverkehrsbezogenen Geodaten wird dadurch enorm erleichtert. Als möglicher Partner hat sich dafür das LGL angeboten, das bereits über langjährige Erfahrung mit der Verwaltung und Vermarktung von Geodaten verfügt.
- Erfassung und Fortführung der Radverkehrsstrecken erfolgen durch die Verantwortlichen vor Ort. Diese verfügen über die nötigen Ortskenntnisse und kennen die regionalen Strukturen des Radverkehrsmanagements.

2.3 Ablauf des Projekts

2.3.1 Entwicklung des Radroutenplaners

Die Entwicklung des landesweiten Radroutenplaners wurde im Jahr 2010 vom damals für den Geschäftsbereich Verkehr zuständigen Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr in Auftrag gegeben. Da der Ausbau der Verknüpfung von ÖPNV und Radverkehr – einer der Hauptgründe für die Ansiedlung der Geschäftsstelle Umweltverbund bei der NVBW – auch in diesem Projekt ein wichtiges Ziel darstellte, wurde die NVBW mit der Betreuung des Projekts beauftragt. Die von der Firma Mentz Datenverarbeitung GmbH entwickelte und von der NVBW betriebene „Elektronische Fahrplanauskunft Baden-Württemberg“ (EFA-BW) sollte vollständig in den Radroutenplaner integriert werden.

Mit der Entwicklung der benötigten Software wurde die Firma Alpstein betraut, den für den erfolgreichen Betrieb des Routenplaners benötigten Ausgangsdatenbestand lieferte das Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung (LGL). Dieser Datenbestand umfasste insgesamt etwa 40.000 km Radwege und stammte aus den Thematischen Kartenfachdaten (TKFD) des LGL. Die den TKFD zugrundeliegenden Daten werden dem LGL von den Stadt- und Landkreisen und einem Teil der Kommunen zur Verfügung gestellt und hauptsächlich zur Produktion von Freizeit-, Rad-, Wander- und Landkreiskarten verwendet.

Da die Geometrie der TKFD auf der „Topographischen Karte 1: 50.000“ (TK50) basiert, war die Lagegenauigkeit der Radverkehrsstrecken für die Zwecke des Radroutenplaners nicht ausreichend. Deshalb wurden die vom LGL bereitgestellten Strecken von Alpstein automatisiert an die quasi maßstabslosen Geometrien des im „Digitalen Landschaftsmodell“ (DLM) enthaltenen Straßennetzes angepasst und anschließend mit dem Alpstein-eigenen Datenbestand von rund 25.000 km konsolidiert. Mit den nun ausreichend genauen Radstrecken als Grundlage, konnte der Radroutenplaner im Sommer 2011 offiziell freigeschaltet werden. Die Radverkehrsdaten wurden seitdem um sogenannte „Points of Interest“ (POIs) und zahlreiche Tourenvorschläge aus verschiedenen Quellen (Alpstein, NVBW, Tourismusverbände, Stadt- und Landkreise etc.) erweitert.

2.3.2 Entwicklung des landesweiten Radverkehrsnetzes

Parallel zur Entwicklung des Radroutenplaners wurde die LUBW – auf Grund des dort vorhandenen Fachwissens und den Erfahrungen aus anderen Projekten – vom UVM gebeten, den Projektpartnern Software-Werkzeuge für die Erfassung und Fortführung des landesweiten Radverkehrsnetzes zur Verfügung zu stellen. Außerdem sollte sie vorläufig die Zusammenführung und Verteilung der zu erhebenden Daten organisieren. Geplant ist, die Aufgabe der Datenhaltung im weiteren Verlauf des Projekts an das LGL zu übergeben, welches „... die Daten des Radverkehrsnetzes landesweit zentral in einer einheitlichen, GDI-konformen Struktur...“ (NVBW et al. 2011, S. 2) vorhalten und durch Metadaten beschreiben soll. Durch die standardkonforme Führung, Abgabe und Beschreibung der Daten sollen die Anforderungen des Landesgeodatenzugangsgesetzes erfüllt werden. Die Übernahme der Datenhaltung durch das LGL ist zum einen dadurch bedingt, dass das Landesamt einen Teil der Daten des landesweiten Radverkehrsnetzes in das künftige Touristik- und Freizeitinformationssystem übernehmen möchte. Zum anderen soll das LGL zukünftig die Qualitätssicherung der erfassten Radverkehrsdaten durchführen, Umfang und Ablauf der QS-Maßnahmen wurden jedoch bislang nicht genauer definiert.

Im Auftrag des Arbeitskreises GIS (AK GIS) des Landkreistags dokumentierte die Datenzentrale Baden-Württemberg (DZBW) eine vom AK GIS erarbeitete Objektart mit der Bezeichnung Radroutennetzabschnitt, die als Grundlage für die einheitliche Beschreibung der zu erfassenden Radwege dienen sollte. Die Beschreibung dieser Objektart ist ein Teil des im Rahmen dieser Masterarbeit optimierten Datenmodells (siehe Kapitel 3).

Um die Abstimmung zwischen den einzelnen Projektpartnern zu erleichtern, wurden alle Stadt- und Landkreise in Baden-Württemberg gebeten, jeweils einen Ansprechpartner auf organisatorischer und technischer Ebene zu benennen. Bei einem Workshop in Karlsruhe im Oktober 2011 wurden diesen Verantwortlichen die Funktionen und Anwendungsmöglichkeiten des Radroutenplaners präsentiert. Des Weiteren wurden das damalige Datenmodell und die bis dato von den LUBW entworfenen Software-Werkzeuge vorgestellt. Außerdem wurde das Konzept zum Datenaustausch zwischen den beteiligten Stellen erläutert. Auf dieses wird in 2.4 näher eingegangen. Seitens des LGL wurde den Vertretern der Stadt- und Landkreise angeboten, die langjährige Erfahrung des Landesamts mit dem Vertrieb von Geodaten in das Projekt einzubringen und die Nutzungsrechte des entstehenden Datenbestands im Auftrag der Kreise an mögliche Interessenten veräußern zu können. Als Ergebnis der Veranstaltung wurde beschlossen:

- Die bereits gestartete Testphase des von der LUBW entwickelten Web-GIS bis zum Ende des Jahres zu verlängern, um allen Beteiligten die Möglichkeit zu geben, die vorhandenen Funktionen ausgiebig zu testen.
- Eine Arbeitsgruppe aus interessierten Teilnehmern zu bilden, welche bei einer Sitzung Anfang des Jahres 2012 noch nicht geklärte technische Details diskutieren und die Inhalte des Datenmodells beschließen sollte.
- Nach Abschluss der Testphase und unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Arbeitsgruppe, im März 2012 mit der offiziellen Erfassung des landesweiten Radverkehrsnetzes zu beginnen, um die im Radroutenplaner hinterlegten Daten bis zum Start der Fahrradsaison aktualisieren zu können.
- Die zahlreichen aufgetretenen Fragen zur Lizenzierung der Daten möglichst bis Ende des Jahres zu klären.

Im Februar 2012 fand bei der LUBW in Karlsruhe die Sitzung der Arbeitsgruppe aus 25 Teilnehmern von Stadt- und Landkreisen, LGL, NVBW und der LUBW statt. Dabei wurde das inzwischen überarbeitete Datenmodell vorgestellt und anschließend diskutiert. Die wenigen aus der Diskussion hervorgehenden Änderungsvorschläge wurden geprüft und soweit sinnvoll, in das Datenmodell integriert. Dieses wurde anschließend mit der dazugehörigen Dokumentation allen Projektpartnern zur Verfügung gestellt. Außerdem wurden das Web-GIS und die für die lokale Datenerfassung angebotenen Lösungen an die Vorgaben des neuen Datenmodells angepasst. Gleichzeitig wurde mit der Erstellung eines Leitfadens begonnen, in dem die wichtigsten Schritte bei der Erfassung von Radverkehrsstrecken dokumentiert und erläutert werden sollten.

Nachdem die Arbeiten am Datenmodell damit weitestgehend abgeschlossen waren, lag der Fokus nun darauf, Lösungen für die Integration der unterschiedlichen Datenbestände in das zentrale System zu entwickeln. Die bei den Kreisen vorliegenden Radverkehrsdaten genügten zum Großteil nicht den durch das Datenmodell vorgegebenen Qualitätsanforderungen und waren dementspre-

chend nicht für eine Übernahme in den Radroutenplaner geeignet. Da einzelne Stadt- und Landkreise jedoch bereits über sehr umfangreiche Datenbestände verfügten, wurden im Rahmen dieser Masterarbeit Software-Werkzeuge konzipiert, mit deren Hilfe vorhandene Radverkehrsdaten teilautomatisiert an die Vorgaben des Datenmodells angepasst werden können (siehe Kapitel 4).

Bei einem weiteren Workshop im März 2012, wurde den teilnehmenden Verantwortlichen der Stadt- und Landkreise seitens der LUBW angeboten, bestehende Daten mit Hilfe der dafür entwickelten Werkzeuge anzupassen und in die zentrale Datenbasis zu übernehmen. Dadurch sollte sichergestellt werden, dass alle in das landesweite Radverkehrsnetz zu integrierenden Strecken konform zu den vorhandenen Straßengeometrien des Amtlich Topographisch-Kartographische Informationssystems (ATKIS) verlaufen. Des Weiteren wurden die durch die Ergebnisse des Arbeitsgruppentreffens bedingten Neuerungen des Datenmodells vorgestellt und mögliche weitere Anpassungen erörtert. Auch das inzwischen auf Grundlage der Rückmeldungen aus der Testphase weiterentwickelte Web-GIS wurde präsentiert. Unabhängig von diesen technischen Aspekten wurde die nach wie vor unklare lizenzrechtliche Situation ein Hauptthema der Veranstaltung. Einige Kreise waren nicht bereit, die bei der ersten Veranstaltung von der NVBW vorgelegte und inzwischen mehrfach überarbeitete Nutzungsrechtsvereinbarung zu unterzeichnen. Zudem wurde deutlich, dass die Pläne einiger Stadtkreise bezüglich der Dokumentation von Radverkehrsstrecken deutlich über das im Rahmen der Schaffung des landesweiten Radverkehrsnetzes geplante Maß hinausgehen. Um eine einheitliche und zum beschlossenen Datenmodell konforme Lösung zu finden und damit eine doppelte Führung von Radverkehrsdaten zu verhindern, wurde angeregt, dass diese Kreise ihr Vorgehen untereinander abstimmen sollen.

Weitere Ergebnisse der Veranstaltung waren die Übernahme kleinerer Anregungen in das Datenmodell sowie die Anpassung einzelner Einstellungen des Web-GIS aufgrund von Rückmeldungen durch die Testnutzer. Da außerdem festgestellt wurde, dass die Erfassung von Radrouten und Radverkehrsnetzen mit Hilfe der bis dato bereitgestellten Erfass-Vorlagen aus lizenzrechtlichen Gründen nur wenigen Kreisen möglich war, wurden entgegen der ursprünglichen Planung auch diese Funktionen in das Web-GIS integriert. Nachdem alle notwendigen Änderungen durchgeführt worden waren, wurde die Testphase beendet und das Web-GIS am 19.03.2012 für die tatsächliche Erfassung und Fortführung des landesweiten Radverkehrsnetzes offiziell freigeschaltet.

Aufgrund entsprechender Hinweise einzelner Teilnehmer des Workshops waren die von der Firma Alpstein an das Basis-DLM angepassten Strecken zuvor auf ihre ATKIS-Konformität überprüft worden. Die Kontrolle ergab, dass die als Ausgangsdatenbestand des Radroutenplaners und des landesweiten Radverkehrsnetzes dienenden Streckengeometrien tatsächlich an vielen Stellen nicht ATKIS-konform verliefen. Diese Abweichungen führten zu Problemen beim Abgleich mit den Radverkehrsstrecken der Kreise, die durch die bei der LUBW entwickelten Werkzeuge ans Basis-DLM angepasst worden waren. Darüber hinaus wollten zahlreiche Stellen den vorhandenen Ausgangsdatenbestand übernehmen und lediglich um die ihnen vorliegenden Informationen ergänzen. Um zu verhindern, dass die Daten des landesweiten Radverkehrsnetzes auf fehlerhaften Geometrien basieren, mussten die von der Firma Alpstein bereitgestellten Strecken deshalb ebenfalls an das Basis-DLM angepasst werden. Zu diesem Zweck wurden weitere Software-Werkzeuge entwickelt. Wegen des hohen Aufwands, der trotz erfolgreicher Teilautomatisierung für die Anpassung der Daten nötig war, wurden vorerst jedoch nur die Datenbestände derjenigen Kreise korrigiert, die Strecken des Alpstein-Bestandes übernehmen wollten.

Im April 2012 lieferte die Firma Alpstein dann einen komplett neuen Datensatz. Anders als der bisherige Datenbestand, der lediglich die Geometrien der bekannten Radverkehrsstrecken enthielt, umfasste der nun vorliegende Bestand das vollständige Wegenetz des Basis-DLMs in Baden-Württemberg. Innerhalb dieses Wegenetzes wurden die Radverkehrsstrecken durch besondere Attribute gekennzeichnet. Diese Änderung des Systems sollte in erster Linie den Betrieb des Radroutenplaners vereinfachen. Darüber hinaus hatte die Firma Alpstein, wegen der nach wie vor ungeklärten Fragen der Nutzungsregelung, jedoch auch alle ursprünglich vom LGL gelieferten Radstrecken aus dem Datenbestand entfernt. Da nun alle Strecken Teil des Basis-DLMs waren, wurde außerdem auch das bislang bestehende Problem der nicht vollständig ATKIS-konform vorliegenden Alpstein-Geometrien gelöst. Aus diesem Grund wurden die bislang im zentralen Datenbestand enthaltenen Ausgangsdaten vollständig durch die neu gelieferten Radverkehrsdaten ersetzt. Die Daten derjenigen Kreise, die die ursprünglichen Radverkehrsstrecken bereits lokal oder mit Hilfe des Web-GIS bearbeitet hatten, wurden jedoch beibehalten.

Ende Mai konnten – rechtzeitig zum Beginn der Fahrradsaison – die verbesserten Radverkehrsdaten von zwölf Kreisen zur Übernahme in den Radroutenplaner an die Firma Alpstein übermittelt werden. Davon waren acht Datenbestände bei den Dienststellen vor Ort und vier mit Hilfe des entwickelten Web-GIS bearbeitet worden (siehe Abschnitt 2.5). Die Qualität der im Radroutenplaner enthaltenen Daten konnte teilweise deutlich verbessert werden. Der unbearbeitete Alpstein-Bestand hatte viele Strecken enthalten, die nicht dem Radverkehrskonzept der jeweiligen Stadt- und Landkreise entsprachen. Des Weiteren konnten zahlreiche Fehler verbessert werden, die durch die automatisierte Anpassung der Radverkehrsdaten an die Geometrien des Basis-DLMs entstanden waren. So verlief die in Abbildung 3 dargestellte Radverkehrsstrecke vor der Korrektur beispielsweise auf der Straße (blau), anstatt wie vorgesehen auf dem parallel verlaufenden Wirtschaftsweg (orange).



Abbildung 3: Tatsächlicher und von Alpstein dokumentierter Verlauf einer Radverkehrsstrecke

Für den Spätsommer 2012 ist eine erneute Datenabgabe an den Radroutenplaner geplant, künftig sollen die Radverkehrsdaten in regelmäßigen Abständen etwa zwei bis drei Mal pro Jahr aktualisiert werden.

Nächstes Ziel muss es sein, nach der vollständigen geometrischen Erfassung aller Radverkehrsstrecken auch auf die ausführliche Beschreibung dieser Strecken mit Hilfe der festgelegten Eigenschaften hinzuwirken. Die so erfassten Geo- und Sachdaten müssen anschließend gepflegt und regelmäßig aktualisiert werden, um ihren Nutzwert erhalten zu können. Darüber hinaus haben einzelne Kreise bereits damit begonnen, die vorhandene Beschilderung der Radrouten positionsbezogen zu erfassen. Zukünftig könnten auch POIs und radverkehrsbezogene Statistikdaten Teil des zentralen Datenbestands werden. Neben der Lokalisierung von Freizeiteinrichtungen und Badeseen könnten so beispielsweise auch Unfallschwerpunkte verortet und analysiert werden.

2.4 Das Datenaustauschkonzept

In diesem Abschnitt wird das Konzept erläutert, das dem Datenaustausch zwischen den am Aufbau des landesweiten Radverkehrsnetzes beteiligten Stellen zugrunde liegt. Die zur Realisierung dieses Konzepts entwickelten Anwendungen werden in Abschnitt 2.5 genauer beschrieben.

Die zentrale Datenbank, die alle momentan erfassten Strecken des landesweiten Radverkehrsnetzes enthält, wurde zum Zeitpunkt dieser Arbeit bei der LUBW vorgehalten. Wie bereits im Laufe dieses Kapitels erläutert, hat das LGL mit den in den Thematischen Kartenfachdaten enthaltenen Radwegen einen Großteil des für den Radroutenplaner benötigten Ausgangsdatenbestands bereitgestellt. Diese Daten wurden von der Firma Alpstein an die vorhandenen ATKIS-Geometrien angepasst und der NVBW als Grundlage für das landesweite Radverkehrsnetz überlassen (siehe Abbildung 4).

Die gesammelten Radverkehrsdaten des landesweiten Radverkehrsnetzes werden in regelmäßigen Abständen an die Firma Alpstein geliefert, die damit die Datenbasis des landesweiten Radroutenplaners aktualisiert.

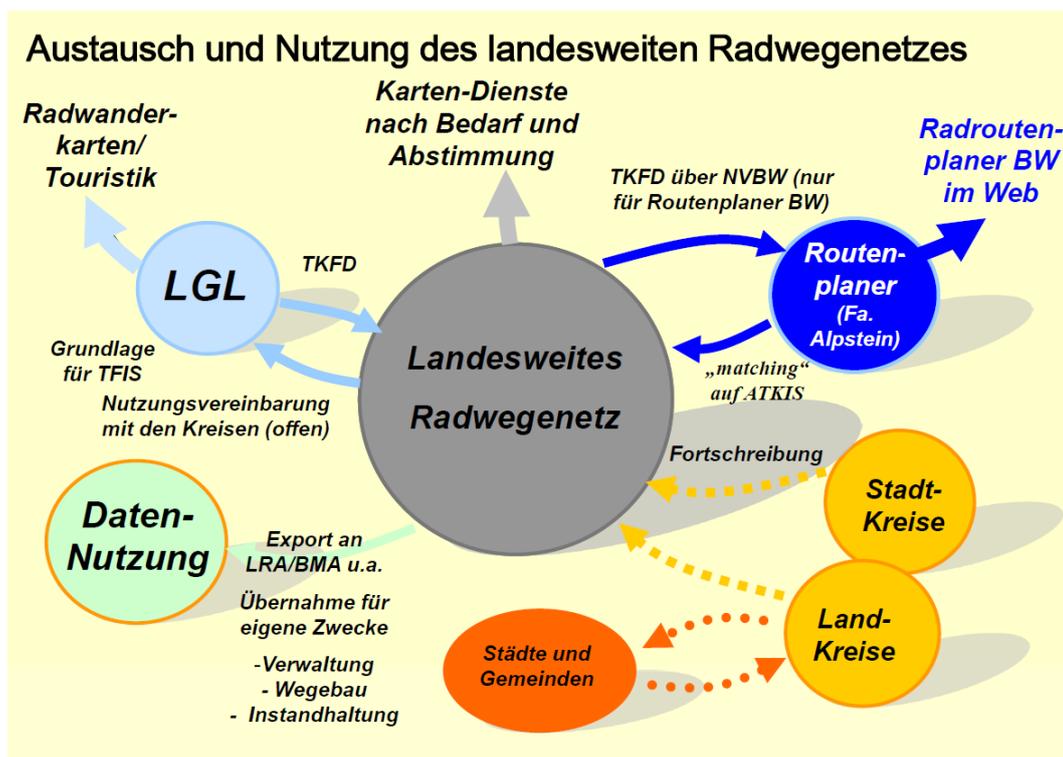


Abbildung 4: Datenaustauschkonzept des landesweiten Radverkehrsnetzes (Müller 2011a, o. S.)

Die Radverkehrsstrecken, Radrouten und Radverkehrsnetze in der Datenbank werden dezentral von den sogenannten Kreisradmanagern der 44 Stadt- und Landkreise gepflegt. Diese können zur Erfassung und Fortführung der oben genannten Objektarten entweder das dafür entwickelte Web-GIS oder ein gegebenenfalls lokal vorhandenes Geoinformationssystem nutzen. Die im Bereich ihres Kreises erfassten Daten können von den Nutzern jederzeit für die lokale Nutzung exportiert werden. Auf Kreisebene koordiniert der Kreisradmanager die Zusammenarbeit mit den Städten und Gemeinden, die über eigene Radverkehrsnetze verfügen (siehe Abbildung 5).

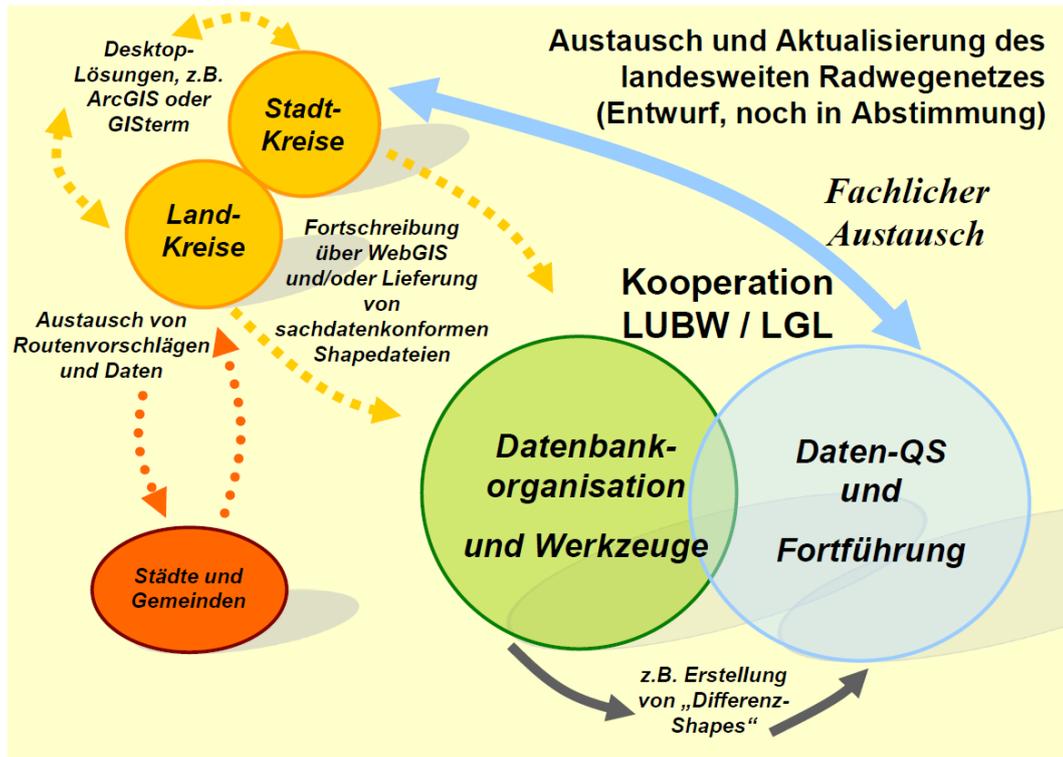


Abbildung 5: Datenaustausch zwischen Kreisen und Gemeinden (Müller 2011a, o. S.)

Die Qualitätssicherung der Daten soll zukünftig durch das LGL erfolgen und direkt im zentralen Bestand durchgeführt werden. Die Mitarbeiter des LGL nehmen dabei jedoch selbst keine Änderung an den Daten vor, sondern erstellen lediglich Fehlerberichte, die an die jeweiligen Stellen bei den Stadt- und Landkreisen weitergeleitet werden. Die vom LGL gemeldeten Fehler müssen dann von den Verantwortlichen der Kreise berichtigt werden.

Eine spätere Übernahme der fortgeführten Daten ins TFIS wird zwischen den beteiligten Stellen diskutiert. Einen wichtigen Aspekt stellt dabei die Frage der Nutzung der Radverkehrsdaten der Kreise für die Produktion von Freizeit- und Radwanderkarten durch das LGL dar.

2.5 Die entwickelten Anwendungen

Bei der Umsetzung des Datenaustauschkonzepts musste insbesondere die bestehende informationstechnische Infrastruktur der beteiligten Stellen berücksichtigt werden. Dabei gibt es, was die eingesetzte GIS-Software und die vorhandenen Fachkenntnisse in diesem Bereich angeht, teilweise große Unterschiede zwischen den verschiedenen Stadt- und Landkreisen. Dies ist insbesondere der Tatsache geschuldet, dass das Projekt bei den einzelnen Kreisen unterschiedlichen Stellen zugeordnet wurde. So erfolgt die Datenerfassung in einem Kreis durch GIS-erprobte Mitarbeiter

des Straßenbauamts, während das Thema in einem anderen Kreis durch das für touristische Themen zuständigen Büro des Landrats bearbeitet wird.

Darüber hinaus sollen zukünftig auch externe Stellen (Tourismusverbände, ADFC usw.) in die Datenpflege einbezogen werden, deren Mitarbeiter keinerlei Erfahrung in der Nutzung professioneller Geoinformationssysteme haben. Dementsprechend einfach und verständlich sollten die Erfass-Oberflächen und die nötigen Abläufe gehalten werden.

Um diesen Anforderungen Rechnung tragen zu können, wurden verschiedene Software-Werkzeuge zur Erfassung und Fortführung von Radverkehrsdaten konzipiert. Diese Werkzeuge sind alle in die Internet-Plattform des Projekts integriert, die als Zugangspunkt zum zentralen Datenbestand dient.

2.5.1 Die zentrale Internet-Plattform

Zum Datenaustausch dient in erster Linie die von der LUBW eingerichtete zentrale Internet-Plattform des landesweiten Radverkehrsnetzes¹. Der öffentliche Teil dieser Webseite enthält Informationen zum Projekt und einen „Viewer“, mit dem alle erfassten Radverkehrsstrecken visualisiert werden können. Um Zugang zum passwortgeschützten Teil der Webseite zu erhalten, müssen sich künftige Nutzer unter Angabe ihres Namens und ihrer Dienststelle registrieren. Die Zugangsberechtigung wird dann nach Abstimmung mit dem jeweiligen „Kreisradmanager“ erteilt.

Im geschützten Bereich können die angemeldeten Benutzer auf das Web-GIS zugreifen und damit die Daten innerhalb ihres Landkreises bearbeiten. Alternativ können Vorlagen für die Bearbeitung von Radverkehrsstrecken mit einem lokal installierten GIS heruntergeladen werden (siehe Abbildung 6).

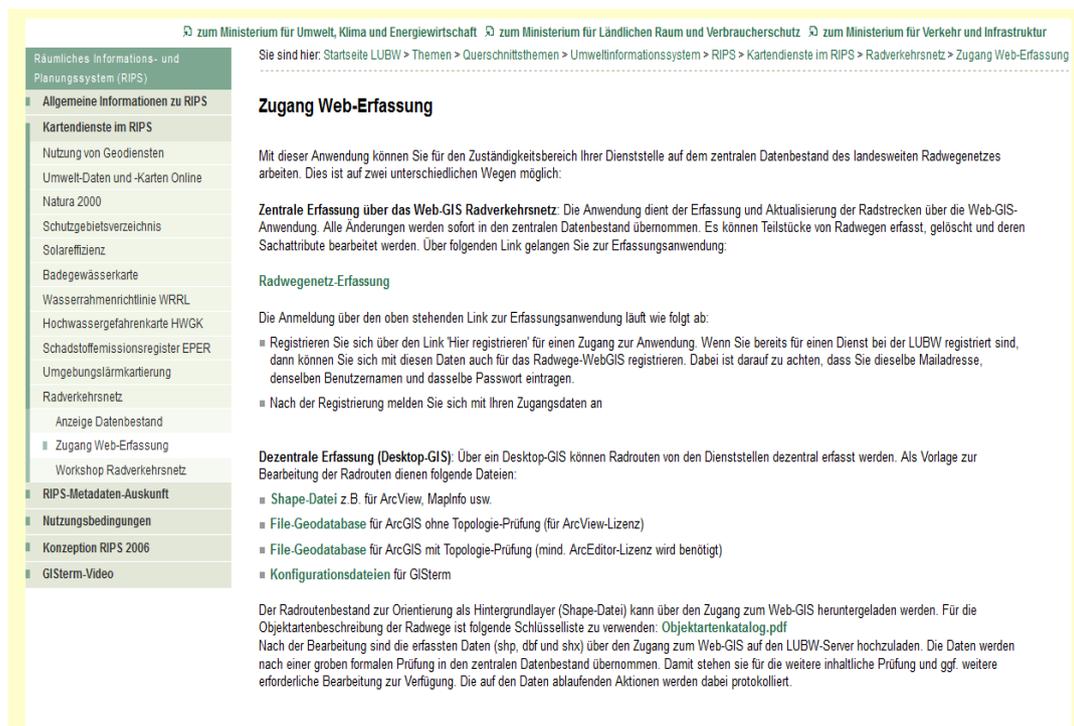


Abbildung 6: Geschützter Bereich der zentralen Internet-Plattform des Projekts

¹ www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/210433/ Zuletzt Aufgerufen am 09.05.2012

Lokal bearbeitete Datensätze, die in den zentralen Bestand integriert werden sollen, werden über eine Upload-Funktion auf der Webseite an die LUBW übermittelt. Dort werden die Daten einer allgemeinen Qualitätskontrolle unterzogen und anschließend in die zentrale Datenbank überführt. Umgekehrt ist es den Bearbeitern jederzeit möglich, den kompletten Datenbestand ihres Kreises für die lokale Nutzung zu exportieren. Dazu wird der Datenbestand im Shape-Format als kennwortgeschützte ZIP-Datei auf dem Server bereitgestellt. Der Benutzer erhält eine E-Mail mit dem Link zur dieser Datei und kann sie anschließend herunterladen.

Grundsätzlich können angemeldete Nutzer nur Daten innerhalb des Kreises ihrer Dienststelle bearbeiten. Innerhalb der Kreisgebiete ist jedoch keine weitere Eingrenzung des Bearbeitungsreichs vorgesehen. Sind für einen Kreis mehrere Benutzer registriert, beispielsweise weil einzelne Gemeinden eigenständig Radverkehrsstrecken ihres Teilnetzes pflegen, ist es die Aufgabe des Kreisradmanagers, deren Tätigkeiten zu koordinieren.

2.5.2 Das Web-GIS

Das Web-GIS basiert auf Microsofts Browsererweiterung „Silverlight“, die es Entwicklern ermöglicht, dynamische Internetanwendungen mit interaktiven Benutzeroberflächen zu entwerfen. Über eine eigene Schnittstelle ermöglicht es ESRI, aus Silverlight-Anwendungen direkt auf Karten und Werkzeuge zuzugreifen, die mit Hilfe von „ArcGIS Server“ bereitgestellt werden. Anwender, die das entsprechende Silverlight-Plug-in noch nicht in ihrem Browser installiert haben, werden beim ersten Aufruf der Anwendung automatisch dazu aufgefordert, dieses von der Microsoft-Webseite herunterzuladen.

Die Oberfläche des Web-GIS setzt sich aus mehreren Teilen zusammen. Den Großteil des Browserfensters nimmt die Karte ein, mit der mit Hilfe der darüber platzierten Schaltflächen interagiert werden kann (siehe Abbildung 7 auf Seite 29). Es ist möglich, hinein- und hinaus zu zoomen, die Karte zu bewegen, einzelne Ansichtsänderungen rückgängig zu machen, zur Vollansicht des Landes Baden-Württemberg zu wechseln und eine Übersichtskarte einzublenden. Außerdem können die Sachdaten der dargestellten Objekte abgefragt und das Erscheinungsbild der Karte durch das Ein- und Ausblenden verschiedener Layer verändert werden. Zur Erläuterung dieser Funktionen kann bei Bedarf ein Hilfetext eingeblendet werden. Mit Hilfe des Suchfeldes am rechten oberen Rand der Karte, kann nach Ortsnamen und ähnlichen Bezeichnungen gesucht werden. Die Karte zentriert sich dann automatisch über dem jeweiligen Ort.

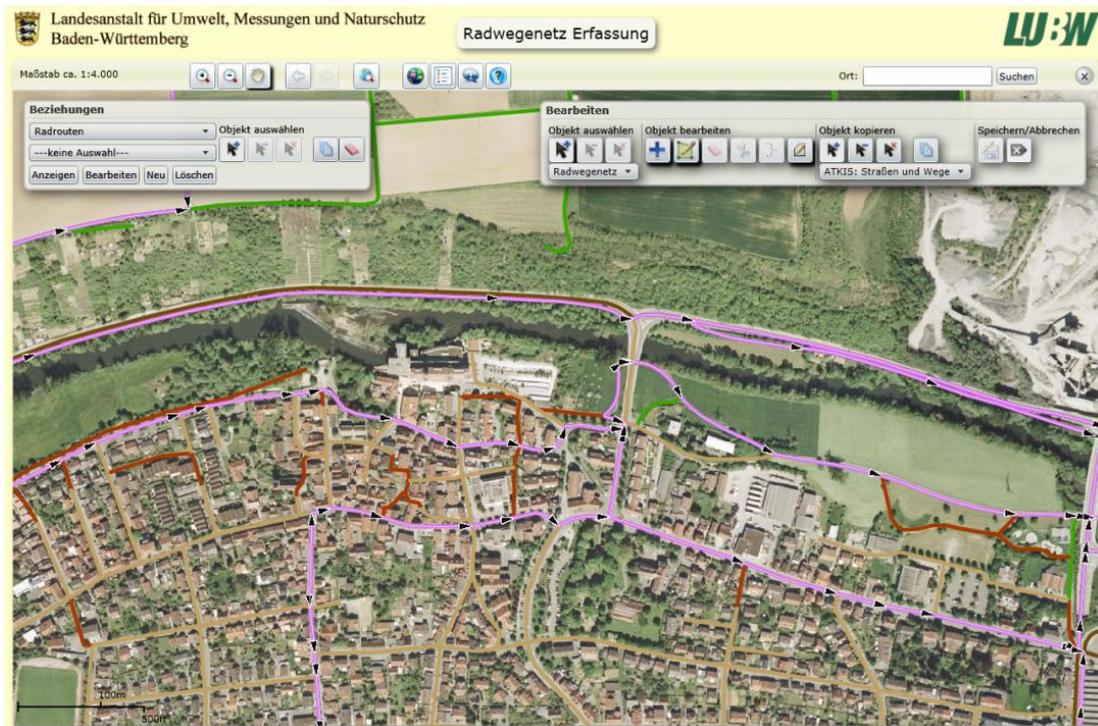


Abbildung 7: Oberfläche des Web-GIS mit eingeblendeten Erfassungswerkzeugen

Im Hintergrund des Kartenfensters werden, abhängig vom aktuellen Maßstab, verschiedene Rasterkarten angezeigt. Darüber werden die erfassten Radverkehrsstrecken durch pinkfarbene Linien visualisiert. Auf Wunsch kann der Benutzer zusätzliche Layer einblenden, deren Transparenz über Schieberegler verändert werden kann. Die klassifizierte Straßen und Wege aus dem ATKIS werden abhängig von ihrer Funktion in verschiedenen Braun- und Grüntönen dargestellt. Die Digitalisierichtung der vorhandenen Radverkehrsstrecken wird durch kleine schwarze Pfeile symbolisiert. Flurstücke und Hausumringe aus der ALK werden in Abbildung 7 nicht dargestellt. Digitale Orthophotos dienen bei der Erfassung von Radverkehrsstrecken als Hintergrund.

Ab einem Maßstab von mindestens 1:16.000 werden am oberen Rand der Karte zwei Fenster mit den vorhandenen Erfassungswerkzeugen eingeblendet. Diese Fenster können anschließend innerhalb des Browsers frei platziert werden. Das rechte Fenster beinhaltet die zur Erfassung und Pflege von Radverkehrsstrecken benötigten Werkzeuge, diese sind nach ihrer Funktion gruppiert. Mit der ersten Gruppe können Strecken ausgewählt werden, die dann mit den Werkzeugen der zweiten Gruppe bearbeitet werden können. Die Bearbeitung ermöglicht das Löschen, Zerteilen und Zusammenfügen von Radverkehrsstrecken. Des Weiteren können die Sachdaten und die Stützpunkte der ausgewählten Strecken verändert werden (siehe Abbildung 8). Darüber hinaus ist es möglich, neue Strecken zu erfassen. Dabei kann auf bereits vorhandene Radverkehrs- und DLM-Geometrien „gesnappt“ werden. Neben der freien Erfassung von Strecken können mit der dritten Werkzeuggruppe gegebenenfalls schon vorhandene ATKIS-Geometrien selektiert und in Radverkehrsstrecken umgewandelt werden.

Abbildung 8: Maske zur Erfassung der Sachdaten einer Radverkehrsstrecke.

Sollen die vorgenommenen Veränderungen in den zentralen Datenbestand übernommen werden, müssen diese mit Hilfe der entsprechenden Schaltfläche der vierten Gruppe gespeichert werden. Alternativ können auch alle bislang vorgenommenen Änderungen verworfen werden.

Mit den Werkzeugen des linken Fensters können Radverkehrsstrecken vorhandenen Radrouten und Radverkehrsnetzen zugeordnet werden. Dementsprechend können auf diese Weise hergestellte Verknüpfungen auch wieder gelöscht werden. Außerdem ist es möglich, neue Radrouten und Radverkehrsnetze zu erstellen bzw. vorhandene Routen und Netze zu löschen. Dabei muss zwischen kreisinternen und kreisübergreifenden Objekten unterschieden werden. Kreisübergreifenden Routen bzw. Netzen können von allen Anwendern innerhalb des jeweiligen Kreisgebiets Radverkehrsstrecken zugeordnet werden. Die Veränderung der Sachdaten und das vollständige Löschen kreisübergreifender Radrouten und Radverkehrsnetze bleiben aus Sicherheitsgründen jedoch dem Ersteller vorbehalten.

Die Vorteile des Web-GIS sind zum einen dessen weitestgehend uneingeschränkte Verfügbarkeit und zum anderen die intuitive Bedienung der Benutzeroberfläche. Diese Faktoren ermöglichen auch im Umgang mit Geoinformationssystemen unerfahrenen Nutzern die Pflege von Verkehrsdaten. Durch den kostenlosen Zugang zum System können auch Stellen, die bislang über keine eigene GIS-Software verfügen, Daten erfassen und fortführen, ohne dabei hohe Lizenzkosten in Kauf nehmen zu müssen. Diese beiden Vorteile ermöglichen es, sogenannte „qualifizierte Externe“, die über ein großes Fachwissen verfügen (zum Beispiel Mitglieder der Orts- und Landesverbände des ADFC), unter kontrollierten Bedingungen in die Schaffung des landesweiten Radverkehrsnetzes einzubeziehen. Typische Fehler bei der Datenerfassung werden dabei durch verschiedene Maßnahmen verhindert:

- Die Werkzeugleiste ist nur verfügbar, wenn der Kartenmaßstab mindestens 1:16.000 beträgt.
- Die Bearbeitung von Strecken, Routen und Netzen außerhalb des jeweiligen Kreisgebiets ist nicht möglich. Wird bei der Erfassung von Radverkehrsstrecken die Kreisgrenze überschritten, werden die nicht im Kreisgebiet liegenden Teile der Strecke automatisch abgeschnitten.
- In der Sachdatenmaske ist die durch das Datenmodell vorgegebene Objektstruktur hinterlegt. Fehleingaben werden durch die Nutzung von vorgegebenen Wertelisten weitestgehend unterbunden.
- Änderungen werden erst dann endgültig in den zentralen Datenbestand übernommen, wenn sie explizit abgespeichert wurden.
- Sollte es dennoch zu unerwünschten Veränderungen des Datenbestands kommen, können diese dank einer im Hintergrund ablaufenden Historisierung der Daten rückgängig gemacht werden.

2.5.3 Lösungen für die lokale Datenpflege

Trotz seiner Vielfältigkeit kann und soll das Web-GIS nicht die umfangreichen Bearbeitungsmöglichkeiten einer vollwertigen GIS-Software bieten. Insbesondere die Überlagerung, Analyse und automatisierte Bearbeitung von Daten bleibt Systemen wie beispielsweise ESRI ArcGIS vorbehalten.

ten. Darüber hinaus hielten zu Beginn des Projekts bereits zahlreiche Stadt- und Landkreise ein mehr oder weniger umfangreiches Radverkehrsnetz vor, welches aus verschiedenen Gründen lokal fortgeführt werden sollte. Um diesen Beteiligten eine Möglichkeit zu bieten, ihr etabliertes Geoinformationssystem weiterhin zur Datenerfassung nutzen und damit den erheblichen Mehraufwand einer doppelten Datenführung vermeiden zu können, wurden Lösungen für die Integration lokal erfasster Daten in den zentralen Datenbestand gesucht.

Als zweckmäßig und technisch ohne größeren Aufwand umsetzbar, stellte sich der bereits erläuterte Daten-Upload heraus. Um die Datenübermittlung zu vereinheitlichen und die Erstellung von inkompatiblen Datenbeständen zu verhindern, wurde die durch das Datenmodell vorgegebene Datenstruktur für die gängigsten Dateiformate abgebildet. Diese Vorlagen können über das zentrale Projekt-Portal heruntergeladen und anschließend in einem lokalen GIS zur Datenerfassung verwendet werden. Nach Abschluss der Erfassung sind die Dateien mit Hilfe der Upload-Funktion an die LUBW zu übermitteln. Die folgenden Vorlagen sind verfügbar:

- **Shapefile**
Die zu erfassenden Merkmale sind als Attributfelder angelegt.
- **File-Geodatabase**
Die zu erfassenden Merkmale sind als Attributfelder angelegt, zusätzlich sind die vorgegebenen Wertelisten als Domains implementiert.
- **File-Geodatabase mit Topologieprüfung**
Neben den Attributfeldern und Domains der normalen Version beinhaltet diese Geodatabase auch die im Datenmodell festgelegten Topologieregeln. Allerdings ist zur Bearbeitung der Daten eine ArcEditor- oder ArcInfo-Lizenz nötig.
- **GIS-term-Konfigurationsdatei**
Die zu erfassenden Merkmale und die vorgegebenen Wertelisten sind in der Konfigurationsdatei enthalten.

3 Optimierung des Datenmodells

Nachdem die LUBW mit der Entwicklung eines Web-GIS zur Erfassung und Pflege des landesweiten Radverkehrsnetzes beauftragt worden war, musste als Grundlage für die entstehende Datenbank ein konzeptionelles Datenmodell erarbeitet werden. Im Rahmen dieser Masterarbeit sollte der so entstandene Modellentwurf hinsichtlich seiner Eignung für die Zwecke des landesweiten Radverkehrsnetzes untersucht werden. Basierend auf den Ergebnissen dieser Untersuchung war das bestehende Datenmodell anschließend zu verbessern und gegebenenfalls zu erweitern. Ziel war es dabei, ein in Abstimmung mit allen Projektpartnern für die Belange des zu schaffenden Radverkehrsnetzes optimiertes Datenmodell zu entwickeln.

3.1 Datenmodellierung und Datenmodelle

3.1.1 Ablauf und Zweck der Datenmodellierung

Bei der Datenmodellierung wird die Menge aller im Rahmen eines Projekts vorhandenen Informationen mit Hilfe des durch die bestehenden Vorgaben definierten Kontexts auf die tatsächlich wichtigen Informationen reduziert (vgl. Geisler 2005, S. 134). Anschließend werden die dabei als relevant identifizierten Objekte sowie deren Eigenschaften und Beziehungen in eine strukturierte Form gebracht und dokumentiert. Das so geschaffene Datenmodell ist eine vereinheitlichte formalisierte Abbildung des betrachteten Ausschnitts der Realität.

Datenmodelle bilden die Grundlage für die Entwicklung von Datenbanken, werden darüber hinaus aber auch allgemein häufig verwendet, um komplexe Zusammenhänge verständlich darzustellen und Projektinhalte zu definieren. Datenmodelle stellen also „in erster Linie ein Kommunikationswerkzeug dar, das dabei helfen soll, dass alle am Projekt beteiligten Personen dieselbe Auffassung und dasselbe Verständnis von den Daten und den zwischen ihnen bestehenden Beziehungen bekommen“ (Geisler 2005, S. 134). Die richtige Nutzung dieses „Kommunikationswerkzeugs“ ist von essentieller Bedeutung für den Erfolg eines Projekts, da die einzelnen Beteiligten in der Regel unterschiedliche Blickwinkel auf die involvierten Daten und die zu erfüllenden Anforderungen haben. Die aus einem Datenmodell ersichtlichen Strukturen und Verbindungen können dazu beitragen, diese unterschiedlichen Ansichten zu vereinheitlichen.

Bei der Datenbankentwicklung erfolgt die Modellierung von Daten in Form mehrerer aufeinander aufbauender Phasen (siehe Abbildung 9 auf Seite 33). Ergebnis jeder dieser Phasen ist ein Datenmodell, das den spezifischen Anforderungen des aktuellen Entwicklungsschritts genügen muss. Über die Anzahl der Phasen und die Bezeichnung der dabei entstehenden Datenmodelle gibt es in der Literatur keinen Konsens. Geisler unterscheidet vier Modelle anhand ihres Abstraktionsgrads (vgl. Geisler 2005, S. 135 - 140):

- **Konzeptionelles Modell**

Das konzeptionelle Modell – auch konzeptuelles oder semantisches Modell genannt – dient als Grundlage für die Identifikation der für ein Projekt relevanten Objekte, Eigenschaften und Beziehungen. Das so entstehende Abbild der realen Welt wird grafisch dar-

gestellt und durch begleitende Texte erläutert. Es ist unabhängig von der für den Betrieb der Datenbank verwendeten Hard- und Software.

- **Internes Modell**

Das interne Modell wird oft auch als logisches Modell oder logisches Datenbankschema bezeichnet und entsteht durch die Abbildung des konzeptionellen Modells auf das zu verwendende Datenbankmanagementsystem (DBMS). Dabei werden beispielsweise die Datentypen der zu erstellenden Felder und die zur eindeutigen Identifikation von Objekten nötigen Primärschlüssel festgelegt. Das interne Modell ist an die als DBMS verwendete Software angepasst, jedoch nach wie vor hardwareunabhängig.

- **Externes Modell**

Das externe Modell beschreibt die individuellen Sichtweisen von Benutzern und Anwendungsentwicklern auf das interne Modell. Solche Sichten werden zum Beispiel durch Benutzeroberflächen oder Eingabemasken dargestellt. Mit Hilfe des externen Modells kann getestet werden, ob im konzeptionellen Datenmodell alle durch die künftigen Benutzer gestellten Anforderungen berücksichtigt wurden.

- **Physikalisches Modell**

Das physikalische Modell – häufig auch als physisches Modell oder Datenbankschema bezeichnet – bestimmt, wie die in der Datenbank abzulegenden Daten gespeichert werden sollen und wie auf diese zugegriffen werden kann. Des Weiteren werden hier Festlegungen zur Optimierung der Zugriffe und zur Sicherung der Daten getroffen. Das physikalische Modell ist somit sowohl von der verwendeten Hardware als auch der der gewählten DBMS-Software abhängig.

Datenmodellieren: Entwicklung von der fachlichen, implementierungsunabhängigen Konzeption bis zur Datenbank

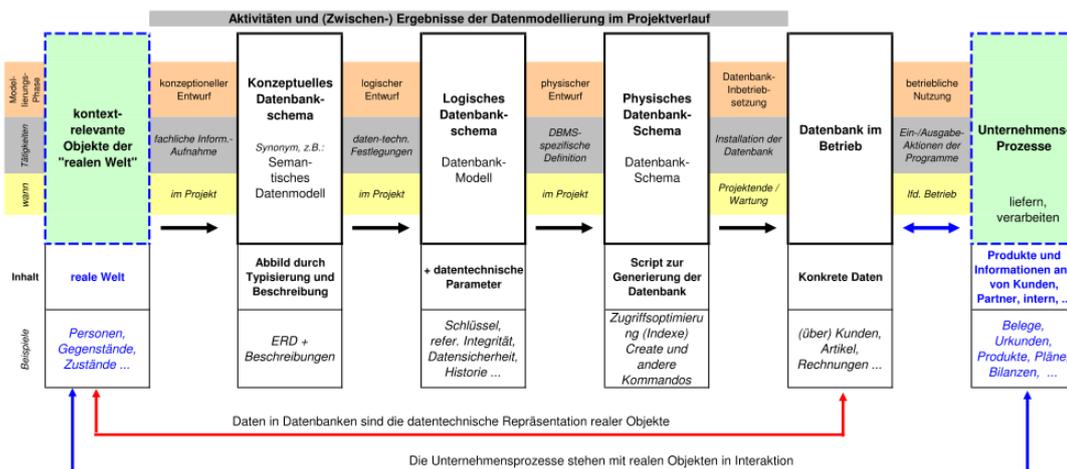


Abbildung 9: Entwicklungsschritte von der Realität zur Datenbank (Wikimedia Commons 2010, o. S.)

3.1.2 Konzeptuelle Datenmodelle

Da der Einsatz der zu entwickelnden Anwendung auf unterschiedlichen Plattformen möglich sein sollte, war das Ziel dieser Arbeit die Entwicklung eines von der jeweils eingesetzten Hard- und Software unabhängigen und damit konzeptionellen Datenmodells. Die weiteren zur Implementierung eines solchen Modells mittels eines konkreten DBMS nötigen Modellierungsschritte werden deshalb an dieser Stelle nicht näher erläutert. Weiterführende Informationen zur Entwicklung von

Datenbanken und den dazu eingesetzten weiteren Datenmodellen können entsprechender Fachliteratur entnommen werden.

Die Darstellung, die Bestandteile und die zur Entwicklung eines konzeptuellen Datenmodells nötigen Arbeitsschritte hängen stark vom Zweck des Datenmodells und der zur Modellierung verwendeten Methode ab. Als Quasi-Standard für den Entwurf und die Visualisierung konzeptueller Datenmodelle hat sich das von Peter Chen entwickelte „Entity-Relationship-Modell“ (ER-Modell) etabliert. Das ER-Modell ermöglicht es, komplexe Informationszusammenhänge mit Hilfe von Diagrammen und beschreibendem Text strukturiert und allgemein verständlich darzustellen. Die wichtigsten Komponenten sind dabei Objekte (englisch *Entities*), Attribute und Beziehungen (englisch *Relationships*). Die Darstellung dieser Komponenten ist abhängig von der gewählten Notationsform, ihre Bedeutung ist jedoch universell gleich.

Da die Entstehung eines konzeptionellen Modells eng mit der Definition der Hauptbestandteile eines ER-Diagramms verknüpft ist, werden diese beiden Themen nachfolgend gemeinsam erläutert. Ähnlich wie bei der Entwicklung einer Datenbank gibt es auch für das Entwerfen eines konzeptionellen Datenmodells kein allgemeingültiges Schema. Jarosch schlägt die folgenden vier Schritte vor (vgl. Jarosch 2010, S. 28 - 73):

3.1.2.1 Klassifizieren der Objekte

Abhängig vom abzubildenden Projekt kann es eine Vielzahl von Objekten (Personen, immaterielle und materielle Dinge) geben, über die Daten erfasst werden sollen. Diese verschiedenen Objekte (Entitäten) werden zu Objektarten (Entitätstypen) zusammengefasst. Dadurch kann die zu verarbeitende Informationsvielfalt reduziert werden, da statt aller individuellen Eigenschaften jedes einzelnen Objekts nur noch die für das Projekt wichtigen allgemeinen Eigenschaften betrachtet werden müssen, die alle Objekte einer Objektart gemeinsam haben. Für alle Entitäten eines Entitätstyps werden also die gleichen Merkmale gespeichert.

Trotz der unterschiedlichen Bedeutung wird im allgemeinen Sprachgebrauch häufig nicht zwischen Entitätstypen und Entitäten unterschieden. Um Missverständnisse zu vermeiden, wird deshalb im weiteren Verlauf dieses Dokuments nur noch von Objektarten und Objekten die Rede sein.

Objektarten werden in ER-Diagrammen durch rechteckige Kästen dargestellt. Sie sollten einen sprechenden Namen tragen, der innerhalb des Modells eindeutig sein muss. Verwendet wird in der Regel ein Nomen im Singular (siehe Abbildung 10).

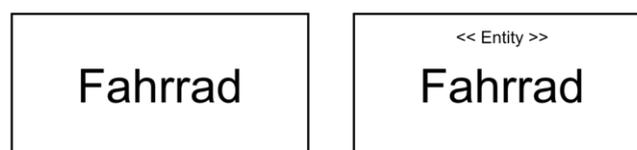


Abbildung 10: Entitätstyp in Chen- (links) und UML-Notation (rechts)

3.1.2.2 Abstrahieren der Eigenschaften

Im zweiten Schritt wird festgelegt, welche allgemeinen Merkmale für die Objekte der einzelnen Objektarten gespeichert werden sollen. Die bestehende Informationsvielfalt des betrachteten Ausschnitts der realen Welt wird also, wie bereits erläutert, auf einen einheitlichen Satz relevanter Eigenschaften reduziert. Voraussetzung, um einer Objektart ein Attribut zuweisen zu können ist, dass die zur Ermittlung des Attributwerts nötigen Daten für alle Objekte dieser Objektart verfügbar sind. Häufig ist es schwierig zu entscheiden, ob Informationen als eigenständige Objektart oder als Eigenschaft einer vorhandenen Objektart geführt werden sollen. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn für ein Attribut mehrere Attributwerte existieren können. Aus diesem Grund ist es wichtig, dass die mit der Datenmodellierung beschäftigten Personen den im Rahmen des Projekts abzubildenden Bereich genau kennen.

Geisler (vgl. Geisler 2005, S. 141 - 147) unterscheidet zwischen einfachen und aus mehreren Werten zusammengesetzten Attributen. Zum Beispiel lässt sich der Name einer Person in den Vor- und den Nachnamen aufteilen. Ob es sinnvoll ist, zusammengesetzte Attribute in das Modell aufzunehmen, oder ob diese aufgespalten werden müssen, ist vom Verwendungszweck des Datenmodells abhängig. Spätestens bei der Überführung des konzeptionellen Datenmodells in ein logisches Modell werden zusammengesetzte Attribute in der Regel im Rahmen der sogenannten Normalisierung in ihre Einzelteile aufgeteilt. Dies geschieht mit dem Ziel, Redundanzen und damit einhergehende Inkonsistenzen in einer (relationalen) Datenbank zu vermeiden.

Abgeleitete Attribute basieren auf den vorhandenen Werten anderer Attribute. Beispielsweise kann das Alter einer Person vom deren Geburtsdatum abgeleitet werden. Ähnlich wie bei den zusammengesetzten Eigenschaften kann es je nach Verwendungszweck sinnvoll oder hinderlich sein, abgeleitete Attribute in der Datenbank zu führen.

Welche Werte einem Attribut zugewiesen werden können, wird im konzeptionellen Modell mit Hilfe von Domänen geregelt. Eine Domäne ist eine Liste aller für eine Eigenschaft möglichen Werte, wobei mehrere Eigenschaften auf die gleiche Domäne zurückgreifen können.

Eigenschaften werden, wie in Abbildung 11 veranschaulicht, abhängig von der für die Darstellung eines ER-Diagramms gewählten Notation, als über Linien mit der Objektart verbundene Ovale, oder als Auflistung innerhalb des Kastens einer Objektart dargestellt. Die Namen der Eigenschaften einer Objektart müssen eindeutig sein, Eigenschaften unterschiedlicher Objektarten dürfen den gleichen Namen tragen.

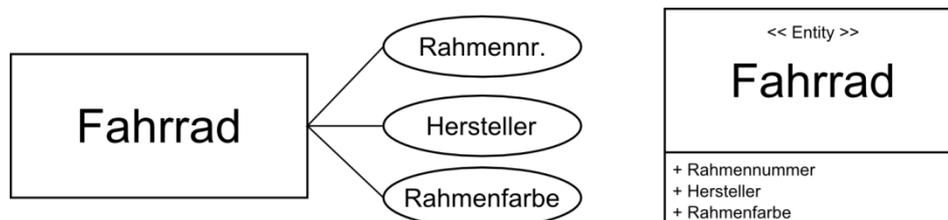


Abbildung 11: Entitätstyp mit Eigenschaften in Chen- (links) und UML-Notation (rechts)

3.1.2.3 Identifizieren der Schlüsselattribute

Innerhalb von (relationalen) Datenbanken müssen die vorhandenen Objekte eindeutig identifizierbar sein. Das heißt, jedes Objekt muss neben den es beschreibenden Eigenschaften auch mindestens eine identifizierende Eigenschaft besitzen, anhand derer eine zu jedem Zeitpunkt eindeutige Identifikation des Objekts möglich ist. Zu diesem Zweck können ein einziges Attribut oder eine Kombination mehrerer Attribute verwendet werden. Ist es mit Hilfe der vorhandenen Attribute nicht möglich, ein Objekt eindeutig zu identifizieren oder ist die Identifikation über eine Merkmalskombination zu aufwändig, kann eine künstliche Eigenschaft geschaffen werden. Solche „organisatorischen Eigenschaften“ (Jarosch 2010, S. 40) werden in Datenmodellen und den daraus entstehenden Datenbanken sehr häufig verwendet. Allgemein bekannte Beispiele für solche Attribute sind Kundennummern, Vorgangsnummern, Artikelnummern, Steuernummern, Hausnummern usw.

Identifizierende Eigenschaften, oft auch als „Schlüsselattribute“ oder „Primärschlüssel“ bezeichnet, werden in ER-Diagrammen durch Unterstreichung gekennzeichnet (siehe Abbildung 12).

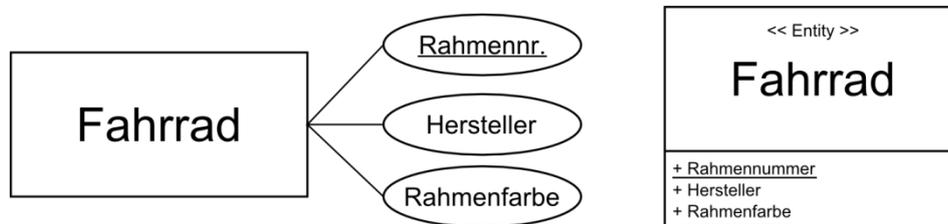


Abbildung 12: Entitätstyp mit Primärschlüssel in Chen- (links) und UML-Notation (rechts)

3.1.2.4 Abbilden der Beziehungen

Die im Rahmen eines Projekts betrachteten Objekte können in unterschiedlichster Weise miteinander in Verbindung stehen. Im Datenmodell müssen deshalb auch die im Kontext des Projekts wichtigen Verknüpfungen der verschiedenen Objekte abgebildet werden. Dazu werden die zwischen konkreten Objekten bestehenden Beziehungen zu Beziehungstypen verallgemeinert. Diese Beziehungstypen stehen stellvertretend für alle relevanten Objekt-Beziehungen und müssen deshalb für alle Objekte der über sie verknüpften Objektarten zutreffend sein.

Bei der Untersuchung eines Beziehungstyps muss beachtet werden, dass dessen Eigenschaften stets von der betrachteten Richtung abhängig sind. Nur wenn beide Richtungen eines Beziehungstyps berücksichtigt werden, können korrekte Aussagen über die Art der Beziehung getroffen werden. Die Beziehungsart, auch „Kardinalität“ genannt, beschreibt das Verhältnis der in Verbindung stehenden Objekte. Die folgenden Beziehungsarten sind möglich:

- **1:1-Beziehung**

Jedes Objekt der auf der linken Seite des Beziehungstyps stehenden Objektart steht mit genau einem Objekt der auf der rechten Seite des Beziehungstyps stehenden Objektart in Verbindung.

Jedes Objekt der auf der rechten Seite des Beziehungstyps stehenden Objektart steht mit genau einem Objekt der auf der linken Seite des Beziehungstyps stehenden Objektart in Verbindung.

- **1:N-Beziehung**

Jedes Objekt der auf der linken Seite des Beziehungstyps stehenden Objektart steht mit mehreren Objekten der auf der rechten Seite des Beziehungstyps stehenden Objektart in Verbindung.

Jedes Objekt der auf der rechten Seite des Beziehungstyps stehenden Objektart steht mit einem Objekt der auf der linken Seite des Beziehungstyps stehenden Objektart in Verbindung.

- **N:M-Beziehung**

Jedes Objekt der auf der linken Seite des Beziehungstyps stehenden Objektart steht mit mehreren Objekten der auf der rechten Seite des Beziehungstyps stehenden Objektart in Verbindung.

Jedes Objekt der auf der rechten Seite des Beziehungstyps stehenden Objektart steht mit mehreren Objekten der auf der linken Seite des Beziehungstyps stehenden Objektart in Verbindung.

Da die alleinige Angabe der Kardinalität in den meisten Fällen nicht ausreichend genau ist, kann diese bei Bedarf durch die Festlegung von exakten Ober- und Untergrenzen erweitert werden. Auf diese Weise kann beispielsweise definiert werden, dass die Objekte einer an einer 1:N-Beziehung beteiligten Objektart mit mindestens drei und höchstens fünf Objekten der anderen Objektart verbunden sein müssen bzw. dürfen.

In Beziehung stehende Objektarten werden in ER-Diagrammen in der Regel durch eine Linie verbunden, der ein beschreibendes Verb zugeordnet ist. Die Kardinalität und die angegebenen Ober- und Untergrenzen werden je nach Notationsform durch Symbole oder Buchstaben und Zahlen angegeben (siehe Abbildung 13).

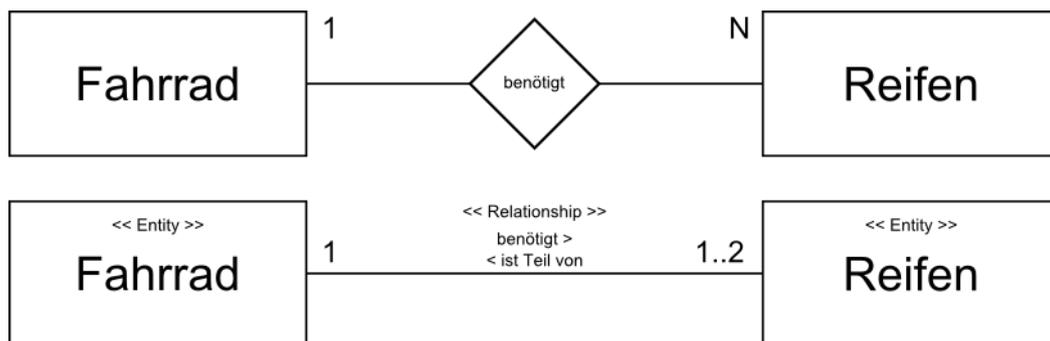


Abbildung 13: Beziehungen in Chen- (oben) und UML-Notation (unten)

3.2 Beschreibung des ursprünglichen Datenmodells

3.2.1 Bestandteile des Datenmodells

Wie bereits in der Einleitung dieses Kapitels erwähnt, war der erste Schritt zur Einführung einer zentralen Radverkehrsdatenbank der Entwurf eines geeigneten Datenmodells. Bei der Erarbeitung dieses Modells sollten insbesondere die Wünsche und Anregungen der bei den Stadt- und Landkreisen mit der Datenerfassung betrauten Stellen berücksichtigt werden. Darüber hinaus waren

auch gewisse Anforderungen der anderen am Projekt beteiligten Institutionen zu erfüllen. Für eine mögliche Übernahme der Radstrecken in das vom LGL geplante TFIS müssen die entsprechenden Daten beispielweise ATKIS-konform vorliegen. Um eine von einem gemeinsamen Ausgangspunkt ausgehende Diskussion aller Projektpartner zu ermöglichen, wurden deshalb zuerst die elementaren Bestandteile des zu schaffenden Radverkehrsnetzes definiert. Neben einer textuellen Beschreibung dieser Elemente wurden die zwischen diesen bestehenden Beziehungen mit Hilfe einer Grafik veranschaulicht (vgl. NVBW/LUBW, S. 7).

Basierend auf den aus der gemeinsamen Diskussion hervorgehenden Vorschlägen, entwarf der Arbeitskreis GIS des Landkreistages in Zusammenarbeit mit der Datenzentrale Baden-Württemberg die formale Beschreibung der Objektart „Radroutennetzabschnitt“. Diese Objektart wurde zusammen mit den beiden ebenfalls vom Arbeitskreis GIS beschlossenen Objektarten „Radverkehrszone“ und „Radverkehrsentwicklungsachse“ in den RIPS-OK aufgenommen. In diesem standardisierten Objektartenkatalog werden unter anderem die vom Städte- und Landkreistag beschlossenen kommunalen Objektarten mit landesweiter Bedeutung geführt. Als Entwurfsvorlage für die Beschreibung der Objektarten des RIPS-OKs dient das Schema des Objektartenkatalogs des „Informationssystems Wasser, Immissionsschutz, Boden, Abfall, Arbeitsschutz“ (WIBAS), dessen landesweit übergreifend genutzte Objektarten wiederum Teil des RIPS-OKs sind.

Als Bestandteile des ursprünglichen konzeptionellen Datenmodells können also die textuelle Beschreibung der Objektarten und das dazugehörige Schaubild, sowie die Beschreibung der Objektart Radroutennetzabschnitt betrachtet werden. Aufgrund der unterschiedlichen Umstände bei der Entstehung dieser Elemente wurde offenbar keine der gängigen standardisierten Entwurfsmethoden angewandt. Die Bestandteile des resultierenden Datenmodells sind jedoch mit denen eines ER-Modells vergleichbar. Bei der Analyse des Datenmodells kann man sich also an den bereits erläuterten Arbeitsschritten zur Entwicklung eines ER-Modells orientieren.

3.2.2 Definition der Objektarten

Die im Kontext der Routenplanung für das Thema Radverkehr relevanten unterschiedlichen Arten von Radwegen, Tourenvorschlägen, ausgewiesenen Radrouten und ortsbezogenen Informationen wurden zu den folgendermaßen definierten Objektarten zusammengefasst (vgl. Müller 2011b, S. 5 f.; NVBW/LUBW 2011, S. 6 f.):

- Die kleinste Einheit und damit das Grundelement aller Radwege sind Radstrecken. Diese sind an Abzweigungen über Netzknoten verbunden und schließen ohne Lücken aneinander.
- Routen setzen sich aus Radstrecken zusammen und haben eine spezielle Bedeutung oder Widmung wie beispielsweise die Fern- und Landesradwege oder eine denkbare Museumsroute.
- Touren werden in der Regel von bestimmten Nutzergruppen als Verbindungswege zwischen definierten Start- und Zielpunkten vorgeschlagen. Sie können mit Hilfe von Fotos, Text, (Höhen-)Profilen und Angaben zu interessanten Wegpunkten beschrieben werden.

- POIs sind Punkte auf einer Karte, die für bestimmte Benutzergruppen von besonderer Bedeutung sind. Die für das landesweite Radverkehrsnetz zu erhebenden POIs sollen im Bezug zum Radverkehr stehen und dementsprechend in der Nähe der erfassten Radstrecken liegen. Zusätzlich können POIs zur Verortung von weiteren radverkehrsrelevanten Dingen wie Wegweisern und Gefahrenstellen dienen.
- Als Radverkehrsnetz wird ein strukturiertes Netz aus über Knoten verbundenen Radstrecken bezeichnet. Dieses soll für die Zwecke des Radroutenplaners als routingfähiges Netz angelegt werden.

3.2.3 Darstellung der Beziehungen

Die zwischen diesen Objektarten bestehenden Beziehungen, die sich zum Teil bereits aus den schriftlichen Definitionen entnehmen lassen, wurden mit Hilfe des unten stehenden Schaubilds (Abbildung 14) veranschaulicht. Darin werden die Verbindungen jedoch nur grafisch dargestellt und nicht durch verallgemeinerte Beziehungstypen beschreiben, wie es beispielsweise in ER-Diagrammen der Fall ist. Funktion, Art und möglicherweise vorgegebene Ober- und Untergrenzen der vorhandenen Beziehungen sind deshalb für den Betrachter nicht ersichtlich.

In der Beschreibung der Objektart Radroutennetzabschnitt wird fälschlicherweise auf eine 1:N-Beziehung zwischen Radstrecken und Routen hingewiesen. Des Weiteren soll durch eine dort festgelegte Eigenschaft eine 1:N-Beziehung zwischen Radstrecken und TFIS-Elementen gepflegt werden können.

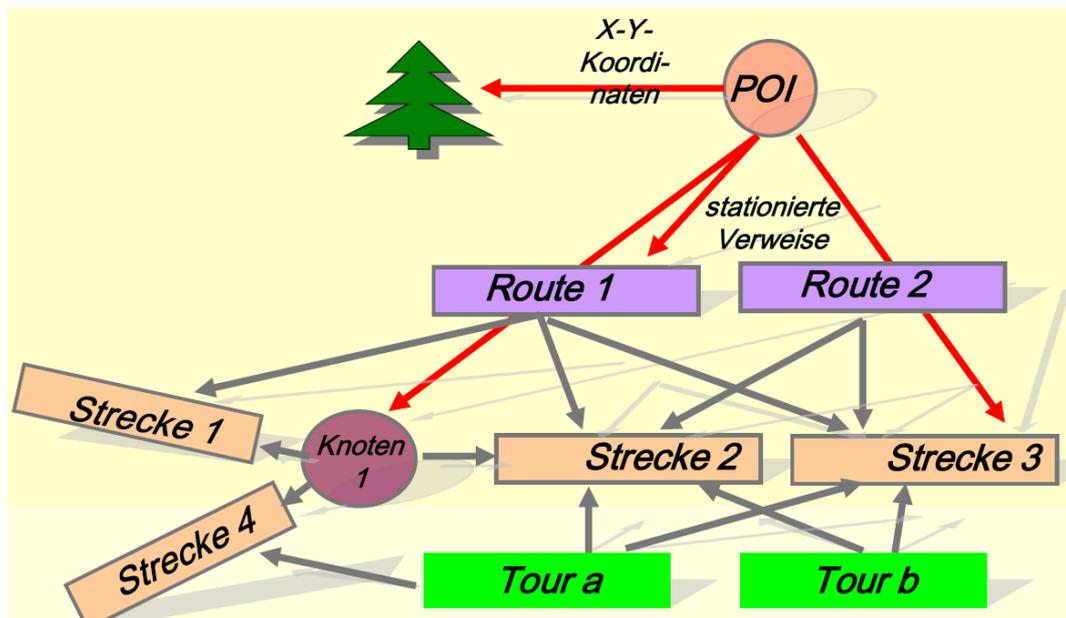


Abbildung 14: Schaubild der im ursprünglichen Datenmodell enthaltenen Objektarten (Müller 2011b, S. 5)

3.2.4 Festlegung der Eigenschaften

Welche Merkmale der definierten Objektarten erfasst werden sollen, wurde lediglich für die Objektart Radroutennetzabschnitt festgelegt. Die zu berücksichtigenden Eigenschaften und die möglichen Eigenschaftswerte dieser Objektart wurden, wie bereits erwähnt, vom AK GIS des Landkreistages festgelegt und in Zusammenarbeit mit der Datenzentrale Baden-Württemberg in stan-

dardisierter Form dokumentiert. Routen, Touren, POIs und dem Radverkehrsnetz wurde zum damaligen Zeitpunkt offenbar keine vordergründige Bedeutung beigemessen, für sie wurden keine detaillierten Beschreibungen erarbeitet.

Zum Zeitpunkt der Untersuchung des Datenmodells lag die Dokumentation der Objektart Radroutennetzabschnitt in der Version 1.3.0 mit Stand vom 11.07.2011 vor. In dem Dokument werden vier verpflichtend und 15 freiwillig zu erfassende Attribute aufgelistet, die in drei verschiedene Nutzungsstufen eingeteilt sind. Demnach dürfen Attributwerte unbeschränkt (Stufe 1) oder auf die öffentliche Verwaltung begrenzt (Stufe 2) veröffentlicht werden. In Einzelfällen kann der Zugriff auf gespeicherte Werte auch darüber hinaus eingeschränkt werden (Stufe 7), so dass nur bestimmte Benutzer die jeweiligen Attributwerte einsehen dürfen. Neben der Merkmalskategorie und der Nutzungsstufe werden in einer Tabelle für jede Eigenschaft unter anderem eine Nummer, eine datenbankgerechte Kurzbezeichnung, der Name der Eigenschaft, sowie in manchen Fällen eine kurze Erläuterung und eine Liste der möglichen Attributwerte aufgeführt (siehe Tabelle 1 auf Seite 41).

Tabelle 1: In der Beschreibung der Objektart "Radroutennetzabschnitt" aufgeführte Merkmale

Nr.	Kurzbezeichnung	Langbezeichnung	Merkmalskat.	Nutzungsstufe
Geometriedaten				
1	LINestring	Darstellung eines Abschnitts im Radroutennetz auf Grundlage Basis-DLM	P	1
Sachdaten				
2	OBJECT_ID	Adress-Identifikationsnummer mit Dienststellenschlüssel (vom System vergeben)	P	1
3	ROUTEN_ART	Routenart (vorgegebene Werteliste)	P	1
4	ROUTENNAME	Routenname (1:N-Beziehung)	P	1
5	WEG_ART	Wegart (vorgegebene Werteliste)	A	1
6	WEG_QUALIT	Wegqualität (vorgegebene Werteliste)	A	1
7	WEG_BREITE	Wegbreite (vorgegebene Werteliste)	A	1
8	FAHRTRICHT	Fahrtrichtung (vorgegebene Werteliste)	A	1
9	KFZ_ANZ	KFZ-Anzahl in Spitzenstunden	A	2
10	RAD_ANZ	Radfahrer-Anzahl in Spitzenstunden	A	2
11	FUSS_ANZ	Fußgänger-Anzahl in Spitzenstunden	A	2
12	BAULASTTRA	Straßenbaulastträger des Wegabschnitts (inkl. Adresse)	A	2
13	VEREINBAR	URL zu einer eventuell vorhandenen Vereinbarung zum Radroutenabschnitt	A	7
14	FOERDERUNG	Durch welche Fördermaßnahme der Abschnitt gefördert wurde	A	7
15	BERMERKUNG	Bemerkung (freier Text)	A	7
16	ABSCH_BILD	URL zum Abschnittsbild	A	1
17	DST_NR	Datenführende Stelle Dienststellenschlüssel der datenführenden Stelle (vom System vergeben)	A	1
18	LAND_RVN	Landesradverkehrsnetz (vorgegebene Werteliste)	A	1
19	Zeigt auf externes Attribut TFIS-Wegabschnitt	ID der TFIS-Wegabschnitte (1:N-Beziehung mit IDs)	A	

3.3 Analyse des ursprünglichen Datenmodells

3.3.1 Die Anforderungen an das Datenmodell

Um Qualität des vorgestellten Modells untersuchen zu können, mussten zuerst die Anforderungen ermittelt werden, die im Rahmen des Projekts zur Schaffung des landesweiten Radverkehrsnetzes an das konzeptionelle Datenmodell gestellt wurden. Zu diesem Zweck wurde die bereits angesprochene Konzeptvorstellung (vgl. NVBW/LUBW 2011, S. 4 - 7) hinsichtlich der darin definierten Projektziele analysiert. Ergebnis dieser Analyse waren die folgenden allgemeinen Vorgaben bezüglich des landesweiten Radverkehrsnetzes:

- Das landesweite Radverkehrsnetz soll alle Radverkehrsnetze der Gemeinden, Städte, Kreise sowie das des Landes umfassen und in Haupt- und nachgeordnete Verbindungen gliedert sein. Dabei soll es die Strecken des Freizeit- und des Alltagsradverkehrs abdecken. Ziel ist es, ein flächendeckendes Netz mit sicheren, bequemen, attraktiven und direkten Wegen anbieten zu können.
- Die Streckendaten sollen durch lokale Institutionen in einem einheitlichen System erfasst und fortlaufend aktualisiert werden. Dafür sollen die Daten zentral vorgehalten werden und sowohl zentral über das Web-GIS, als auch dezentral durch vor Ort vorhandene Software gepflegt werden können.
- Das zu schaffende Radverkehrsnetz soll topologisch strukturiert und routingfähig sein. Es soll als Grundlage des Radroutenplaners und zur Unterstützung der Arbeit der Baulastträger und anderer Stellen dienen können. Um dem Landesgeodatenzugangsgesetz Rechnung zu tragen, sollen interessierte Nutzer die Daten über eine Exportfunktion abrufen können. Des Weiteren sind die Daten so zu führen, dass sie in das vom LGL geplante TFIS übernommen werden können.

Aus diesen allgemeinen projektbezogenen Vorgaben wurden in einem weiteren Schritt die spezifischen Anforderungen an das konzeptionelle Datenmodell abgeleitet:

- Die Belange von Freizeit- und Alltagsradverkehr und die spezifischen Eigenschaften der auf Ebene der Kommunen, Kreise und des Landes vorhandenen Radverkehrsnetze müssen berücksichtigt werden.
- Eine für das gesamte Netz einheitliche Datenqualität muss unabhängig von der zur Datenpflege verwendeten Methode gewährleistet werden können. Dazu muss die durch das Datenmodell vorgegebene Objektstruktur durch die gängigen Datenformate abgebildet und in verschiedenen Geoinformationssystemen genutzt werden können.
- Die zu erfassenden Eigenschaften müssen für alle im Datenmodell berücksichtigten Objektarten verbindlich vorgegeben werden.

- Neben den Belangen der Fahrradfahrer müssen auch die unterschiedlichen Anforderungen der vorgesehenen Verwendungszwecke (Routing, Dokumentation, Planung etc.) berücksichtigt werden. Insbesondere die Routingfähigkeit der Daten muss durch vorgegebene Qualitätskriterien sichergestellt werden können. Darüber hinaus muss die für die Nutzung im Radroutenplaner und die Übernahme ins TFIS erforderliche ATKIS-Konformität der Streckengeometrien berücksichtigt werden.
- Es muss möglich sein, die gespeicherten Objektmerkmale unterschiedlichen Nutzergruppen abhängig von deren Berechtigungen zur Verfügung zu stellen.

Unabhängig von diesen inhaltlichen Kriterien, sollte das Datenmodell auch gewissen formalen Ansprüchen genügen, da aufgrund der zahlreichen am Projekt beteiligten Stellen große Unterschiede hinsichtlich des technischen und organisatorischen Fachwissens vorhanden waren. Durch eindeutige Definitionen, eine allgemein verständliche Darstellung und ausführliche schriftliche Erläuterungen sollte – als Grundlage für eine erfolgreiche Kommunikation aller Beteiligten – ein einheitliches Verständnis geschaffen werden.

3.3.2 Untersuchung des Datenmodells

Basierend auf den im vorherigen Abschnitt formulierten Anforderungen wurde das vorhandene Datenmodell hinsichtlich seiner Eignung für die Zwecke des landesweiten Radverkehrsnetzes untersucht. Dafür wurden die Inhalte der oben aufgeführten Modellbestandteile ausgewertet und miteinander verglichen, um Ungenauigkeiten und Abweichungen aufdecken zu können. Anschließend wurden die in den verschiedenen Bestandteilen dokumentierten Informationen mit den an das Datenmodell gestellten Anforderungen abgeglichen. Die dadurch ermittelten inhaltlichen und formalen Schwächen des konzeptionellen Datenmodells werden in diesem Abschnitt erläutert.

3.3.2.1 Auswertung der Bestandteile

Die schriftliche Definition der Objektarten des Datenmodells liegt nur als unvollständiger Entwurf vor, in dem Funktion und Zusammenhang der einzelnen Objektarten nicht ausreichend genau beschrieben werden. Beispielsweise geht weder aus der Definition noch aus dem zugehörigen Schaubild oder der Beschreibung der Objektart Radroutennetzabschnitte genau hervor, welche Objekte der realen Welt von Radstrecken repräsentiert werden. Für die mit der Erfassung und Pflege der Daten betrauten Mitarbeiter der Stadt- und Landkreise ist somit nicht ersichtlich, ob sie nur ausgewiesene Radwege, touristisch beschilderte Strecken oder gar alle Straßen, auf denen das Radfahren erlaubt ist, erfassen sollen.

Des Weiteren bleibt trotz des erläuternden Diagramms teilweise unklar, welche Rolle die einzelnen Objektarten im zugrundeliegenden Knoten-Kanten-Modell spielen. Zwar können die wichtigsten Eigenschaften der meisten Objektbeziehungen mit Hilfe der schriftlichen Definitionen ermittelt werden, auf Grund der lediglich grafisch ausgeführten Darstellung der vorhandenen Beziehungen können jedoch nicht alle Unklarheiten ausgeräumt werden. So ist unter anderem nicht eindeutig ersichtlich, ob Touren über eigene Geometrien verfügen oder ob sie sich, ähnlich wie Routen, auf die Geometrien der vorhandenen Radstrecken beziehen. Die Darstellung im Schaubild legt zwar nahe, dass sich Touren in dieser Hinsicht wie Routen verhalten, die Verknüpfung von Touren und Strecken könnte sich jedoch auch auf andere gemeinsame Eigenschaften beziehen. Ähnlich verhält es sich bei der Darstellung von Radstrecken. Der Zeichnung zufolge können diese

an Kreuzungspunkten über gemeinsame Knoten mit anderen Radstrecken verbunden werden. Zwischen den benachbarten Strecken 2 und 3 scheint jedoch keine Verbindung zu bestehen, obwohl beiden Strecken Teil derselben Routen sind.

Routen, Touren, Radverkehrsnetze und POIs werden zwar teilweise in ihrer Funktion beschrieben und können als Objektarten interpretiert werden, welche Objekteigenschaften erfasst werden sollen wurde jedoch nur für die als Radroutennetzabschnitte bezeichneten Radstrecken festgelegt. Um neben Radstrecken auch die anderen Objektarten in einem einheitlichen System führen zu können, müssen auch deren Eigenschaften verbindlich vorgegeben, erläutert und dokumentiert werden. Zumal aus der Beschreibung der Objektart Radroutennetzabschnitt hervorgeht, dass Angaben zu Routen als Attribute von Radstrecken erfasst werden sollen, was nicht mit den Aussagen der schriftlichen Definitionen und der Darstellung im vorhandenen Schaubild übereinstimmt (siehe Abschnitt 3.3.2.2).

Neben dieser Abweichung von den anderen Bestandteilen des Datenmodells enthält die vom Arbeitskreis GIS beschlossene Objektartenbeschreibung noch einige weitere Mängel. So sind in der gewählten Bezeichnung Radroutennetzabschnitt die Namen der beiden anderen Objektarten Route und Radverkehrsnetz (teilweise) enthalten, was bei Nutzern, die nicht mit den Details des Projekts vertraut sind, schnell zu einer gewissen Verwirrung führen kann. Die vorgegebenen Wertelisten sind teilweise unvollständig und orientieren sich zu stark an den rein touristischen Inhalten des geplanten TFIS. Für die vorgesehene – über die Zwecke des Radroutenplaners hinausgehende – Nutzung des Systems zur einheitlichen Dokumentation der vorhandenen Radverkehrsnetze, müssen deutlich detailliertere Angaben möglich sein. Außerdem fehlt eine Erläuterung der vorhandenen Attribute und der möglichen Attributwerte, was ein landesweit einheitliches Vorgehen zusätzlich erschwert.

Abgesehen von diesen Problemen, gibt es noch einige kleinere Ungereimtheiten. Beispielweise ist die Angabe der datenführenden Stelle mit Hilfe eines eigenen Attributs unnötig, da der dazu vorgesehene Dienststellenschlüssel laut Beschreibung bereits in der Objekt-ID enthalten sein soll. Auch auf die Eingabe der Adresse eines Baulastträgers könnte verzichtet werden, da diese bei Bedarf problemlos über das Internet recherchiert werden kann. Um die Adresse im Einklang mit den Normalisierungsregeln führen zu können, die bei der Erstellung einer (relationalen) Datenbank zu beachten sind, müsste diese ansonsten in ihre elementaren Bestandteile (Ort, Postleitzahl, Straße) zerteilt und als eigenständige Objektart geführt werden. Es bleibt zudem unklar, wie der vorgesehene Zeiger auf externe TFIS-Strecken realisiert werden könnte und was eine solche Verknüpfung bezwecken soll. Die Länge der URLs zu den auf den Servern der Landrats- und Bürgermeisterämter gespeicherten Vereinbarungen und Abschnittsbildern auf lediglich 250 Zeichen zu begrenzen ist riskant, da die mit der Erfassung der Radverkehrsdaten betrauten Mitarbeiter dieser Ämter in der Regel keinen Einfluss auf den genauen Ablageort der Daten haben.

3.3.2.2 Vergleich mit den gestellten Anforderungen

Mit der Konzeption des landesweiten Radverkehrsnetzes als routingfähiges Knoten-Kanten-Modell und den möglichen Angaben zu Wegart, Wegqualität und erlaubter Fahrtrichtung, werden im vorhandenen Datenmodell bereits einige wichtige Belange des Alltags- und Freizeitradverkehrs berücksichtigt. Um aber tatsächlich alltagstaugliche Routingergebnisse erzielen und umfassend über vorhandene Freizeitangebote informieren zu können, müssen zusätzliche Informationen erhoben werden. Das betrifft zum einen weitere radverkehrsrelevante Eigenschaften von Stre-

cken, beispielsweise deren Länge und Steigung und zum anderen beschreibende Merkmale der anderen Objektarten. Für Touren, Radverkehrsnetze und POIs werden im Datenmodell überhaupt keine zu erfassenden Eigenschaften definiert, für Routen soll der Name gespeichert werden. Um alle Elemente sinnvoll in das Knoten-Kanten-Modell integrieren zu können, müssen also auch für diese Objektarten einheitliche Vorgaben bezüglich der zu erfassenden Attribute geschaffen werden.

Um die spezifischen Eigenschaften der von Kreisen und Kommunen gepflegten Radverkehrsnetze berücksichtigen zu können, müsste das Datenmodell so aufgebaut sein, dass es bei Bedarf problemlos um weitere Objektarten, Merkmale und Beziehungen erweitert werden könnte. Dadurch wäre es für die jeweiligen Stellen möglich, mit Hilfe ihrer vorhandenen Werkzeuge innerhalb eines Systems alle für ihre Aufgaben relevanten Radverkehrsdaten zu erfassen. Der für das landesweite Radverkehrsnetz relevante Teil dieser Daten könnte anschließend ohne zusätzlichen Arbeitsaufwand automatisiert an das zentrale System abgegeben werden. Aufgrund der eingeschränkten und nicht standardkonformen Dokumentation des Datenmodells ist die individuelle Anpassung jedoch mit hohem Aufwand verbunden. Eine ausführlichere Erläuterung der Objekte und Merkmale und eine strukturierte Darstellung dieser, beispielsweise mit Hilfe eines ER-Diagramms, würden den benötigten Aufwand deutlich verringern und eine bedarfsgerechte Weiterentwicklung des Datenmodells ermöglichen.

Eine homogene Datenqualität kann nur durch eine landesweit einheitliche Vorgehensweise bei der Erfassung und Pflege der zu erhebenden Radverkehrsdaten erreicht werden. In der momentanen Form des Datenmodells bleibt die Auslegung vieler Angaben jedoch der Interpretation des Lesers überlassen, wodurch ein einheitliches Vorgehen verhindert wird. Um eine identische Arbeitsweise aller beteiligten Stellen zu ermöglichen, müssten die bestehenden Definitionen und Erläuterungen so angepasst werden, dass alle Qualitätsanforderungen an die Daten und den Prozess der Datenerfassung explizit daraus hervorgehen.

Routen sollen der Beschreibung der Objektart Radroutennetzabschnitt zufolge nicht als eigenständige Objektart, sondern durch die Angabe ihres Namens als Eigenschaft einer Strecke abgebildet werden. Diese Festlegung widerspricht in gewisser Weise den durch die schriftliche Definition und das Schaubild getroffenen Aussagen, wonach sich eine Route aus Strecken zusammensetzt und eine Strecke zu mehreren Routen gehören kann. Diese N:M-Beziehung wird in der Beschreibung zu einer 1:N-Beziehung reduziert, indem zu jeder Strecke die Namen der Routen gespeichert werden sollen, die diese Strecke beinhalten. Diese Vereinfachung ist aus mehreren Gründen problematisch. So ist zwar bekannt, zu welchen Routen eine Strecke gehört, es ist aber nicht ohne weiteres möglich, herauszufinden aus welchen Strecken sich eine Route zusammensetzt. Zur Bearbeitung und Visualisierung von einzelnen Routen müssen immer erst mehrere umständliche Abfragen auf den gesamten Streckenbestand durchgeführt werden. Um beispielsweise den Namen einer Route zu ändern, müssen zuerst alle Radstrecken ermittelt werden, die Teil dieser Route sind. Anschließend muss der Routenname in jedem einzelnen dieser Strecken-Objekte geändert werden. Neben dem großen Aufwand, den diese Vorgehensweise mit sich bringt, birgt sie zudem ein hohes Fehlerpotential, da schon ein einziger Tippfehler bei der Änderung des Routennamens den Verlauf der Route unterbrechen würde. Darüber hinaus kann so nicht zwischen verschiedenen Routen mit dem gleichen Namen unterschieden werden, was bei der Darstellung und Bearbeitung zu erheblichen Schwierigkeiten führen kann.

Ein weit größeres Problem stellt jedoch die Tatsache dar, dass es in einer relationalen Datenstruktur nicht ohne weiteres möglich ist, die im Datenmodell beschriebene Beziehung umzusetzen. N:M-Beziehungen können in relationalen Strukturen nur durch die Umwandlung in mehrere 1:N-Beziehungen abgebildet werden. Die resultierenden 1:N-Beziehungen können jedoch nicht, wie für die Objektart Radroutennetzabschnitt festgelegt, über die Eigenschaften von Objekten abgebildet werden. Jede Objekteigenschaft wird durch ein Feld in einer Tabellenzeile repräsentiert, somit kann für jede Eigenschaft nur ein Wert gespeichert werden. Da die im Geoinformationsbereich gängigen Datenformate zum Großteil auf relationalen Datenstrukturen basieren – beispielsweise das Shape-Format von ESRI, welches seit einigen Jahren den Industriestandard darstellt – kann die im Datenmodell definierte Objektstruktur mit diesen Formaten nicht abgebildet werden. Um das Datenmodell also überhaupt nutzen zu können, muss es an dieser Stelle angepasst werden, zum Beispiel durch die Führung von Routen als eigenständige Objektart.

Wie bereits bei der Auswertung der Bestandteile des konzeptionellen Datenmodells erläutert, beinhaltet das Modell keine Vorgaben für die Erfassung von Merkmalen der Objektarten Route, Tour, Radverkehrsnetz und POI. Dies entspricht nicht den in der Konzeptvorstellung (vgl. NVBW/LUBW 2011, S. 4 - 7) aufgeführten und in Abschnitt 3.3.1 dargestellten Anforderungen an das Datenmodell des landesweiten Radverkehrsnetzes. Zur Verbesserung des Modells müssen deshalb einheitliche Beschreibungen aller Objektarten erarbeitet werden, in denen ähnlich wie in der Beschreibung der Objektart Radroutennetzabschnitt alle zu erfassenden Eigenschaften der Objektarten aufgeführt werden.

Für die Routenplanung kann neben der reinen Streckengeometrie auf die Attribute Wegart, Wegqualität und Routenart sowie auf die erlaubte Fahrtrichtung zurückgegriffen werden. Sind diese Angaben korrekt und flächendeckend vorhanden, können damit grundsätzlich geeignete Fahrradrouten ermittelt werden. Um mit dem Radroutenplaner jedoch zuverlässige, benutzerspezifische und alltagstaugliche Ergebnisse erzielen zu können, sollten sowohl die Anzahl der zu erfassenden routingrelevanten Eigenschaften als auch die der möglichen Eigenschaftswerte umfangreicher sein. Ohne die Angabe der Streckenlänge kann zum Beispiel die kürzest mögliche Verbindung zwischen zwei Punkten nicht ermittelt werden. Zudem können mit den für die Angabe der erlaubten Fahrtrichtung vorgesehenen zwei Attributwerten nicht alle Möglichkeiten (in Digitalisierungsrichtung, gegen Digitalisierungsrichtung, in beide Richtungen) abgedeckt werden, was zu falschen Routingergebnissen führt. Vermutlich sollte hier nur im Falle einer eingeschränkten Befahrbarkeit ein Wert gesetzt werden. Bei dieser Vorgehensweise kann jedoch nicht mehr zwischen bewusst nicht vergebenen (weil unbekannt) und bei der Attributierung bislang nicht berücksichtigten Attributwerten unterschieden werden.

Ähnlich wie bei der Routenplanung können mit den vorhandenen Eigenschaften wie Wegqualität und -breite, Fördermöglichkeiten, Vereinbarungen usw. einige grundlegende Dokumentations- und Planungsaufgaben abgedeckt werden. Damit die auf Grundlage des Datenmodells entstehende Datenbank aber wie vorgesehen zur Unterstützung der Arbeit der Baulastträger dienen kann, müssen zusätzliche Attribute und Attributwerte in das Modell aufgenommen werden. Zudem wären auch für diese Zwecke eine standardisierte Dokumentation und eine erweiterbare Datenstruktur wichtig, um das Datenmodell problemlos an die individuellen Bedürfnisse der einzelnen Beteiligten anpassen zu können.

Zwar werden für die Objektart Radroutennetzabschnitt einige Angaben zu den als Erfassungsgrundlage zu verwendenden Geobasisdaten und der bei der Datenerfassung zu erzielenden metrischen Genauigkeit (ca. +/- 3 Meter) gemacht, topologische Regeln für die Sicherstellung der Routingfähigkeit des Radverkehrsnetzes werden im Datenmodell jedoch nicht aufgestellt. Ohne solche Regeln ist es bei der zu erwartenden Datenmenge jedoch nahezu unmöglich, alle eventuell im Netz vorhandenen Fehler zu identifizieren und zu beheben. Aus diesem Grund sollten unbedingt topologische Regeln aufgestellt und in das Modell integriert werden.

Für die Übernahme der Radstrecken ins TFIS und in den online Radroutenplaner ist eine grundsätzlich ATKIS-konforme Führung der Streckengeometrien unabdingbar. Insbesondere im innerstädtischen Bereich gibt es jedoch häufig Fälle, in denen Radstrecken nicht aufs Basis-DLM bezogen werden können. Im Datenmodell wird zwar festgelegt, dass Strecken auf „Grundlage des Basis-DLM“ (DZBW 2011, S. 1) erfasst werden sollen, für den Fall, dass dies nicht möglich ist, werden jedoch keinerlei Alternativen beschrieben. Auch hier muss das Modell um zusätzliche Informationen erweitert werden, die ein einheitliches Vorgehen bei der Digitalisierung von Radstrecken ermöglichen und gewährleisten.

Durch die im vorhandenen Datenmodell vorgesehene Kategorisierung in für verschiedene Nutzergruppen zugängliche Daten wird gewährleistet, dass zwischen verwaltungsinternen und öffentlich zugänglichen Daten unterschieden werden kann. Die entsprechend gekennzeichneten Daten können dadurch – vorbehaltlich der Klärung lizenzrechtlicher Fragen – an interessierte Nutzer außerhalb der Verwaltung abgegeben werden.

3.3.2.3 Auswertung der Untersuchungsergebnisse

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die mangelhafte Beschreibung der Inhalte einer der größten Schwachpunkte der untersuchten Version des bestehenden Datenmodells ist. Die im Modell enthaltenen Objekte und deren Beziehungen werden nicht alle exakt und vollständig definiert. Insbesondere die zwischen den eingeführten Objektarten bestehenden Beziehungen werden nur unzureichend erläutert, weshalb auch die Veranschaulichung der Sachverhalte mit Hilfe eines Schaubilds nicht alle offenen Fragen klärt. Problematisch ist auch, dass für die meisten Objektarten nicht festgelegt ist, welche ihrer Eigenschaften erfasst werden sollen.

Um das Datenmodell also tatsächlich als „Kommunikationswerkzeug“ (Geisler 2005, S. 134) für die einheitliche Verständigung zwischen den Projektpartnern nutzen zu können, muss es ausführlicher und verständlicher dokumentiert werden. Der Aufbau des Datenmodells und die Darstellung der darin beschriebenen Inhalte sollten sich dazu an den in Abschnitt 3.1 vorgestellten Standards zur Datenmodellierung orientieren. Eine standardkonforme, allgemein verständliche Dokumentation würde zudem die Anpassung des Modells an die unterschiedlichen Bedürfnisse der einzelnen Anwender und Anwendungsgebiete enorm erleichtern.

Bei der nötigen Überarbeitung des Datenmodells muss insbesondere darauf geachtet werden, die widersprüchlichen Angaben der Objekt-Definitionen und der Beschreibung der Objektart Radroutennetzabschnitt so anzugleichen, dass die im Modell getroffenen Vorgaben bezüglich der Objektstruktur tatsächlich umgesetzt werden können. Um eine flächendeckend gute Datenqualität gewährleisten zu können, ist außerdem ein einheitliches Vorgehen bei der Datenerfassung anzustreben. Dazu muss für die mit der Erfassung und Pflege der Radverkehrsdaten betrauten Mitarbeiter der Stadt- und Landkreise eindeutig ersichtlich sein, welche Wege in den Datenbestand

aufzunehmen sind und auf Grundlage welcher Geobasisdaten die Digitalisierung dieser Wege erfolgen soll. Die dafür erforderlichen Definitionen sind in das Datenmodell aufzunehmen, ergänzende Erläuterungen und Beispiele können gegebenenfalls in einem zusätzlichen Dokument, beispielsweise einem Handbuch oder Leitfaden, festgehalten werden. Um die Routingfähigkeit des so gewonnen Datenbestands sicherzustellen, müssen darüber hinaus verbindliche Topologieregeln erarbeitet werden, die ebenfalls in das Datenmodell aufzunehmen sind.

Neben diesen Maßnahmen zur Verbesserung des bestehenden Modells muss auch dessen Erweiterung um zusätzliche Objektmerkmale in Betracht gezogen werden, da es nur so allen Anforderungen der unterschiedlichen Anwendungszwecke gerecht werden kann. Dabei stellt sich jedoch die grundsätzliche Frage, ob es möglich und vor allen Dingen sinnvoll ist, mit einer Anwendung zwei so unterschiedliche Anwendungsfelder abzudecken.

3.4 Optimierung des ursprünglichen Datenmodells

Aufgrund der in Abschnitt 0 erläuterten Schwächen und Problemen des vorhandenen Datenmodells wurde beschlossen, das Modell mit Hilfe der am Anfang dieses Kapitels vorgestellten Methoden der Datenmodellierung zu überarbeiten. Ziel der Optimierung war es, die bei der Untersuchung des vorhandenen Modells ermittelten Anforderungen zukünftig möglichst vollständig erfüllen zu können.

Zu diesem Zweck wurde ein auf den vorhandenen Inhalten basierendes neues Datenmodell entworfen. In die Entwicklung dieses Modells flossen dabei unter anderem die Anmerkungen der Teilnehmer einer eigens dafür ins Leben gerufenen Arbeitsgruppe ein, an der neben Vertretern der Stadt- und Landkreise auch Mitarbeiter des LGL beteiligt waren. Die so entstandene Version des Datenmodells wurde bei der Startveranstaltung des Projekts allen interessierten Projektpartnern vorgestellt und auf Grundlage der dabei vorgebrachten Anmerkungen weiter optimiert.

Um das neue Datenmodell wie gefordert verständlicher, strukturierter und umfassender dokumentieren zu können, wurde bei der Entwicklung auf die in Abschnitt 3.1.2 dieses Kapitels erläuterten Modellierungsschritte zur Erstellung eines standardkonformen ER-Modells zurückgegriffen. Der Aufbau des so entstandenen Datenmodells entspricht deshalb den drei vorgestellten Hauptbestandteilen eines ER-Modells.

3.4.1 Definition und Beschreibung der Objektarten

3.4.1.1 Übernahme der vorhandenen Objektarten

Von den fünf im alten Datenmodell beschriebenen Objektarten wurden nur drei in das neue Modell übernommen. Um die verwendeten Begrifflichkeiten zu vereinheitlichen, wurden die weitergeführten Objektarten dabei teilweise umbenannt. Die ursprünglich als „Radstrecken“ bzw. „Radroutennetzabschnitte“ bezeichneten Objekte heißen nun „Radverkehrsstrecken“, aus „Routen“ wurden „Radrouten“, „Radverkehrsnetze“ blieben unverändert.

Die bislang vorhandene Objektart „Point of Interest“ wurde nicht weitergeführt, da zum Zeitpunkt der Weiterentwicklung des Datenmodells noch kein Konzept zur Erfassung und Pflege von POIs und deren Integration in den zentralen Datenbestand vorhanden war. Touren wurden nicht in das

neue Modell aufgenommen, da sie nicht den offiziellen Charakter der von Kreisen und Kommunen ausgewiesenen Radrouten besitzen, sondern meist persönliche Vorschläge einzelner Bürger darstellen. Darüber hinaus sind Tourenvorschläge und POIs bereits Teil des Radroutenplaners. Sie können dort auf Grundlage der von der Firma Alpstein für das Outdoor-Portal „outdooractive.com“ entwickelten Technologie von registrierten Benutzern erfasst und gepflegt werden. Eine zukünftige Integration von Touren und POIs in das Datenmodell des landesweiten Radverkehrsnetzes ist durch die Einführung entsprechender Objektarten problemlos möglich.

3.4.1.2 Definition der übernommenen Objektarten

Für die drei Objektarten des neuen Datenmodells wurden die folgenden Definitionen formuliert, in denen ihre jeweilige Funktion und die zwischen den einzelnen Objekten möglichen Beziehungen erläutert werden:

- **Radverkehrsstrecke**
Die als Radverkehrsstrecken bezeichneten Kanten sind die Grundelemente des Netzwerks. Sie stellen Wegabschnitte mit einheitlichen Attributwerten dar. Die Unterteilung eines Weges in mehrere Wegabschnitte beziehungsweise Radverkehrsstrecken muss erfolgen, wenn sich im Verlauf des Weges eine seiner wesentlichen Eigenschaften ändert oder ein anderer Weg von diesem abzweigt oder in ihn einmündet.
- **Radroute**
Radrouten setzen sich aus mehreren verbundenen Radverkehrsstrecken zusammen und nutzen deren Geometrie, wobei eine Radverkehrsstrecke auch zu mehreren Radrouten gehören kann. Eine Radroute ist eine meist dauerhaft festgelegte Verbindung zwischen mehreren Knoten entlang eines bestimmten Weges.
- **Radverkehrsnetz**
Ein Radverkehrsnetz besteht aus zusammenhängenden Radverkehrsstrecken und ist meist auf ein bestimmtes Gebiet, beispielsweise eine Gemeinde oder einen Landkreis, beschränkt. Das landesweite Radverkehrsnetz fasst alle lokalen und regionalen Radverkehrsnetze in Baden-Württemberg zu einem flächendeckenden Radverkehrsnetz zusammen. Können mit Hilfe geeigneter Software optimale Wege zwischen mehreren beliebigen Knoten des Netzes bestimmt werden, spricht man von einem routingfähigen Netz.

Um den Aufbau des Knoten-Kanten-Modells und die Rollen der einzelnen Objektarten in diesem Modell zu veranschaulichen, wurde ein entsprechendes Schaubild (Abbildung 15 auf Seite 50) entworfen. Zudem wurde die Struktur des Netzwerkmodells folgendermaßen beschrieben:

- **Netzwerkmodell**
Das Netzwerkmodell des landesweiten Radverkehrsnetzes ist als Knoten-Kanten-Modell realisiert. Kanten beginnen und enden immer an Knoten und können über diese Knoten mit anderen Kanten verbunden sein. Befindet sich am Schnittpunkt mehrerer Kanten kein Knoten sind diese Kanten nicht miteinander verbunden. Den Kanten können Attributwerte zugeordnet werden, die bei der Berechnung optimaler Routen als Gewichtungsfaktoren dienen.

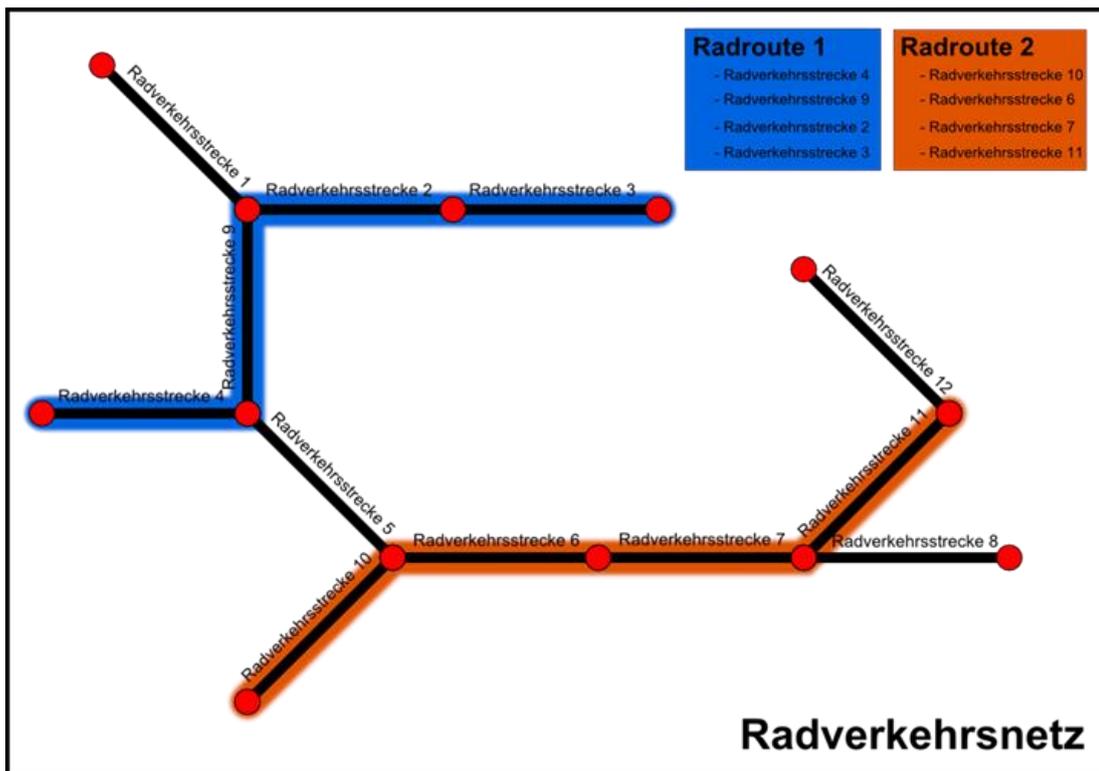


Abbildung 15: Veranschaulichung der Rolle der Objektarten innerhalb des Netzwerkmodells

Aus dieser Grafik lässt sich entnehmen, dass die Radverkehrsstrecken die Kanten des Modells repräsentieren und sich Routen aus mehreren solchen Kanten zusammensetzen. Eine gewisse Anzahl von Kanten kann zu einem Radverkehrsnetz mit bestimmten Eigenschaften zusammengefasst werden. Außerdem wird deutlich, dass Radwege sowohl aus topologischen Gründen (abzweigende Strecken) als auch auf Grund einer sich im Verlauf des Weges verändernden Eigenschaft in mehrere Radverkehrsstrecken unterteilt sein können.

3.4.1.3 Beschreibung der definierten Objektarten

Nachdem Funktion und Zusammenhang der drei Objektarten des neuen Datenmodells definiert worden waren, wurden in einem weiteren Schritt die Vorgaben zur Erfassung und Pflege der jeweiligen Objekte beschrieben. Diese Beschreibung wurde Teil eines eigenständigen Objektartenkatalogs, in dem darüber hinaus für jede Objektart die zu erfassenden Merkmale aufgeführt und erläutert werden. Die Gestaltung dieses Datenkatalogs orientiert sich dabei an den Inhalten und dem Layout des RIPS-OKs.

Die für die einzelnen Objektarten festgelegten Vorgaben regeln dabei die wichtigsten Fragen, die für eine einheitliche Vorgehensweise bei der Datenerfassung relevant sind. Dabei geht es vor allem darum, welche Daten erfasst werden sollen und auf Grundlage welcher Geobasisdaten die Erfassung zu erfolgen hat. Ziel der Überarbeitung dieses Teils des Datenmodells war es, im neuen Datenmodell deutlich konkretere Angaben zu machen als in der ursprünglichen Version und damit Unklarheiten bei der Datenerfassung zu verhindern. Da es jedoch nicht möglich war, alle Angaben innerhalb des Datenmodells umfangreich zu erläutern, wurde mit der Erarbeitung eines Leitfadens begonnen, in dem alle wichtigen Details zur Erfassung und Fortführung der für das landesweite Radverkehrsnetz relevanten Radverkehrsdaten ausführlich dargelegt werden sollen.

Die Beschreibung legt fest, dass Radverkehrsdaten von den Stadt- und Landkreisen kreisweise zu erfassen und anlassbezogen, mindestens jedoch alle fünf Jahre, zu aktualisieren sind. Die Erfassung hat auf Grundlage der Daten des Basis-DLM oder basierend auf digitalen Orthophotos, Vorkaufnahmen bzw. Meldungen der Landrats- und Bürgermeisterämter, mit einer Genauigkeit von ca. +/- 3 Metern zu erfolgen. Diese Genauigkeit entspricht dabei der Lagegenauigkeit der linearen Objekte des im ATKIS enthaltenen digitalen Landschaftsmodells. Die Datenübermittlung zum Zweck der Übernahme in den zentrale Bestand kann entweder laufend über das Web-GIS oder inkrementell über den manuellen Upload der aktuellen Daten erfolgen. Die Datenabgabe ist über den in Abschnitt 2.5.1 erläuterten Download-Dienst möglich.

Neben diesen allgemein gültigen Informationen werden in der Beschreibung für jede Objektart weitere individuelle Angaben zum Umfang der Datenerfassung gemacht. Darin wird festgelegt, welche Objekte der realen Welt mit Hilfe der jeweiligen Objektart abgebildet werden sollen und wie diese Objekte zu erfassen sind. Für die Objektart Radverkehrsstrecke heißt es beispielsweise: „Als Radverkehrsstrecken gelten alle ausgewiesenen Radverkehrsanlagen und touristischen Radwege, sowie alle sonstigen Wege die radverkehrsbezogene Eigenschaften besitzen.“ Die Definition der zu erfassenden Strecken orientiert sich dabei an den Empfehlungen des „Runden Tisches Radverkehr“: „Das Radverkehrsnetz umfasst neben selbstständigen und unselbstständigen Radwegen alle Arten von Radverkehrsanlagen einschließlich der Führungsmöglichkeit als Mischverkehr auf der Fahrbahn und auf Radfahrstreifen“ (RTRV BW 2008, S. 17). Für das landesweite Radverkehrsnetz sind folglich alle durch Schilder, bauliche Maßnahmen oder Markierungen ausgewiesenen, sowie alle zu touristischen Zwecken ausgeschilderten Radwege und alle Wege die Eigenschaften besitzen, die für den Radverkehr von Bedeutung sind, zu erfassen. Darunter fallen also auch Wirtschaftswege und normale Straßen, denen von der zuständigen Stelle eine besondere Bedeutung für den Radverkehr beigemessen wird. Darüber hinaus können aufgrund dieser Definition auch Strecken erfasst werden, die ausdrücklich nicht mit dem Fahrrad befahren werden sollen, zum Beispiel forstwirtschaftliche Wege durch einen Bannwald. Diese Strecken können dann mit Hilfe des entsprechenden Merkmals als „gesperrt“ gekennzeichnet werden.

3.4.2 Darstellung der Beziehungen

3.4.2.1 ER-Diagramm

In den schriftlichen Definitionen der einzelnen Objektarten werden neben deren Funktion auch die zwischen den entsprechenden Objekten bestehenden Beziehungen beschrieben. Um den Zusammenhang der Objektarten zu verdeutlichen, der sowohl für die Implementierung des Datenmodells, als auch für die spätere Datenerfassung von großer Bedeutung ist, werden diese Beziehungen außerdem mit Hilfe eines ER-Diagramms (siehe Abbildung 16 auf Seite 52) grafisch dargestellt. Diese standardisierte Darstellung trägt einen wesentlichen Teil zur allgemein verständlichen Beschreibung der Inhalte des neuen Datenmodells bei.

Als Darstellungsform wurde die UML-Notation gewählt, da bei dieser beide Richtungen einer Beziehung beschrieben werden können. Auf die Darstellung der zu erfassenden Attribute wurde aus Gründen der Übersichtlichkeit verzichtet, diese werden stattdessen in einem anderen Teil des Datenmodells aufgelistet und erläutert.

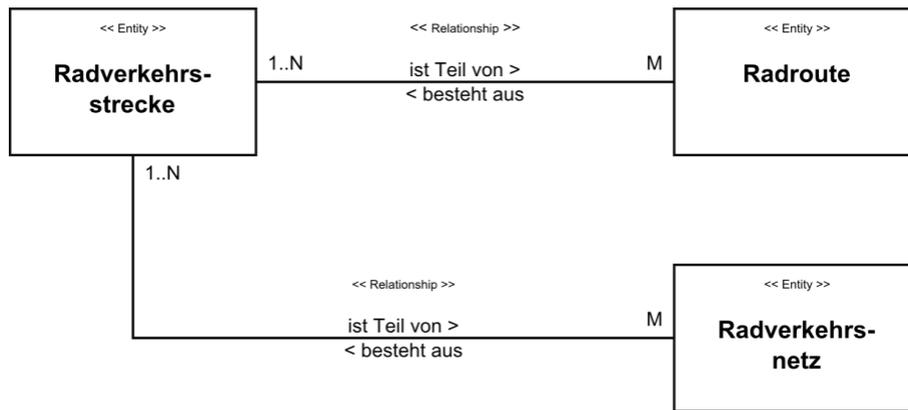


Abbildung 16: ER-Diagramm zur Veranschaulichung der Objektbeziehungen

Das ER-Diagramm stellt die vorhandenen N:M-Beziehungen zwischen Radverkehrsstrecken und Radrouten bzw. Radverkehrsnetzen mit Hilfe der entsprechenden Kardinalitäten dar. Dabei wird für den N-Wert ein Minimum von 1 vorgegeben, da sowohl Radrouten als auch Radverkehrsnetze aus mindestens einer Radverkehrsstrecke bestehen müssen. Aus den Kardinalitäten und den textuellen Beschreibungen der Beziehungsrichtungen lassen sich die folgenden vier Beziehungsregeln ableiten:

- Eine Radverkehrsstrecke kann Teil einer oder mehrerer Radroute(n) sein.
- Eine Radverkehrsstrecke kann Teil eines oder mehrerer Radverkehrsnetze(s) sein.
- Eine Radroute besteht aus einer oder mehreren Radverkehrsstrecke(n).
- Ein Radverkehrsnetz besteht aus einer oder mehreren Radverkehrsstrecke(n).

Dieses einfache Beziehungsmodell ist für die Belange des landesweiten Radverkehrsnetzes völlig ausreichend. Sollen die Daten des Netzes zukünftig für weitere Aufgaben genutzt werden, kann es zudem problemlos um weitere Objektarten erweitert werden. Beispielsweise könnten mit Hilfe entsprechender Objektarten Unfallzahlen oder vorhandene Mängel erfasst werden.

3.4.2.2 Implementierung des Modells

Durch die Führung von Routen als eigenständige Objektart kann die Struktur des neuen Datenmodells mit den gängigen Geodatenformaten und relationalen DBMS problemlos abgebildet werden. Zur Implementierung des Modells in einer relationalen Umgebung werden die beiden N:M-Beziehungen wie in Abbildung 17 auf Seite 53 dargestellt mit Hilfe von Beziehungstabellen in jeweils zwei 1:N-Beziehungen aufgeteilt.

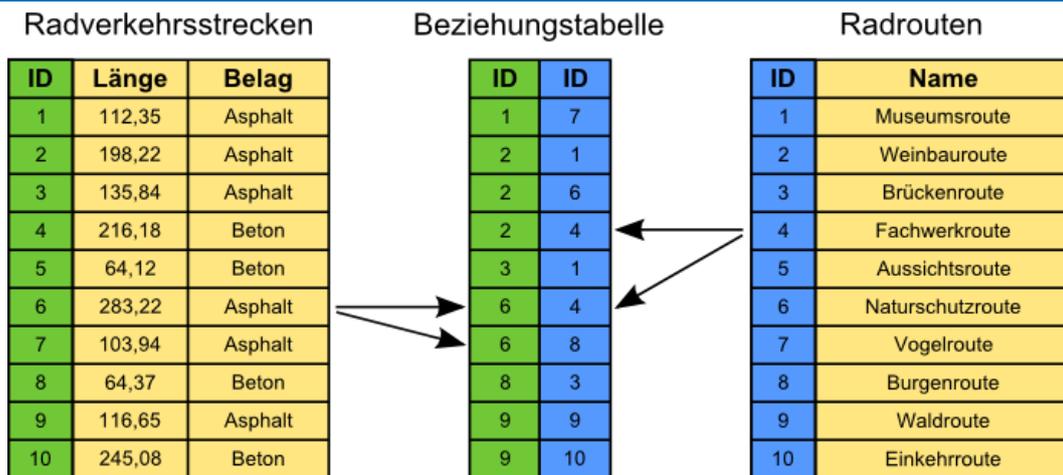


Abbildung 17: Beziehungstabelle zur Implementierung einer M:N-Beziehung

Die vorhandenen Beziehungen zwischen Strecken- und Routen-Objekten können auf diese Weise sehr viel einfacher und konsistenter abgebildet werden als es im alten Datenmodell der Fall war. Anhand des bei der Untersuchung des ursprünglichen Datenmodells verwendeten Beispiels der Namensänderung einer Route wird deutlich, welche Vorteile die (dynamische) Referenzierung von Objektarten gegenüber der statischen Speicherung einzelner Eigenschaftswerte bietet: Anstatt den Routennamen in allen Strecken-Objekten, die Teil der Route sind, einzeln zu ändern, muss er nun nur noch ein einziges Mal – direkt im Routen-Objekt – geändert werden. Auch die Visualisierung und Bearbeitung des Verlaufs von Radrouten wird durch dieses Modell deutlich erleichtert, da den einzelnen Routen durch die Beziehungstabellen quasi bekannt ist, aus welchen Radverkehrsstrecken sie bestehen. Darüber hinaus können nun weitere Eigenschaften – beispielsweise die Gesamtlänge – zu den Radrouten erfasst werden, was deren Nutzwert deutlich steigert. Auch die mehrfache Vergabe des gleichen Routennamens stellt kein Problem mehr dar, da zum Zweck der eindeutigen Identifikation jedem neu angelegten Routen-Objekt automatisch eine eindeutige ID zugewiesen werden kann.

3.4.2.3 Problem der Streckenführung

Neben der Frage, welche Strecken für das landesweite Radverkehrsnetz erfasst werden sollen, drängte sich bei der Erarbeitung des neuen Datenmodells immer mehr die Frage der korrekten Streckenführung in den Vordergrund. Verbindliche Vorgabe war es, die Radverkehrsstrecken auf Grundlage der vorhandenen DLM-Geometrien abzubilden, da die ATKIS-Konformität der Daten eine wichtige Voraussetzung für die Übernahme in TFIS und in den Radroutenplaner darstellte. Darüber hinaus bringt eine auf dem DLM basierende Datenerfassung einige Vorteile mit sich:

- Die vorhandenen Geometrien des digitalen Landschaftsmodells können kopiert und in Radverkehrsstrecken umgewandelt werden, die dann nur noch attribuiert werden müssen. Gegenüber der Digitalisierung auf Basis von digitalen Orthophotos bringt das eine erhebliche Arbeitersparnis mit sich und begünstigt die geforderte einheitliche Datenqualität.
- Zur Erfassung von Radverkehrsstrecken ist keine genaue Ortskenntnis erforderlich, da die vorhandenen DLM-Geometrien den Verlauf und die Lage der Strecken vorgeben.
- Es gibt keine Unterbrechungen an den Übergängen zwischen Kreisen, da sich alle Beteiligten auf dieselbe Erfassungsgrundlage beziehen.

Wenn einer DLM-Geometrie mehrere Radverkehrsstrecken zugeordnet werden müssen, tritt bei dieser Methode jedoch ein Problem auf, das im alten Datenmodell offenbar nicht bedacht worden war. Die Zuordnung mehrerer Radverkehrsstrecken zu einer DLM-Strecke ist immer dann erforderlich, wenn entlang einer Straße zwei oder mehr Radwege verlaufen (siehe Abbildung 18). In einem solchen Fall können die möglicherweise unterschiedlichen Eigenschaften der einzelnen Radwege nicht ohne weiteres mit Hilfe einer einzelnen, in der Regel in der Mitte der Straße verlaufenden DLM-Strecke abgebildet werden.

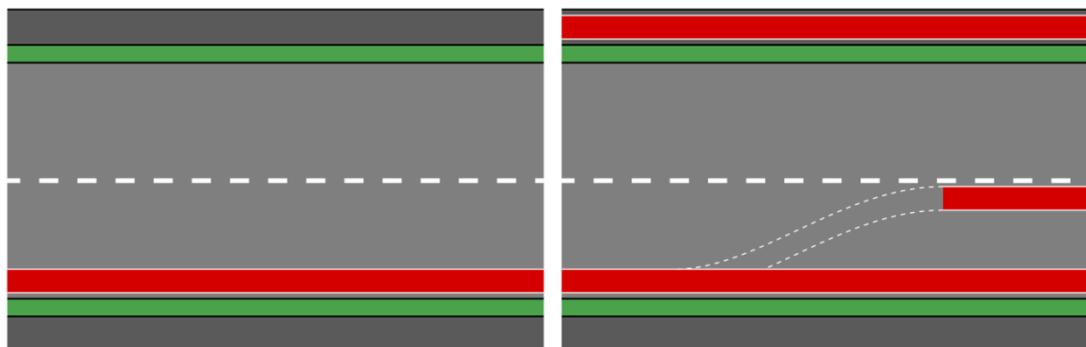


Abbildung 18: Verschiedene Wegführungsarten von Radverkehrsstrecken entlang einer Straße

In Abbildung 18 unterscheidet sich beispielweise die Wegart der einzelnen Radfahrstreifen. Der obere Streifen verläuft straßenbegleitend auf dem Gehweg, die unteren beiden verlaufen jedoch auf der Straße. Dieses Beispiel ließe sich problemlos auf die Breite der Radverkehrsstrecken, die Art des Belages und andere Eigenschaften übertragen.

Eine elegante Methode, dieses Problem zu vermeiden, wäre die lineare Referenzierung. Dabei werden Positionen entlang eines linienhaften Objekts nicht mit Hilfe absoluter XY-Koordinaten, sondern relativ zur Länge des Objekts angegeben. Ein Beispiel dafür sind die Kilometerangaben entlang von Straßen, die unter anderem zur Lokalisierung von Schäden und Unfälle genutzt werden. Dieses System ermöglicht es, für eine Strecke mehrere Eigenschaften parallel erfassen zu können, ohne die Strecke bei jeder Eigenschaftsänderung aufteilen zu müssen. Die Eigenschaften werden dazu in tabellarischer Form gespeichert und durch die Angabe ihrer Anfangs- und Endpunkte lokalisiert. Bei dem in Abbildung 19 dargestellten Beispiel wird die Qualität des Straßenbelags zwischen Kilometer 20 und 30 als schlecht eingestuft, während sie für den restlichen Verlauf der Straße als gut bzw. ordentlich dokumentiert wurde.

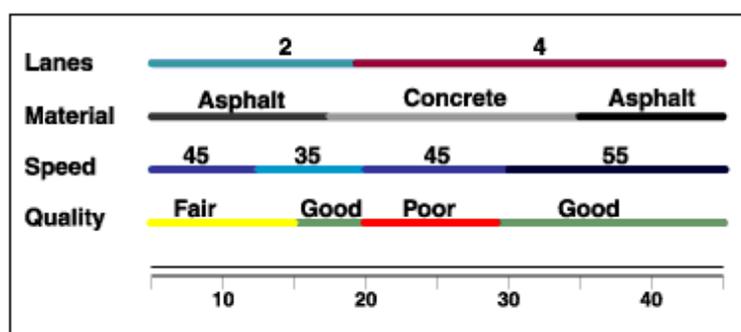


Abbildung 19: Lineare Referenzierung von Eigenschaften entlang einer Straße (ESRI 2012, o. S.)

Durch die Anwendung der linearen Referenzierung hätten bei Bedarf die unterschiedlichen Eigenschaftswerte mehrerer Radwege bezogen auf eine einzige ATKIS-konforme Streckengeometrie

erfasst werden können. Da es jedoch nicht möglich gewesen wäre, die Daten in dieser Form ins TFIS oder in den Radroutenplaner zu integrieren und außerdem die Erfassung der relativen Positionsangaben über das Web-GIS nicht realisierbar war, konnte dieses System leider nicht eingesetzt werden.

Um die vorhandenen Radverkehrsstrecken dennoch ATKIS-konform erfassen zu können, wurden darum mehrere Möglichkeiten geprüft, das Prinzip der linearen Referenzierung auf das dem Projekt zugrundeliegende Knoten-Kanten-Modell zu übertragen. Bei der vielversprechendsten Lösung wurde das bereits erläuterte Beziehungsmodell so erweitert, dass die Eigenschaften von Radverkehrsstrecken unabhängig von der geometrischen Repräsentation der Strecke erfasst werden konnten. Anstatt also wie geplant den Verlauf von Radverkehrsstrecken zu digitalisieren, wurden mit Hilfe einer zusätzlichen Objektart ATKIS-konforme Geometrien erfasst, denen je nach Bedarf eine oder mehrere geometrieloze Radverkehrsstrecken zugeordnet werden konnten (siehe Abbildung 20). Dadurch wurde es möglich, mehrere Radverkehrsstrecken mit ihren individuellen Eigenschaften durch eine gemeinsame Geometrie abzubilden.



Abbildung 20: Alternatives ER-Diagramm zur lageunabhängigen Erfassung von Radverkehrsstrecken

Dieses Modell löste das bestehende Problem zwar sehr elegant, erwies sich bei einem Projekt dieser Größenordnung jedoch als zu aufwändig in der Umsetzung und der praktischen Anwendung. Zudem war es deutlich komplexer als das geplante Beziehungsmodell und dadurch für die Anwender schwieriger zu verstehen. Aus diesen Gründen wurde es letzten Endes nicht umgesetzt.

Stattdessen wurde entschieden, von der unbedingten ATKIS-Konformität abzurücken und bei Problemfällen die exakte Erfassung des Streckenverlaufs auf Grundlage der digitalen Orthophotos zuzulassen. Diese Vorgehensweise ist in der Regel aus einem von zwei Gründen nötig:

- Mehrere Radverkehrsstrecken wären aus den bereits erläuterten Gründen derselben DLM-Geometrie zuzuordnen.
- Ein Weg, auf dem eine Radverkehrsstrecke verläuft, ist im DLM fehlerhaft oder gar nicht verzeichnet.

Diese Lösung wurde dadurch möglich, dass die Verantwortlichen des LGL letztlich die Überzeugung teilten, dass dies die einzig praktikable Methode ist. Darüber hinaus wurde seitens der Vertreter des LGL die Absicht geäußert, die auf diese Weise erfassten Geometrien zukünftig zur Ver-

besserung des DLM-Bestands heranziehen zu wollen. Ein weiterer Faktor war der Druck der Stadt- kreise, denen die rein ATKIS-bezogene Erfassung der Radverkehrsstrecken teilweise nicht genau genug war. Die Möglichkeit der exakten Wegführung war insbesondere deshalb ein besonderes Anliegen der Städte, da ein Großteil der innerstädtischen Radwege von den geschilderten Problemen betroffen ist.

Die getroffene Regelung ermöglicht es, die individuellen Eigenschaften aller Radverkehrsstrecken zu erfassen. Darüber hinaus können so auch bestimmte Sonderfälle berücksichtigt werden, die in einem allein auf den ATKIS-konformen Strecken basierenden System nicht abgebildet werden könnten. Dies betrifft zum Beispiel komplexe Kreuzungssituationen wie in Abbildung 21, bei denen korrekte Routingergebnisse nur durch die exakte Erfassung der vorhandenen Radverkehrs- strecken sichergestellt werden können.

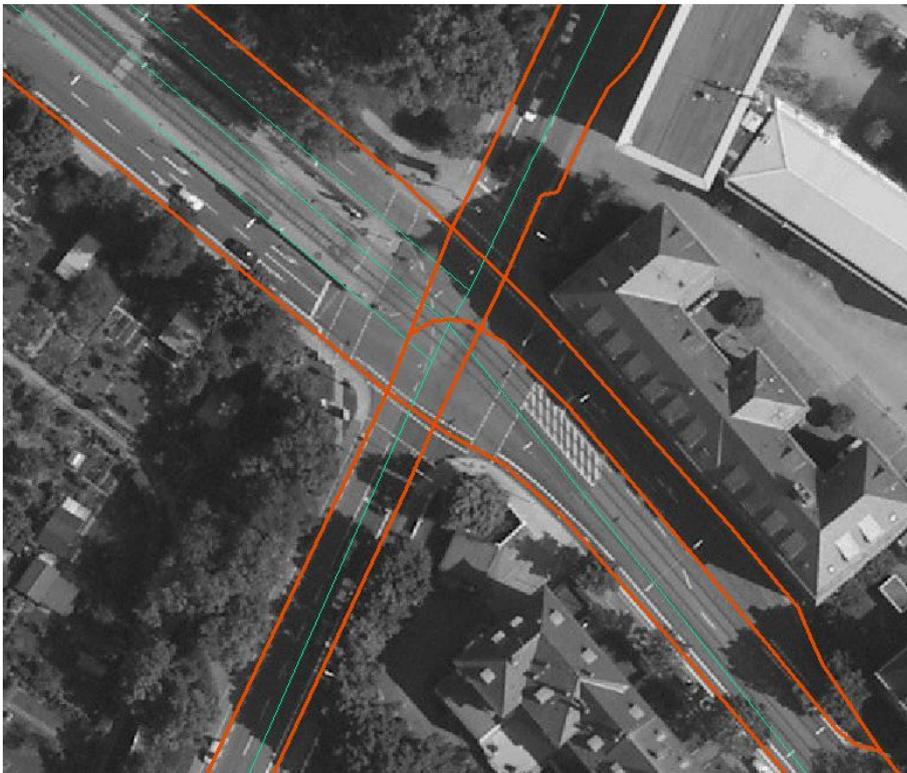


Abbildung 21: Tatsächlicher Verlauf der Radverkehrsstrecken (orange) im Vergleich zum DLM (türkis)

Neben den Vorteilen durch die höhere Flexibilität und Genauigkeit bei der Digitalisierung von Radverkehrsstrecken, bringt die Mischung der verschiedenen Streckenführungskonzepte jedoch auch einige Nachteile mit sich. So muss nun genau darauf geachtet werden, dass die vorhandenen topologischen Gegebenheiten korrekt abgebildet werden. Dies ist insbesondere an den Übergängen zwischen ATKIS-konformen und exakt erfassten Strecken häufig schwierig. Darüber hinaus müssen genaue Informationen über den Verlauf eines Radweges vorliegen, um den Weg exakt erfassen zu können. Aufwand und benötigte Zeit liegen bei der Digitalisierung einer Radverkehrs- strecke auf Grundlage digitaler Orthophotos also deutlich höher als bei der ATKIS-konformen Erfassung. Um eventuell vorhandene Unklarheiten auszuräumen und eine einigermaßen einheitliche Datenqualität zu erreichen, wurde deshalb mit der Erstellung eines Leitfadens zur Erfassung von Radverkehrsstrecken begonnen, auf den die einzelnen Projektbeteiligten zurückgreifen können.

3.4.3 Beschreibung der Eigenschaften

Bei der Untersuchung des ursprünglichen Datenmodells wurde festgestellt, dass die zu erfassenden Objekteigenschaften – falls überhaupt festgelegt – nicht ausreichend genau beschrieben wurden. Aus diesem Grund lag das Hauptaugenmerk bei der Überarbeitung der Sachdatenbeschreibung auf der vollständigen Auflistung und Erläuterung aller zu erfassenden Merkmale und deren möglicher Werte. Zu diesem Zweck wurde innerhalb des neuen Datenmodells ein eigenständiger Objektartenkatalog geschaffen, in dem alle relevanten Merkmale der drei Objektarten in einheitlicher Form beschrieben werden.

3.4.3.1 Sicherung der Datenqualität

Um sicherzustellen, dass die auf Grundlage des Datenmodells erfassten Radverkehrsdaten eine einheitliche und für die Zwecke des landesweiten Radverkehrsnetzes ausreichende Qualität aufweisen, wurden bei der Erarbeitung dieses Objektartenkatalogs unterschiedliche Aspekte der Qualitätssicherung berücksichtigt. Dabei waren die Hauptziele, Fehlerquellen bei der Datenerfassung auszuschalten und die Aktualität der vorhandenen Daten sicherzustellen.

Um eine fehlerhafte und uneinheitliche Attributierung der erfassten Objekte von Anfang an zu verhindern, wurden wann immer möglich Wertelisten mit vorgegebenen Attributwerten (siehe Abbildung 23) verwendet. Solche Wertelisten verhindern nicht nur Fehler bei der Dateneingabe, ihr Einsatz kann darüber hinaus auch den Prozess der Datenerfassung signifikant beschleunigen. Anstatt Werte mit Hilfe der Tastatur einzutragen und anschließend auf Tippfehler überprüfen zu müssen, können die Bearbeiter mit einem Klick den passenden Attributwert aus der vorgegebenen Liste auswählen. In manchen Fällen ist es zudem möglich, die zur Datenerfassung benötigte Zeit durch die Vorgabe sinnvoller Default-Werte weiter zu reduzieren. Beim Erstellen von Wertelisten ist unbedingt darauf zu achten, dass die Listen wirklich alle möglichen Attributwerte beinhalten, da die Benutzer keine Möglichkeit haben, zusätzliche Werte zu erfassen. Ein weiterer großer Vorteil ist, dass es die Nutzung von Wertelisten ermöglicht, sowohl die Bedürfnisse der Anwender als auch die Voraussetzungen für eine effiziente Datenhaltung zu erfüllen. Die Bearbeiter können zwischen Attributwerten mit sprechenden, ausführlichen Bezeichnungen wählen (siehe Abbildung 22), in der Datenbank können stattdessen jedoch maschinell deutlich einfacher zu verarbeitende numerische Werte gespeichert werden. So wird zum Beispiel statt dem Text „Unbefestigter Weg“ die Zahl 60 in der Datenbank abgelegt, die deutlich weniger Speicherplatz benötigt.

- 10 - Asphalt
- 20 - Beton
- 30 - Pflastersteine
 - 31 - Kopfsteinpflaster
 - 32 - Betonsteinpflaster
 - 33 - Rasengittersteine
- 40 - Wassergebunden
- 50 - Schüttgut
 - 51 - Kies
 - 52 - Schotter
 - 53 - Splitt
- 60 - Unbefestigter Weg
 - 61 - Erde
 - 62 - Gras
 - 63 - Sand
- 70 - Spurweg
 - 71 - Befestigt
 - 72 - Unbefestigt
- 80 - Sonstiger Belag
- 0 - Unbekannt

Abbildung 22: Werteliste der Eigenschaft „Belag“.

Um unterscheiden zu können, ob ein bestimmtes Attribut bislang grundsätzlich nicht berücksichtigt wurde, oder ob lediglich der Attributwert zum Zeitpunkt der Datenerfassung nicht bekannt war, besteht bei fast allen Wertelisten die Möglichkeit, als Attributwert „unbekannt“ anzugeben. Einzig bei der Streckenart ist dies nicht sinnvoll, da eine Radverkehrsstrecke in jedem Fall als Radstrecke angesehen werden kann.

Verbunden mit dem Einsatz von Wertelisten wurde für das neue Datenmodell ein flexibles System zur bedarfsgerechten Angabe von Attributwerten konzipiert. Grundprinzip ist dabei die hierarchische Gliederung von Wertelisten. Abhängig vom Umfang der ihnen vorliegenden Informationen, können die Benutzer dadurch selbst entscheiden, wie detailliert die von ihnen zu treffenden Angaben sein sollen bzw. können. Für das Merkmal „Belag“ der Objektart „Radverkehrsstrecke“ kann zum Beispiel angegeben werden, dass der Straßenbelag einer Strecke aus Pflastersteinen besteht. Besitzt der jeweilige Bearbeiter genauere Informationen über die Art des Straßenbelags, etwa aus einem Straßenkataster, kann er stattdessen diese detaillierteren Informationen festhalten und als Belag „Kopfsteinpflaster“ angeben. Diese Art der Datenerfassung ermöglicht es, in unterschiedlicher Qualität vorliegende Datenbestände in einem gemeinsamen System nutzen zu können. Alle vorhandenen Informationen können verwendet werden, da Datenbestände mit großer Informationstiefe nicht vereinfacht werden müssen und auch die Angaben weniger detailliert beschriebener Datensätze genutzt werden können.

Ebenfalls untersucht wurde die Einführung von Merkmalsbeziehungen zur Verbesserung der Datenqualität und zur Optimierung des Erfassungsvorgangs. Dazu wurde versucht, allgemein gültige Beziehungen zwischen mehreren Merkmalen zu definieren. Mit Hilfe dieser Beziehungen wäre es möglich gewesen, die bei der Erfassung eines Merkmals vorgegebene Werteliste aufgrund anderer, bereits festgelegter Merkmalswerte einzuschränken. So hätte beispielsweise verhindert werden können, dass als Belag einer Radverkehrsstrecke, die Teil einer gut ausgebauten Haupttrasse ist, fälschlicherweise „unbefestigt“ angegeben wird. Da es jedoch nicht ohne weiteres möglich war, Beziehungen so zu definieren, dass keinerlei Ausnahmen möglich gewesen wären, wurde auf die Umsetzung dieses Konzepts verzichtet.

In der Beschreibung der Objektarten wird festgelegt, dass die erfassten Daten laufend zu aktualisieren und anlassbezogen, mindestens jedoch alle fünf Jahre zu überprüfen sind. Um diesen Prozess zu unterstützen, wurde mit dem Attribut „Datum“ eine Art Zeitstempel eingeführt, der bei jeder an einem Objekt vorgenommenen Änderung automatisch aktualisiert wird. Anhand dieses Zeitstempels kann überprüft werden, welche Objekte seit längerer Zeit nicht mehr aktualisiert wurden.

Zusammen mit den ebenfalls automatisch erfassten Attributen Benutzer und Version wird die Eigenschaft „Datum“ auch zur Historisierung der vorhandenen Radverkehrsdaten verwendet. Um über das Web-GIS auf den zentralen Datenbestand zugreifen zu können, muss man sich vorab unter Angabe seiner Dienststelle registrieren. Den auf diese Weise identifizierten Nutzern wird eine eindeutige Benutzer-ID zugeordnet. Wird innerhalb der Datenbank ein neues Objekt angelegt oder ein bestehendes verändert, wird neben dem Zeitpunkt auch die ID des Benutzers gespeichert, der die Änderungen vorgenommen hat. Das veränderte Objekt wird erst dann endgültig in den zentralen Datenbestand übernommen, wenn seine Versionsnummer erhöht und eine Kopie des ursprünglichen Objektzustands in einer separaten Tabelle gespeichert wurde (siehe Abbildung 23). Mit Hilfe dieser drei Attribute lässt sich also jederzeit

Zentraler Datenbestand

ID	Version	Benutzer	Datum	Belag
1	1	3253	01.05.12 19:04	Asphalt
2	1	2344	03.11.11 06:25	Asphalt
3	2	1276	11.02.12 22:02	Beton
4	1	2245	04.05.12 09:56	Asphalt
5	3	1435	29.04.12 12:24	Asphalt

Archivtabelle

ID	Version	Benutzer	Datum	Belag
3	1	1276	01.02.12 11:04	Kies
5	1	1435	13.03.12 09:15	Asphalt
5	2	1458	14.03.12 12:52	Beton

Abbildung 23: Beispiel für die Archivierung von Objektzuständen

feststellen, wer in der Datenbank wann welche Änderungen vorgenommen hat. Versehentliche Veränderungen können dadurch problemlos rückgängig gemacht werden.

3.4.3.2 Erweiterung um zusätzliche Eigenschaften

Die flächendeckende und lückenlose Erfassung der Geometrie und eine korrekte Abbildung der vorhandenen Topologie bilden die Grundlage für ein routingfähiges Netz. Welche Möglichkeiten zur Routenplanung ein Streckennetz bietet, hängt jedoch in erster Linie von den zur Ermittlung der optimalen Route zur Verfügung stehenden Kantengewichten ab. Nur wenn möglichst alle erfassten Strecken über korrekte und aktuelle Werte routingrelevanter Eigenschaften verfügen, ist eine individualisierte und zuverlässige Streckenfindung möglich.

Neben der Erweiterung des Datenmodells um neue Objektmerkmale für die Routenplanung, war es – wie in Abschnitt 3.3.2.3 erläutert – ebenfalls nötig, zusätzliche Eigenschaften für die Nutzung des Systems durch die Baulastträger der Radverkehrsstrecken einzuführen. Die Schaffung weiterer Attribute steigert zwar den Nutzwert des Datenbestands, bringt jedoch auch zahlreiche negative Effekte mit sich: Der Aufwand für die Erfassung und Pflege der Daten steigt mit der Anzahl der zu erfassenden Eigenschaftswerte. Zudem führen zusätzliche Attribute zu einer weiteren Unterteilung des vorhandenen Netzes. Je mehr Eigenschaften eines Weges erfasst werden, desto wahrscheinlicher ist es, dass sich im Verlauf des Weges eine dieser Eigenschaften ändert und der Weg dadurch in mehrere Teilstücke aufgeteilt werden muss. Diese Segmentierung bringt wiederum einen höheren Speicherplatzbedarf und Probleme bei der Routing-Performance mit sich, da viel mehr Kantengewichte berechnet und gespeichert werden müssen, als es aus topologischen Gründen nötig wäre.

Der Aufwand bei der Erfassung und Pflege der Daten kann unter Umständen durch geeignete Maßnahmen reduziert werden. Dadurch können im Idealfall zusätzliche Eigenschaften erfasst werden, ohne dass sich die zur Bearbeitung benötigte Zeit nennenswert erhöht. Eine solche Maßnahme ist beispielsweise die automatische Erfassung von Attributwerten. Diese Attributwerte können entweder aus anderen, bereits vorhandenen Eigenschaften abgeleitet (siehe Abschnitt 3.1.2) oder aus externen Informationsquellen, wie zum Beispiel öffentlich zugänglichen WPS, gewonnen werden. Insbesondere wenn systemexterne Quellen verwendet werden, muss jedoch darauf geachtet werden, dass die übernommenen Daten verlässlich sind und die gestellten Qualitätsanforderungen erfüllen.

Die automatisch ermittelten Werte können theoretisch sofort bei der Datenerfassung generiert und gespeichert werden. Sind die entsprechenden Dienste in diesem Moment jedoch nicht verfügbar, führt das unweigerlich zu Problemen. Der Nutzer muss eine störende Wartezeit in Kauf nehmen, im schlimmsten Fall können die erfassten Daten gar nicht abgespeichert werden. Deshalb ist es häufig besser, die automatische Ermittlung der Attributwerte asynchron zur manuellen Datenerfassung durchzuführen. Beispielsweise könnten jede Nacht alle bislang noch nicht automatisch ermittelten Werte bestimmt und gespeichert werden. Eventuell auftretende Probleme würden so den Erfassungsprozess nicht beeinflussen und es könnten Zeiten genutzt werden, in denen die verwendeten Datendienste in der Regel nur gering ausgelastet sind.

Indem der Aufwand zur Erfassung und Pflege von Radverkehrsdaten verringert wird, kann die automatisierte Datenerfassung einen Teil der durch die Einführung zusätzlicher Eigenschaften entstehenden Probleme mindern. An der erläuterten Problematik der zunehmenden Segmentie-

Die Änderung des Netzes ändert sich dadurch jedoch nichts. Des Weiteren können im Normalfall nur wenige der zusätzlichen Eigenschaften tatsächlich automatisch erfasst werden. Aus diesen Gründen musste vor der tatsächlichen Erweiterung des Datenkatalogs die Frage geklärt werden, ob es tatsächlich sinnvoll ist, alle für den Ausbau der Routing- und Dokumentationsfähigkeiten des Datenmodells zusätzlich benötigten Merkmale in den Objektartenkatalog aufzunehmen.

Gegen eine Ausweitung der Möglichkeiten beider Anwendungszwecke sprach dabei die Vielzahl der dazu zusätzlich zu erfassenden Attribute. Insbesondere um die Ansprüche der Baulastträger an ein Datenmodell erfüllen zu können, das eine mit den Fähigkeiten eines Straßenkatasters vergleichbare Dokumentation der vorhandenen Radverkehrswege erlaubt, hätten zahlreiche neue Streckeneigenschaften erfasst werden müssen. Für die Routenplanung wären diese Merkmale jedoch kaum relevant. Für die Dokumentation des genauen Verlaufs der Radverkehrsstrecken hätte man darüber hinaus vom Prinzip der ATKIS-konformen Erfassung abweichen und zusätzliche Werkzeuge zur Bearbeitung der Daten bereitstellen müssen. Deshalb wurde beschlossen, keine für die Nutzung des Datenmodells als Grundlage für die Aufgaben der Baulastträger zusätzlichen nötigen Eigenschaften in das Modell aufzunehmen. Stattdessen wurden die Wertelisten der vorhandenen Attribute überarbeitet, um mit den vorhandenen Mitteln detailliertere Informationen erfassen zu können. Eine Möglichkeit, das vorhandene Datenmodell dennoch als Grundlage für ein Radverkehrskataster nutzen zu können, ist die in Abschnitt 3.4.2.1 vorgeschlagene individuelle Erweiterung des Modells um zusätzliche Eigenschaften.

Für die Zwecke der Routenplanung wurden fünf neue Attribute zum Datenmodell hinzugefügt, von denen drei automatisch berechnet werden können. Für die beiden manuell zu erfassenden Eigenschaften wurden Wertelisten mit entsprechenden Default-Werten eingeführt. Der zusätzliche Aufwand bei der Datenerfassung und -pflege ist also überschaubar und konnte zudem durch die Streichung nicht benötigter Eigenschaften mehr als ausgeglichen werden. Da sich die Länge und der An- und Abstieg entlang einer Strecke jeweils auf die gesamte Strecke beziehen, tragen diese drei Eigenschaften darüber hinaus auch nicht zur weiteren Segmentierung des Radverkehrsnetzes bei. Der Status einer Radverkehrsstrecke kann bei der Routenplanung direkt als Ausschlusskriterium berücksichtigt werden, durch die Angabe des Streckenniveaus wird die korrekte Abbildung der vorhandenen Topologie unterstützt. Insgesamt konnte das Datenmodell also – wie in Abschnitt 3.3.2.3 als Ergebnis der Untersuchung des vorhandenen Modells gefordert – um zusätzliche Merkmale zur Steigerung der Routingfähigkeiten erweitert werden, ohne dabei die gerade diskutierten Nachteile in Kauf nehmen zu müssen.

3.4.3.3 Merkmalsbeschreibung im Objektartenkatalog

Wie bereits erwähnt, ist die Beschreibung der zu den einzelnen Objektarten zu erfassenden Merkmale Teil des neu geschaffenen Objektartenkatalogs. Die Gestaltung dieser Merkmalsbeschreibung orientiert sich dabei an der in Abschnitt 3.2.4 vorgestellten Auflistung der Eigenschaften der im alten Datenmodell enthaltenen Objektart Radroutennetzabschnitt. Diese basiert wiederum auf den Vorgaben des WIBAS- bzw. RIPS-OKs.

Die einzelnen Objektmerkmale werden darin durch eine Nummer und eine Kurzbezeichnung identifiziert. Da die Kurzbezeichnung häufig nicht sehr aussagekräftig ist, wird zudem in wenigen Worten die Bedeutung der Eigenschaft erklärt. Zusätzlich wird für jedes Merkmal der Datentyp vorgegeben. Diese Typisierung ist zwar in der Regel nicht Teil des konzeptionellen Datenmodells, ermöglicht aber die Eingrenzung der zu speichernden Werte. In diesem Fall soll damit verdeutlicht

werden, dass bei einigen Werten, wie in Abschnitt 3.4.3.2 beschrieben, nur der aufgeführte Schlüsselwert und nicht die dazugehörige Bedeutung erfasst und in der Datenbank gespeichert werden sollte. Für das Attribut „Status“ ist für eine gesperrte Strecke also der numerische Wert 2 in der Datenbank abzulegen und nicht der String „2 – Gesperrt“.

Neben den bereits im Abschnitt 3.2.4 erläuterten Nutzungsstufen werden in der Beschreibung außerdem auch die Schlüsselwerte der vorhandenen Merkmalskategorien aufgelistet. Die ursprüngliche Einteilung in Pflicht- und Angebotsattribute musste im Lauf der Entwicklung des Datenmodells modifiziert werden, da viele der beteiligten Stellen fürchteten, die verpflichtende Erfassung einer gewissen Anzahl an Eigenschaftswerten sei von den Stadt- und Landkreisen nicht zu leisten. Statt bislang zwei Kategorien enthält das neue Modell deshalb vier.

Grund für die Einteilung der Merkmale in verschiedene Kategorien ist in erster Linie die große Anzahl der Merkmale und der dadurch bedingte hohe Zeitaufwand bei der Datenerfassung. Als Hilfestellung für die Bearbeiter wurde deshalb jedes Attribut einer Kategorie zugeordnet, die angibt, welche Priorität die Erfassung des Attributs hat:

- Automatisch erfasste Merkmale werden vom System beim Erfassen und Fortführen von Objekten erstellt und aktualisiert. Sie dienen hauptsächlich zur Datenorganisation und Historisierung, im Idealfall können jedoch auch für das Routing relevante Eigenschaftswerte automatisch erzeugt werden (z. B. Länge, An- und Abstieg).
- Hauptmerkmale werden für die Routenplanung und für die thematische Auswertung der Daten benötigt, sie sind deshalb nach Möglichkeit immer zu erfassen. Die dazu erforderlichen Informationen liegen in der Regel jedem Bearbeiter vor und können zum Teil direkt den kartographischen Basisdaten entnommen werden.
- Mit Hilfe von Grundmerkmalen können die Genauigkeit und die individuelle Relevanz der Routingergebnisse deutlich gesteigert werden. Sie dienen außerdem der Untersuchung von Radverkehrsstrecken hinsichtlich deren Art und Zustand. Diese Angaben sind zu erfassen, wenn die dazu benötigten Informationen vorliegen.
- Zusatzmerkmale vergrößern den Nutzwert des Datenbestands. Mit ihrer Hilfe können Routingergebnisse weiter individualisiert und thematische Auswertungen auch auf Spezialfälle ausgedehnt werden. Zusatzangaben sind nicht für alle Strecken relevant, können aber gegebenenfalls zur korrekten Interpretation der Daten beitragen. Wenn die entsprechenden Informationen vorliegen, sollten deshalb auch diese Merkmale erfasst werden.

3.4.3.4 Die Objektart Radverkehrsstrecke

Die in der Beschreibung der Objektart Radroutennetzabschnitt für Radstrecken definierten Eigenschaften wurden zum Großteil in das neue Datenmodell übernommen. Dazu wurden einige Attribute umbenannt, bei manchen wurde auch der Datentyp geändert. Bei allen übernommenen Eigenschaften wurden die gegebenenfalls vorhandenen Wertelisten überarbeitet und verbessert.

Die Eigenschaft Routenname wurde nach der Änderung der Objektstruktur direkt der Objektart Radroute zugeordnet, aus der Routenart wurde die Streckenart. Die Angabe der datenführenden Stelle wurde durch die Einführung von dienststellenbezogenen Benutzer-IDs überflüssig, ebenso die Einbeziehung des Dienststellenschlüssels in die jetzt als Strecken-ID bezeichnete Objekt-

Identifikationsnummer, die als Primärschlüssel fungiert. Auch die Zuordnung zum Landesradverkehrsnetz erfolgt nicht mehr über eine eigene Eigenschaft, das Landesradverkehrsnetz wird im neuen Modell als besonderes Radverkehrsnetz geführt. Da es aus organisatorischen und technischen Gründen nicht möglich ist, einen Zeiger von den Radverkehrsstrecken auf die Wegabschnitte im TFIS zu realisieren, wurde auch diese Eigenschaft entfernt. Die Angaben der KFZ-, Radfahrer- und Fußgängeranzahl in Spitzenstunden sollte zunächst beibehalten werden, wurden jedoch auf Wunsch der Kreisvertreter ebenfalls gestrichen.

Neben den bereits erläuterten Attributen Benutzer, Datum und Version sind auch die automatisch erfasste Streckenlänge und die mit Hilfe des digitalen Geländemodells berechneten Eigenschaften An- und Abstieg neu ins Datenmodell aufgenommen worden.

Der ebenfalls hinzugefügte Status einer Radverkehrsstrecke kann bei der Routenplanung und bei der Visualisierung der Daten berücksichtigt werden. Freigegebene Strecken können im Rahmen der StVO ohne Einschränkungen befahren werden, gesperrte und in Planung befindliche Strecken können dementsprechend nicht benutzt werden (siehe Beispiel in Abbildung 24). Mit Hilfe des Status „Gesperrt“ können zeitlich begrenzte Einschränkungen der Befahrbarkeit einer Strecke abgebildet werden, beispielsweise bei längerfristigen Baumaßnahmen. Darüber hinaus kann damit aber auch der Verkehrsfluss gesteuert werden, indem Strecken, die nicht von Fahrradfahrern benutzt werden sollen, erfasst und als gesperrt gekennzeichnet werden. Der Status „In Planung“ dient zur Visualisierung verschiedener Planungsvarianten innerhalb des bestehenden Streckennetzes und verhindert, dass nicht existierende Strecken in den Datenaustausch mit dem Radroutenplaner einbezogen werden.

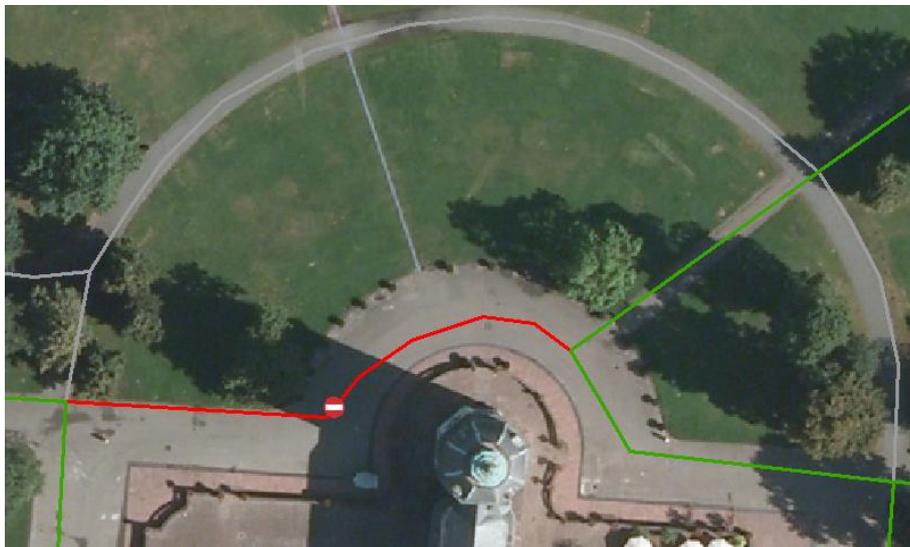


Abbildung 24: Für die Routenplanung testweise gesperrte Strecke am Karlsruher Schloss

Um korrekte und alltagstaugliche Routingergebnisse zu erhalten, müssen die für Fahrradfahrer entlang von Radverkehrsstrecken erlaubten Fahrtrichtungen bekannt sein. Wegen des nötigen Richtungsbezugs wird die Fahrtrichtung dabei immer relativ zur Digitalisierungsrichtung der Geometrie angegeben. Deshalb muss es den Bearbeitern möglich sein, die Digitalisierungsrichtung der vorhandenen Strecken anzeigen zu lassen. Im alten Datenmodell waren für die Angabe der Fahrtrichtung lediglich zwei Werte vorgesehen, um jedoch alle Möglichkeiten abbilden zu können, wurde ein zusätzlicher Wert hinzugefügt.

Die Angabe des Streckenniveaus ermöglicht es, Kreuzungssituationen topologisch korrekt abzubilden. Sie ist nötig, da es bei der Darstellung von Radverkehrsstrecken im zweidimensionalen Raum (auf dem Bildschirm oder auf einer Karte) sonst nicht möglich ist, Aussagen über das Höhengniveau der sich kreuzenden Strecken zu treffen. Radstrecken, die sich auf gleichem Höhengniveau kreuzen, müssen zwangsläufig über einen Knoten miteinander verbunden sein, zwischen Strecken auf unterschiedlichem Höhengniveau muss jedoch nicht unbedingt eine Verbindung bestehen (siehe Beispiel in Abbildung 25).

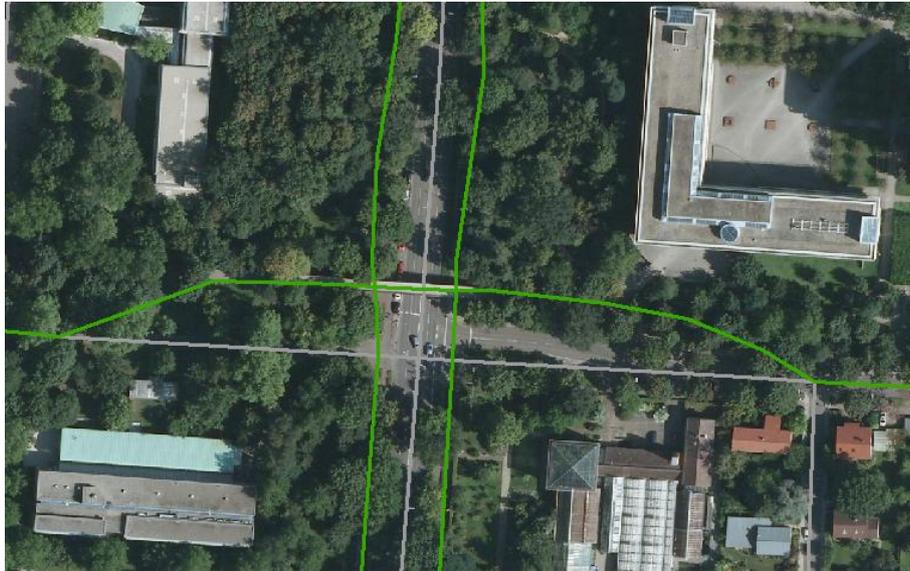


Abbildung 25: Radverkehrsstrecken und Straßengeometrien auf unterschiedlichen Höhengniveaus

Radverkehrsstrecken können einer von drei verschiedenen Streckenarten zugeordnet werden. Diese sind mit der Einteilung von Straßen in Gemeinde-, Kreis- und Bundesstraßen vergleichbar und beschreiben die regionale und gegebenenfalls überregionale Funktion der dazugehörigen Radverkehrsstrecken. Da Radstrecken gleichzeitig einer dieser Kategorien und einem Fernradweg angehören können, werden Fernradwege im neuen Datenmodell als Radverkehrsrouten geführt.

Der Baulastträger einer Straße ist für deren Planung, Bau, Wartung und Betrieb verantwortlich. Aus den in Abschnitt 3.3.2.1 aufgeführten Gründen wird im Unterschied zum alten Modell auf die Eingabe der Adresse verzichtet.

Die Wegart gibt an, wie eine Radverkehrsstrecke im Straßenraum geführt wird. Es gibt dabei im Wesentlichen fünf Kategorien, die jeweils mehrere Wegführungsarten eines Typs zusammenfassen. Abhängig von den ihm vorliegenden Informationen kann der Benutzer eine der allgemeinen Hauptkategorien auswählen oder detailliertere Angaben machen (siehe Abschnitt 3.4.3.1). Die spezifischen Unterschiede der einzelnen Wegarten können der Merkmals Erläuterung des Datenmodells entnommen werden.

Eine Besonderheit des Datenmodells ist die Möglichkeit, auch nicht mit dem Fahrrad befahrbare Strecken in den Datenbestand aufzunehmen. Dies ist der Tatsache geschuldet, dass Radrouten häufig auch kurze Strecken beinhalten, auf denen das Fahrrad geschoben werden muss. Um Radrouten vollständig abbilden zu können, musste deshalb eine Möglichkeit geschaffen werden, auch Strecken wie Fußgängerzonen und -brücken, Treppen, Unterführungen usw. erfassen zu können.

Darüber hinaus ermöglicht es die Kategorie „Verbindungsweg“, bestehende Radverkehrsstrecken unabhängig von deren tatsächlichem Verlauf über kurze Strecken miteinander zu verbinden. Durch die so geschaffenen Verbindungen wird die Alltagstauglichkeit der Resultate des Radroutenplaners insbesondere im innerstädtischen Bereich deutlich gesteigert. Ein Beispiel für die Verwendung eines solchen Verbindungswegs ist die direkte Verbindung zweier Radverkehrsstrecken über einen Fußgängerüberweg. In der Realität würde jeder Radfahrer diese Verbindung nutzen, anstatt den Umweg über die nächste, deutlich weiter entfernte Kreuzung zu fahren. Im DLM sind diese Verbindungen jedoch nicht enthalten, so dass der entsprechende Routenvorschlag des Radroutenplaners den vermeidbaren Umweg vorsieht (siehe Abbildung 26). Ziel der Berücksichtigung von nicht befahrbaren Wegen und sogenannten „Verbindungswegen“ ist es, die Flexibilität des Verkehrsmittels Fahrrad in die Routenplanung mit einbeziehen zu können.

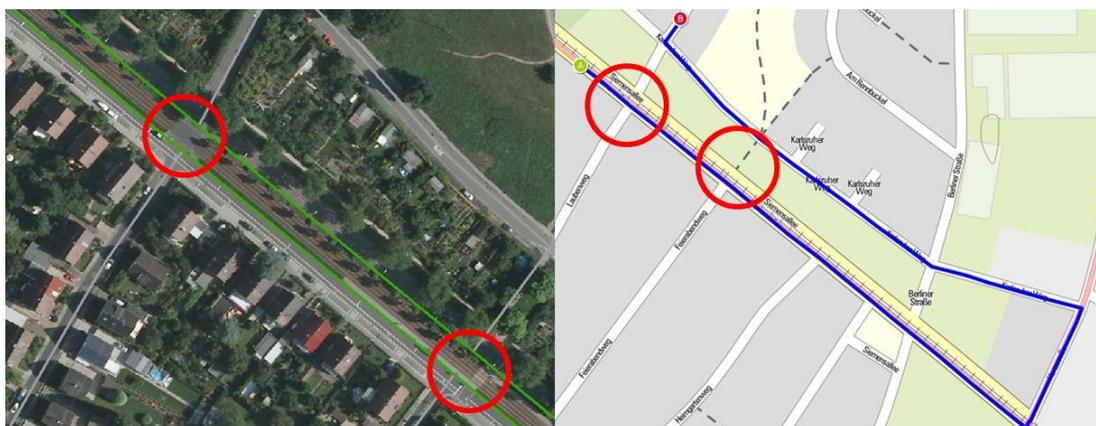


Abbildung 26: Im DLM nicht abgebildete Querungen einer Schienentrasse (links) und der daraus resultierende Umweg im Radroutenplaner (rechts)

Da die Qualität eines Weges äußerst subjektiv wahrgenommen wird, sollte die Erfassung von Belagsart und Wegqualität auf zwei verschiedene Eigenschaften aufgeteilt werden. Da man sich während des Arbeitsgruppentreffens zur Evaluierung des neuen Datenmodells jedoch nicht auf einheitliche Qualitätskriterien einigen konnte, wurde die Eigenschaft Wegqualität aus dem Objektartenkatalog gestrichen. Ein weiterer Grund für die Streichung war die unklare Rechtslage im Falle eines Sturzes auf einer durch den Radroutenplaner empfohlenen Strecke mit falscher Qualitätsangabe.

Die für die Angabe der Wegbreite vorgegebenen Werte orientieren sich an den gesetzlichen Vorgaben zur Mindestbreite bestimmter Radwegetypen. Da die Breite der Radverkehrsstrecken in der Regel nicht exakt bekannt ist, wurde die Werteliste im Vergleich zum alten Modell auf drei, nun leichter zu differenzierende Klassen beschränkt. Da die Breite für den explizit dem Radverkehr zuzuordnenden Straßenraum anzugeben ist, gibt es außerdem Fälle, in denen die Breite der Strecke nicht relevant ist, zum Beispiel bei Wirtschaftswegen und Fahrradstraßen.

Neu in den Objektartenkatalog aufgenommen wurden die Angaben zur Beleuchtung einer Radverkehrsstrecke. Sie ermöglichen es zu dokumentieren, ob eine Strecke bei Dunkelheit beleuchtet wird oder nicht. Ob dies aufgrund eigenständiger Beleuchtungsmaßnahmen, oder durch die vorhandene Beleuchtung angrenzender Straßen geschieht, ist dabei nicht relevant. Die Beleuchtung von Radwegen steigert sowohl die soziale Sicherheit als auch die Verkehrssicherheit dieser Wege deutlich. Dies ist insbesondere deshalb wichtig, weil die Leistung von Fahrradscheinwerfern nach

wie vor gesetzlich auf eine sehr geringe Leistung beschränkt ist, mit der die ausreichende Ausleuchtung des Straßenraums kaum möglich ist.

Wie im alten Datenmodell vorgesehen, können auch in der neuen Version URLs zu einer möglicherweise geschlossenen Vereinbarung, sowie zu einem Abschnittsbild gespeichert werden. Die referenzierten Dateien sollten dabei auf einem Server des jeweiligen Landrats- bzw. Bürgermeistersamts liegen, auf den über das Internet zugegriffen werden kann. Darüber hinaus ist es weiterhin möglich, die beim (Aus-)Bau einer Radverkehrsstrecke in Anspruch genommenen Fördermaßnahmen zu dokumentieren und zusätzliche Angaben zu den Eigenschaften einer Strecke als Bemerkung festzuhalten.

3.4.3.5 Die Objektarten Radroute und Radverkehrsnetz

Für die Objektart Radverkehrsnetz waren im alten Datenmodell keine zu erfassenden Eigenschaften festgelegt worden, für Radrouten sollten lediglich Name und Routenart erfasst werden. Da die im neuen Datenmodell vorgesehene Führung von Routen als eigenständige Objektart die problemlose Erfassung weiterer Eigenschaften ermöglicht, wurden auch für diese beiden Objektarten einige Merkmale festgelegt.

Die automatisch erfassten Daten unterscheiden sich dabei kaum von den bereits für die Objektart Radverkehrsstrecke erläuterten Eigenschaften. Das Attribut zur Speicherung der Geometrie sowie die beiden Merkmale An- und Abstieg werden für Routen und Netze nicht benötigt. Statt der Länge einer einzelnen Radverkehrsstrecke wird für diese beiden Objektarten automatisch die Gesamtlänge aller Teilstrecken berechnet und gespeichert.

Manuell können für beide Objektarten sowohl ein Name als auch eine textuelle Beschreibung erfasst werden. Namen können dabei problemlos mehrfach vorkommen, da alle Objekte über ihre ID eindeutig identifiziert werden können. Die Beschreibung ermöglicht es, den Verlauf einer Route zu schildern, oder die Besonderheiten eines Radverkehrsnetzes hervorzuheben. Zusätzlich zu diesen Informationen kann für beiden Objektarten angegeben werden, ob eine einheitliche Wegweisung vorhanden ist oder nicht.

3.4.3.6 Erläuterung der Merkmale

Da die Beschreibung der Merkmale im Objektartenkatalog auf die wichtigsten technischen und inhaltlichen Informationen beschränkt wurde, wird die Funktion der Merkmale in einem anderen Teil des Datenmodells genauer erläutert. Dabei werden neben den Eigenschaften selbst auch deren mögliche Werte beschrieben. Abbildung 27 auf Seite 66 zeigt einen Ausschnitt aus der Beschreibung des Objektmerkmals Wegart.

Durch die ausführliche Erläuterung soll den mit der Erfassung und Fortführung der Radverkehrsdaten betrauten Mitarbeitern der Stadt- und Landkreise die Bedeutung der einzelnen Attribute verdeutlicht werden. Ziel ist es, möglichst viele bei der Datenerfassung auftretende Fragen mit Hilfe der im Datenmodell vorhandenen Informationen beantworten zu können. Weiterführende Hinweise zum Ablauf der Datenerfassung liefert der sich zum Zeitpunkt dieser Arbeit noch in Entwicklung befindliche Leitfaden.

14 Wegart	Grundmerkmal	Werteliste		
Dieses Merkmal beschreibt die Art der Wegführung. Es gibt dabei im Wesentlichen fünf Hauptkategorien, die jeweils mehrere Unterkategorien beinhalten. Diese Unterkategorien können wiederum weitere Unterarten umfassen. Es bleibt dabei dem Benutzer vorbehalten, ob er lediglich eine allgemeine Kategorie angibt, oder detailliertere Angaben macht.				
Wichtige Zeichen aus dem amtlichen Verkehrszeichenkatalog (VzKat):				
				
Zeichen 237	Zeichen 240	Zeichen 241	Zeichen 1022-10	Zeichen 244
100 - Eigenständiger Weg Eigenständige Wege verlaufen abseits von Straßen, oder sind zumindest erheblich von diesen abgesetzt. Sie dürfen in der Regel in beide Richtungen befahren werden. Eigenständige Wege werden im DLM geometrisch abgebildet, Beispiele sind Wirtschafts- und Parkwege.				
110 - Radweg Eigenständige Wege können durch die Beschilderung mit Zeichen 237 des VzKat als Radwege ausgewiesen werden. Auf solchen Wegen sind in der Regel weder Fußgänger noch andere Fahrzeuge zugelassen.				
120 - Fuß- und Radweg Ein eigenständiger Weg kann als Fuß- und Radweg ausgewiesen werden. Andere Fahrzeuge sind dann in der Regel nicht zugelassen.				

Abbildung 27: Ausschnitt aus der Erläuterung des Merkmals „Wegart“

3.4.4 Aufstellung von Topologieregeln

Um die erfassten Daten für die Routenplanung nutzen zu können, müssen die in der Realität zwischen den verschiedenen Radverkehrsstrecken bestehenden Verbindungen möglichst exakt abgebildet werden. Die topologische Integrität des Radverkehrsnetzes ist deshalb wichtiger als die absolute Lagegenauigkeit der einzelnen Teilstrecken. Die nötige Verlässlichkeit der Topologie kann jedoch nur durch die ausreichend genaue Erfassung der einzelnen Radverkehrsstrecken erreicht werden. Durch Unachtsamkeit bei der Digitalisierung von Strecken entstehen allerdings häufig kleine Fehler, die die Routingfähigkeit des Radverkehrsnetzes gefährden. Sind beispielsweise die Endpunkte zweier Radverkehrsstrecken nicht langeleich, besteht zwischen diesen Strecken keine Verbindung, das Netz ist unterbrochen.

Da das alte Datenmodell keine Topologieregeln enthält, mit deren Hilfe solche Fehler aufgedeckt und korrigiert werden könnten, wurden entsprechende Regeln formuliert und in das neue Modell aufgenommen. Die folgenden fünf Regeln sind inzwischen Teil des Datenmodells:

- **Cluster-Bildung**

Beim Digitalisieren von Radverkehrsstrecken kann es vorkommen, dass zwischen eigentlich verbundenen Strecken kleine Lücken entstehen. Diese Lücken sind optisch kaum zu erkennen, führen aber zu Fehlern bei der automatischen Vernetzung der Radverkehrsstrecken und damit zu falschen Routingergebnissen. Um dies zu vermeiden, werden die Endpunkte von Strecken, die innerhalb einer festgelegten „Cluster-Toleranz“ von einem Meter liegen, vom System als lagegleich angesehen und automatisch zu einem gemeinsamen Knoten vereinigt (siehe Abbildung 28). Alle betroffenen Strecken sind dann über diesen Knoten miteinander verbunden.

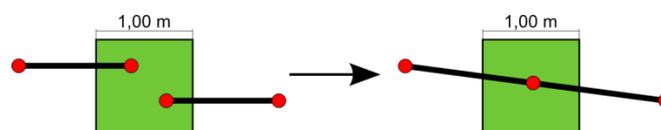


Abbildung 28: Vereinigung zweier Strecken, deren Endpunkte innerhalb der Cluster-Toleranz liegen

- **Keine losen Enden**

Radverkehrsstrecken enden in der Regel nicht als Sackgasse, sondern bilden zusammen mit anderen Strecken ein durchgängig befahrbares Radverkehrsnetz. Deshalb müssen Radverkehrsstrecken an ihren Enden immer mit jeweils mindestens einer anderen Strecke verbunden sein (siehe Abbildung 29). Da es jedoch vorkommen kann, dass Radverkehrsstrecken tatsächlich als Sackgasse enden oder dass weiterführende Strecken noch nicht erfasst wurden, können entsprechende Fälle explizit als Ausnahme gekennzeichnet werden. Solche Ausnahmen werden dann bei zukünftigen Validierungen der Topologie nicht mehr als Fehler registriert.

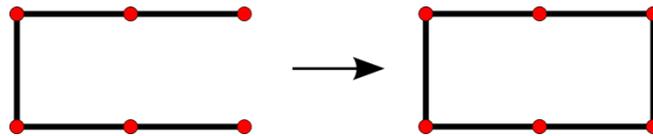


Abbildung 29: Netz mit (links) und ohne (rechts) lose(n) Enden

- **Keine Überschneidungen**

Die erfassten Radverkehrsstrecken dürfen weder sich selbst noch andere Radstrecken überlagern oder überschneiden. An Kreuzungen müssen sie über gemeinsame Endpunkte mit anderen Strecken verbunden sein (siehe Abbildung 30). Im dreidimensionalen Raum der realen Welt können sich Radverkehrsstrecken jedoch in Ausnahmefällen kreuzungsfrei überschneiden bzw. überlagern, beispielsweise an Über- und Unterführungen oder an spiralförmigen Rampen. Solche Ausnahmen können mit Hilfe des Attributs Niveau regelkonform abgebildet werden.

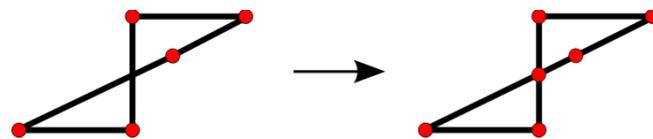


Abbildung 30: Netz mit (links) und ohne (rechts) Überschneidung

- **Keine mehrteilige Geometrie**

Eine Radverkehrsstrecke kann nur aus einem Geometrieobjekt bestehen und darf sich nicht aus mehreren getrennten Geometrieobjekten zusammensetzen (siehe Abbildung 31). Radwege die sich in der Lage voneinander unterscheiden, müssen dementsprechend als separate Radverkehrsstrecken abgebildet werden.

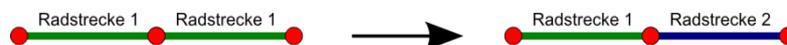


Abbildung 31: Mehrteilige Radverkehrsstrecke (links) und zwei einteilige Radverkehrsstrecken (rechts)

3.5 Fazit

Die korrekte Abbildung der realen Gegebenheiten mit Hilfe eines Datenmodells stellt bei Projekten wie der Schaffung des landesweiten Radverkehrsnetzes eine wichtige Voraussetzung für das Erreichen der Projektziele dar. Die entwickelten Modelle ermöglichen die fachliche Verständigung aller Beteiligten und dienen der Definition einheitlicher Begriffe.

Aufgrund dieser Bedeutsamkeit wurden die Bestandteile des vorhandenen Datenmodells hinsichtlich ihrer Eignung für die Zwecke des landesweiten Radverkehrsnetzes untersucht. Im Rahmen

dieser Untersuchung wurden einige Schwachstellen des Modells aufgedeckt. Problematisch waren insbesondere die unzureichende Dokumentation der Inhalte sowie die durch die geringe Anzahl entsprechender Eigenschaften stark eingeschränkten Routingmöglichkeiten.

Um diese Probleme ausräumen und alle gestellten Anforderungen erfüllen zu können, wurde das Datenmodell mit Hilfe allgemein anerkannter Entwicklungsmethoden überarbeitet. Die Bestandteile des optimierten Modells sind nun umfassend und standardkonform beschrieben. Darüber hinaus konnten die Möglichkeiten der Routenplanung durch die Einführung einiger neuer Attribute deutlich erweitert werden. Auf die Aufnahme weiterer – für die Belange der Baulastträger relevanter – Merkmale in das Modell musste jedoch verzichtet werden, da dies nicht ohne einen bedeutenden Mehraufwand bei der Erfassung und Fortführung der Daten realisierbar gewesen wäre. Durch die Einführung automatisch erfasster Eigenschaften, bei gleichzeitigem Verzicht auf überflüssige Merkmale, konnte die Effektivität des Datenmodells insgesamt deutlich gesteigert werden.

Das entstandene Modell bietet den großen Vorteil, dass es flexibel und skalierbar ist. Da bereits auf Grundlage der Geometrien und einiger weniger Eigenschaften ordentliche Routingergebnisse erzielbar sind, müssen die erfassten Objekte nicht alle von Anfang an detailliert attribuiert werden. Stattdessen kann der Fokus auf eine möglichst rasche geometrische Erfassung des gesamten landesweiten Radverkehrsnetzes gesetzt werden. Die dabei geschaffenen Objekte können anschließend nach und nach um weitere Eigenschaftswerte ergänzt werden. Dazu trägt insbesondere auch die hierarchische Gliederung der Wertelisten bei, die es ermöglicht, Informationen abhängig von deren Detailgrad zu erfassen. In Kombination mit der automatischen Informationsgewinnung durch entsprechende Eigenschaften und der Nutzung vorhandener ATKIS-Geometrien, kann mit überschaubarem Aufwand ein leistungsstarker Datenbestand aufgebaut werden.

Die Berücksichtigung spezieller radverkehrsspezifischer Eigenschaften kann als Alleinstellungsmerkmal des konzipierten Datenmodells angesehen werden. Durch die Möglichkeit Verbindungswege zu erfassen, wird zum Beispiel der Besonderheit Rechnung getragen, dass Fahrradfahrer durch Schieben des Rades auch Fußgängern vorbehaltenen Wege nutzen können. Nur wenn solche Eigenheiten des Radverkehrs in den zur Routenplanung verwendeten Daten berücksichtigt werden, ist es möglich alltagstaugliche Routingergebnisse zu erzielen. Der Großteil der vorhandenen Radroutenplaner greift jedoch auf Datenbestände zurück, die ursprünglich für den Kraftfahrzeugverkehr entwickelt wurden und die besonderen Möglichkeiten der Fahrradfahrer daher nicht berücksichtigen.

Durch die landesweit einheitliche Datengrundlage kann die Abstimmung zwischen Landrats- und Bürgermeisterämtern sowie Städten und Gemeinden deutlich verbessert werden. So ist es auf dieser Grundlage beispielsweise möglich, gebietsübergreifende Planungen im Bestand zu visualisieren. Darüber hinaus kann das Datenmodell in Absprache mit den jeweiligen Stellen um neue Relationen erweitert werden, um zusätzliche Anwendungsfelder zu erschließen. Dazu gehören zum Beispiel die Erfassung vorhandener Beschilderung, die Meldung von Mängeln oder die Analyse von Unfallzahlen.

Die Verwendung des optimierten Datenmodells als Grundlage für die Erfassung der Daten des landesweiten Radverkehrsnetzes wurde im März 2012 von den Projektpartnern beschlossen. Anschließend wurde das Modell in der zentralen Datenbank implementiert, so dass noch im selben Monat mit der Datenerfassung begonnen werden konnte. Da sich die zugrundeliegenden Daten

und die gestellten Anforderungen im Verlauf der Zeit ändern werden, ist die Entwicklung des Modells jedoch nicht als abgeschlossen zu betrachten. Stattdessen sollte das Datenmodell kontinuierlich weiterentwickelt werden, um vorhandene Probleme auszuräumen und neue Lösungen erarbeiten zu können.

Ein vielversprechendes Gebiet für zukünftige Entwicklungen ist beispielsweise die Erweiterung des Datenmodells zu dem Zweck qualifizierte Personen außerhalb der Verwaltung in den Prozess der Datenerfassung einbinden zu können (siehe Abschnitt 2.5.2). Durch die umfangreiche Dokumentation des Modells und die einfach gehaltene Oberfläche des Web-GIS ist es prinzipiell möglich, auch Personen ohne GIS-Erfahrung in die Datenerfassung einzubeziehen. Auf diese Weise könnte das Potential engagierter Bürger und das Fachwissen von Vereinigungen wie dem ADFC für die Zwecke des landesweiten Radverkehrsnetzes genutzt werden.

4 Integration unterschiedlicher Radverkehrsdaten

Mit der Umsetzung der beim Arbeitsgruppentreffen im Februar 2012 erarbeiteten Verbesserungsvorschläge war die Entwicklung des Datenmodells weitestgehend abgeschlossen. Vor dem Start der Datenerfassung für das landesweite Radverkehrsnetz konnte deshalb mit der Entwicklung eines Konzepts zur Integration bereits vorhandener Radverkehrsdaten in die zentrale Datenbank des landesweiten Radverkehrsnetzes begonnen werden. In diesem Kapitel wird erläutert, warum die Erarbeitung eines solchen Konzepts nötig war und wie dessen Inhalte mit Hilfe der im ArcGIS-Umfeld vorhandenen Werkzeuge praktisch umgesetzt werden konnten.

4.1 Gründe für die Entwicklung eines Datenintegrationskonzepts

Nach dem Ende der Testphase des entwickelten Web-GIS-Systems, wurde ab März 2012 offiziell mit der Datenerfassung für das landesweite Radverkehrsnetz begonnen. Als Ausgangsdatenbestand diente dabei das von der Firma Alpstein als Grundlage für den Radroutenplaner geschaffene Streckennetz. Dieses Netz basierte auf Radverkehrsdaten, die Alpstein aus den TKFD des LGL sowie von einzelnen Kreisen, Gemeinden und Tourismusverbänden erhalten hatte (siehe Abschnitt 2.3.1). Es war zwar in vielen Regionen bereits relativ umfangreich, konnte jedoch keineswegs als landesweit flächendeckend bezeichnet werden. Aus diesem Grund sollte es vor Beginn der Datenerfassung durch die bereits vorhandenen Datenbestände einzelner Kreise ergänzt werden.

Diese Radverkehrsdaten waren jedoch in der Regel nicht auf Grundlage von ATKIS-Geometrien oder digitalen Orthophotos erfasst worden und entsprachen deshalb nicht den durch das Datenmodell vorgegebenen Qualitätsanforderungen. Als Grundlage zur Digitalisierung der Radverkehrsstrecken waren stattdessen meist kleinmaßstäbige Rasterkarten, wie beispielsweise die TK50, verwendet worden. Die so erfassten Strecken lagen deshalb teilweise deutlich neben den entsprechenden Geometrien des digitalen Landschaftsmodells. Darüber hinaus entsprachen auch die bereits erfassten Attributwerte zum Großteil nicht den im Datenmodell vorgegebenen Objekteigenschaften.

Um die vorhandenen Datenbestände für die Zwecke des landesweiten Radverkehrsnetzes nutzen zu können, mussten diese also an die Vorgaben des konzeptionellen Datenmodells angepasst werden. Zu diesem Zweck war ein entsprechendes Konzept zu entwickeln, in dem ein allgemein gültiger Prozess zur Anpassung der Daten an das Straßennetz des DLM und die vorgegebene Sachdatenstruktur festgelegt werden sollte. Die Inhalte dieses Konzepts mussten mit den Werkzeugen der bei der LUBW verwendeten GIS-Software umgesetzt werden können. Die Modifikation der Daten sollte dabei weitestgehend automatisiert erfolgen, da eine vollständig manuelle Anpassung wegen des zu hohen Arbeitsaufwands nicht in Frage kam.

4.2 Konzept zur Integration der vorhandenen Radverkehrsdaten

Bei der Startveranstaltung vor Beginn der Datenerfassung wurde den Kreisen seitens der LUBW angeboten, dass diese eventuell vorhandene Radverkehrsdaten an die Vorgaben des Datenmodells anpassen könne. In diesem Abschnitt wird der dafür vorgesehene Arbeitsablauf erläutert.

Die anzupassenden Daten sind in Form von sogenannten „Shape-Files“ oder „Personal-“, bzw. „File-Geodatabases“ an die LUBW zu übermitteln. Abhängig von der Größe des Datensatzes können die Dateien dazu entweder per E-Mail oder mit Hilfe der in Abschnitt 2.5.1 vorgestellten Upload-Funktion des zentralen Erfassungsportals auf einen Server der LUBW übertragen werden. Des Weiteren ist eine textuelle Beschreibung der Radverkehrsdaten anzufertigen, in der die Erfassungsgrundlage der Strecken und der bei der Digitalisierung verwendete Maßstab angegeben werden. Sollen erfasste Eigenschaften in den zentralen Datenbestand übernommen werden, sind auch diese zu beschreiben. Darüber hinaus müssen alle Radverkehrsstrecken, die nicht an das Straßennetz des DLMs angepasst werden sollen, eindeutig gekennzeichnet werden. Dies kann beispielsweise mittels eines entsprechenden Attributes erfolgen.

Die LUBW prüft die übermittelten Daten und stellt dabei fest, ob die Koordinaten der Strecken in das für das landesweite Radverkehrsnetz verwendete Deutsche Hauptdreiecksnetz transformiert werden müssen. Außerdem wird das Streckennetz visuell mit den vorhandenen digitalen Orthophotos und den Geometrien des DLMs verglichen, um feststellen zu können, ob die Lagegenauigkeit der Daten für eine automatisierte Anpassung an das digitale Landschaftsmodell ausreicht. Sind die vorhandenen Strecken zu ungenau erfasst worden, ist es ohne vorhandene Ortskenntnisse nicht möglich, sie den entsprechenden DLM-Geometrien zuzuordnen. Wie im in Abbildung 32 dargestellten Beispiel werden Strecken dann häufig an die falschen Geometrien angepasst. In diesem Fall war nicht eindeutig erkennbar welcher DLM-Geometrie (braun) die erfasste Radverkehrsstrecke (orange) zuzuordnen ist. Bei der automatischen Anpassung der Daten wurde die Radstrecke deshalb fälschlicherweise an die Geometrie der unterhalb verlaufenden Straße angepasst (blau), anstatt an den straßenbegleitenden Wirtschaftsweg.



Abbildung 32: Radverkehrsstrecke vor (oben) und nach (unten) der Anpassung ans DLM

Gegebenenfalls ist außerdem zu überprüfen, welche erfassten Streckeneigenschaften bei der Anpassung des Datensatzes an die Vorgaben des Datenmodells übernommen werden können. Oft entsprechen die von den Kreisen erfassten Eigenschaftswerte nicht exakt den im Datenmodell festgelegten Wertelisten. In solchen Fällen ist es unter Umständen möglich, die vorhandenen Eigenschaftswerte zu übernehmen, indem diese bestimmten Einträgen der entsprechenden Wertelisten zugeordnet werden.

Liegen die vorhandenen Radverkehrsstrecken in ausreichender Genauigkeit vor und sind Attribute vorhanden, die übernommen werden können, ist eine Anpassung der Daten in jedem Fall sinnvoll. Falls die Angleichung vorhandener Eigenschaften nicht möglich ist, ist vor der Anpassung der Da-

ten festzustellen, ob der dazu nötige Aufwand gerechtfertigt ist. Zu diesem Zweck sind die bestehenden Radverkehrsstrecken mit dem jeweiligen Teil des von Alpstein bereitgestellten Streckennetzes zu vergleichen. Das Ergebnis dieses automatisierten Vergleichs zeigt die Übereinstimmung zwischen den beiden Netzen. Ermöglicht die Anpassung des vorhandenen Streckenbestands einen deutlichen Informationsgewinn gegenüber dem Ausgangsdatenbestand von Alpstein, ist diese als sinnvoll zu erachten.

In diesem Fall ist im nächsten Schritt die Ausdehnung des Streckennetzes auf das entsprechende Kreisgebiet zu begrenzen. Über dieses Gebiet hinaus gehende Radverkehrsstrecken müssen abgeschnitten werden, da diese in die Bearbeitungsgebiete der angrenzenden Stadt- und Landkreise fallen würden. Falls von den Verantwortlichen der entsprechenden Kreise gewünscht, können diese Strecken jedoch ebenfalls angepasst, anschließend exportiert und den Nachbarkreisen für die Integration in deren Netze zur Verfügung gestellt werden.

Darüber hinaus sind gegebenenfalls weitere Vorbereitungen zu treffen, die für eine erfolgreiche automatisierte Anpassung der Radverkehrsstrecken nötig sind. Beispielsweise müssen sehr lange Strecken in mehrere Teilstrecken aufgeteilt werden, da bei der Angleichung solcher Streckenobjekte an die entsprechenden DLM-Geometrien häufig Probleme entstehen. Darüber hinaus muss sichergestellt werden, dass keine mehrteiligen Streckengeometrien vorhanden sind und die entsprechende Topologieregel eingehalten wird (siehe Abschnitt 3.4.4).

Wenn all diese Voraussetzungen erfüllt sind, kann mit der Anpassung der Radverkehrsdaten an die Sachdatenstruktur des konzeptionellen Datenmodells begonnen werden, welche in Abschnitt 3.4.3.4 erläutert wurde. Dazu ist die in einem vorherigen Schritt festgelegte Zuordnung der vorhandenen Eigenschaftswerte zu den entsprechenden Inhalten der vorgegebenen Wertelisten mit Hilfe der vorhandenen Software-Werkzeuge praktisch umzusetzen. Ein Beispiel für ein solches Werkzeug ist der „FieldCalculator“ in ArcGIS, mit dem es möglich ist, Attributwerte auf Grundlage anderer bereits vorhandener Werte zu berechnen.

Um die Vorgaben des Datenmodells vollständig erfüllen zu können, müssen nach der Integration der Sachdaten auch die vorhandenen Streckengeometrien an das Straßennetz des digitalen Landschaftsmodells angeglichen werden. Diese Anpassung erfolgt in zwei Schritten. Zuerst werden die den bestehenden Strecken entsprechenden DLM-Geometrien ausgewählt. Die Identifikation erfolgt dabei anhand der Entfernung zwischen den Radverkehrsstrecken und den DLM-Objekten: Einer Strecke wird immer die nächstgelegene parallel verlaufende DLM-Geometrie zugewiesen. Geometrisch ist diese Methode durch die Generierung von Pufferzonen ansteigender Breite entlang der vorhandenen Radverkehrsstrecken zu realisieren. Alle Straßen des digitalen Landschaftsmodells die vollständig innerhalb dieser Pufferzonen liegen, werden als potentielle Anpassungsgrundlage ausgewählt.

Die Breite der Pufferzonen hängt dabei von der Genauigkeit der erfassten Strecken ab, sie sollte möglichst klein gehalten werden. Wird die Breite zu hoch angesetzt, werden unter Umständen für eine Radverkehrsstrecke mehrere DLM-Geometrien ausgewählt, was bei der Anpassung der Strecken zu Fehlern führt. Abbildung 33 auf Seite 73 verdeutlicht das Problem anhand des bereits verwendeten Beispiels. Die angepasste Strecke (blau) springt zwischen zwei DLM-Geometrien (braun) hin und her, da beide innerhalb des erzeugten Puffers (hellblau) liegen und abwechselnd näher an der vorhandenen Radverkehrsstrecke liegen.



Abbildung 33: Fehlerhaft angepasste Radverkehrsstrecke

Die so entstandene Auswahl der mit dem Streckenbestand korrespondierenden DLM-Objekte ist gegebenenfalls manuell von groben Fehlern zu bereinigen. Diese Fehler entstehen insbesondere dann, wenn wie in Abbildung 33 dargestellt, die Pufferbreite aufgrund der geringen Lagegenauigkeit der vorhandenen Strecken relativ groß gewählt werden muss und mehrere Straßen in geringem Abstand parallel verlaufen.

Anschließend sind die bestehenden Radverkehrsstrecken automatisch an die bereinigte DLM-Auswahl anzupassen. Dies geschieht, indem die Stützpunkte der Strecken so verschoben werden, dass sie mit dem jeweils nächstgelegenen Stützpunkt eines ausgewählten DLM-Objekts übereinstimmen. Um das Ergebnis zu verbessern, werden vor Beginn der Anpassung für alle Strecken zusätzliche Stützpunkte erzeugt.

Im Anschluss an die erfolgte geometrische Anpassung sind die dabei entstandenen Fehler manuell zu verbessern. Zu diesem Zweck ist automatisch eine Datei zu erzeugen, die alle nicht ATKIS-konformen und damit fehlerhaften Geometrien enthält. Neben diesem Fehlerbericht können zur Korrektur des Datensatzes auch die in einer „File-Geodatabase“ implementierten Topologieregeln verwendet werden, mit denen insbesondere Lücken und Überlappungen innerhalb des Netzes aufgespürt werden können.

Der so an die Vorgaben des konzeptionellen Datenmodells angepasste Datenbestand wird nach Abschluss der Arbeiten an den Verantwortlichen des jeweiligen Kreises übermittelt. Dieser sollte die Daten nochmals überprüfen, da unter bestimmten Umständen falsche Streckenverläufe generiert werden können, die jedoch nicht gegen die Regeln der ATKIS-Konformität verstoßen und deshalb von Bearbeitern ohne Ortskenntnis in der Regel nicht bemerkt werden (siehe Abbildung 32 auf Seite 71).

Auf Grundlage dieses Konzepts zur Integration vorhandener Radverkehrsdaten in den zentralen Datenbestand des landesweiten Radverkehrsnetzes ist es möglich, Daten aus verschiedenen Quellen und mit unterschiedlicher Genauigkeit automatisiert an die Vorgaben des Datenmodells anzupassen. Der festgelegte Arbeitsablauf gewährleistet qualitativ hochwertige Ergebnisse und ermöglicht eine effiziente Arbeitsweise. Es muss jedoch berücksichtigt werden, dass gewisse Probleme im Rahmen einer solchen Anpassung nicht vermieden werden können. So entstehen insbesondere dann Fehler, wenn einer Radverkehrsstrecke mehrere DLM-Geometrien zugeordnet werden. In solchen Fällen werden bei der automatischen Anpassung häufig sogenannte „Nulllängengeometrien“ generiert, was nichts anderes als den Wegfall einzelner Radverkehrsstrecken bedeutet. Darüber hinaus ändern sich durch die Anpassung zwangsläufig die Länge und die Position der vorhandenen Strecken, was die Verfälschung deren Attributierung zur Folge hat. Abbildung 34 auf Seite 74 zeigt beispielhaft, wie sich durch die Anpassung der Geometrien die Anzahl der Radstrecken und die Lage der Attributierung ändern. Die Balken in der Mitte des Schaubilds symbolisieren dabei die Attributierung der ursprünglichen (schwarz) und der angepassten (blau) Radstrecken.

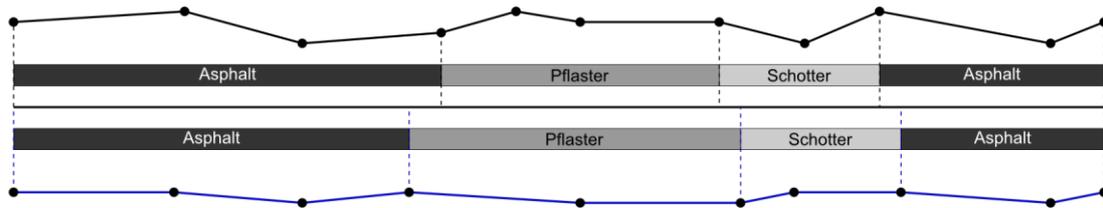


Abbildung 34: Radverkehrsstrecken vor (schwarz) und nach (blau) der Anpassung

Sollen keine Attribute übernommen werden, ist deshalb unter Umständen eine entsprechende Abwandlung des Konzepts zu erwägen. Bei dieser Methode werden die vorhandenen Radverkehrsstrecken nicht angepasst, sondern durch die entsprechend verbesserte Auswahl der korrespondierenden DLM-Geometrien ersetzt. Dadurch können einige typischerweise der bei der Anpassung der Daten entstehende Fehler vermieden werden.

4.3 Realisierung des entworfenen Datenintegrationskonzepts

Das im vorigen Abschnitt vorgestellte Konzept zur Integration der bei den Stadt- und Landkreisen vorhandenen Radverkehrsdaten in den zentralen Datenbestand des landesweiten Radverkehrsnetzes war auf Grundlage der bei der LUBW eingesetzten GIS-Software zu implementieren. Die LUBW verwendet die Version 10 des von der Firma ESRI vertriebenen Geoinformationssystems ArcGIS. Den Mitarbeitern werden dazu dynamisch Lizenzen für die drei im Desktopbereich verfügbaren Lizenzierungsstufen „ArcView“, „ArcEditor“ und „ArcInfo“ zur Verfügung gestellt.

4.3.1 Geoverarbeitung in ArcGIS

4.3.1.1 Werkzeuge

Die Automatisierung wiederkehrender Aufgaben im GIS-Bereich wird von ESRI als „Geoverarbeitung“ (englisch *Geoprocessing*) bezeichnet. In ArcGIS stehen zu diesem Zweck zahlreiche vorgefertigte Werkzeuge zur Verfügung, mit deren Hilfe Geodaten bearbeitet werden können. Diese „Geoverarbeitungswerkzeuge“ sind in sogenannten „Toolboxes“ organisiert, die alle ein bestimmtes Aufgabengebiet abdecken. So enthält die Toolbox „Datenintegration landesweites Radverkehrsnetz“ beispielsweise die entwickelten Werkzeuge zur Anpassung der vorhandenen Radverkehrsdaten (siehe Abbildung 35). Die Anzahl der verfügbaren Werkzeuge ist dabei von der verwendeten Lizenzierungsstufe abhängig. Während die Möglichkeiten der Geoverarbeitung in „ArcView“ und „ArcEditor“ eingeschränkt sind, enthält „ArcInfo“ alle vorhandenen Werkzeuge.



Abbildung 35: Organisation der vorhandenen Werkzeuge

4.3.1.2 Modelle und Skripte

Um auch komplexe Arbeitsprozesse abbilden zu können, ist es möglich, die vorhandenen Basis-Werkzeuge miteinander zu verknüpfen. Dadurch können die Ausgabewerte eines Werkzeugs als Eingabewerte eines anderen Werkzeugs verwendet werden. Das Resultat einer solchen Kombination mehrerer Werkzeuge wird abhängig von der zur Erstellung verwendeten Methode als „Mo-

dell“ oder „Skript“ bezeichnet. Während Skripte mit Hilfe der Programmiersprache „Python“ erstellt werden, werden Modelle im sogenannten „ModelBuilder“ kreiert. Unabhängig von der Erstellungsmethode können Modelle und Skripte genau wie die von ESRI bereitgestellten Basis-Werkzeuge verwendet und in andere Modelle bzw. Skripte eingebunden werden.

4.3.1.3 Der ModelBuilder

Zur Umsetzung des erarbeiteten Datenintegrationskonzepts wurde der „ModelBuilder“ eingesetzt, mit dessen Hilfe einem zu erstellenden Modell vorhandene Geoverarbeitungswerkzeuge hinzugefügt werden können. Dies geschieht entweder per „Drag and Drop“ oder über ein entsprechendes Menü. Werkzeuge werden im „ModelBuilder“ als grüne Rechtecke dargestellt, die dazugehörigen Eingangsdaten und die erzeugten Ausgangsdaten werden durch blaue bzw. gelbe Ellipsen symbolisiert (siehe Abbildung 36 auf Seite 76).

Ähnlich wie bei der Erstellung eines Diagramms können die abgebildeten Geodaten über Pfeile mit Werkzeugen verbunden werden. Diese Pfeile symbolisieren Beziehungen, die abhängig von den Daten und den damit verknüpften Werkzeugen über bestimmte Eigenschaften verfügen können. Das Verhalten der in ein Modell eingebundenen Werkzeuge kann mit Hilfe von Parametern gesteuert werden. Die Werte dieser Parameter können entweder im „ModelBuilder“ fest vorgegeben oder anhand bestimmter Bedingungen zur Laufzeit des Werkzeugs bestimmt werden. Darüber hinaus ist es auch möglich, den Benutzern die Angabe der entsprechenden Parameterwerte zu überlassen. So kann zum Beispiel der Speicherort einer zu erzeugenden Datei durch den Ersteller des Werkzeugs vorgegeben werden. Abhängig von den gewählten Einstellungen kann er aber auch vom Dateinamen der Eingabedatei abhängig gemacht oder durch die Benutzer frei gewählt werden.

Ebenfalls Teil eines Modells können Iterationen und die aus der Programmierung bekannten „If-Else-Bedingungen“ sein, mit deren Hilfe der Ablauf des durch das Modell abgebildeten Datenverarbeitungsprozesses gesteuert werden kann. Die so entstandenen Modelle können entweder direkt aus dem „ModelBuilder“ gestartet oder als Werkzeug innerhalb einer „Toolbox“ abgelegt werden.

4.3.2 Schaffung eines Ausgangsdatenbestands

Vor der Anpassung der von den Kreisen an die LUBW übermittelten Radverkehrsdaten mussten die dafür benötigten Geodaten aufbereitet werden. Die Flächen der 44 Stadt- und Landkreise Baden-Württembergs wurden in einem Datensatz zusammengefasst. Die für den Radverkehr relevanten Geometrien des digitalen Landschaftsmodells wurden zu einem landesweiten Straßennetz aggregiert. Um die Handhabung dieses Netzes zu verbessern, wurde es mit Hilfe eines dafür entwickelten Werkzeugs in 44 Teilnetze aufgeteilt (siehe Abbildung 36 auf Seite 76). Das von Alpstein als Ausgangsdatenbestand für das landesweite Radverkehrsnetz zur Verfügung gestellte Streckennetz wurde ebenso auf die einzelnen Kreise aufgeteilt. Anschließend wurden die so entstandenen Datensätze in einer „File-Geodatabase“ gespeichert. Die von den Kreisen übermittelten Datenbestände wurden gegebenenfalls in das „Deutsche Hauptdreiecksnetz“ transformiert und dann in einer weiteren „File-Geodatabase“ abgelegt.

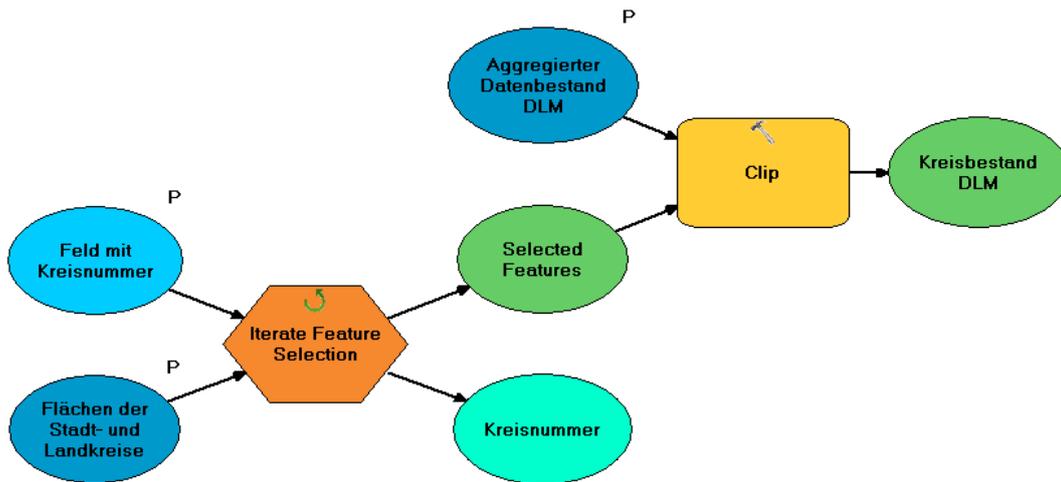


Abbildung 36: Modell eines Werkzeugs zur Aufteilung des DLM-Bestands in 44 Teile

Die so aufbereiteten Daten wurden zusammen mit den digitalen Orthophotos in ein ArcMap-Projekt eingebunden, wo sie entsprechend visualisiert werden konnten. Dieses Projekt bildete die Grundlage für alle weiteren Arbeitsschritte.

Durch einen Vergleich mit dem Straßennetz des DLMs und den vorliegenden Luftbildern konnte festgestellt werden, ob die Lagegenauigkeit der Kreisdaten für einen Abgleich mit dem Alpstein-Bestand und für die Anpassung an die Vorgaben des Datenmodells ausreichend war. Des Weiteren wurde mit Hilfe der mitgelieferten Unterlagen geprüft, welche der vorhandenen Attribute übernommen werden konnten. Alle nicht übertragbaren Attribute wurden mitsamt den erfassten Attributwerten gelöscht.

4.3.3 Datenabgleich mit dem Alpstein-Bestand

Um die vorhandenen Radverkehrsdaten der Kreise mit dem Streckennetz von Alpstein vergleichen zu können, wurde ein entsprechendes Werkzeug entwickelt. Dieses erzeugt entlang der Strecken der zu vergleichenden Datensätze Pufferzonen mit einer vom Benutzer vorgegebenen Breite. Anschließend wird ermittelt, welche der Radstrecken innerhalb der Pufferzone des jeweils anderen Datenbestands liegen. Als Ergebnis werden automatisch mehrere Datensätze mit dem folgenden Inhalt erzeugt und gespeichert:

- Alle Strecken, die nur im Alpstein-Bestand vorhanden sind.
- Alle Strecken, die nur im Kreisbestand vorhanden sind.
- Alle Strecken des Kreisbestands, die mit Strecken des Alpstein-Bestands übereinstimmen.
- Alle Strecken des Alpstein-Bestands, die mit Strecken des Kreisbestands übereinstimmen.

Der Verlauf der in den beiden zuletzt aufgeführten Datensätzen enthalten Strecken stimmt zwar grundsätzlich überein, die exakte Lage der Geometrien unterscheidet sich jedoch häufig deutlich. Wird das Modell im „ModelBuilder“ ausgeführt, werden die erzeugten Datenbestände automatisch zur Legende des ArcMap-Projekts hinzugefügt und wie in Abbildung 37 auf Seite 77 dargestellt bestimmten Vorgaben entsprechend visualisiert. Übereinstimmende Strecken werden grün dargestellt, lediglich im Kreisbestand vorhandene blau und Strecken die nur von Alpstein geführt werden violett.

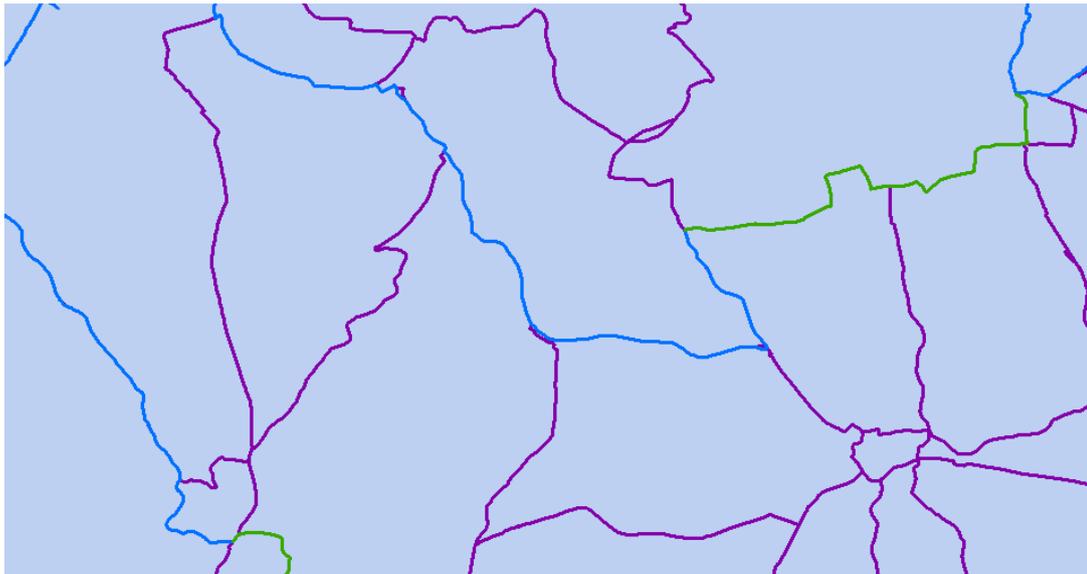


Abbildung 37: Vergleich der vorhandenen Radverkehrsstrecken

4.3.4 Anpassung der Kreisdaten

Wurde auf Grund der vorhandenen Attributierung oder anhand der Ergebnisse des durchgeführten Datenabgleichs beschlossen, die vorhandenen Kreisdaten anzupassen, mussten in einem ersten Schritt die Sachdaten angeglichen werden. Dazu wurden die Werte der zu übernehmenden Eigenschaften gegebenenfalls mit Hilfe des in ArcMap enthaltenen „FieldCalculators“ und der Programmiersprache „Python“ neu klassifiziert (siehe Abbildung 38).

Um die so aufbereiteten Kreisdaten an das Datenmodell des landesweiten Radverkehrsnetzes anpassen zu können, wurde ein weiteres Werkzeug entwickelt. Dieses erstellt eine neue Datei, die der für die Objektart Radverkehrsstrecke festgelegten Sachdatenstruktur entspricht. Anschließend werden die Daten des Kreisbestands automatisch in diese Datei übertragen. Dabei wird die vorher manuell festgelegte Zuweisung der vorhandenen Eigenschaften zu den Eigenschaften des neuen Datensatzes berücksichtigt. Darüber hinaus schneidet das Werkzeug automatisch alle Geometrien außerhalb des jeweiligen Kreisgebiets ab und wandelt gegebenenfalls mehrteilige Geometrien in einteilige um.

Nach der Anpassung der Sachdaten wurden im nächsten Schritt die Geometrien der Kreisbestände an das Straßennetz des digitalen Landschaftsmodells angepasst. Dafür mussten zuerst die den Radverkehrsstrecken des jeweiligen Kreises entsprechenden DLM-Geometrien ausgewählt werden. Zu diesem Zweck war ein weiteres Werkzeug entwickelt worden, mit dem in mehreren Schritten alle DLM-Geometrien in der unmittelbaren Umgebung des anzuleichenden Streckenbestands selektiert und in einen neuen Datensatz überführt werden konnten. Um dabei ein möglichst optimales Ergebnis zu erreichen, kann das Werkzeug durch die Angabe mehrerer von der

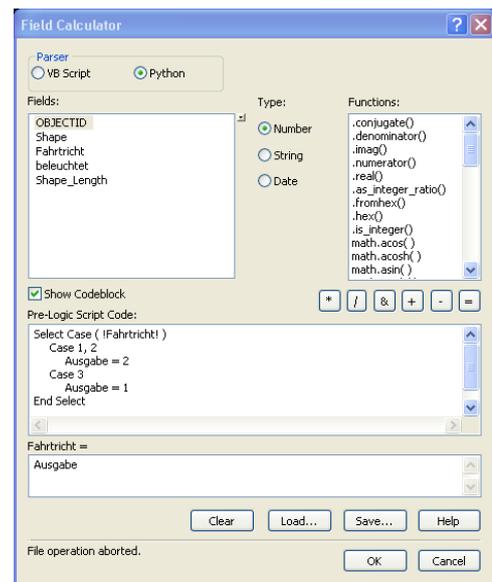


Abbildung 38: Reklassifizierung vorhandener Attributwerte mit Hilfe des „FieldCalculators“

Lagegenauigkeit des Kreisbestands abhängigen Werte individuell konfiguriert werden. Basierend auf diesen Werten werden iterativ mehrere Pufferzonen mit ansteigender Breite erstellt. Dabei wird nach jeder Iteration geprüft, welche noch nicht ausgewählten Strecken innerhalb der neu erzeugten Pufferzone liegen. Diese Strecken werden dann der Auswahl hinzugefügt. Auf diese Weise konnte die Anzahl der fehlerhaften Zuordnungen im Vergleich zur statischen Erzeugung einer einzelnen Pufferzone deutlich gesenkt werden. Das Beispiel in Abbildung 39 veranschaulicht diese Methode. Zur Anpassung der vorhandenen Radverkehrsstrecke (orange) wurde die untere DLM-Geometrie (weiß) entlang der Straße ausgewählt (siehe Abbildung 32 auf Seite 71), da diese bereits bei einer Pufferbreite von fünf Metern vollständig innerhalb des erzeugten Puffers (blau) liegt, während die obere Geometrie erst bei einer Pufferbreite von sieben Metern (lila) vollständig eingeschlossen wird.



Abbildung 39: Um eine Radverkehrsstrecke erzeugte Pufferzonen

Nichts desto trotz werden in der Regel dennoch einige DLM-Geometrien falsch oder gar nicht zugeordnet. Diese Fehler müssen manuell korrigiert werden, bevor die Radverkehrsdaten der Kreise endgültig an die vorliegenden ATKIS-Daten angepasst werden können.

Bei dieser Anpassung werden alle Stützpunkte der Strecken automatisch auf den jeweils nächstgelegenen Stützpunkt der ausgewählten DLM-Geometrien verschoben. Um ein optimales Ergebnis zu erzielen, werden vor Beginn dieser Angleichung zusätzliche Stützpunkte entlang aller Strecken erzeugt. Fallen im Lauf der Anpassung mehrere Streckenstützpunkte auf denselben Punkt, werden automatisch alle unnötigen gelöscht, so dass es zu keiner ungewollten Segmentierung der Strecken kommt. In Abbildung 40 werden die zusätzlich eingefügten Stützpunkte beispielhaft in grün dargestellt, die vorhandenen in orange. Das Resultat der Anpassung ist die blaue Radverkehrsstrecke, die weitestgehend entlang der Geometrien des digitalen Landschaftsmodells verläuft und mehr Stützpunkte beinhaltet als die ursprüngliche Strecke. Dementsprechend wäre das Ergebnis der Anpassung ohne die zusätzlich eingefügten Punkte deutlich ungenauer ausgefallen. Rechts unten ist ein bei der Anpassung entstandener Fehler zu sehen, für keinen der vorhandenen oder eingefügten Stützpunkte ist der rot markierte Stützpunkt der DLM-Geometrie der nächstgelegene.

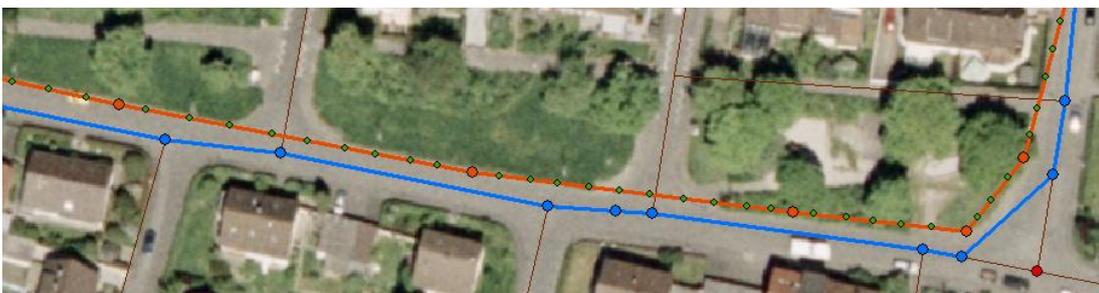


Abbildung 40: Anpassung einer Radverkehrsstrecke

Nach Abschluss des Anpassungsprozesses können automatisch alle Strecken auf ihre ATKIS-Konformität überprüft und ein Datensatz mit allen nicht ATKIS-konformen Objekten erstellt wer-

den. Dieser kann anschließend zur manuellen Korrektur der vorhandenen Fehler verwendet werden. Fehler entstehen hauptsächlich an den Stützpunkten der DLM-Geometrien, denen auf Grund der verwendeten Zuordnungsmethode (kürzeste Entfernung) keine Stützpunkte der vorhandenen Radverkehrsstrecken zugeordnet werden können.

4.3.5 Anpassung der Alpstein-Daten

Wie in Abschnitt 2.3.2 erwähnt, wurde im Laufe des Projekts festgestellt, dass der von der Firma Alpstein bereitgestellte Datenbestand entgegen den bis dahin geltenden Annahmen nicht vollständig ATKIS-konform war. Einige Strecken wichen an einzelnen Stellen von den Geometrien des digitalen Landschaftsmodells ab. Da dies beim Vergleich mit den vorhandenen Radverkehrsstrecken der Kreise zu Problemen führte und sich darüber hinaus einige Kreise dazu entschlossen hatten, den Alpstein-Bestand zu übernehmen und fortzuführen, mussten diese Probleme ausgeräumt werden. Ein Großteil der Fehler konnte durch erneutes Anpassen der Alpstein-Strecken an das Straßennetz des DLMs beseitigt werden. Dazu wurden die bereits vorhandenen Werkzeuge entsprechend modifiziert. Die verbleibenden Fehler konnten zwar automatisch aufgespürt und dokumentiert werden, waren aber nur manuell zu verbessern. Da die Firma Alpstein der LUBW jedoch im April 2012 einen neuen vollständig ATKIS-konformen Streckenbestand zur Verfügung stellte, löste sich dieses Problem letzten Endes von selbst.

4.4 Fazit

Die bei den Stadt- und Landkreisen vorhandenen Radverkehrsdaten sollten in den zentralen Datenbestand des landesweiten Radverkehrsnetzes übernommen werden. Da diese Daten in der Regel nicht den Vorgaben des konzeptionellen Datenmodells entsprachen, eine Neuerfassung oder manuelle Anpassung auf Grund des enormen Arbeitsaufwands jedoch nicht in Frage kam, wurde ein Konzept zur automatisierten Integration der bestehenden Radverkehrsdaten erarbeitet.

Dieses Konzept wurde anschließend mit Hilfe der vorhandenen Werkzeuge der bei der LUBW eingesetzten GIS-Software „ArcGIS“ praktisch umgesetzt. Dazu wurden im sogenannten „ModelBuilder“ Geoverarbeitungswerkzeuge entwickelt, mit denen die vorhandenen Datenbestände weitestgehend automatisch angepasst werden konnten. Die Verknüpfung und Parametrisierung vorhandener und selbst entwickelter Werkzeuge innerhalb von erstellten Modellen erwies sich als äußerst hilfreich um häufig wiederkehrende komplexe Datenverarbeitungsaufgaben automatisieren zu können. Die geschaffenen Modelle konnten in selbst angelegten „Toolboxes“ organisiert und so problemlos verwaltet, dokumentiert und an andere Nutzer weitergegeben werden.

Bis zur ersten Datenabgabe an den Radroutenplaner konnten die Bestände von acht Kreisen angepasst und in den zentralen Datenbestand des landesweiten Radverkehrsnetzes übernommen werden, was teilweise eine erhebliche Arbeits- und Kostenersparnis mit sich brachte. Trotz der erfolgreichen Anwendung des erarbeiteten Integrationskonzepts muss jedoch klar sein, dass die Anpassung vorhandener Daten aufgrund der in Abschnitt 4.2 beschriebenen typischen Probleme, wie beispielsweise der Verfälschung der Attributierung, nur als Notlösung anzusehen ist. Eine den Vorgaben des Datenmodells entsprechende Neuerfassung vorhandener Radverkehrsdaten ist bei vertretbarem Aufwand immer vorzuziehen.

5 Implementierung von Routingfunktionalität

Durch die Optimierung des konzeptionellen Datenmodells war die Grundlage für die Erfassung von Daten für das landesweite Radverkehrsnetz geschaffen worden. Darüber hinaus konnte durch die Integration der bereits vorhandenen Datenbestände innerhalb kurzer Zeit ein umfangreicher Grunddatenbestand erzeugt werden. Im Hinblick auf die zukünftige Nutzung dieser Daten und die Weiterentwicklung des Datenmodells sollten die theoretisch gegebenen Routingfähigkeiten mit Hilfe eines zu entwickelnden Routenplanungs-Prototyps praktisch angewendet und getestet werden. In diesem Kapitel werden die Gründe für die Entwicklung eines solchen Prototyps, die Grundprinzipien der Routenplanung, die in ArcGIS vorhandenen Möglichkeiten zur Netzwerkanalyse und die Entwicklung der prototypischen Routing-Anwendung geschildert.

5.1 Gründe für die Entwicklung eines Routing-Prototyps

Eines der Ziele der am ursprünglichen Modell vorgenommenen Verbesserungen war der Ausbau der Routingfähigkeiten des Radverkehrsnetzes durch die Steigerung der Anzahl der für die Routenplanung nutzbaren Eigenschaften (siehe Abschnitte 3.3.2.2 und 3.4.3.2). Zum Zeitpunkt dieser Arbeit wurden bei der Aktualisierung der Daten des Radroutenplaners jedoch lediglich die Geometrien der Radverkehrsstrecken übermittelt, die erfassten Eigenschaften wurden nicht berücksichtigt. Dies war einerseits durch die Funktionsweise des Radroutenplaners bedingt, auf die Seite der LUBW und der NVBW kein Einfluss genommen werden konnte, andererseits waren in den zwei Monaten zwischen Beginn der Datenerfassung und dem ersten Datenaustausch mit der Firma Alpstein noch nicht sehr viele Streckeneigenschaften erfasst worden.

Um die nach der Optimierung des Datenmodells vorhandenen Routingmöglichkeiten des landesweiten Radverkehrsnetzes dennoch demonstrieren und testen zu können, sollte prototypisch eine eigene Anwendung zur Routenplanung entwickelt werden. Diese war mit Hilfe der bei der LUBW vorhandenen Werkzeuge der ArcGIS-Produktpalette zu erstellen und sollte als interne Web-Anwendung zur Verfügung gestellt werden. Sollten sich bestimmte Eigenschaften als für die Routenplanung besonders geeignet herausstellen, können diese möglicherweise zukünftig in den online Radroutenplaner der Firma Alpstein integriert werden. Zudem können weniger geeignete Merkmale aus dem konzeptionellen Datenmodell entfernt und bislang noch nicht vorhandene hinzugefügt werden.

Darüber hinaus diene die Implementierung einer solchen Anwendung als Test für die zukünftige Integration von Routingfunktionen in das zur Erfassung und Pflege der Radverkehrsdaten verwendete Web-GIS. Diese Funktionen sollen dort insbesondere zur Erleichterung der Attributierung von Radverkehrsstrecken und Radrouten dienen.

5.2 Grundlagen der Routenplanung

5.2.1 Ziele und Grundprinzip

Bei der Routenplanung geht es darum, die optimale Verbindung (Route) zwischen mehreren Orten innerhalb eines Verkehrsnetzwerks zu finden. Welche Kriterien zur Ermittlung einer solchen Route herangezogen werden hängt von den zur Verfügung stehenden Informationen und den Vorgaben der Nutzer ab. So kann die optimale Verbindung beispielsweise die kürzeste, schnellste, schönste oder kostengünstigste sein. Häufig können auch aktuelle Ereignisse berücksichtigt werden, die einen indirekten Einfluss auf die verwendeten Kriterien haben, zum Beispiel Baustellen und Staus.

Um automatisch optimale Routen berechnen zu können, werden die der Routenplanung zugrundeliegenden Netzwerke als Graphen betrachtet. Jeder dieser Graphen besteht aus einer Menge von Knoten und Kanten, denen Gewichte zugeordnet werden können (siehe Abschnitt 3.4.1.2). Typische Kantengewichte sind beispielsweise die Streckenlänge oder die zur Bewältigung einer Strecke benötigte Zeit. Knoten wird als Gewicht häufig die zum Abbiegen an der entsprechenden Kreuzung benötigte Zeit zugewiesen.

Um zur Routenplanung Algorithmen einsetzen zu können, die von der Art der Gewichte unabhängig sind, werden die verwendeten Gewichte allgemein als Kosten betrachtet. Der Weg von A nach B, der die geringsten Kosten verursacht, stellt somit die optimale Verbindung dar. Anstatt verschiedene Methoden zur Berechnung der kürzesten und der schnellsten Route entwickeln zu müssen, wird nur ein Algorithmus benötigt, welcher im Grunde genommen Kosten optimiert.

5.2.2 Dijkstra-Algorithmus

Der bekannteste solche Algorithmus ist der nach seinem Erfinder Edsger Wybe Dijkstra benannte „Dijkstra-Algorithmus“. Dieser berechnet den kürzesten bzw. günstigsten Pfad von einem gegebenen Startknoten zu allen anderen Knoten innerhalb eines Netzwerks. Für die Zwecke der Routenplanung wird der Algorithmus jedoch abgebrochen sobald die kürzeste Strecke zum Zielknoten bekannt ist. Aufgrund des verwendeten Ansatzes, zur Ermittlung des kürzesten Pfades stets vom bislang vielversprechendsten Zwischenergebnis auszugehen, gehört der Dijkstra-Algorithmus zur Gruppe der „Greedy-Algorithmen“. Im Gegensatz zu den meisten Algorithmen dieser Gruppe berechnet er jedoch stets die optimale Route (vgl. Cormen et al. 2004, S. 598 - 604).

5.2.3 Verbesserung des Dijkstra-Algorithmus

Die Zeitkomplexität des Algorithmus hängt in erster Linie von der verwendeten Datenstruktur zum Speichern der bei der Berechnung noch nicht berücksichtigten Knoten ab und ist in der Regel exponentiell oder logarithmisch. In großen Verkehrsnetzwerken ist der Dijkstra-Algorithmus damit zu langsam. Deshalb wurden im Laufe der vergangenen Jahre unterschiedliche Methoden zur Verkürzung der benötigten Rechenzeit entwickelt. Dabei werden meist im Voraus bestimmte Zusatzinformationen berechnet und gespeichert, auf die dann bei der eigentlichen Ermittlung der optimalen Verbindung zurückgegriffen werden kann. Dadurch ist es heute möglich, Routen im Vergleich zum klassischen Dijkstra-Algorithmus bis zu drei Millionen Mal schneller zu berechnen.

Diese Beschleunigung kann jedoch häufig nur auf Kosten eines teilweise erheblich höheren Speicherplatzbedarfs erreicht werden (vgl. Pajor 2010, S. 9 - 14).

Um die zur Berechnung der optimalen Route benötigte Zeit zu verringern, greifen aktuelle Routenplaner daher meist auf heuristische Verfahren und den A*-Algorithmus zurück, der den Dijkstra-Algorithmus um Schätzfunktionen erweitert (vgl. Pajor 2010, S. 13). So werden zum Beispiel Straßennetze in verschiedene Hierarchien (Ortsstraßen, Bundesstraßen, Autobahnen) aufgeteilt. Liegen Start- und Zielpunkt weit voneinander entfernt, wird dann zuerst von beiden Punkten aus der ideale Weg zur nächstgelegenen Autobahn ermittelt. Zur Berechnung der optimalen Verbindung zwischen den beiden neuen Punkten auf der Autobahn müssen dann nur noch diejenigen Kanten berücksichtigt werden, die als Autobahn gekennzeichnet sind (vgl. Delling et al. 2009, S. 119 ff.).

5.2.4 Routenplanungs-Software und Geodaten

Zur Routenplanung können unterschiedliche Programme hauptsächlich kommerzieller Anbieter verwendet werden. Dabei kann man zwischen über das Internet verfügbaren *online* Routenplanern und auf Computern oder sonstiger Hardware installierten *offline* Routenplanern unterscheiden. Letztere greifen auf lokal gespeichertes Kartenmaterial zu und kommen hauptsächlich bei mobilen Navigationslösungen in Kraftfahrzeugen und in sogenannten „Smartphones“ zum Einsatz. Sie sind dort meist mit Software verknüpft, die die Navigation entlang der ermittelten Route ermöglicht. Online Routenplaner beziehen die benötigten Daten bei Bedarf über das Internet und sind meist kostenlos. Sie sind in der Regel jedoch nicht mit einem Navigationssystem verbunden, so dass die ermittelten Routen ausgedruckt oder manuell auf ein solches System übertragen werden müssen.

Wegen des großen Aufwands zur Erfassung und Pflege der zur Routenplanung benötigten Geodaten und der damit verbundenen hohen Kosten gibt es nur wenige Stellen, die entsprechende Datensätze erstellen und vertreiben. Neben Firmen wie NAVTEQ und Tele Atlas gehört dazu auch das OpenStreetMap-Projekt, dessen Daten kostenlos zur Verfügung stehen. Auch das im digitalen Landschaftsmodell des LGL vorhandene Straßennetz kann mit Einschränkungen zur Routenplanung verwendet werden.

Neben den allgemeinen Routenplanern für die Nutzung im normalen Straßenverkehr gibt es auch Speziallösungen für bestimmte Branchen und Anwendungsgebiete. Die bei Logistikunternehmen eingesetzten Software-Lösungen können bei der Routenplanung beispielsweise auch die maximale Durchfahrtshöhe von Tunneln und die Öffnungszeiten von Grenzübergängen berücksichtigen. Seit einigen Jahren sind darüber hinaus auch spezielle Anwendungen für den Freizeitbereich verfügbar, zum Beispiel Wander- und Radroutenplaner. Diese beziehen zusätzliche Strecken in die Wegfindung mit ein und berücksichtigen die besonderen Gegebenheiten der jeweils im Vordergrund stehenden Fortbewegungsart (siehe Abschnitt 3.4.3.4).

5.3 Routenplanung in ArcGIS

Optimale Verbindungen zwischen mehreren Punkten innerhalb eines bestehenden Streckennetzes können in ArcGIS mit Hilfe der Erweiterung „Network Analyst“ ermittelt werden. Diese ermöglicht die Modellierung, Visualisierung und Analyse von Verkehrsnetzwerken. Dabei können aktuel-

le und historische Verkehrsdaten, tageszeitabhängige Effekte und bestehende Einschränkungen (z. B. Abbiegevorschriften, Geschwindigkeitsbegrenzungen und Straßensperren) berücksichtigt werden (vgl. ESRI 2012b, o. S.). Basierend auf der dadurch sehr realistischen Abbildung der vorhandenen Gegebenheiten können zahlreiche Fragen aus dem Umfeld der Routenplanung und „standortbezogener Dienste“ (englisch *Location-Based Services*) beantwortet werden:

- Welches ist die für meine Bedürfnisse optimal geeignete Route zwischen zwei Orten?
- Wie kann ich dieser Route vor Ort folgen (Wegbeschreibung)?
- Wo befindet sich der nächstgelegene Fahrradladen?
- Welche POIs kann ich ausgehend von meiner momentanen Position innerhalb einer bestimmten Distanz oder Zeitspanne erreichen?
- In welcher Reihenfolge sollte ich mehrere Sehenswürdigkeiten anfahren um Umwege möglichst zu vermeiden?
- Wie viele Radverkehrsstrecken liegen im Einzugsbereich des für ein Ausflugslokal geplanten Standorts?

Nachfolgend werden das Konzept und die Bestandteile der Network Analyst-Erweiterung beschrieben. Die Angaben basieren soweit nicht anders angegeben auf Informationen aus dem „ArcGIS Resource Center“ (ESRI 2012c, o. S.) und dem darauf aufbauenden Buch „Modeling our World“ (Zeiler 2010, S. 96 - 123).

5.3.1 Netzwerk-Datasets

Die Grundlage für alle Netzwerkanalysen im „Network Analyst“ bilden sogenannte „Netzwerk-Datasets“. Diese Datensätze beinhalten meist mehrere „Quellen-Features“, die ein physikalisches Netzwerk repräsentieren. Beispielsweise können Linien-Features die Straßen eines Verkehrsnetzes darstellen, während Punkt-Features dessen Kreuzungen abbilden. Diese Quellen-Features besitzen jedoch keine Informationen über ihre Verbindung mit anderen Features. Eine Linie „weiß“ also nicht ob sie mit einer anderen Linie desselben Netzwerks verbunden ist. Ebenso wenig kennt ein Punkt-Feature die über die entsprechende Kreuzung verknüpften Linien-Features. Bei der Analyse eines *physikalischen* Netzwerks müssen die Verbindungen der diesem Netzwerk zugrundeliegenden Features deshalb mit Hilfe von räumlichen Operationen ermittelt werden, was den Prozess insgesamt sehr langsam macht. In einem auch als *logisches* Netzwerk bezeichneten Netzwerk-Dataset werden darum die topologischen Verknüpfungen aller Elemente der zu diesem Dataset gehörenden Quellen-Features in speziellen Tabellen gespeichert. Bei der Auswertung kann dann direkt auf diese Informationen zurückgegriffen werden, was den Analyseprozess erheblich beschleunigt. Darüber hinaus können so auch komplexe topologische Beziehungen modelliert und unterschiedliche Netz-



Abbildung 41: Beispiel eines Verkehrsnetzwerks (ESRI 2012d, o. S.)

werke darzustellen, während Punkt-Features dessen Kreuzungen abbilden. Diese Quellen-Features besitzen jedoch keine Informationen über ihre Verbindung mit anderen Features. Eine Linie „weiß“ also nicht ob sie mit einer anderen Linie desselben Netzwerks verbunden ist. Ebenso wenig kennt ein Punkt-Feature die über die entsprechende Kreuzung verknüpften Linien-Features. Bei der Analyse eines *physikalischen* Netzwerks müssen die Verbindungen der diesem Netzwerk zugrundeliegenden Features deshalb mit Hilfe von räumlichen Operationen ermittelt werden, was den Prozess insgesamt sehr langsam macht. In einem auch als *logisches* Netzwerk bezeichneten Netzwerk-Dataset werden darum die topologischen Verknüpfungen aller Elemente der zu diesem Dataset gehörenden Quellen-Features in speziellen Tabellen gespeichert. Bei der Auswertung kann dann direkt auf diese Informationen zurückgegriffen werden, was den Analyseprozess erheblich beschleunigt. Darüber hinaus können so auch komplexe topologische Beziehungen modelliert und unterschiedliche Netz-

werke verknüpft werden. In dem in Abbildung 41 auf Seite 83 dargestellten Verkehrsnetz sind beispielsweise Einbahnstraßen, Tunnel und Abbiegevorschriften enthalten, die allein auf Grundlage einfacher Linien-Features bei der Routenplanung nicht berücksichtigt werden könnten.

5.3.1.1 Konnektivität

Über bestimmte Einstellungen kann die Konnektivität der bei der Berechnung eines Netzwerk-Datasets automatisch aus dessen Quellen-Features erzeugten Netzwerkelemente (Knoten, Kanten und Kantenübergänge) festgelegt werden. Dabei können die einzelnen Quellen-Features unterschiedlichen Konnektivitätsgruppen zugeordnet werden, so dass sowohl für die Verbindung der Elemente innerhalb einer Gruppe als auch für die Verknüpfung von Elementen unterschiedlicher Gruppen spezifische Regeln aufgestellt werden können. Durch die Verwendung von Konnektivitätsgruppen ist es möglich, Transportnetze unterschiedlicher Verkehrsmittel zu verknüpfen, man spricht dann von *multimodalen* Netzwerken.

In dem in Abbildung 42 dargestellten Beispiel werden ein Straßen- und ein Schienennetz über durch Knoten repräsentierte Haltestellen miteinander verbunden. Innerhalb der Konnektivitätsgruppen kann festgelegt werden, dass die die Straßen bzw. Schienen verkörpernden Kanten an ihren Endpunkten mit anderen Kanten verbunden sein dürfen. Zwischen den Kanten unterschiedlicher Gruppen darf jedoch nur an den Stellen eine Verbindung bestehen, an denen sich gleichzeitig auch ein Haltestellen-Knoten befindet. Die Punkt-Featureklasse ist deshalb das einzige Quellen-Feature, das zu beiden Konnektivitätsgruppen gehört.

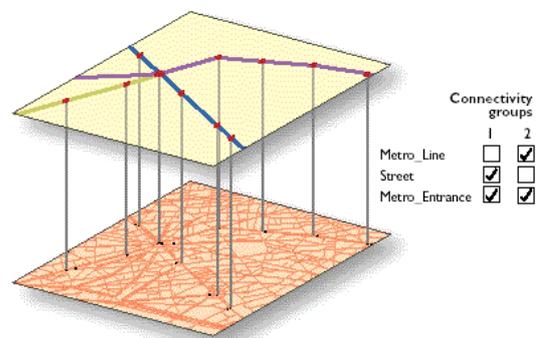


Abbildung 42: Verknüpfungspunkte eines multimodalen Netzwerks (ESRI 2012d, o. S.)

5.3.1.2 Netzwerkattribute

Für die vorhandenen Netzwerkelemente können bestimmte Eigenschaften gespeichert werden, die bei der Auswertung des Netzwerks berücksichtigt werden sollen. Es gibt vier verschiedene Arten von Netzwerkattributen:

- **Kosten**
Diese Attribute geben die beim Durchlaufen einer Kante entstehenden Kosten an. Ziel der Netzwerkanalyse ist es in der Regel, diese Kosten zu minimieren (siehe Abschnitt 5.2). Um Netzwerke auswerten zu können muss deshalb immer mindestens ein Kostenattribut vorhanden sein. Beispiele für mögliche Kosten sind die zum Durchlaufen einer Strecke zurückzulegende Distanz und die dafür benötigte Zeit. Kostenattribute können entlang der Kanten proportional aufgeteilt werden, so dass zum Beispiel nur 50 % der angegebenen Kosten entstehen wenn nur die Hälfte der Kante passiert wird.
- **Deskriptoren**
Deskriptoren sind Attribute die bestimmte Eigenschaften der Netzwerkelemente beschreiben. Sie werden häufig zur Berechnung anderer Netzwerkattribute verwendet. Im Gegensatz zu Kostenattributen werden die Werte von Deskriptoren nicht proportional aufgeteilt, sie sind entlang einer Kante konstant. Beispiele für diese Attributart sind die Belagsart und die Breite einer Radverkehrsstrecke.

- **Hierarchien**

Mit Hilfe von Hierarchieattributen können Verkehrsnetze in drei verschiedene Ebenen gegliedert werden. So ist es beispielsweise möglich, Ortsstraßen von Bundesstraßen und Autobahnen zu trennen. Dies dient zum einen zur Verbesserung der Performance bei der Analyse von Netzwerken (siehe Abschnitt 3.4), zum anderen können so bestimmte Präferenzen der Benutzer berücksichtigt werden. Beispielsweise könnte bei der Berechnung einer Route auf die Benutzung von Autobahnen verzichtet werden.

- **Einschränkungen**

Diese Attribute dienen dazu, die Verwendung der vorhandenen Elemente für die Netzwerkanalyse abhängig von bestimmten Gegebenheiten einzuschränken, so dass zum Beispiel Einbahnstraßen abgebildet werden können. Abhängig von der Attributierung können die entsprechenden Kanten dann bei der Routenplanung nur noch in eine Richtung durchlaufen werden. Ein Beispiel aus dem Bereich des Radverkehrs ist der Ausschluss nicht befestigter Wege bei der Ermittlung von für Rennräder geeigneten Routen.

5.3.1.3 Evaluatoren und Parameter

Nach der Erstellung eines Netzwerkattributs müssen den Elementen eines Netzwerk-Datasets entsprechende Attributwerte zugewiesen werden. Zu diesem Zweck werden sogenannte „Evaluatoren“ verwendet. Für Knoten und Kantenübergänge gibt es jeweils einen Evaluator, bei Kanten werden beide Richtungen berücksichtigt, dementsprechend verfügen diese über zwei Evaluatoren (siehe Abbildung 43). Im „Network Analyst“ wird zwischen mehreren Arten von Evaluatoren unterschieden, von denen einige auch bestimmte Parameter berücksichtigen können. Mittels solcher Parameter können variable Bedingungen abgebildet werden, beispielsweise hat die aktuelle Geschwindigkeit einen Einfluss auf die für das Zurücklegen einer Strecke benötigte Zeit. Parameter sind also eine Art Platzhalter für Werte die zum Zeitpunkt der Berechnung des Netzwerk-Datasets noch nicht bekannt sind. In der folgenden Auflistung werden die fünf wichtigsten Evaluatoren beschrieben:

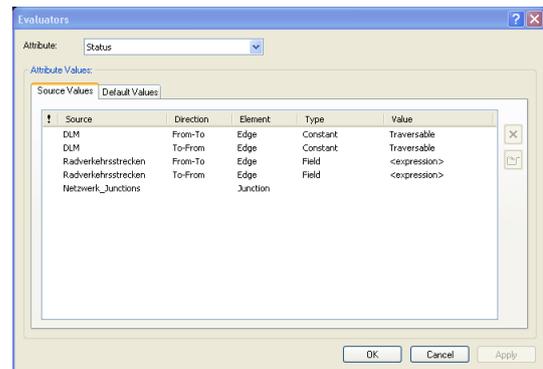


Abbildung 43: Übersicht über die Evaluatoren des Netzwerkattributs „Status“

- **Feld-Evaluator**

Feld-Evaluatoren werden am Häufigsten zur Zuweisung von Attributwerten verwendet. Sie geben den Namen des Feldes des jeweiligen Quellen-Features an, dessen Wert bei der Berechnung des Netzwerk-Datasets als Attributwert übernommen werden soll. Wurde für ein Linien-Feature beispielsweise die Streckenlänge gespeichert, kann dieser Wert für das Kostenattribut Distanz des entsprechenden Kanten-Elements übernommen werden.

- **Feldausdrucks-Evaluator**

Anstatt eines einzelnen Feldes wird ein sogenannter „Feldausdruck“ zur Zuweisung des Attributwerts verwendet. Ein solcher Ausdruck kann mit Hilfe der Skriptsprache „VBScript“ ähnlich wie eine Berechnung im „FieldCalculator“ erstellt werden (siehe Abschnitt 4.3.4). Dabei kann auf mathematische Operationen und auf die Werte mehrerer Felder zugegriffen werden. Mit dem auf diese Weise erstellten Feldausdruck können Werte selektiert

und angepasst werden. Wurde zum Beispiel die als Kostenattribut zu verwendende Streckenlänge in Meilen erfasst, kann der entsprechende Wert durch einen Feldausdrucks-Evaluator automatisch in Kilometer umgerechnet werden.

- **Konstanter Evaluator**

Erstellten Netzwerkattributen kann mit diesem Evaluator-Typ ein konstanter Wert zugewiesen werden. Während beispielsweise, wie in Abbildung 44 dargestellt, die Werte eines Einschränkungsattributs für die Kanten-Elemente des Quellen-Features Radverkehrsstrecken berechnet werden, werden für die Elemente des Quellen-Features DLM konstante Attributwerte vorgegeben.

- **Funktions-Evaluator**

Mit diesem Evaluator können Attributwerte auf Grundlage der Werte anderer Attribute berechnet werden. Bei numerischen Attributtypen werden die Werte durch Multiplikation oder Division ermittelt, bei booleschen Typen durch einen Vergleich mit Hilfe von logischen Funktionen (größer als, kleiner als usw.). Darüber hinaus können auch Parameterwerte zur Berechnung herangezogen werden. Damit ist es zum Beispiel möglich, die als Netzwerkattribut gespeicherte maximale Durchfahrtschöhe eines Tunnels mit der aktuellen Höhe des Fahrzeugs zu vergleichen und auf Grundlage dieses Vergleichs den Wert eines Einschränkungs-Attributs festzulegen.

- **VBScript-Evaluator**

Der VBScript-Evaluator funktioniert ähnlich wie der Feldausdrucks-Evaluator, im Gegensatz zu diesem können bei der Erstellung eines Berechnungsausdrucks jedoch auch die Werte von Parametern und anderen Netzwerkattributen verwendet werden. Dies ist möglich, da die Attributwerte anders als bei den anderen Evaluatoren nicht beim Berechnen des Netzwerk-Datasets zugewiesen werden, sondern erst dann, wenn sie tatsächlich für eine Netzwerkanalyse benötigt werden. Somit wird sichergestellt, dass zum Zeitpunkt der Auswertung immer die aktuellsten Werte eines Attributs vorliegen. Die Berechnung der Attributwerte zur Laufzeit eines Analyseprozesses kann diesen jedoch teilweise erheblich verlangsamen.

5.3.1.4 Kantenübergänge

Um bei der Netzwerkanalyse neben den Kosten die beim Durchlaufen von Kanten und Knoten anfallen auch den mit einer Richtungsänderung verbundenen Aufwand berücksichtigen zu können, gibt es in „Network Analyst“ sogenannte „Kantenübergangs-Features“. Diese bilden die möglichen Bewegungen zwischen mehreren miteinander verbundenen Kanten ab. Den verschiedenen Abbiegevorgängen können so unterschiedliche Kosten zugewiesen werden. Beispielsweise können abhängig von der Verkehrssituation für das links abbiegen 30 Sekunden veranschlagt werden, während nur 5 Sekunden benötigt werden um rechts abzubiegen. Darüber hinaus können bestimmte Richtungsänderungen wie zum Beispiel „U-Turns“ auch komplett verboten werden. Neben der individuellen Festlegung für jede Kreuzung können die Kosten für bestimmte Bewegungsvorgänge mit Hilfe eines speziellen Evaluators auch pauschal für das gesamte Netzwerk festgelegt werden.

5.3.2 Netzwerkanalyse

Um eine Netzwerkanalyse durchführen zu können, muss manuell in ArcMap oder mittels eines Geoverarbeitungswerkzeugs ein Netzwerkanalyse-Layer erstellt werden. Ein solcher Layer beinhaltet die Ein- und Ausgaben sowie die Eigenschaften einer Netzwerkanalyse und stellt damit quasi das Grundgerüst für die Auswertung von Netzwerken dar. Je nach Typ des Netzwerkanalyse-Layers besteht dieser aus mehreren Netzwerkanalyseklassen, die wiederum Netzwerkanalyseobjekte umfassen. Werden beispielsweise optimale Verbindungen zwischen mehreren Standorten ermittelt, stellen die als Ergebnis entstandenen Routen Analyseobjekte dar, die innerhalb der Analyseklasse „Routes“ gespeichert werden. Die verwendeten Standorte sind ebenfalls Analyseobjekte, sie sind Teil der Analyseklasse „Stops“ (siehe Abbildung 44). Durch die Vorgabe unterschiedlicher Eigenschaftswerte können Netzwerkanalyse-Layer an individuelle Bedürfnisse angepasst werden. So kann zum Beispiel eingestellt werden, auf Grundlage welches Netzwerkattributs Routen ermittelt werden sollen und welche Einschränkungen dabei zu berücksichtigen sind. „Network Analyst“ umfasst mehrere Arten von Netzwerkanalyse-Layern, die im Kontext des Themas „Radverkehr“ wichtigsten werden hier vorgestellt:



Abbildung 44: Netzwerkanalyse-Layer mit Analyseklassen und Analyseobjekten

- **Route**

Mit dieser Analyseart kann die optimale Verbindung zwischen mehreren Punkten ermittelt werden (siehe Abbildung 45). Sollen dabei mehr als zwei Standorte berücksichtigt werden, kann das System darüber hinaus die ideale Standortreihenfolge bestimmen. Die Eingabe von Start- und Zielpunkten sowie der dazwischenliegenden Punkte kann interaktiv, durch die Lokalisierung einer eingegebenen Adresse oder durch den Import vorhandener Punkt-Features erfolgen. Liegen entsprechende Informationen vor, kann zudem automatisch eine Wegbeschreibung erzeugt werden, die eine Karte und textuelle Anweisungen beinhaltet.



Abbildung 45: Kürzeste (oben) und schnellste (unten) Verbindung zwischen zwei Punkten

- **Nächste Einrichtung**

Diese Netzwerkanalyse findet von einem als Ereignis bezeichneten Standort ausgehend die nächstgelegenen Einrichtungen eines bestimmten Typs. Für das zur Analyse verwendete Kostenattribut kann eine Obergrenze angegeben werden. Hat man beispielsweise während einer Radtour einen platten Reifen, könnte man auf diese Weise alle Fahrradläden und Schlauchautomaten im Umkreis von fünf Kilometern lokalisieren (siehe Abbildung 46 auf Seite 88).

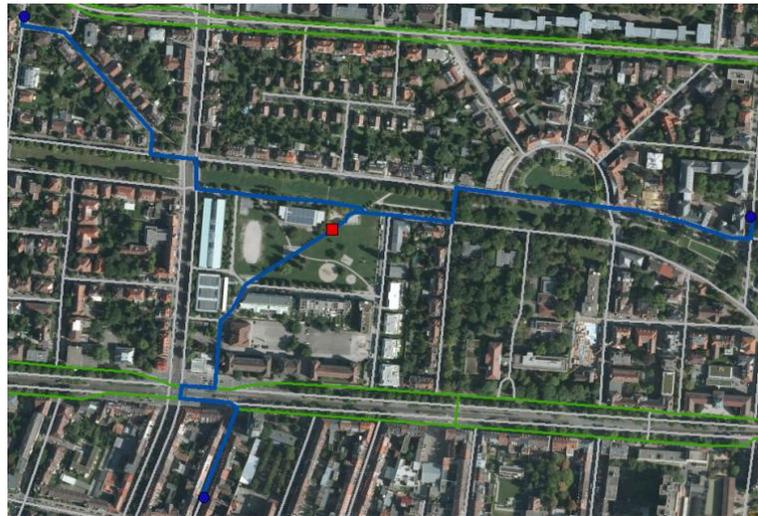


Abbildung 46: Routen zu allen Fahrradläden in weniger als drei Kilometern Entfernung

- **Einzugsgebiete**

Mit Hilfe dieser Analyseart kann ein bestimmtes Einzugsgebiet um einen beliebigen Standort ermittelt werden. Das berechnete Einzugsgebiet umfasst alle befahrbaren Straßen, die innerhalb einer für ein Kostenattribut festgelegten Spanne erreicht werden können. Auf diese Weise können zum Beispiel alle Radverkehrsstrecken gefunden werden, die sich innerhalb eines Einzugsgebiets von zwei Minuten Fahrzeit um ein geplantes Fahrradparkhaus befinden (siehe Abbildung 47).

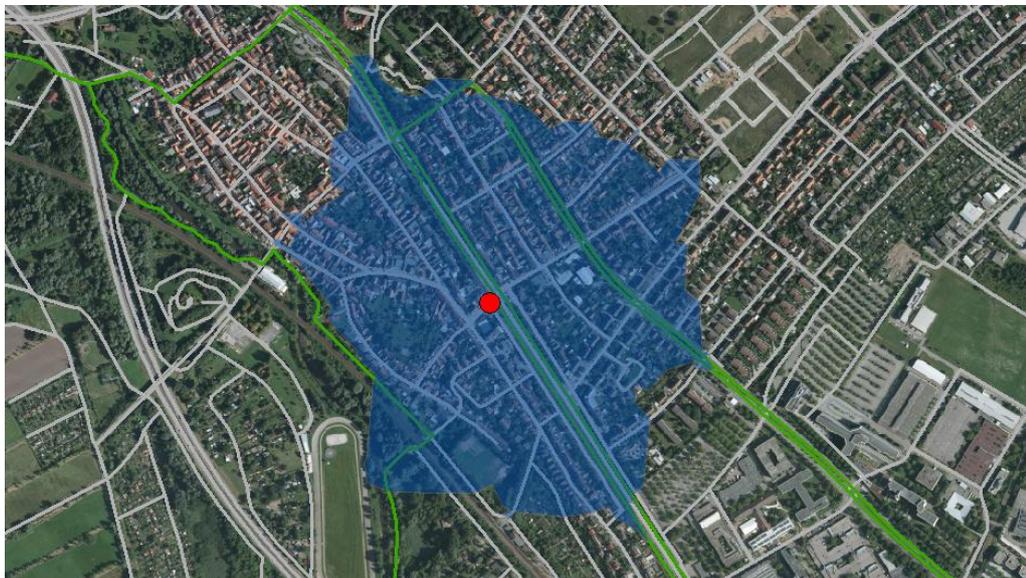


Abbildung 47: Innerhalb von zwei Minuten Fahrzeit erreichbares Gebiet um einen Standort

5.4 Prototypische Implementierung von Routingfunktionalität

Wie in Abschnitt 5.1 geschildert, sollte die durch die Optimierung des konzeptionellen Datenmodells geschaffene Routingfunktionalität mit Hilfe eines zu entwickelnden Prototyps veranschaulicht, getestet und weiterentwickelt werden. Außerdem sollten so Erfahrungen für die Integration von Routingfunktionalität in das zur Datenerfassung und -pflege entwickelte Web-GIS gesammelt

werden. Da der dem landesweiten Radverkehrsnetz zugrundeliegende Datenbestand zum Zeitpunkt der Implementierung der theoretischen Routingfähigkeiten noch nicht umfassend genug attribuiert war um damit das gesamte Routingpotential ausschöpfen zu können, musste als erster Schritt ein Testdatensatz erstellt werden.

5.4.1 Erstellen eines Testdatensatzes

5.4.1.1 Erfassen von Radverkehrsdaten

Als Untersuchungsgebiet wurde der Stadtkreis Karlsruhe gewählt, da es dort aufgrund der vorhandenen Ortskenntnisse und der strukturellen Gegebenheiten möglich war, eine ausreichende Anzahl repräsentativer Radverkehrsstrecken zu erfassen und annähernd vollständig zu attributieren. Die digitalisierten Strecken sollten sowohl in dicht bebauten innerstädtischen als auch in wenig besiedelten ländlichen Gebieten verlaufen. Des Weiteren wurden sowohl ATKIS-konforme als auch exakt zu erfassende Radverkehrsstrecken berücksichtigt. Die Attributierung sollte möglichst ausgewogen sein, jedoch waren vordergründig plausible Werte zu vergeben. Als Vorlage für die Erfassung der vorhandenen Radverkehrsstrecken diente ein über die Webseite der Stadt Karlsruhe einsehbarer Plan² des städtischen Radverkehrsnetzes. Wie in Abbildung 49 auf Seite 90 zu erkennen, wurden Teile des Haupt-, und Nebennetzes sowie der Ringroute digitalisiert. Dabei wurden sowohl Strecken in der Innen-, West- und Südstadt als auch Verbindungen in die Vorstädte wie Knielingen und Neureut erfasst.

Um nach dem Abschluss der Streckendigitalisierung eventuell im Datensatz enthaltene Fehler aufspüren und korrigieren zu können, wurden die im Datenmodell festgelegten Topologieregeln in ArcGIS implementiert. Dadurch konnten insbesondere die nicht ohne weiteres sichtbaren Überlappungen und Lücken im Netz beseitigt werden.

5.4.1.2 Einfügen von DLM-Geometrien

Um wie im online Radroutenplaner des Landes Baden-Württemberg auch Standorte in die Routenplanung einbeziehen zu können, die nicht direkt auf einer erfassten Radverkehrsstrecke liegen, wurde das erstellte Radverkehrsnetz um die im digitalen Landschaftsmodell enthaltenen Straßen- und Wegegeometrien erweitert. Die korrekte Verknüpfung der beiden Netze sollte durch die Erweiterung der vorhandenen Topologie um zusätzliche Regeln sichergestellt werden. Dadurch war es beispielsweise möglich, DLM-Geometrien die von Radverkehrsstrecken überlagert wurden zu löschen oder DLM- und Radverkehrsstrecken die Geometrien des jeweils anderen Netzes überschneiden automatisch zu zerteilen. Dabei war insbesondere darauf zu achten, dass keine nicht der Realität entsprechenden Verbindungen geschaffen wurden. Zum Beispiel darf die über die in Abbildung 48 abgebildete Brücke verlaufende Radverkehrsstrecke nicht mit den ebenerdig verlaufenden Strecken verbunden werden, obwohl Schnittpunkte mit diesen existieren.

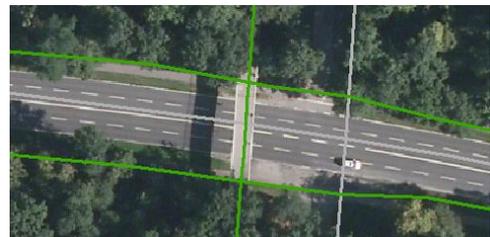


Abbildung 48: Über eine Brücke verlaufende Radverkehrsstrecke und darunter liegende Straßen und Radwege

² <http://www.karlsruhe.de/b3/verkehr/radverkehr/radnetz> Zuletzt Aufgerufen am 19.05.2012

Für die zum Radverkehrsnetz hinzugefügten Strecken des digitalen Landschaftsmodells wurden die Werte der Attribute „Widmung“, „Funktion“ und „Konstruktion“ übernommen, die die Identifikation nicht mit dem Fahrrad befahrbarer Strecken ermöglichten. Resultat der Verknüpfung der beiden Netze war das in Abbildung 49 dargestellte flächendeckende Wegenetz im Gebiet des Stadtkreises Karlsruhe, in welchem durchgängig und topologisch korrekt geroutet werden kann. Das Netz umfasst insgesamt 53030 Kanten und 19051 Kreuzungspunkte.



Abbildung 49: Teil des aus Radverkehrsstrecken (grün) und Straßen des DLMs (grau) erzeugten Verkehrsnetzwerks

5.4.2 Erstellen eines Netzwerk-Datsets

5.4.2.1 Anlegen des Datensets und festlegen der Konnektivitätsregeln

Basierend auf dem geschaffenen Verkehrsnetzwerk konnte im zweiten Schritt ein Netzwerk-Dataset erzeugt werden. Dieses wurde in der „File-Geodatabase“ angelegt, in der auch die erfassten Strecken des Radverkehrsnetzes und die Straßen des digitalen Landschaftsmodells gespeichert waren, die als Quellen-Features verwendet wurden. Da der Übergang von einem Netz zum anderen mit wenigen Ausnahmen an allen Schnittpunkten möglich sein sollte, wurden beide Datensätze derselben Konnektivitätsgruppe zugeordnet. Als Konnektivitätsregel wurde vorgegeben, dass Kanten nur über lagegleiche Endpunkte und nicht über gemeinsame Stützpunkte miteinander verbunden sein können. Dadurch konnte verhindert werden, dass über Brücken oder durch Unterführungen verlaufende Kanten versehentlich mit darunter oder darüber liegenden Kanten verbunden wurden. Kantenübergänge wurden im Netzwerk-Dataset aufgrund des zu großen Aufwands nicht in der in Abschnitt 5.3.1.4 beschriebenen Form berücksichtigt.

5.4.2.2 Definieren von Netzwerkattributen

Nachdem das Netzwerk-Dataset erstellt worden war, konnten die benötigten Netzwerkattribute definiert werden. Dabei wurden zuerst die beiden Kostenattribute „Entfernung“ und „Dauer“ angelegt, mit denen die kürzeste und die schnellste Strecke ermittelt werden können. Für die Entfernung werden mittels Feld-Evaluatoren die von ArcGIS automatisch gespeicherten Strecken-

längen der beiden Quellen-Features verwendet. Die zum Durchlaufen einer Kante benötigte Fahrzeit wird mittels VBScript-Evaluatoren unter Berücksichtigung der als Parameterwert anzugebenden Fahrtgeschwindigkeit berechnet. Als Standardwert für die Geschwindigkeit wurden 15 km/h vorgegeben. Darüber hinaus sollte der mit der Art der verwendeten Strecken zusammenhängende Ausbaustand der Wege berücksichtigt werden, der einen großen Einfluss auf die tatsächlich mögliche Fahrtgeschwindigkeit hat. Deshalb wird die für die einzelnen Kanten berechnete Fahrzeit abhängig von der Streckenart der Kante um einen festgelegten Prozentsatz verlängert oder verkürzt. Für Haupttrastrecken werden zwanzig Prozent abgezogen, bei Nebenradstrecken fünfzehn und bei Radstrecken zehn. Dadurch wird gleichzeitig erreicht, dass die ausgewiesenen Radverkehrsstrecken bei der Routenplanung vorrangig vor den das Netz ergänzenden Straßen des digitalen Landschaftsmodells verwendet werden.

Als einziges Deskriptor-Attribut wurde die Streckenart gespeichert, die wie bereits erläutert für die Berechnung der Dauer benötigt wird.

Die Verwendung von Hierarchie-Attributen wurde anhand der Streckenart getestet, aufgrund der festgestellten Probleme werden im erzeugten Netzwerk-Dataset jedoch keine Hierarchien berücksichtigt. Wird in eine mit „Network Analyst“ durchgeführte Netzwerkanalyse ein Hierarchie-Attribut einbezogen, ermittelt das Programm von Start- und Zielpunkt ausgehend die kürzeste Route zu einer höherrangigen Strecke. Zukünftig werden dann alle Kanten der unteren Rangstufe ignoriert. Kann entlang der höherrangigen Strecken keine Verbindung zwischen den zwei Punkten hergestellt werden, wird der Routingprozess abgebrochen und ein Fehler ausgegeben. „Network Analyst“ setzt also voraus, dass alle Strecken der höchsten Hierarchiestufe miteinander verbunden sind. Dies ist innerhalb des Testdatensatzes jedoch nicht der Fall, da Haupttrastrecken nicht zwangsläufig durchgängig verlaufen müssen.

Mit Hilfe von Einschränkungsattributen wurde festgelegt, dass DLM-Strecken mit der Widmung „Bundesautobahn“ und „Bundesstraße“ nicht zur Routenplanung verwendet werden dürfen und beim Routing sowohl die erlaubte Fahrtrichtung als auch der Status von Radverkehrsstrecken beachtet werden müssen. Standardmäßig werden Treppen mit Schiebevorrichtung bei der Netzwerkanalyse berücksichtigt, optional können jedoch auch alle oder überhaupt keine Treppen zur Routenberechnung herangezogen werden. Darüber hinaus ist es möglich zu bestimmen, ob nur beleuchtete oder gut befestigte Strecken verwendet werden dürfen.

Die nebenstehende Abbildung 50 zeigt eine Übersicht über alle erstellten Netzwerkattribute, deren Art, Einheit und den verwendeten Datentyp. Abgesehen von Funktions-Evaluatoren wurden alle vorgestellten Evaluatortypen benutzt, am häufigsten kamen Feldausdrucks-Evaluatoren zum Einsatz. Der verwendete VBScript-Code kann über die entsprechenden Dateien auf der dieser Arbeit beiliegenden DVD-ROM eingesehen werden.

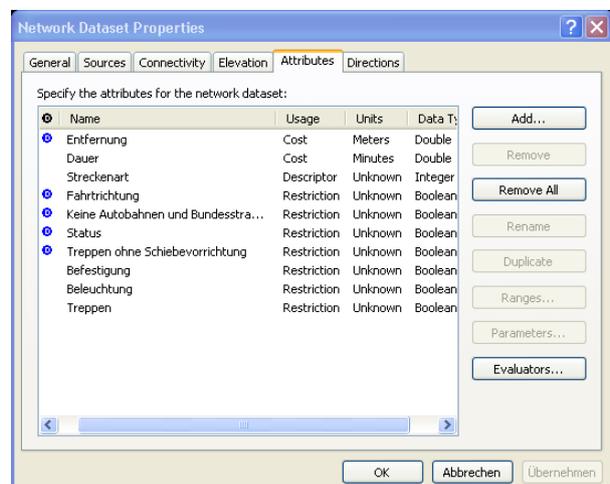


Abbildung 50: Liste der erstellten Netzwerkattribute

5.4.3 Entwickeln und Bereitstellen von Analysefunktionen

Das erstellte Netzwerk-Dataset konnte nun in ArcGIS analysiert werden. Da die Analysefunktionen jedoch auch in einer Web-Anwendung zur Verfügung stehen sollten, mussten Geoverarbeitungswerkzeuge entwickelt werden (siehe Abschnitt 4.3.1), die anschließend über „ArcGIS Server“ veröffentlicht und so in eine internetbasierte Anwendung eingebunden werden konnten.

5.4.3.1 Erstellen von Werkzeugen zur Netzwerkanalyse

Mit dem im vierten Kapitel beschriebenen „ModelBuilder“ wurden mehrere Modelle zur Auswertung des erzeugten Netzwerk-Datasets erstellt (siehe Beispiel in Abbildung 51). Die Grundlage für diese Modelle bilden die unterschiedlichen Netzwerkanalyse-Layer, deren Funktion in Abschnitt 5.3.2 erläutert wird. Bei der Erzeugung eines solchen Layers können dessen Eigenschaften über vorgegebene Parameter festgelegt werden. So kann beispielsweise gesteuert werden ob bei der Analyse die schnellste oder die kürzeste Route ermittelt werden soll. Abhängig von den getroffenen Einstellungen sind die entsprechenden Parameterwerte entweder fest vorgegeben, oder durch die Benutzer anpassbar. Bevor ein auf diese Weise geschaffener Netzwerkanalyse-Layer ausgewertet wird, können ihm verschiedene Netzwerkanalyseobjekte hinzugefügt werden. Bei den für die prototypische Routing-Anwendung entwickelten Werkzeugen waren dies die Standorte, die zur Berechnung von Routen und Einzugsgebieten verwendet werden sollten.

Als Ergebnis der Netzwerkanalyse werden abhängig von der Art des Analyse-Layers Netzwerkanalyseobjekte in Form von Sachdaten und linienförmigen bzw. flächenhaften Geometrien erzeugt. Die zur Visualisierung geeigneten Objekte können mit Hilfe eines Werkzeugs selektiert und anschließend in einer Karte dargestellt werden.

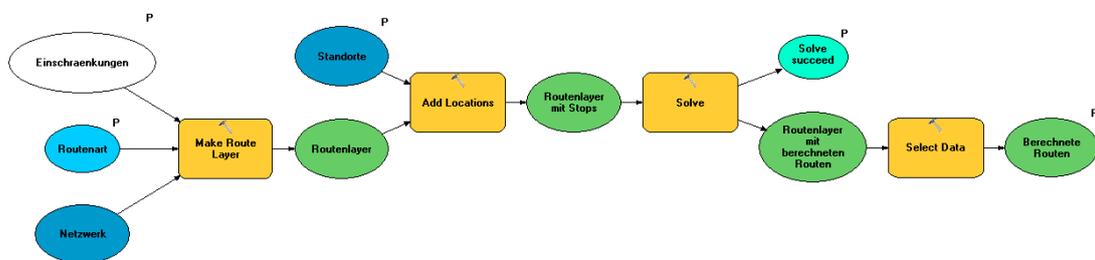


Abbildung 51: Modell zur Ermittlung optimaler Routen

Mit den entwickelten Geoverarbeitungswerkzeugen können Routen und Einzugsgebiete erzeugt werden. Bei der Routenberechnung kann der Benutzer wählen, ob die kürzeste oder die schnellste Verbindung ermittelt werden soll und welche der in Abschnitt 5.4.2.2 beschriebenen Einschränkungsattribute zu berücksichtigen sind.

Beim der Erstellung von Einzugsgebieten kann ebenfalls angegeben werden auf Basis welches Kostenattributs die Berechnung erfolgen soll und welche der sieben Einschränkungen zu berücksichtigen sind. Für das gewählte Kriterium (Dauer oder Entfernung) können mehrere Schwellenwerte angegeben werden, so dass zum Beispiel für alle übermittelten Standorte die Gebiete berechnet werden können, die innerhalb von fünf, zehn oder fünfzehn Minuten erreichbar sind.

5.4.3.2 Veröffentlichen der entwickelten Werkzeuge

Die kreierte Werkzeuge wurden als sogenannte „Werkzeug-Layer“ in ein Kartendokument integriert, welches anschließend mit Hilfe von „ArcGIS Server“ veröffentlicht wurde. Ein Kartendokument zu veröffentlichen bedeutet in diesem Kontext, dass auf dem Server automatisch ein Karten- und ein Geoverarbeitungs-Service erzeugt und für den Zugriff durch Benutzer und Anwendungen freigegeben werden. Innerhalb des Geoverarbeitungs-Services wird jedes in der Karte enthaltene Werkzeug-Layer durch einen Geoverarbeitungs-Task repräsentiert, der über vorgegebene Schnittstellen angesprochen werden kann. Soll ein solcher Task von einer externen Anwendung genutzt werden, kann über das in der nebenstehenden Abbildung 52 auszugsweise dargestellte „Services-Directory“ des Servers abgefragt werden, über welche Ein- und Ausgabeparameter der Task verfügt. Die Anwendung muss sicherstellen, dass die zu verarbeitenden Daten in der vorgegebenen Form an den Task übermittelt werden. Nach Abschluss der Datenverarbeitung wird das Ergebnis in der im Services-Directory angegebenen Form bereitgestellt. Wie die erzeugten Daten dann abgerufen, visualisiert und weiterverarbeitet werden wird allein durch die externe Anwendung bestimmt. Sollen sehr große Datensätze oder von der Anwendung nicht unterstützte Datenformate erzeugt werden, kann die Darstellung der Ergebnisse jedoch auch von einem Karten-Service übernommen werden. Dieser rendert die erzeugten Daten und gibt sie als Rasterdaten, beispielsweise im JPEG-Format, aus.

```

Parameter: Routenart
Data Type: GPString
Display Name: Routenart
Direction: esriGPPParameterDirectionInput
Default Value: Entfernung
Parameter Type: esriGPPParameterTypeRequired
Category:
Choice List:
  ■ Dauer
  ■ Entfernung

Parameter: Einschränkungen
Data Type: GPMultiValue:GPString
Display Name: Einschränkungen
Direction: esriGPPParameterDirectionInput
Default Value: null
Parameter Type: esriGPPParameterTypeOptional
Category:
Choice List:
  ■ Befestigung
  ■ Beleuchtung
  ■ Fahrtrichtung
  ■ Keine Autobahnen und Bundesstraßen
  ■ Status
  ■ Treppen
  ■ Treppen ohne Schiebevorrichtung

Parameter: Standorte
Data Type: GPFeatureRecordSetLayer
Display Name: Standorte
Direction: esriGPPParameterDirectionInput
Default Value:
  Geometry Type: esriGeometryPoint
  Spatial Reference: 31467
  Fields:
    ■ OBJECTID (Type: esriFieldTypeOID, Alias: OBJECTID)
    ■ SHAPE (Type: esriFieldTypeGeometry, Alias: SHAPE)
    ■ NAME (Type: esriFieldTypeString, Alias: NAME)
Parameter Type: esriGPPParameterTypeRequired
Category:

```

Abbildung 52: Ausschnitt aus dem „Services-Directory“

Die Datenverarbeitung kann abhängig von der Art des veröffentlichten Dienstes entweder *synchron* oder *asynchron* erfolgen. Werden Ergebnisse synchron erzeugt muss der Client nach dem Start des Tasks warten bis die Datenverarbeitung abgeschlossen ist und die erstellten Daten abgerufen werden können. Bei der asynchronen Verarbeitung wird der Client nach Beginn des Arbeitsprozesses in regelmäßigen Abständen über den Fortschritt informiert. Nach Abschluss der Berechnungen stellt der Task dem Client die Ergebnisse für eine gewisse Zeit bereit, dieser kann die Daten zu einem beliebigen Zeitpunkt innerhalb des vorgegebenen Zeitraums abrufen.

Da die für den zu erstellenden Routenplanungs-Prototypen entwickelten Geoverarbeitungs-Werkzeuge keine besonders zeitaufwändigen Berechnungen durchführen mussten und die als Ergebnis erzeugten Datensätze nicht besonders umfangreich waren, wurde der benötigte Geoverarbeitungs-Service als synchroner Service realisiert und die Visualisierung der Daten durch die im folgenden Abschnitt beschriebene Anwendung übernommen.

5.4.4 Die prototypische Anwendung

Um die entwickelten Netzwerkanalysefunktionen nutzen zu können, mussten die auf dem Server veröffentlichten Karten- und Geoverarbeitungs-Services in eine Anwendung eingebunden werden. Diese Anwendung nimmt die Eingaben der Benutzer entgegen, leitet diese in der vorgegebenen Form an die Geoverarbeitungs-Tasks weiter und stellt die berechneten Routen und Einzugsgebiete wie gewünscht dar.

5.4.4.1 Die verwendete Programmierschnittstelle

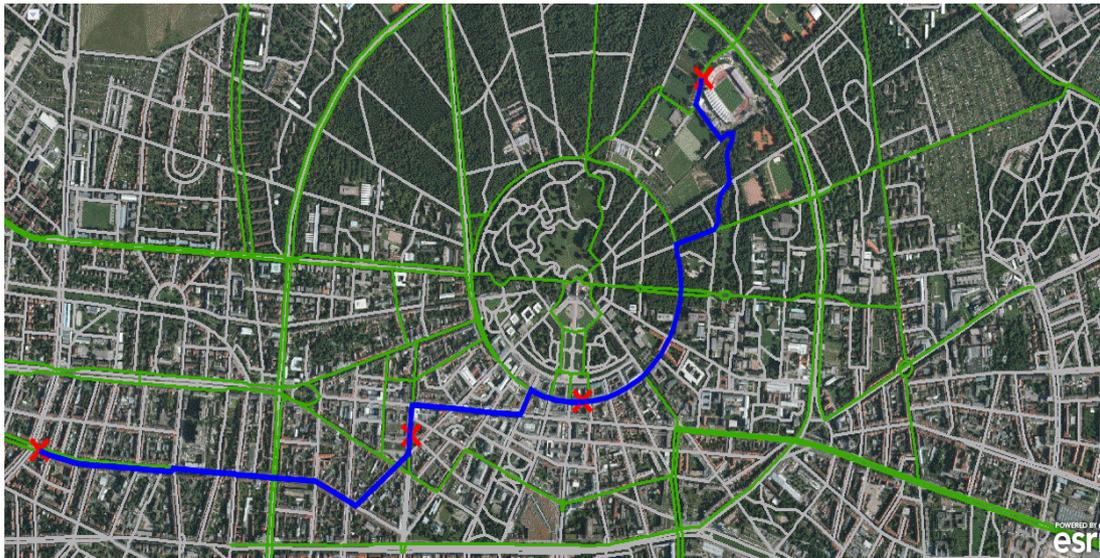
Um die Kommunikation solcher Applikationen mit den bereitgestellten Diensten zu ermöglichen, stellt ESRI verschiedene Programmierschnittstellen zur Verfügung. Diese „APIs“ (englisch *Application Programming Interfaces*) spezifizieren mit welchen Funktionen bereitgestellte Dienste angesprochen werden können. Entgegen der ursprünglichen Planung basiert die zu entwickelte Web-Anwendung nicht auf dem „Silverlight“ Plug-in von Microsoft sondern auf wurde mittels HTML und der JavaScript-API realisiert. Diese Lösung bringt den Vorteil mit sich, dass zur Nutzung der Applikation kein Plug-In im Browser installiert werden muss. Darüber hinaus ist die Entwicklung deutlich unkomplizierter, statt umfangreicher Programme wie Microsofts „Visual Studio“ können einfache Texteditoren verwendet werden. Der Vorteil von „Silverlight“, sich bei der Programmierung nicht um die zwischen einzelnen Browsern bestehenden Unterschiede kümmern zu müssen, wird durch die zu diesem Zweck in die von ESRI bereitgestellte JavaScript-API eingebundenen Funktionen des „Dojo Toolkits“³ ausgeglichen. Da mit „Silverlight“ bislang nur ein Marktanteil von ca. 60 % erreicht werden konnte denkt Microsoft zudem darüber nach, die Entwicklung einzustellen und sich zukünftig auf HTML 5 zu konzentrieren (vgl. Foley 2011, o. S.).

5.4.4.2 Aufbau und Gestaltung der Anwendung

Die Anwendung wurde mittels einfacher Webseiten realisiert, die Strukturierung der Seiten und die Einbindung der benötigten Elemente erfolgten durch HTML-Code, zur Gestaltung wurden CSS verwendet. Den Großteil der Oberfläche nimmt eine Karte ein, die innerhalb des Browserfensters automatisch zentriert wird und unabhängig von dessen Größe und der Bildschirmauflösung immer die komplette zur Verfügung stehende Breite ausfüllt. In der Karte werden die Strecken des erzeugten Verkehrsnetzwerks dargestellt, den Hintergrund bilden digitale Orthophotos. Diese Informationen werden bei Bedarf von den als Eingabewerte dienenden Standorten und den berechneten Routen bzw. Einzugsgebieten überlagert. Da der Karten-Service als dynamischer Dienst realisiert wurde, werden die Inhalte der Karte automatisch an die gewählte Zoomstufe angepasst.

Unterhalb der Karte befindet sich die Funktionen der Anwendung erläuternder Text, in den verschiedene Steuerelemente eingebettet sind, mit denen sich das Verhalten der Anwendung regeln lässt. Auch die Darstellung des Textes und der Steuerelemente wird automatisch an die Größe des Browserfensters angepasst. Abbildung 53 auf Seite 95 zeigt die Webseite mit der optimale Routen zwischen mehreren Standorten berechnet werden können. Die zur Erzeugung von Einzugsgebieten erstellte Seite unterscheidet sich lediglich durch einige Steuerelemente und die Art des Textes.

³ <http://dojotoolkit.org/> Zuletzt Aufgerufen am 19.05.2012



Optimale Route berechnen

Klicken Sie auf die Karte um Standorte zu markieren, zwischen denen automatisch die schnellste Route berechnet wird.

Bei der Berechnung werden automatisch der Streckenstatus und die auf den grün dargestellten Radverkehrsstrecken erlaubte Fahrtrichtung berücksichtigt. Darüber hinaus können Sie entscheiden, welche der folgenden Einschränkungen gelten sollen:

- Keine Treppen ohne Schiebevorrichtung berücksichtigen
- Keine Treppen berücksichtigen
- Nur befestigte Strecken verwenden
- Nur beleuchtete Strecken verwenden

Alle Standorte löschen

Letzten Standort löschen

Abbildung 53: Applikation zur Ermittlung optimaler Routen

5.4.4.3 Funktionen der Anwendung

Zur Verarbeitung der Benutzereingaben und zur Interaktion mit den veröffentlichten Karten- und Geoverarbeitungsdiensten wurde JavaScript eingesetzt. Die verschiedenen Dienste konnten mittels der in der API dokumentierten Funktionen in die Anwendung eingebunden werden. Auch die Übermittlung der von den Nutzern erzeugten Eingabedaten und der Parameterwerte, sowie das Abrufen und Visualisieren der Ergebnisse erfolgte mit Hilfe solcher Funktionen. In dem in Abbildung 54 dargestellten Code-Ausschnitt wird beispielsweise das aus Abbildung 53 bekannte Punktsymbol erstellt, das zur Darstellung der von den Benutzern erzeugten Standorte verwendet wird.

```
pointSymbol = new esri.symbol.SimpleMarkerSymbol();  
pointSymbol.setStyle(esri.symbol.SimpleMarkerSymbol.STYLE_X);  
pointSymbol.setOutline(esri.symbol.SimpleLineSymbol(esri.symbol.SimpleLineSymbol.STYLE_SOLID, new dojo.Color([255,0,0]), 5));  
pointSymbol.setSize(20);  
pointSymbol.setColor(new dojo.Color([255,0,0]));
```

Abbildung 54: Ausschnitt aus dem JavaScript-Code der Anwendung

In der Routing-Anwendung können die Nutzer durch Anklicken der Karte Standorte erzeugen. Sobald mindestens zwei Positionen vorhanden sind, wird zwischen diesen abhängig von den zuvor getätigten Einstellungen die kürzeste oder die schnellste Route ermittelt. Wird zu einer vorhandenen Route ein zusätzlicher Standort hinzugefügt wird diese automatisch verlängert. Bei der Berechnung der optimalen Verbindung werden der Status der Radverkehrsstrecken und die auf diesen erlaubte Fahrtrichtung berücksichtigt. Standardmäßig werden Treppen mit Schiebevorrichtung in den Streckenfindungsprozess mit einbezogen, abhängig von der Präferenz der Benutzer können jedoch auch alle Treppen gemieden werden. Darüber hinaus kann vorgegeben werden ob zur Routenplanung nur befestigte oder beleuchtete Strecken verwendet werden dürfen.

Nach Abschluss der Routenberechnung wird die als Ergebnis generierte Linie sofort in der Karte dargestellt. Durch einen Klick auf die Linie kann ein Fenster geöffnet werden, welches Informationen über die ermittelte Route enthält. Beispielsweise werden deren Länge, die durchschnittlich benötigte Fahrzeit und die Anzahl der Stopps angegeben. Kann keine den Vorgaben entsprechende Verbindung ermittelt werden, zum Beispiel weil sich einer der Standorte auf einer unbeleuchteten Straße befindet, erhält der Benutzer eine entsprechende Fehlermeldung. Der zuletzt gesetzte Standort wird automatisch entfernt und es kann eine neue Position angegeben werden. Über zwei Schaltflächen am unteren Rand der Webseite können auf Wunsch entweder der zuletzt hinzugefügte oder alle bislang gesetzten Punkte gelöscht werden.

In der in Abbildung 55 dargestellten Applikation zur Berechnung von Einzugsgebieten können ebenfalls mittels Klicks auf die Karte Standorte erzeugt werden. Abhängig von den vorgenommenen Einstellungen werden nach jedem Klick automatisch zwischen einem und drei Einzugsgebiete um die gewählte Position erzeugt, die dafür benötigten Schwellenwerte können über ein Eingabefeld erfasst werden. Die Benutzer können einstellen welches der beiden Kostenattribute der Berechnung zugrunde liegen soll und welche Einschränkungen zu berücksichtigen sind. Wie bei der Routenplanung werden der Streckenstatus und die erlaubte Fahrtrichtung der erfassten Radverkehrsstrecken jedoch immer beachtet. Um zu verdeutlichen, dass die Berechnung in Gange ist, wird während des Vorgangs eine entsprechende Meldung angezeigt. Nach erfolgreichem Abschluss werden die erzeugten Polygone automatisch der Karte hinzugefügt und abhängig von den Schwellenwerten eingefärbt. Schlägt die Berechnung fehl, erscheint eine entsprechende Fehlermeldung. Mit einem Klick auf ein erzeugtes Einzugsgebiet können Informationen wie der Flächeninhalt und der Umfang des Gebiets abgerufen werden. Mittels einer Schaltfläche ist es möglich alle erstellten Standorte und Einzugsgebiete zu löschen.

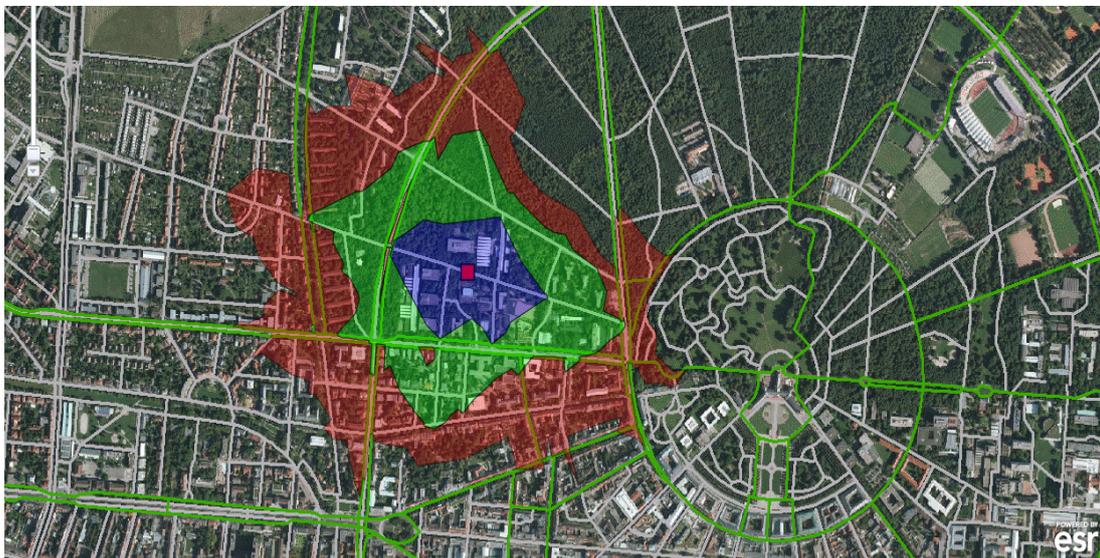


Abbildung 55: Applikation zur Berechnung von Einzugsgebieten

5.5 Fazit

Nach Abschluss der am Datenmodell vorgenommenen Verbesserungen war klar welche theoretischen Möglichkeiten zur Routenplanung durch das konzeptionelle Modell gegeben waren. Da jedoch nur ein Bruchteil der zu erfassenden Daten in den Radroutenplaner übernommen werden konnte, war der in der Praxis nutzbare Teil des vorhandenen Routingpotentials unbekannt. Aus diesem Grund sollte eine prototypische Routenplanungsanwendung entwickelt werden, mit der die Umsetzung und praktische Anwendung der theoretischen Routingfunktionalität getestet werden kann.

Zur Erstellung dieser Anwendung wurde auf die ArcGIS-Erweiterung „Network Analyst“ zurückgegriffen, die umfangreiche Netzwerkanalysen verschiedenster Art ermöglicht. Mit Hilfe der durch diese Erweiterung bereitgestellten Werkzeuge konnte ein umfangreicher Testdatensatz erstellt werden, der einen Teil des Radwegenetzes im Stadtkreis Karlsruhe umfasst. Dieser Datensatz enthält zahlreiche für das landesweite Radverkehrsnetz repräsentative Streckentypen, die so weit wie möglich mit plausiblen Attributwerten versehen wurden.

Auf Grundlage des so entstandenen Radverkehrsnetzes wurde anschließend ein Netzwerk-Dataset erzeugt, das mit unterschiedlichen Analyse-Layern ausgewertet werden kann. Um Erfahrungen für den Einsatz solcher Analysefunktionen im Rahmen des Web-GIS sammeln zu können, sollten diese in eine internetbasierte Anwendung eingebunden werden. Zu diesem Zweck wurden entsprechende Geoverarbeitungswerkzeuge entwickelt, die nach der Veröffentlichung mit „ArcGIS Server“ in die geschaffene Anwendung integriert werden konnten.

Mit dem entstandenen Routenplanungs-Prototyp kann getestet werden welche Möglichkeiten zur Routenplanung tatsächlich realisierbar sind und wie diese sinnvoll genutzt werden können. Auf diese Weise wird deutlich, auf welche Eigenschaften unter Umständen verzichtet werden kann und wie das konzeptionelle Datenmodell weiterentwickelt werden sollte. Beispielsweise könnten zusätzliche Eigenschaften erfasst werden, die es ermöglichen neben kurzen, schnellen und steigungsarmen Routen auch besonders sichere, familienfreundliche oder landschaftlich attraktive Verbindungen zu ermitteln. Darüber hinaus sollte untersucht werden, wie Werte unterschiedlicher Eigenschaften sinnvoll zu einem Kostenattribut kombiniert werden können. Denkbar wäre zum Beispiel ein Punktesystem, in dem die zu berücksichtigenden Eigenschaften abhängig von ihrem Einfluss gewichtet werden.

Für die Nutzung von Routingfunktionalität zur Erweiterung der Bearbeitungsmöglichkeiten im Web-GIS sind die verwendeten Werkzeuge gut geeignet. Mit Hilfe des „Network Analysts“ können umfangreiche Analysefunktionen erstellt und an die vorhandenen Gegebenheiten angepasst werden. Durch die Bereitstellung als Geoverarbeitungs-Services mit Hilfe von „ArcGIS Server“ können diese Funktionen problemlos in bestehende Anwendungen integriert werden. Vor der Implementierung von Netzwerkanalysefunktionen im Web-GIS muss jedoch das Verhalten der zu erstellenden Geoverarbeitungsdienste bei der gleichzeitigen Nutzung durch eine große Anzahl von Benutzern untersucht werden.

6 Fazit

Das Hauptziel dieser Arbeit war es, durch die Verbesserung des bestehenden Datenmodells eine geeignete Grundlage für die Erfassung und Pflege der Daten des landesweiten Radverkehrsnetzes zu schaffen. Dabei sollten insbesondere die Routenplanungsmöglichkeiten erweitert und die Routingfähigkeit des Netzes sichergestellt werden. Nach der Einarbeitung in das Projekt wurde das vorhandene Datenmodell hinsichtlich seiner Eignung für die Zwecke des landesweiten Radverkehrsnetzes untersucht. Im Rahmen dieser Analyse wurden verschiedene Schwachstellen entdeckt. Dazu gehörten unter anderem die unzureichende Dokumentation der Inhalte, unvollständige Definitionen und die stark eingeschränkten Routingmöglichkeiten. Um diese Probleme auszuräumen zu können, wurde das Datenmodell unter Einbeziehung der Anregungen verschiedener am Projekt beteiligter Stellen systematisch überarbeitet und weiterentwickelt. Ergebnis waren eine nun standardkonforme Dokumentation, zusätzliche Routingmöglichkeiten, die Steigerung der Effektivität des Modells durch die Einführung automatisch erfasster Merkmale und die Sicherstellung der Routingfähigkeit durch die Definition verbindlicher Topologieregeln. Das erarbeitete konzeptionelle Datenmodell dient seit März 2012 als Grundlage für die Erfassung und Fortführung der für das landesweite Radverkehrsnetz benötigten Daten. Die umfangreiche Berücksichtigung radverkehrsspezifischer Eigenschaften ermöglicht den Aufbau eines vollständig für die Zwecke des Radverkehrs optimierten Datenbestandes.

Ein weiteres Ziel der vorliegenden Arbeit war es, ein Konzept zur Integration bereits vorhandener Radverkehrsdaten in den zentralen Datenbestand des landesweiten Radverkehrsnetzes zu entwerfen und dieses Konzept anschließend umzusetzen. Durch die Übernahme der bestehenden Daten sollte der mit einer Neuerfassung verbundene Arbeitsaufwand vermieden und der Aufbau eines verlässlichen Grunddatenbestands beschleunigt werden. Die Erarbeitung eines Integrationskonzepts war nötig, da der Großteil der vorhandenen Radverkehrsdaten nicht den Vorgaben des konzeptionellen Datenmodells entsprach. Es wurde ein Arbeitsprozess konzipiert, der eine weitestgehend automatisierte Anpassung der Daten ermöglicht. Dabei werden diese in mehreren Schritten zuerst an die Sachdatenstruktur des Modells und anschließend an die als Erfassunggrundlage dienenden DLM-Geometrien angeglichen. Um das entworfene Konzept implementieren zu können wurden in ArcGIS mit Hilfe des sogenannten „ModelBuilders“ mehrere Geoverarbeitungswerkzeuge entwickelt. Mittels dieser Werkzeuge konnten innerhalb von zwei Monaten die Radverkehrsdaten von neun Kreisen angepasst und in die zentrale Datenbank übernommen werden, was eine teilweise erhebliche Arbeits- und Kostenersparnis mit sich brachte. Die Anpassung erfolgte dabei weitestgehend automatisch, bestimmte manuelle Nacharbeiten ließen sich jedoch nicht vermeiden.

Eine weitere Aufgabe war es, mittels der im ArcGIS-Umfeld verfügbaren Werkzeuge eine prototypische Routing-Anwendung zu entwickeln, mit der die für die Routenplanung relevanten Fähigkeiten des optimierten Datenmodells getestet und demonstriert werden können. Darüber hinaus sollten mit der Implementierung einer solchen Applikation Erfahrungen für die zukünftige Erweiterung des Web-GIS um Routingfunktionen gesammelt werden. Da zum Zeitpunkt der Arbeit noch kein ausreichend attributierter Datensatz vorhanden war, wurde ein Testnetzwerk mit repräsentativen Strecken und plausiblen Attributwerten erstellt. Mit Hilfe der ArcGIS-Erweiterung „Network Analyst“ konnte aus diesen Testdaten ein Netzwerk-Dataset erzeugt werden. Für dieses

logische Netzwerk konnten Kantengewichte und Einschränkungen festgelegt werden, die nun bei den verschiedenen Netzwerkanalysen berücksichtigt werden können. Um diese Analysen auch in der zu entwickelnden Anwendung nutzen zu können, wurden mehrere Geoverarbeitungswerkzeuge entworfen und mit Hilfe von „ArcGIS Server“ veröffentlicht. Diese Werkzeuge konnten anschließend mittels einer von ESRI bereitgestellten JavaScript-Schnittstelle in die Applikation eingebunden werden. Mit dem entstandenen Routing-Prototyp kann nun beispielsweise getestet werden, welche der erfassten Eigenschaften sich sinnvoll für die Routenplanung nutzen lassen und welche lediglich theoretischen Wert haben. Des Weiteren hat die Entwicklung der Anwendung gezeigt, dass die Erweiterung der Bearbeitungsmöglichkeiten des Web-GIS durch über Geoverarbeitungs-Dienste zugänglich gemachte Routingfunktionen grundsätzlich möglich ist. Ob eine solche Erweiterung angesichts der durch die Routingfunktionalität in Anspruch genommenen Serverkapazitäten sinnvoll ist, muss durch weitere Tests geklärt werden.

Wie im bisherigen Verlauf dieses Kapitels geschildert, konnten alle der im Rahmen dieser Masterarbeit zu bearbeitenden Aufgaben vollständig und mit mehr als zufriedenstellendem Erfolg gelöst werden. Ebenfalls positiv zu bewerten ist die praktische Relevanz der Ergebnisse. Das optimierte Datenmodell wird, ebenso wie die auf Grundlage des erarbeiteten Integrationskonzepts geschaffenen Werkzeuge, bereits seit einiger Zeit erfolgreich für die Zwecke des Projekts zur Schaffung eines landesweiten Radverkehrsnetzes eingesetzt. Die entwickelte Routing-Applikation kommt zwar nicht produktiv zum Einsatz, ein Teil der darin umgesetzten Funktionen könnten jedoch schon in naher Zukunft in das vorhandene Web-GIS integriert werden.

Hinsichtlich der zukünftigen Entwicklung des Projekts muss das Hauptaugenmerk auf der zeitnahen Vervollständigung des Streckennetzes und der Steigerung der Attributierungsquote liegen. Nur ein flächendeckendes Netz, dessen Strecken möglichst umfangreich beschrieben werden, bleibt im Vergleich mit den immer populärer werdenden Angeboten von „OpenStreetMap“, „Naviki“ usw. dauerhaft konkurrenzfähig und kann auch für über die Routenplanung hinausgehende Aufgaben verwendet werden. Aus dem gleichen Grund sollten die erfassten Sachdaten schnellst möglich in den Datenbestand des Radroutenplaners übernommen werden können. Es macht wenig Sinn detaillierte Informationen zu erheben, wenn diese letzten Endes nicht genutzt werden.

Besonders Interessant sind außerdem die Überlegungen, Experten von Verbänden wie dem ADFC und andere engagierte Bürger in den Prozess der Datenerfassung und -pflege mit einzubeziehen. Diese könnten ihr vorhandenes Fachwissen und ihre häufig sehr guten Ortskenntnisse in das Projekt einbringen, was der Qualität der Daten sehr zugutekommen würde. Als Gegenleistung für die erbrachte Arbeit müsste man den Datenbestand dann jedoch höchstwahrscheinlich den beteiligten Organisationen zur Verfügung stellen, die teilweise selbst (kostenpflichtige) Radroutenplaner betreiben.

Eine weitere Überlegung – die Veröffentlichung der Radverkehrsdaten als „freie Daten“ (englisch *Open Data*) – könnte dann dazu beitragen, lizenzrechtliche Probleme zu vermeiden. Die Daten könnten der Öffentlichkeit zum Beispiel über das *Open Data Portal*⁴ des Landes Baden-Württemberg bereitgestellt werden. Die veröffentlichten Radverkehrsdaten würden dann vermutlich sehr schnell Einzug in Projekte wie „OpenStreetMap“ finden, wo sie durch die große Anzahl engagierter Nutzer zügig verbessert und erweitert werden würden. In wie weit der so entstehende Datenbestand für die Zwecke des landesweiten Radverkehrsnetzes genutzt werden kann,

⁴ <http://opendata.service-bw.de> Zuletzt Aufgerufen am 15.05.2012

könnte im Rahmen einer zukünftigen Bachelor- oder Masterarbeit untersucht werden. Fest steht jedoch, dass Baden-Württemberg dann nicht nur beim Fahrradmanagement und der intermodalen Routenplanung sondern auch beim zukunftsweisenden Umgang mit Geodaten mit gutem Beispiel voran „radeln“ würde.

Literaturverzeichnis

Cormen et al. 2004

Cormen, Thomas; Leiserson, Charles; Rivest, Ronald; Stein, Clifford: *Algorithmen – eine Einführung*. München, Wien: Oldenbourg Verlag, 2004.

Delling et al. 2009

Delling, Daniel; Sanders, Peter; Schultes, Dominik; Wagner, Dorothea: *Engineering Route Planning Algorithms*. In: Lerner, Jürgen; Wagner, Dorothea; Zweig, Katharina (Herausgeb.): *Algorithmics of Large and Complex Networks*. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag, 2009.

DZBW 2011

Datenzentrale Baden-Württemberg; Landkreistag Baden-Württemberg (Auftraggeb.): *Objektart Radroutennetzabschnitt*. Objektartenbeschreibung. o. O., 2011.

ESRI 2012a

Environmental Systems Research Institute: *ArcGIS Resource Center – Was ist lineare Referenzierung?* Abbildung. Abgerufen am 21. April 2012 von:
<http://help.arcgis.com/de/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/00390000001000000>

ESRI 2012b

Environmental Systems Research Institute: *ArcGIS Network Analyst – Produktvorstellung*. Abgerufen am 23. April 2012 von:
<http://esri-germany.de/products/arcgis/extensions/networkanalyst/index.html>

ESRI 2012c

Environmental Systems Research Institute: *ArcGIS Resource Center – Was ist Network Analyst?* Abgerufen am 23. April 2012 von:
<http://help.arcgis.com/de/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/na/00470000001000000>

ESRI 2012d

Environmental Systems Research Institute: *ArcGIS Resource Center – Was ist ein Netzwerk-Dataset?* Abbildung. Abgerufen am 23. April 2012 von:
<http://help.arcgis.com/de/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/na/00470000007000000>

ESRI 2012e

Environmental Systems Research Institute: *ArcGIS Resource Center – Netzwerk-Dataset Konzepte*. Abbildung. Abgerufen am 23. April 2012 von:
<http://help.arcgis.com/de/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/na/00470000009000000>

Foley 2011

Foley, Mary Jo: *Will there be a Silverlight 6 (and does it matter)?* Artikel. Abgerufen am 28. April 2012 von:

<http://www.zdnet.com/blog/microsoft/will-there-be-a-silverlight-6-and-does-it-matter/11180>

Geisler 2005

Geisler, Frank: *Datenbanken*. Bonn: mitp-Verlag, 2005.

Jarosch 2010

Jarosch, Helmut: *Grundkurs Datenbankentwurf*. 3., überarbeitete und erweiterte Auflage. Wiesbaden: GWV Fachverlag, 2010.

Müller 2011a

Müller, Manfred; Scherrer, Martin; Walter, Meike; Pecina, Jelena; Berger, Thomas: *Bereitstellung und Fortschreibung des landesweiten Radwegenetzes für die übergreifende Nutzung*. Präsentation. Karlsruhe, 2011.

Müller 2011b

Müller, Manfred: *Erfassung, Fortführung und Bereitstellung eines aktuellen landesweiten Radwegenetzes*. Präsentation. Karlsruhe, 2011.

MVI 2011

Ministerium für Verkehr und Infrastruktur (Hrsg.): *Radfahren leicht gemacht – Verkehrsminister Hermann gibt Startschuss für landesweiten Radroutenplaner im Internet*. Pressemitteilung. Stuttgart, 2011.

NVBW o. J.

Nahverkehrsgesellschaft Baden-Württemberg mbH (Hrsg.); Ministerium für Verkehr und Infrastruktur (Auftraggeb.): *Fahrradmanagement Baden-Württemberg*. Faltblatt. Stuttgart, o. J. [vermutl. 2011].

NVBW 2012

Nahverkehrsgesellschaft Baden-Württemberg mbH: *Radroutenplaner Baden-Württemberg*. Abgerufen am 11. April 2012 von: <http://www.radroutenplaner-bw.de>

NVBW et al. 2011

Nahverkehrsgesellschaft Baden-Württemberg mbH; Landkreistag Baden-Württemberg; Städtetag Baden-Württemberg; Gemeindetag Baden-Württemberg; Tourismus-Marketing Baden-Württemberg GmbH; Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg; Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg: *Letter of Intent*. Entwurf. o. O. [Stuttgart], 2011.

NVBW/LUBW 2011

Nahverkehrsgesellschaft Baden-Württemberg mbH; Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg: *Radroutenplaner Baden-Württemberg und Web-GIS Radrouten*. Konzeptvorstellung. o. O. [Stuttgart], 2011.

Pajor 2010

Pajor, Thomas: *Algorithmen für Routenplanung*. Präsentation. Abgerufen am 11. Februar 2012 von:

http://i11www.iti.uni-karlsruhe.de/_media/teaching/sommer2010/routenplanung/vorlesung1.pdf

RTRV BW 2008

Runder Tisch Radverkehr Baden-Württemberg (Hrsg.): *Baden-Württemberg auf dem Weg zum Fahrradland Nr. 1. Handlungsempfehlungen*. Gesamtausgabe. o. O. [Stuttgart], 2008.

Wikimedia Commons 2010

Wikimedia Commons: *Datenmodellierung vom semantischen Modell zur Datenbank*. Abgerufen am 14. April 2012 von:

http://commons.wikimedia.org/wiki/File:DatMod_v_semMod_zur_DBK.svg

Zeiler 2010

Zeiler, Michael: *Modeling Our World*. Second Edition. Redlands, Kalifornien: ESRI Press, 2010.

Anhang

A.1 Kurzprofile der Projektpartner

In diesem Abschnitt werden die wichtigsten Behörden und Firmen vorgestellt, die an der Entwicklung des Radroutenplaners und dem Projekt zur Schaffung eines landesweiten Radverkehrsnetzes in Baden-Württemberg beteiligt waren bzw. sind.

Ministerium für Verkehr und Infrastruktur (MVI)

www.mvi.baden-wuerttemberg.de

Das Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr wurde nach Regierungswechsel im Jahr 2011 zum Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft umstrukturiert. Der Bereich Verkehr ging im neuen Ministerium für Verkehr und Infrastruktur auf. Der Zuständigkeitsbereich Radverkehr wird seitdem vom Referat 55 der „Abteilung für nachhaltige Mobilität“ des MVI behandelt.

Das MVI fördert den Radwegebau entlang von Bundes- und Landesstraßen sowie insbesondere den Bau kommunaler Radwege mit rund 25 Millionen Euro jährlich. Dieses Fördervolumen soll trotz allgemeiner Haushaltskürzungen auch in den nächsten Jahren beibehalten werden. Eine Sondermaßnahme war beispielsweise die zeitlich befristete Förderung der kostenlosen Fahrradmitnahme im ÖPNV. Diese hatte zur Folge, dass es mittlerweile im überwiegenden Teil der Verkehrsverbünde in Baden-Württemberg möglich ist, Fahrräder kostenlos mitzuführen. Das MVI ist Mitglied im „Landesbündnis ProRad“ und stellt den „Fahrradmanager des Landes“ (siehe Abschnitt 2.1.1).

Nahverkehrsgesellschaft Baden-Württemberg mbH (NVBW)

www.3-loewen-takt.de

Die NVBW befindet sich im Eigentum des Landes und ist für das Management des Schienenpersonennahverkehrs in Baden-Württemberg zuständig. Sie kümmert sich unter anderem um die Aufstellung des integralen Taktfahrplans, betreibt die „Elektronische Fahrplanauskunft Baden-Württemberg“ und berät das MVI in den Schienenpersonennahverkehr betreffenden Fragen.

Seit Herbst 2008 ist die „Geschäftsstelle Umweltverbund“ bei der NVBW angesiedelt, deren Aufgabe es ist, den „Fahrradmanager des Landes Baden-Württemberg“ bei der Ausführung seiner Tätigkeit zu unterstützen und insbesondere hinsichtlich der Verknüpfung von Rad- und öffentlichem Personennahverkehr zu beraten (siehe Abbildung 1 auf Seite 17). Die NVBW betreut zudem die in Abschnitt 2.1.2 vorgestellte Internetseite „Fahrradland Baden-Württemberg“ (www.fahrradland-bw.de), über die auch der online Radroutenplaner erreichbar ist.

Landesanstalt für Messungen, Umwelt und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW)

www.lubw.de

Die LUBW ist eine selbstständige Anstalt des öffentlichen Rechts und untersteht dem Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft. Sie ist für die Gewinnung und Auswertung von (Mess-) Daten zu den Themen Umwelt und Produktsicherheit sowie Arbeits-, Natur- und Strahlenschutz

zuständig. Die gesammelten Daten werden sowohl inhaltlich als auch fachlich aufbereitet und anderen Behörden und der Öffentlichkeit zugänglich gemacht.

Das „Informationstechnische Zentrum Umwelt“ (ITZ) der LUBW ist neben dem Management der IT-Infrastruktur für die Entwicklung und den Betrieb von Fachanwendungen und Informationssystemen im Umweltbereich zuständig. Dazu gehören zum Beispiel das „Umweltinformationssystem Baden-Württemberg“ (UIS-BW), das „Räumliche Informations- und Planungssystem“ (RIPS) und das „Naturschutz Informationssystem“ (NAIS).

Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung (LGL)

www.lgl-bw.de

Das LGL entstand im Jahr 2009 aus der Zusammenlegung des Landesvermessungsamts mit dem Landesamt für Flurneuordnung. Die als Landesbetrieb organisierte Behörde untersteht der Fachaufsicht des Ministeriums für ländlichen Raum und Verbraucherschutz und ist die obere Vermessungs- und Flurbereinigungsbehörde für die 35 Landkreise bzw. die untere Flurbereinigungsbehörde für die neun Stadtkreise in Baden-Württemberg. Sie ist hauptsächlich für die landesweite Grundlagenvermessung, die Produktion von amtlichen Karten und die gesetzlichen Aufgaben der Flurbereinigung zuständig. Zusätzlich hält sie die amtlichen Geobasisdaten des Landes Baden-Württemberg vor. Für die Herstellung von Freizeit-, Wander-, Rad- und Landkreiskarten pflegt das LGL die „Thematischen Kartenfachdaten“, die in naher Zukunft durch das „Touristik- und Freizeitinformationssystem“ TFIS ersetzt werden sollen.

Landrats- und Bürgermeisterämter (LRA / BMA)

www.landkreistag-bw.de

Die 35 Landratsämter in Baden-Württemberg erfüllen als kommunale Selbstverwaltungskörperschaften und untere staatliche Verwaltungsbehörden unterschiedliche Aufgaben. Zum kommunalen Aufgabenbereich gehören beispielweise der öffentliche Personennahverkehr, die Krankenhausverwaltung und das Sozialamt. In seiner Rolle als staatliche Verwaltungsbehörde fungiert das Landratsamt unter anderem als untere Baugenehmigungs-, Straßenverkehrs- und Umweltschutzbehörde.

Die neun Stadtkreise Baden-Württembergs sind kommunale Gebietskörperschaften, die in keinen Landkreis eingegliedert sind. Die Bürgermeisterämter dieser Städte übernehmen neben den kommunalen Aufgaben der Gemeinde und der Kreisverwaltung auch die der unteren staatlichen Verwaltungsbehörde.

Die Landrats- und Bürgermeisterämter stellen jeweils einen sogenannten „Kreisradmanager“. Dieser ist für die Koordination der Erfassung und Pflege der Radverkehrsdaten des Kreisgebiets zuständig und übernimmt dabei auch die Abstimmung mit den eingegliederten Städten und Gemeinden, die selbstständig Radverkehrsdaten vorhalten.

Tourismus Marketing GmbH Baden-Württemberg (TMBW)

www.tourismus-bw.de

Die TMBW ist für die Organisation und Koordination der Marketingmaßnahmen des Landes Baden-Württemberg zuständig. Sie entstand 1992 aus den Landesfremdenverkehrsvereinen Badens und Württembergs bzw. aus dem später vereinigten „Landesfremdenverkehrsverein Baden-

Württemberg“. Die TMBW betreibt Marktforschung und fördert den Tourismus im Land durch vielfältige Maßnahmen wie Messeauftritte und Marketing-Projekte. Sie ist damit Dienstleister für die mit der Tourismusförderung betrauten Stellen bei Kreisen, Regionen und Kommunen.

Im Rahmen ihrer Aufgaben arbeitet die TMBW schon seit längerer Zeit mit der Firma Alpstein zusammen und pflegt Freizeitinformationen in eine eigene Kartenanwendung ein. Diese zentral erfassten Daten können dadurch auch anderen Nutzern der Alpstein-Technologie in Baden-Württemberg zur Verfügung gestellt werden. Im Radroutenplaner Baden-Württemberg stehen beispielsweise zahlreiche von der TMBW erfasste POIs zur Verfügung.

Alpstein Tourismus GmbH & Co. KG

www.alpstein-tourismus.com

Die Alpstein Tourismus GmbH ist eine Tochter der österreichischen Alpstein-Gruppe und hat ihren Sitz im bayrischen Immenstadt. Sie bietet Dienstleistungen, Informationstechnologie und Marketing-Lösungen im Bereich des „Outdoor-Tourismus“ an. Die Firma betreibt die Internet-Plattform „outdooractive.com“ (www.outdooractive.com), auf der Wanderungen und Radtouren geplant, veröffentlicht und bewertet werden können. Bestimmte Inhalte dieser zentralen Plattform können auch in andere Anwendungen, beispielsweise den Radroutenplaner, eingebunden werden. Zu den Kunden der Firma Alpstein gehören zahlreiche Unternehmen, Verbände, Kreise und Gemeinden aus Baden-Württemberg.

Mentz Datenverarbeitung GmbH

www.mentzdv.de

Die Firma Mentz mit Sitz in München hat sich auf die Entwicklung von Verkehrsmanagements-, Auskunfts- und Analysesystemen spezialisiert. Eines der Standardprodukte ist dabei das intermodale Auskunftssystem „EFA“ (elektronische Fahrplanauskunft), mit dem verkehrsmittelübergreifende Fahrten geplant werden können. Unter anderem ermöglicht die „EFA“ die Berechnung von Fahrradrouten. Diese können unabhängig von anderen Verkehrsmitteln oder unter Berücksichtigung von Fahrplänen und Fahrradmitnahme-Möglichkeiten des ÖPNV ermittelt werden. Auf der „EFA“ basieren beispielsweise der Radroutenplaner des Verkehrsverbunds Stuttgart, die Fahrplanauskunft des Karlsruher Verkehrsverbunds und die von der NVBW betriebene Elektronische Fahrplanauskunft Baden-Württemberg.

Datenzentrale Baden-Württemberg (DZBW)

www.dzbw.de

Die DZBW ist eine Anstalt des öffentlichen Rechts und steht unter der Rechtsaufsicht des Innenministeriums. Sie hat ihren Sitz in Stuttgart und entwickelt dort Datenverarbeitungslösungen für die öffentliche Verwaltung. Darüber hinaus ist sie Dienstleister für verschiedene Stellen bei Bund, Ländern und Kommunen.

Die Datenzentrale hat im Auftrag des Arbeitskreises GIS des Landkreistages eine formale Beschreibung der ursprünglich vorgesehenen Objektart Radroutennetzabschnitt entworfen, die als Ausgangspunkt für die Entwicklung eines Datenmodells diente.

A.2 Die verwendeten Geodaten

In diesem Abschnitt werden die wichtigsten dem erläuterten Projekt zugrunde liegenden Geodaten beschrieben, die zum Großteil bereits bei der Schilderung des bisherigen Projektablaufs erwähnt wurden. Dabei handelt es sich sowohl um Geobasis- als auch um Geofachdaten.

Amtlich Topographisch-Kartographisches Informationssystem (ATKIS)

www.adv-online.de

Das ATKIS ist ein Projekt der „Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltung der Länder der Bundesrepublik Deutschland“ (Adv), das einen bundesweit einheitlichen Standard für die Erfassung und Fortführung von digitalen Landschaftsmodellen und digitalen topographischen Karten vorsieht. Das DLM in Baden-Württemberg liegt seit März 2011 in ATKIS-konformer Form vor.

Dem Radroutenplaner und dem landesweiten Radverkehrsnetz liegen die Daten des Straßennetzes des digitalen Landschaftsmodells zugrunde, welches Teil des ATKIS ist.

Digitales Landschaftsmodell (DLM)

www.lgl-bw.de

Das DLM beschreibt die Topographie der Erdoberfläche durch strukturierte, punkt-, linien- oder flächenförmige Vektordaten. Dabei werden sowohl die Form und Lage der Objekte als auch deren Eigenschaften beschrieben. Der Aufbau und die zu erfassenden Attribute der Objekte werden im bundesweit einheitlichen ATKIS-Objektartenkatalog (ATKIS-OK) definiert. Das DLM wird hauptsächlich auf Grundlage des amtlichen Liegenschaftskatasters sowie digitaler Orthophotos fortgeführt. Es ist lückenlos und besitzt für wichtige linienhafte Infrastrukture Objekte, wie zum Beispiel Straßen, eine Lagegenauigkeit von +/- 3 Metern.

Das Straßennetz des maßstabslosen Basis-DLM wird als Erfassungsgrundlage für das landesweite Radverkehrsnetz verwendet. Darüber hinaus greift der Radroutenplaner auf die Strecken des digitalen Landschaftsmodells zurück, um auch in Gebieten in denen keine Radverkehrsstrecken erfasst wurden Routingergebnisse liefern zu können.

Digitales Geländemodell (DGM)

www.lgl-bw.de

Ein DGM beschreibt die natürliche Erdoberfläche des erfassten Gebiets durch dreidimensionale Koordinaten und unterscheidet sich so von einem „Digitalen Oberflächenmodell“ (DOM), das die Erdoberfläche mitsamt der sich darauf befindlichen Objekte wie Häuser, Bäume und Autos abbildet. Digitale Geländemodelle werden in der Regel durch die automatisierte Bearbeitung digitaler Oberflächenmodelle gewonnen, die wiederum meist durch „Airborne-Laserscanning“ entstehen. Durch die Interpolation der dabei erfassten Messwerte kann für jeden Punkt auf einer Karte neben dessen Rechts- und Hochwert auch die Höhe angegeben werden. Neben dem DLM sind auch DGM und DOM Bestandteile des ATKIS.

Mit Hilfe des digitalen Landschaftsmodells Baden-Württembergs können der An- und Abstieg entlang einer Radverkehrsstrecke automatisch berechnet werden (siehe Abschnitt 3.4.3.3).

Amtliches Liegenschaftskatasterinformationssystem (ALKIS)

www.adv-online.de

Das ALKIS umfasst die bislang getrennt geführten Daten des „Automatisierten Liegenschaftsbuchs“ (ALB) und der „Automatisierten Liegenschaftskarte“ (ALK). ALKIS ist zusammen mit ATKIS und dem „Amtlichen Festpunktinformationssystem“ AFIS Teil des von der AdV entwickelten AAA-Modells. Neben dem bundesweit einheitlichen Datenmodell ist damit auch die Datenaustauschnittstelle künftig normbasiert. Zur besseren Orientierung bei der Erfassung von Radverkehrsstrecken können im Web-GIS die Flurstücksgrenzen und die Hausumringe aus dem ALKIS eingeblendet werden.

Digitale Orthophotos (DOPs)

www.lgl-bw.de

Digitale Orthophotos sind entzerrte und georeferenzierte Luftbilder, die die Erdoberfläche maßstabsgetreu abbilden. In Baden-Württemberg befliegt das LGL jährlich ca. ein Drittel der Landesfläche und erzeugt dabei neue Luftbilder im Maßstab von etwa 1:18.000. Diese Luftbilder werden anschließend mit Hilfe des digitalen Geländemodells entzerrt und durch am Boden verteilte Kontrollpunkte georeferenziert. Ergebnis sind aktuelle digitale Orthophotos mit einer Bodenauflösung von 25 cm und einer Lagegenauigkeit von +/- 0,5 Metern.

Die DOPs dienen als Grundlage für die exakte Erfassung von Radverkehrsstrecken, für die keine passende DLM-Geometrie vorhanden ist.

Thematische Kartenfachdaten (TKFD)

www.lgl-bw.de

Für die TKFD werden vom LGL Freizeitinformationen über Wanderwege, Radwege und POIs in Baden-Württemberg gesammelt, aufbereitet und gespeichert. Die Erfassung der relevanten Geodaten erfolgt dabei auf Basis der TK50. Zusätzlich zu den Geodaten werden beschreibende Sachdaten wie Lage, Öffnungszeiten und Adressen erfasst. Die gesammelten Daten werden für die Herstellung von Freizeit-, Wander- und Radkarten verwendet.

Die in den TKFD enthaltenen Radwege wurden der Firma Alpstein über die NVBW als Grunddatenbestand für den Radroutenplaner zur Verfügung gestellt. Die Daten wurden von Alpstein an das im ATKIS enthaltene Straßennetz angepasst und mit dem firmeneigenen Datenbestand zusammengeführt. Der so entstandene Datensatz wurde als Grundlage für das landesweite Radverkehrsnetz in die zentrale Datenbank übernommen.

Touristisches Freizeitinformationssystem (TFIS)

www.lgl-bw.de

Zukünftig sollen Touristik- und Freizeitinformationen im „Touristischen Freizeitinformationssystem“ des LGL erfasst werden. Bei diesem System wird auf die vorhandenen Geometrien des Basis-DLM zurückgegriffen, so dass TFIS-Objekte nur in Ausnahmefällen über eine eigene Geometrie verfügen müssen. Dies ermöglicht die maßstabsunabhängige Präsentation der Daten, die getrennte Führung von Geometrie und Sachdaten und eine optimierte, annähernd redundanzfreie Datenhaltung. Nach der Fertigstellung möchte das LGL die Strecken des landesweiten Radverkehrsnet-

zes ins TFIS übernehmen. Dies ist einer der Hauptgründe für die grundsätzlich einzuhaltende ATKIS-Konformität der Radverkehrsstrecken.

Elektronische Fahrplanauskunft Baden-Württemberg (EFA-BW)

www.efa-bw.de

Die EFA-BW wurde von der Firma Mentz Datenverarbeitung entwickelt und wird von der NVBW betrieben. Sie ermöglicht es den Benutzern, Fahrten mit dem öffentlichen Personennahverkehr über die Grenzen der einzelnen Verkehrsverbünde hinweg in einem System zu planen. Darüber hinaus können bei der Ermittlung der besten Verbindung auch Echtzeitinformationen berücksichtigt werden. Die Daten der EFA-BW wurden vollständig in den Radroutenplaner integriert, so dass Teilstrecken einer Route mit öffentlichen Verkehrsmitteln zurückgelegt werden können. In die Planung der Route werden dabei die entsprechenden Fahrpläne und die vorhandenen Möglichkeiten zur Fahrradmitnahme einbezogen (siehe Abbildung 56).

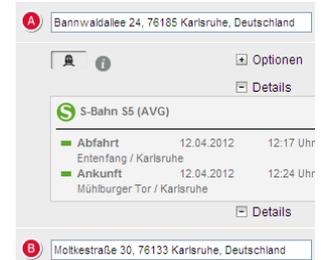


Abbildung 56: Beispiel für die Berücksichtigung des ÖPNV im Radroutenplaner.

A.3 Inhaltsverzeichnis der DVD

Die dieser Arbeit beiliegende DVD-ROM enthält die unten aufgelisteten Daten. Ordner werden fett dargestellt, Dateien kursiv:

- **Ausarbeitung**
 - ◆ *Masterarbeit – David Gschwender.pdf* (Masterarbeit im PDF-Format)
- **Datenmodell**
 - ◆ *Das Datenmodell des landesweiten Radverkehrsnetzes Version 2.5.pdf* (Entworfenes Datenmodell)
 - ◆ *Objektart Radroutennetzabschnitt Version 1.3.pdf* (Ursprüngliches Datenmodell)
- **Integrationswerkzeuge**
 - ◆ *Datenintegration landesweites Radverkehrsnetz.tbx* (ArcGIS „Toolbox“ mit den zur Anpassung der vorhandenen Radverkehrsdaten entwickelten Werkzeugen)
- **Routing-Anwendung**
 - ◆ **Testdaten**
 - **Evaluatoren** (Im Network-Dataset verwendete Evaluatoren)
 - *Zentraler Datenbestand.gdb* (File-Geodatabase mit den erstellten Geometrien)
 - *Routenplaner.mxd* (ArcGIS Kartendokument zur Darstellung der Testdaten)
 - *Werkzeuge_Routing.tbx* (ArcGIS „Toolbox“ mit den erstellten Modellen)
 - ◆ **Webseiten**
 - **Einzugsgebiete** (HTML-, CSS- und JavaScript-Dateien der entwickelten Anwendung zur Ermittlung von Einzugsgebieten)
 - **Routenplanung** (HTML-, CSS- und JavaScript-Dateien der entwickelten Routenplanungs-Anwendung)